

Forest Fertilization Walddüngung

Jyväskylä (Finland)

Colloquium on Forest Fertilization

Kolloquium über Walddüngung

Proceedings of the Vth Colloquium of the
INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE
Jyväskylä/Finland

Bericht über das V. Kolloquium des
INTERNATIONALEN KALI-INSTITUTS
Jyväskylä/Finnland

1967

Chairman of the Colloquium:
Vorsitzender des Kolloquiums:

Prof. Dr. V. HOLOPAINEN, Director of the
Finnish Forest Research Institute,
Helsinki / Finland

Chairman of the Finnish Organizing
Committee:
Vorsitzender des Finnischen Organi-
sationskomitees:

Prof. O. HUIKARI, Finnish Forest
Research Institute, Helsinki / Finland

Secretary:
Sekretär:

H. MAURIA, State Board of Forestry,
Helsinki / Finland

Contents

Inhaltsverzeichnis

Opening Session	Eröffnungssitzung	
Dr. R. GALLAY	Welcome Address Begrüßungsansprache	9
Prof. Dr. V. HOLOPAINEN	Opening Address Einführungsansprache	12
Dr. N. A. OSARA	Trends in wood production and consumption, and the role of forest fertilization	14
Prof. P. RIIHINEN	The importance of the forest and wood for the Finnish economy	18
Prof. Dr. Dr. h. c. W. WITTICH	Überblick über Grundlagen und Aussichten der forstlichen Düngung	23
Lic. K. SALONEN	Evolution of forest fertilization in Finland	39
Docent S. HAGNER	The evolution of forest fertilization in Sweden	41
O. JERVEN	A brief summary on the evolution of forest fertilization in Norway	49
2nd Session	Growth factors and assessment of fertilizer needs of forest trees	
2. Arbeitssitzung	Wachstumsfaktoren und Bestimmung der Düngungsbedürfnisse von Waldbäumen	
C. P. VAN GOOR, Ing.	Kriterien zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses in der Forstwirtschaft	55
Dr. TH. KELLER	The influence of fertilization on gaseous exchange of forest tree species	65
		3

Prof. Dr. R. THEMLITZ	Aussagewert von Boden- und Nadelanalysen	80
Dr. F. FRANZ	Düngungsversuche und ihre ertragskundliche Interpretation	91
P. J. O'HARE, M. Agr. Sc.	A. Leader growth and foliar composition in Sitka spruce (<i>Picea sitchensis</i> Carr.) in relation to fertilizer application on blanket peat	111
P. J. O'HARE, M. Agr. Sc.	B. The leaching of nutrients by rain-water from forest trees – a preliminary study	122
	Discussions on Session No. 2	
	Diskussionsbeiträge zu Sitzung Nr. 2	131
Prof. Dr. S. L. JANSSON	Co-ordination speech by the co-ordinator and the chairman of Session No. 2.	133
3rd Session	Fertilizing young trees and methods of applying fertilizers	
3. Arbeitssitzung	Die Düngung von Jungbeständen und Methoden der Düngieranwendung	
Dr. T. INGESTAD	Nutrient needs of seedlings and young trees	139
Miss B. BENZIAN, B. Sc.	Manuring young conifers: Experiments in some English nurseries	142
Miss B. BENZIAN, B. Sc.	Test on three nitrogen fertilizers – “Nitro-chalk”, formalized casein and isobutylidene diurea – applied to Sitka spruce (<i>Picea sitchensis</i>) seedlings in two English nurseries.	171
Prof. V. PUUSTJÄRVI	Peat as a medium in the raising of forest tree seedlings	176
	Diskussionsbeiträge zu Sitzung Nr. 3	
	Discussions on Session No. 3	179
Prof. Dr. L. Schmitt	Zusammenfassendes Referat des Koordinators und des Vorsitzenden von Sitzung Nr. 3	182

4th Session	The results of fertilizer use	
4. Arbeitssitzung	Die Ergebnisse der Düngieranwendung	
M. BONNEAU, Ing.	Die Auswirkungen der Düngung in verschiedenen Standorttypen auf Mineralböden	187
Prof. Dr. L. HEIKURAINEN	The effects of manuring on organic soils	197
Dr. H. H. KRAUSS	Kaliernährung und Wachstum von Kiefern-kulturen und -beständen auf den verbreitetsten Standorten im nordostdeutschen Tiefland	206
Prof. E. L. STONE and Prof. A. L. LEAF	Potassium deficiency and response in young conifer forests in Eastern North America	217
Dr. J. MATERNA	Einfluss der Blattdüngung von Fichten-pflanzen mit verschiedenen Nährelementen auf einige Inhaltsstoffe in den Nadeln	230
Dr. R. KREISL	Stand und Aussichten der Forstdüngung in Österreich	235
Dr. D. BRÜNING, H.-D. TRILL- MICH, Dipl.-Landw., und E. UEBEL, Dipl.-Landw.	35 Jahre KMg-Kieferndüngungsversuche Templin	240
Dr. W. ZECH	Über die Wirkung einer Kalium- und Stickstoffdüngung auf Wachstum und Ernährungszustand gelbspitziger Kiefern-kulturen in Süddeutschland	250
N. O'CARROLL, M. Agr. Sc.	Forest fertilization in the Republic of Ireland	271
Dr. H. HOLSTENER-JØRGENSEN	Experiences obtained from fertilization of Norway spruce in Denmark	275
B. MESHECHOK	Etwas über Startdüngung für die Auf-forstung von Mooren in Norwegen	282
Docent H. HOLMEN	Forest fertilization in Sweden	291
Dr. A. ANDO	Forest fertilization trials on Japanese conifers in Yamanashi Prefecture	298
Lic. K. PAARLAHTI	Forest fertilization experiments in Finland	311
	Discussions on Session No. 4 Diskussionsbeiträge zu Sitzung Nr. 4	313

Dr. T. WALSH	Co-ordination speech by the co-ordinator and the chairman of Session No. 4	316
5th Session	Quality and economical aspects of fertilizer use	
5. Arbeitssitzung	Qualitative und wirtschaftliche Aspekte der Forstdüngung	
Dr. U. Schindler	Einfluss der Düngung auf Forstinsekten	319
Prof. E. BJÖRKMAN	Manuring and resistance to diseases	326
Prof. W. JENSEN, Prof. O. HUI- KARI and I. PALENIUS, M. Sc.	Influence of fertilization of Finnish softwood grown on swamp on yield and quality of pulp	330
J. P. MAUGÉ, Eng.	Economic results of forest fertilization in the area of Landes de Gascogne	339
A. REINIKAINEN, Eng.	The appearance of nutrient deficiency in plants growing in the experimental area for forest fertilization at Kivisuo	343
Dr. D. BRÜNING und E. UEBEL, Dipl.-Landw.	Düngung und Populationsdichte von Napfschildläusen	360
H.-D. TRILLMICH, Dipl.-Landw.	Vorzeitiger Kurztriebabwurf zehnjähriger Weymouthskiefern als Folge von Kalimangel	366
	Diskussionsbeiträge zu Sitzung Nr. 5 Discussions on Session No. 5	
Prof. Dr. R. BACH	Zusammenfassendes Referat des Koordinators und des Vorsitzenden von Sitzung Nr. 5	375
Prof. Dr. V. Holopainen	Closing Address Schlusswort	387

Opening Session

Eröffnungssitzung

**Chairman of the Colloquium:
Vorsitzender des Kolloquiums:**

**Prof. Dr. V. HOLOPAINEN, Director of the
Finnish Forest Research Institute, Helsinki**

Welcome Address

Dr. R. GALLAY, President of the International Potash Institute, Berne/Switzerland

Speaking in the name of the *International Potash Institute* I first want to express our lively appreciation and our great pleasure for having been able to hold in Finland this *Colloquium on Forest Fertilization*, thanks to the devoted collaboration of leading research workers and Finnish Organizations, active in the field of forestry, and especially of the *Society of Forestry of Finland*.

I feel therefore the imperious duty to express our gratitude to all personalities of this country, who generously gave their support and their efficient help in carrying out the realization of this scientific meeting.

It is quite a great honour for our Institute that Professor *Holopainen*, Director of the *Finnish Forest Research Institute*, has been willing to accept the responsibility of president of the present Colloquium. His wide knowledge of the questions to be discussed is the first warrant of success for our initiative. I wish to welcome Professor *Holopainen* particularly and to assure him of our total indebtedness.

We appreciate also the privilege to hold our Colloquium in the town of Jyväskylä, which is a most delightful place and we consider ourselves very fortunate to dispose for our working session of such a splendid and comfortable auditorium in the modern and imposing building of the University. We know that we owe that favour to Rector, Professor *Takkala*, who has been kind enough to open the doors of his University, which are otherwise hermetically closed in the holidays-period.

Welcoming Professor *Takkala*, I shall not forget to say how much we feel obliged to him.

We have considered as a proof of dedicated benevolence the creation of a Finnish Organization Committee, whose task was to facilitate the unfolding of our Colloquium. I wish to greet especially Professor *Huikari* of the *Finnish Forest Research Institute* in Helsinki and Mr. *Mauria* of the *State Board of Forestry* in Helsinki, President and respectively Secretary of the committee, not forgetting to testify our profound gratitude to them and to all other members of this committee, for their help.

I should like to greet particularly Mr. *Kuusela*, President of the *Society of Forestry*.

I shall not fail to welcome also the representatives of

- the Finnish Forest Research Institute in Helsinki,
- the Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki,
- the State Board of Forestry,
- many other Finnish Organizations,

and not forget to acknowledge how much their co-operation has been appreciated by the management of our Institute.

It is very encouraging for us to have been supported in our enterprise by prominent delegates of the *Food and Alimentation Organization* and of the *International Union of Forest Research Organizations*. May I extend my thanks to their representatives.

This opening session gives me the opportunity to salute and welcome personalities of the scientific world coming from 19 countries to attend our Colloquium.

May I extend also my warm thanks to the leading scientists, who have accepted to participate in the Colloquium either by introducing the results of their researches through their papers, or as presidents of our working sessions to conduct the discussions or, as members of our *Scientific Board* with the task of establishing and summarizing the conclusions.

Briefly I would like to recall that the main purpose of the *International Potash Institute* is to make available to the agronomists and scientists and to all those, who have to apply them the ever increasing conquests of scientific research not only regarding the effects of potash on soil fertilization and crops development, but regarding also the plant nutrition as a whole since the absorption of potash cannot be separated from the absorption of all other nutrients.

It is why, according to this goal, the activity of our Institute comprises the reception, the study and the classification of the copious literature on the matter. It includes also the making of card indexes delivered to all individuals or institutions all over the world, which are interested. It still extends to the issue of a monthly publication edited in four languages: 'The Potash Review', which permits the printing of original works and the reproduction of papers of too localized or limited circulation.

In the same line of preoccupation, in order to obtain a more precise and up-to-date image of the present stage of our scientific knowledge concerning certain aspects of soil fertilization and crop nutrition, it has been found necessary to give research workers the occasion to meet together and to communicate the results of their own studies and compare their points of view.

Regarding all these activities and especially the organization of these Congresses and Colloquia the *International Potash Institute* is guided by a *Scientific Board*. This *Scientific Board* consists at the moment of 13 research workers, who are in the first rank in the domain of agronomy in their own countries and have established international reputation.

It is this scientific board, which chooses the themes of the Congresses and Colloquia, defines their frame and suggests the countries where they should take place as well as the names of the speakers to be solicited.

To speak only of the last meetings, three Colloquia held:
in Murten (Switzerland) in 1964,
in Lisbon (Portugal) and Belgrade (Yugoslavia) in 1965,
and one general Congress held in Brussels (Belgium) in 1966,
have all been dedicated to the vast and complexe problem of the influence of potash and other nutrients on the quality of foodcrops. We may observe with some satisfaction that this particular aspect of fertilizers use, which is getting more and more actual and important in all well developed countries has been examined in these four meetings more completely than it has ever been done before.

As you know, this Colloquium as proposed by our *Scientific Board*, is devoted to forest fertilization. It is also a problem of the highest interest and actuality. If fertilization in forest has already taken a good development in Scandinavian and other countries, one should study the possibility of extending it to other areas. If so, when and how can it be done? This problem has gained acuteness in a time of rapid evolution, when the highest and fastest returns are demanded from all crops.

We do not expect from this Colloquium less important results than from our preceding meetings.

Do we not have all the chances on our side? The Colloquium takes place in a country, which has a great experience of forest fertilization and has interesting results to communicate and to show. We have succeeded in our wish to call together the leading scientists in the field of forest fertilization. At last we are sure to find in this gracious and affable land, in this most pleasant place and in this splendid auditorium the most favourable conditions for a fruitful work.

My wish is that our *Colloquium on Forest Fertilization* engraves in the memories of all participants the Souvenir of a very useful meeting.

Opening Address

Prof. Dr. V. HOLOPAINEN, Director of the Finnish Forest Research Institute, Chairman of the Colloquium, Helsinki/Finland

Mr. President, Ladies and Gentlemen,

Finnish economy has sometimes been characterized as a 'national economy based on wood'. This holds true, in the main, even today. Forests are the main natural resource of Finland; they cover the major part of our land-area, they provide wood for our every day needs, and the exports of forest products are still our principal source of foreign currency.

As we know, forests are renewable resources, and sustained yield has long been the guiding principle of our forest management and forest policy. The problem of securing sustained yield in Finnish forests was discussed at an early stage of industrialization and certain legislative measures concerning the treatment of forests were introduced in the latter half of 19th century. During the recent decades the problem has gradually become even more acute, but never to the same extent as in the 1960s. It is estimated that the capacity of Finnish woodpulp industries has been increased by approximately 130% in the period 1955–1967. This, together with a certain expansion in other main forest industries – with the exception of sawmilling –, has raised fears about a shortage of roundwood in a country which used to be the biggest exporter of roundwood in Europe.

The rapid change in this situation is clearly demonstrated by the fact that five different programmes have been made in Finland in the 60s, all designed to increase production in the forests of this country. The need for increasing timber production has become so acute, that a programme outlined in 1961 was found to be obsolete by 1962. Perhaps the most interesting example in this respect is the role of fertilization. Whereas the *Forestry Planning Committee* suggested research and experimentation in forest fertilization in its report in 1961, another committee recommended large-scale manuring of forest land in 1964.

This is the case in Finland, but we know that it has parallels in a number of European countries, perhaps with the exception of Sweden.

I have made these brief remarks in order to give you an idea how grateful we in Finland are that this scientific Colloquium has been made a reality. Fertilization is a new field of forestry practice and even a rather new field of research. It is therefore of the greatest importance that experts from various countries convene to tell what has been done and what can be done to make fertilization an effective tool of wood production.

As a representative of the host country I want to thank the *International Potash Institute* for organizing this Colloquium and congratulate it for its success in bringing together this distinguished group, composed of outstanding scientists in the field. We really wish to hear the voice of science in this problem, thus enabling the forester to make intelligent decisions with regard to practical problems.

It involves a certain risk on the part of *International Potash Institute* as a body of industries producing fertilizers to organize a meeting like this. The results to be presented can be positive or negative from the point of view of marketing. But risk bearing is an essential part of business. Besides, it is – in the long run – also important for producers to know what is true and what the success of the product to be sold is. We all hope that the results will be positive, but above all we want to know the truth.

This meeting provides our foreign visitors with an opportunity to see some of our country and the way of life of our nation. Some of you come from very distant countries and are visiting Finland for the first time. It would be fitting to tell you some facts about our country. Instead of words, however, we are going to show you a film as a brief introduction to Finland. I sincerely hope that you feel at home in our country. I beg to extend you a cordial welcome to Finland and to this *Colloquium on Forest Fertilization*.

Trends in Wood Production and Consumption, and the Role of Forest Fertilization

Dr. N. A. OSARA, Director of the Forestry and Forest Industries Division, FAO, Rome/Italy

1. *Timber trends*

The *Forestry and Forest Industries Division of FAO* has carried out, over a period of years, a series of studies which we call Timber Trends Studies. They deal with supply and consumption in the different regions of the world, by the various main categories of forest products according to end-uses. I shall not here go into any detail of these studies but just give some figures from the recent past and compare them with the forecasts made for 1975 and beyond. I should perhaps say that experience so far with these studies has given considerable confidence in the methodology used.

For the world as a whole, total wood requirements, in terms of roundwood equivalents, are estimated as follows:

1962: 2150 million m³ (52% fuelwood)
1975: 2689 million m³ (45% fuelwood)
1985: 3328 million m³ (41% fuelwood)

So that in 1975 about 540 million m³ more than in 1962 will be required, and in 1985 about 640 million m³ more than in 1975. How is this demand to be met?

Untapped or not fully utilized forest resources are available in North America, in the USSR, and in the tropics, and major expansions of the imports to deficit countries will have to come from these areas. It may be expected that the annual trade flow in 1975 will have increased by 20–30 million m³ of coniferous sawlogs (or the sawn equivalent) and 35–50 million m³ of pulpwood (or the pulp or paper equivalent); further, up to 15–20 million m³ of tropical timbers may be marketed, above the 1962 level, if the producers are able to cope with this.

A continuation of the gradual decline in the percentage of fuelwood is expected. However, I do not believe that this transfer of fuelwood to industrial use will take a precipitous character. The high proportions of fuelwood to total wood production are found in Africa (88%), Latin America (85%) and the Far East (78%), while Europe stands at 32%; these figures are from 1962. This proportion for Europe is expected to fall to about 24% in 1975. There is, of course, a multitude of additional details to this. My purpose in mentioning these figures is to point out that, beyond possible transfers from the fuelwood sector, the demand for industrial wood will be rising considerably in the time to come.

A problem of importance in a number of countries is that over-population and/or climatic factors have led to such a pressure on good land that little or nothing can be set aside for the production of wood. Although some marginal lands may be available and afforestation can, of course, be an important issue for the purpose of land and water conservation, it may be difficult to achieve soon even a modest supply particularly of industrial wood. The problem is then: Will it be possible to develop international trade to such an extent as to enable countries to cover their requirements by

imports from wood surplus areas? This would mean a considerable drain on the limited supply of foreign exchange in these countries, often badly needed for many other purposes.

Under these circumstances, it is likely that serious attempts will be made in order to expand indigenous production of wood, despite adverse conditions and high costs. Perhaps one day fertilizers will play a particular role in this connection; at the present time, however, it would hardly be opportune to speak of a major use of fertilizers for trees in countries where the population suffers from hunger or malnutrition.

The situation in *Europe* (excluding the USSR) is of closer interest to your meeting here, and you will be interested in the following figures which refer to industrial wood, i. e. excluding fuelwood:

	1961	1975 (forecast)
Consumption (wood raw-material equivalent)	259 million m ³	376 million m ³
Production (roundwood plus usable processing residues)	238 million m ³	297 million m ³
Deficit	21 million m ³	79 million m ³

Thus, it is expected that in the 14 years consumption will increase by 117 million m³, that 59 million will be supplied by further domestic production, including improved use of residues, and 58 by imports. The trade balance, which in 1950 was the roundwood equivalent of 4 million m³ of export, had by 1961 become a deficit of 21 million m³ and is foreseen to grow to 79 million m³ by 1975 (in 1965 it had in fact already grown to 36 million m³).

European domestic production of industrial roundwood increased from 1950 to 1961 by about 50 million m³ and in the next years to 1965 by another 15 million m³ and is estimated to grow by a further 30 million m³ in the next 10 years.

It has been said that forestry in Europe is diseased economically at present. Time does not allow me to go into any details on this important point. The apparent problem is the growing tension between the prices of primary wood-based products and their production costs. This is a somewhat surprising problem in a region with a growing wood deficit. The basic reason for the present situation can, however, be found just in this growing deficit. From a region with a slight surplus of wood, Europe has become a considerable net importer, and this means that prices of wood-based products are now strongly influenced by overseas markets. The consequence seems to be that in a number of European countries the traditional, somewhat conservative and static approach to forest management must be replaced by a more flexible, progressive type of management.

Maybe it is worth-while to say a few words about what is involved in this new approach to forest management. The matter has been discussed at length at various meetings, particularly in the sessions of the *European Forestry Commission of FAO* and its Working Party set up for this purpose.

Allowable cut will have to be raised to make full use of available increment. Since the past caution in prescribing allowable cut stems in part from uncertainties about the exact increment and age distribution, these should henceforth be determined with greater precision. Some rotations will have to be shortened to a period that will suffice to produce the smaller logs appropriate to a growing part of current and future needs. More intensive thinning can make available for use much of the small-

sized wood that is now lost through suppression during the course of the natural maturing of the forest. Improved extraction techniques will reduce wastage in the forests and improved processing methods and industrial integration will allow for fullest use of the raw-material available. Plantations of trees have to be extended, firstly within the existing forest area and, secondly, to new land released by agriculture or otherwise available, using, wherever possible, fast-growing species and improved strains. Fertilizing may well become an important issue within this new approach.

A word of caution seems, however, appropriate. There are considerable areas of land in Europe, now unused or marginal, which technically could be used for additional wood production. In many countries major efforts are being made to extend production activities to such areas, in addition to intensifying production in the existing forests. But what will be the cost of such an extension and intensification? The economy of such endeavours must apparently be kept under constant review. If this is not done, the danger exists that the cost/price dilemma, instead of being remedied, will be worsened.

What is said here about Europe has indeed parallels in certain other regions or countries in the world, but it would bring me too far if I discussed them in any detail. I would only point out that particularly Japan is a country where a wood deficit is growing fast and where, correspondingly, forest fertilization is becoming a major issue.

2. Fertilization

It will be evident from what I have said that European forestry will have to take steps to further increase and rationalize production, in order to meet the demand for its products and to improve its profitability. There are many ways which may be followed. Some of these are in the field of administration and general management, others have to do with a more complete use of the areas available, others again are in the broad field of silviculture, including forest protection. In silviculture, particular mention should be made of the choice of species and provenances in regeneration operations, fuller utilization of modern achievements in forest genetics and tree improvement, and of the need for more attention to the economics of establishment techniques, tending operations and rotation.

One of the ways that hold promise under many conditions – and the one with which we are concerned at this meeting – is to improve growth by improving the fertility of the site, and more specifically by the application of commercial fertilizers.

I am not, of course, talking about the use of fertilizers in permanent forest nurseries, seed orchards or the like, or for tree establishment on special sites. What I am referring to is the use of commercial fertilizers on a broader scale in productive forestry. The *Forestry and Forest Industries Division of FAO* has long been interested in this question, and we have in mind to organize an international technical meeting on the subject, in co-operation with the *International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO)*. The purpose of such a meeting would be to get closer to an assessment of the effects of fertilization, in terms of increment and profitability, under a variety of site and stand conditions. Ultimately, we would like to be in a position to give correct advice to forest managers on fertilization in any specific situation, but this, of course, is an ideal which can be aimed at but not easily reached.

The interest generally in forest fertilization has increased during the post-war decades at a remarkable rate. The bibliography on the subject by *White and Leaf* published by Syracuse University in 1957 listed 700 references; the number would now be two thousand or more. Other bibliographies or reviews are those by *Stoeckeler and Arneman* (1960), *Tamm* (1964), *Swan* (1965), *Mustanoja and Leaf* (1965). Several books have been published, meetings held, innumerable experiments laid out, and reporting services organized (such as the *Clearing House for Forest Fertilization Research* operating in the USA). Just in this year of 1967, there has been the Symposium at the University of Florida, the publication of the work by *Baule and Fricker*, and the meeting which we are now attending.

At the root of this interest are not only the gradually appearing results of research work, but also some broader or more basic considerations. First, land of high quality for forest production is not abundant, and land abandoned by agriculture is frequently low in plant nutrients; second, induced increase of growth may substitute for additional use of land or for transportation costs, respectively; third, the investments being made in improved strains of trees may logically lead to site improvements in order to realize full benefits from the genetic potential of such strains; fourth, the areas of organic soils – peat or muck – within the forest lands especially in the northern temperate zone are very large indeed, and these soils, with suitable water management are generally inviting for amelioration; fifth, traditional silvicultural practices tending to maximize the detritus may not in perpetuity be able to maintain the site quality, particularly in soils of low native fertility.

It is considerations of this kind, together with those set out in the first part of this paper, which point to a broader use of fertilizers in productive forestry. The papers to be presented in the course of this Colloquium will deal in detail with the various aspects of forest fertilization, and with the work done and the results obtained. I hope that this will include some information on the economic profitability of the operations.

In 1950, *O. Tamm* said about forest fertilization that «such measures for economic reasons fall outside the scope of modern Swedish silviculture». And ten years ago, *S. O. Heiberg* said in the introduction to the Syracuse bibliography: «We may therefore say that, as yet, fertilization of forest trees has not reached practice». As we shall hear from the following speakers, forest fertilization has today reached practice, and it has conquered a firm place at least in modern Scandinavian silviculture.

Forest fertilization for wood production can no longer be ignored; it has come to stay. What we urgently need now are the resources necessary to continue development of guiding principles for the practice on a global scale.

Summary

The FAO Trends Studies indicate that world wood requirements will continue to rise in the next few decades, and that for Europe the balance of production and consumption which was positive in 1950 by 4 million m³ will change to a deficit of 79 million m³ by 1975. Part of this will be met by increased imports, but domestic production and utilization will also have to be improved. One of the several possible ways is to improve growth by improving the fertility of the site through the use of commercial fertilizers. The interest in this subject has increased remarkably during the post-war decades, stimulated by research results and by considerations related to the present and potential productivity of forest lands and to future demand for forest products. More information is needed on the circumstances under which fertilization is a paying proposition, but it has already today conquered a place among silvicultural practices in several countries. Resources are needed for development of guiding principles on a global scale.

The Importance of the Forest and Wood for the Finnish Economy

Prof. P. RIIHINEN, Head of the Department of Social Economics of Forestry, Faculty of
Agriculture and Forestry, University of Helsinki/Finland

1. Proportion of forestry to national product

It is customary to measure the importance of an industry for the national economy in several different ways. Some of these measurements have arisen from the need to fragment the national economy into more or less coherent entities for the purpose of national accounting. On the other hand, there is a need for other sorts of macro-economic units. Thus the group of industries to which forestry belongs is called the forest and timber economy. It consists of timber growing, harvesting, short – and long-distance transport, the forest industries, transport of forest products, and consumption. Of these, timber growing, harvesting and short-distance transport make up forestry in terms of national accounting.

The importance to the national economy of forestry thus defined is sometimes measured by its proportion to total production. Thus, at present, less than 8% of total production in Finland is accounted for by forestry. This may give such an erroneous impression that the significance of forestry is confined to stumpage revenue and wages. In a society undergoing an industrial expansion it is obvious that the share of the primary industries, and thus of forestry, in the national product decreases. This, too, should not be interpreted so that the importance of forestry for the national economy decreases in direct proportion.

2. Other indices of the importance of forestry

Each industry has its special rôle in the national economy, but it would be misleading to argue that one industry is more important than another. Thus, for example, agriculture, despite its low productivity, produces food without which it would be difficult to manage, and employs a decreasing number of people as social change takes place. The relative importance of forestry is not great in that it satisfies the national needs for forest products but in that it makes a large export industry possible. Exports as such have no decisive significance for the national economy. Their significance is chiefly in that they make imports possible and involve Finland in the international division of labour. According to the present theory of international trade, neither the surplus of exports nor of imports is decisive from the standpoint of the gains from foreign trade and of how national income, employment and international payments are balanced. The volume of exchange within certain limits is of crucial importance. And the volume of exchange, in turn, depends on how much (in absolute terms) a country is able to export and on how much (in relative terms) it must import foreign raw-material and/or capital inputs just to maintain a given export production. Moreover, it is important how much a certain industry is able to replace imports and exports that are seriously limited by, say, raw-material.

The absolute possibilities for exports depend in the main on the resources available in the national economy, the economic policy chosen in developing them, and market outlets. The raw-material resources in Finland are both in quantity and value considerably smaller than those in countries with oil, coal and plenty of valuable mineral deposits. The principal raw-material for industry in Finland is wood. Unlike many other raw-materials, forests as a source for raw-material have the advantage of being renewable, and the time in which they are renewed can be shortened.

At a certain stage of economic growth, as in the 1960s in Finland, a significant factor in growth policy is the so-called propensity to import production inputs. This refers to the ratio indicating how many output units of an exporting industry can be exported per each imported input unit (either capital or raw-material). In the forest industries this ratio is 20:1, in the metal industry 3:1, and in all other industries, on the average, 4:1. Since, in the forest industries, only one foreign input unit is required per 20 exported output units, the exports of forest products lend themselves to reducing the pressure on the balance of payments and to creating possibilities for imports of input units required by the other industries [Riihinen, 1963]. The expansion of the metal industry, which is probably the most promising in ensuring employment opportunities, and the maintenance of its exports in the near future suggest an acquisition of currency incomes from exports with a more favorable propensity to import production inputs. The continuity or repetition of balance-of-payments problems in Finland is subject to intelligent guesses. It seems at the moment, however, that even a rather quick recovery is possible. The forecast of the Economic Council in fact has come true. But it has also proved that the metal industry has difficulty occupying market outlets in such solvent countries as do not assume long-term credit with a low rate of interest from the exporting country, which is detrimental to the balance of payments.

Since, according to this reasoning, exports would seem to be of utmost importance for economic growth, the recent expansion of the forest industries has been considered desirable by, for example, the *Economic Council*. At the same time, this problem may have attracted too much attention as a presumably objective motive for political income transfers.

3. Expansion of the forest industries and sustained yield

Increases in the capacity of the forest industries mainly relate to the pulp and paper industries. Thus, in 1955–1967, the pulp industry as a whole increased about 130%, the bulk of the expansion taking place in the sulfate and semi-pulp industry. This expansion has been in public discussion motivated by the balance of payments which is the bottle neck in the economic growth policy. And together with this expansion it has been suggested that this industry be furnished with raw-material without prejudicing the growing stock in the long term. In other words the principle has been tacitly accepted that sustained-yield forestry must be practised in this country, and the raw-material basis must be provided to a similar extent for the forest industries as required by the balance-of-payments problem in the 1960s.

The wisdom of the principle of sustained yield in this connection can hardly be evaluated. Even so it comprises the very core of the problem of financing forestry with public funds: What will be the 'value' of the forests established by public capi-

tal for the Finnish economy in about 2020, by which time, despite expanded fellings, a new growing stock of the 1960 level (about 1100 million m³, without bark) will be established by vigorous measures? This program would imply that fully stocked stands approaching maturity be heavily fertilized and, from 1975 on, almost 1 million hectares par year.

4. Conclusions drawn from the balance-of-payments problem

From the standpoint of the national economy, vigorous forestry measures may, on the basis of the above reasoning, be advocated as a result of the problem of balance of payments. The question can now be raised whether in 2020 a similar problem is to be expected. The so-called enlarged *TEHO-Forestry Program*, which is based on the total economic program designed by the *Economic Council*, rests on the assumption that the balance-of-payments problem will be eliminated by increased exports of forest products and thus by heavy liquidation of the present growing stock. At the same time, the other industries are being developed in such a way that no balance-of-payments problem will occur in the more distant future. If this assumption is maintained, as the *Economic Council* and the authors of the enlarged *TEHO-Program* apparently presume, the «value» of the growing stock to be established by the above-mentioned program for the national economy in 2020 may not be so great as the value of the present growing stock for the present national economy. It is, however, difficult to infer by how much the forest industries could be curtailed before 2020 without causing a new balance-of-payments problem.

The expansion of the forest industries as a means of solving the balance-of-payments problem is defensible in so far as the national economic growth goal, with restrictions on the distribution of income and on employment, is acceptable. Instead, it is not clear that the opportunity cost of the enlarged *TEHO-Program* would make it preferable to some other public investments. This problem has never been investigated, and intelligent guesses about the growth of cultivated stands would not help much to ascertain even one aspect of this problem. The decision to invest public funds in forestry may thus be motivated only by adherence to the traditional principle of sustained yield, safety aspects, and value judgements concerning the desirability of income transfers, but by no means on objective, scientific grounds. Thus the question can be raised whether the expansion of certain branches of the metal industry would not replace both imports with heavy currency requirements and exports from industries with a scarcity of raw-material.

5. Markets for forest products

The possibilities of the forest industries and of forestry feeding them with raw-material to solve the current economic growth and employment problems depend in part also on prospective market outlets. In the study by *FAO/ECF European Timber Trends and Prospects* (1964), the consumption of industrial wood in Europe between 1960 and 1975 is forecasted to increase 67%. The consumption of paper and paper board is estimated to grow during the same period 140% and that of board products almost 200%. To ensure outlets for Finnish forest products it will suffice to maintain

the present share of the market in our traditional importing countries, chiefly in Western and Central Europe and in the Soviet Union. We often tend, however, to leave out of consideration especially the rapid expansion of the paper and paper-board industry in the United States and Canada. The increasing domestic consumption in these countries merits special attention. But the expansion of the pulp and paper industry in these countries has more ambitious aims that ought to be borne in mind, in particular, when attention is paid to the high raw-material cost of the Finnish pulp and paper industry.

6. Forestry and employment

Since full employment is usually connected with an economic growth goal, it is sometimes customary to measure the importance of an industry by the employment opportunities offered by this industry. Then, however, there is a danger of misinterpretation similar to that in connection with the sector income as a measure of the importance of an industry. A primary industry producing raw-materials provides in general a small amount of employment opportunities with a relatively low productivity. We ought to remember, however, that the indirect effect of forestry in creating employment is of an entirely different magnitude. Even the capital-intensive industries fed by forestry do not directly contribute to a large number of employment opportunities. Economists, however, do not customarily refer to the employment effects of an industry in this sense. The influence of forestry on both national income and employment can, at least in principle, be derived from the export income obtained from exports of forest products. When an increase in these exports brings about a multiple expansion in the national income – according to a multiplier mechanism –, the employment in different industries increases depending on their propensity to invest. Employment opportunities are offered, in the first place, by the metal industry, the chemical industry, and the service industries. These absorb labour from the rural seasonal industries with subsequent structural changes in forestry employment. The rural seasonal industries also have a push effect in that they tend to release labour for more industrial occupations as their own productivity rises.

Data on trends in the total labour input in Finnish forestry have been available since 1950. The total labour input tends to vary with changes in the volume of timber cut, but at the same time it decreases in terms of a secular trend. Hence there must have been a simultaneous steeper curtailment in the unit labour input. In other words, productivity (when measured by the ratio to labour input of volume produced) must have risen. In 1950, the total labour input in forestry and floating was 35.2 million man-days per year, whereas in 1966 it was 36.1 million man-days. By 1975 the total labour input is forecasted to diminish to 25 million man-days per year [*Heikinheimo, 1967*]. The total removal of domestic roundwood in 1950 was about 39 million m³ in 1961 about 49 million m³ and is forecasted to be 50 million m³ in 1975.

Forestry has provided employment for seasonal labour in rural districts when employment in agriculture has been at its lowest. As time goes on, forestry needs a decreasing number of workers, but it provides for these an improving standard of living.

7. Multiple-use forestry

Rising income, increased leisure and urbanization have expanded the significance of forestry beyond the scope of traditional timber growing. The need for recreation in nature has gained in importance. Forests and tourism are linked with each other. Unlike previous experience forests have alternative, overlapping or parallel uses. Sometimes people are worried that the recreational use of forests may prejudice the sufficiency of raw material for the forest industries.

This problem really exists, and it is difficult to solve it for the benefit of timber growing, artificially. Land tends to be directed to the use for which its ceiling rent is greatest. In Finland, however, there are several possibilities for selecting the recreation areas and, especially in Northern Finland, it would be desirable to consider which areas are most appropriately reserved for either timber growing or recreation or both. But this problem arises also in private forests of the southern half of Finland as soon as the forest owners realize the prospective revenues from an alternative use of forests. It has been said that attitudes should be prepared more favourable toward growing raw material for industry. The need for recreation, however, is characteristic of an industrial society. Europe is undergoing a rapid change in this respect, to which it may be more realistic to adapt than to oppose. Thus the importance of forests, in any case, increases as a basis for our welfare.

Summary

Forestry (timber growing, harvesting and short-distance transport) accounts for less than 8% of total production in Finland. The importance of forestry for the national economy, however, cannot be evaluated merely in terms of this percentage. The significance of forestry goes far beyond stumpage revenue, wages, and satisfaction of national requirements for forest products. Forestry is in a key position in the Finnish economy mainly because it provides raw-material for a large export industry. Exports, in turn, make imports possible and involve Finland in the international division of labour.

In the forest industries, only one foreign input unit is required per 20 exported output units. Hence the exports of forest products lend themselves to reducing the pressure on the balance of payments and to creating possibilities for imports of input units required by the other industries.

It seems that the balance-of-payments problem in Finland will not last long. The decision to invest public funds in forest improvements has been motivated by this problem. Since such a problem is not, according to official forecasts, likely to occur in the more distant future, public investments in private forests can only be advocated by adherence to the principle of sustained yield in the short term, safety aspects, and value judgements concerning the desirability of political income transfers.

Bibliography

FAO/ECE: European Timber Trends and Prospects. A New Appraisal 1950-1975. New York 1964.

Heikinheimo, L.: Metsätalouden tuottavuuden ja työllisyyden kehityssennusteita (Forecasts of productivity and employment in forestry). Metsätaloudellinen aikakauslehti No. 3, 75-81 (1967).

Riibinen, P.: Economic models underlying forest policy programs. An evaluation of ends and means. Reprint from *Acta Forestalia Fennica* 75 (1963).

Überblick über Grundlagen und Aussichten der forstlichen Düngung

Prof. Dr. Dr. h. c. W. WITTICH, Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Forstlichen
Fakultät, Hann.-München/Bundesrepublik Deutschland

Wandlungen der Ansichten über den Wert einer Düngung im Walde ausserhalb der Pflanzgärten

Als sich gegen Ende des vorigen Jahrhunderts die mineralische Düngung in der Landwirtschaft durchsetzte und man sich darüber klar wurde, in welchem Masse die Ernteerträge dadurch erhöht werden können, begann man auch in der Forstwirtschaft mit entsprechenden Versuchen. Die Ergebnisse erfüllten zunächst nicht die darauf gesetzten Erwartungen. *Schwappach*, der als Leiter der *Preussischen Forstlichen Versuchsanstalt* zahlreiche Versuche mit mineralischer Düngung angelegt und beobachtet hatte, vertrat 1910 die Ansicht, dass diese nach den bisherigen Erfahrungen im wesentlichen nur für die Förderung der Verjüngung und des Wachstums junger Kulturen sowie des Abbaues störender Humusauflagen in Frage käme. Das Interesse nahm stark ab, als unter dem Einfluss der Dauerwaldbewegung die Lehre verbreitet wurde, dass bei pfleglicher Behandlung des Waldes selbst auf den ärmsten Sanden ohne Nährstoffzufuhr Bestände der höchsten Ertragsklasse erwachsen könnten. Diese Angaben hielten einer Nachprüfung nicht stand. Letztere ergab im Gegenteil klare Beziehungen zwischen den Eigenschaften des Standortes, darunter vor allem auch seinem Nährstoffgehalt, und der Entwicklung des Waldes. Andererseits wusste man aber auch, dass durch unpfleghche Massnahmen, besonders durch Schädigung des Humushaushaltes, die Leistungsfähigkeit der Waldböden stark herabgesetzt werden kann. *Hesselman* hatte durch seine klassischen Untersuchungen die Bedeutung der Humusform für die Ernährung der schwedischen Wälder und ihre Verjüngungsfähigkeit aufgezeigt [5]. Später bewies er, dass selbst Altbestände, die unter dem Einfluss von extrem ungünstigem Rohhumus kümmerten, nach einer mineralischen Stickstoffdüngung starke Zuwachssteigerungen aufwiesen [6].

Auch aus anderen Ländern wurde zwischen den beiden Kriegen mehr und mehr über erfolgreiche Düngungsversuche berichtet. In Deutschland leitete *Wiedemann* [1932] eine Änderung der Ansichten über die Erfolgsaussichten einer mineralischen Düngung ein [15]. Nach kritischer Sichtung und statistischer Auswertung aller ihm zugänglichen deutschen Düngungsversuche kam er zu dem Ergebnis, dass zwar der grössere Teil erfolglos geblieben war, dass aber entgegen der bisherigen Annahme auf einer beachtlichen Zahl von Flächen eine einwandfreie Wuchssteigerung erzielt werden konnte. Von 115 Versuchen mit mineralischer Düngung hatten bei der anspruchslosen Kiefer 25 - das sind 22% - einen sicheren Erfolg aufzuweisen. Von 45 Versuchen bei Fichte waren es 22, also 49%. Die Versuche mit organischer Düngung waren noch erfolgreicher. Wenn man die damaligen Versuche auf Grund des heutigen Standes unseres Wissens kritisch überprüft, dann kann man

sich nur wundern, dass trotz der vielen Fehler, die bei der Anlage der Versuche gemacht wurden, noch ein so beträchtlicher Prozentsatz positiv ausgefallen ist. Diese Fehler waren damals unvermeidlich, da man die Grundlagen einer Düngung (Kenntnis der Böden, der Gesetze der Pflanzenernährung, der Reaktion der Düngemittel mit Boden, Pflanze und untereinander usw.) nur mangelhaft übersah.

Aus der Zusammenstellung von *Wiedemann* liess sich zunächst nur der Schluss ziehen, dass es Standorte gibt, auf denen Fichte und Kiefer durch Düngung gefördert worden sind. Dagegen konnten die alten Versuche die für die praktische Anwendung der Düngung entscheidende Frage, auf welchen Standorten ein Erfolg zu erwarten ist, nicht beantworten. Eine ursächliche Klärung der unterschiedlichen Ergebnisse war schon wegen mangelnder Kenntnis der Böden – dies liess sich nur in wenigen Fällen nachholen – nicht möglich. Heute befinden wir uns in einer wesentlich günstigeren Lage. Eine grosse Zahl neuerer Düngungsversuche, die in zahlreichen Ländern sachgemäss angelegt worden sind, hat die Möglichkeit erheblicher Zuwachsstörungen nachgewiesen. Gleichzeitig brachte die schnelle Entwicklung der forstlichen Bodenkunde eine Fülle neuer Erkenntnisse, die es ermöglichen, die Erscheinungen im Walde mehr und mehr in ihren ursächlichen Zusammenhängen zu erkennen und damit die Voraussetzungen für gezielte Eingriffe in den Boden zu schaffen. Da andererseits die ertragskundlichen Untersuchungen der letzten hundert Jahre gezeigt haben, dass die Pflege mit der Axt, die bisher im Mittelpunkt der waldbaulichen Massnahmen stand, zwar den Zuwachs des Einzelstammes und die Holzqualität zu verbessern, aber keine wesentliche Steigerung des Massenertrages zu erreichen vermag, gewinnt die Düngung im Walde mehr und mehr an Interesse. Der Waldbau scheint sich an einem entscheidenden Wendepunkt seiner Entwicklung zu befinden. Doch gibt es noch immer Forstleute und Waldbesitzer, die die Düngung als etwas Unnatürliches und Überflüssiges ablehnen. Sie sind überzeugt, dass sich die Mängel in der Leistung der Waldböden allein durch den Übergang zur natürlichen Waldbestockung oder zum mindesten durch eine Annäherung an diese beseitigen liessen. Sie glauben an die regulierende Wirkung der Natur auch auf diesem Gebiet. Dabei übersehen sie, dass die Böden zwar Naturgebilde sind, die auch bestimmten Entwicklungsgesetzen folgen, aber keine Organismen, die den für diese geltenden Gesetzen der Höherentwicklung unterworfen sind. Die Natur hat gerade in Gebieten, die der Mensch auf der Suche nach Ackerland dem Walde belass, in grosser Ausdehnung Schichten abgelagert, denen von vornherein alle Voraussetzungen für die Entwicklung eines fruchtbaren Bodens fehlten. Das kann – wie bei weit im Flussgeschiebe transportierten Quarzsanden – allgemeiner Nährstoffmangel sein, ein ungünstiges Ionenverhältnis oder irgendeine andere *schon durch die Natur des Ausgangsmaterials bedingte dauernde Schwäche des sich daraus entwickelnden Bodens*. Die Natur vermag zwar durch den Lebenskampf diejenigen Pflanzen auszuwählen, die diese Verhältnisse noch am ehesten zu ertragen vermögen, aber sie wirkt nicht regulierend auf den Boden selbst. Das kann nur der Mensch, indem er ihm das zuführt, was ihm die Natur – häufig als Spiel des Zufalls – vorenthalten hat. Wenn man glaubt, Düngung sei an reinen Nadelwald gebunden, und diese Kombination geringschätzig als «Holzplantage» bezeichnet, so ist das nicht berechtigt. Ich erinnere an das bekannte Meliorationsrevier Syke mit seinen ungewöhnlichen Erfolgen. Dort handelt es sich um Böden, die durch eine natürliche, vom Menschen völlig unbeeinflusste Entwicklung – die intensive und sehr tiefgreifende Verwitterung im letzten Interglazial – ihren Bestand an wertvollen, leicht verwitternden, Ca-rei-

chen Mineralien fast völlig verloren haben. Die Folge sind schwere Störungen der biologischen Tätigkeit. Der im vergangenen Jahr verstorbene Forstmeister Dr. h. c. *Hassenkamp* hat es verstanden, durch planmässige Ergänzung der verbrauchten Nährstoffe in Verbindung mit Bodenbearbeitung und Leguminosenanbau diesen schon durch die natürliche Entwicklung stark verarmten und durch menschliche Missgriffe weiter verschlechterten Böden einen hohen Grad von Fruchtbarkeit zurückzugeben. Auf ihnen stocken heute Bestände der ersten Ertragsklasse, deren Laubholzbeimischung anspruchsvolle Baumarten enthält, die eine besonders wertvolle, stickstoffreiche, das Bodenleben stimulierende Streu besitzen, vor der Düngung aber nicht einmal im Kümmerstadium am Leben zu erhalten waren. Wir sehen an diesem Beispiel, dass *Düngung und biologisch gesunder, leistungsfähiger Mischwald keine Gegensätze darstellen, sondern dass der letztere auf vielen Böden überhaupt erst nach einer planmässigen Verbesserung des Nährstoffhaushaltes geschaffen werden kann*. Betriebswirtschaftlich wichtig ist, dass die in Syke begründeten Bestände zur Aufrechterhaltung ihrer hohen Leistung aller Voraussicht nach keine weitere Düngung benötigen.

Die Literatur über forstliche Düngung ist sehr umfangreich. Allein in den letzten 15 Jahren sind Arbeiten von über 300 verschiedenen Autoren erschienen, die sich mit diesem Gebiet befassen. In einem Vortrag, der einen Überblick über das Gesamtgebiet geben soll, ist es verständlicherweise nicht möglich, neben der Darstellung des jetzigen Standes unseres Wissens anzugeben, wem die Erkenntnisse im einzelnen zu verdanken sind, zumal auf den wichtigsten Teilgebieten zahlreiche Forscher nebeneinander gearbeitet haben. Die Schrifttumsangabe ist deshalb und mit Rücksicht auf die Vorträge über spezielle Fragen der forstlichen Düngung auf Fälle beschränkt, wo das notwendig erschien. Im übrigen verweise ich auf das Buch von *Baule und Fricker* «Die Düngung von Waldbäumen» (Bayerischer Landwirtschaftsverlag, 1967), das demnächst auch in englischer und französischer Sprache erscheinen wird. In ihm ist die bis 1966 erschienene Literatur ziemlich vollständig enthalten.

Besonderheiten der Waldwirtschaft, die bei der Düngung zu berücksichtigen sind

Die Grundlagen der Ernährung des Waldes und die der landwirtschaftlichen Kulturgewächse weisen mancherlei Verschiedenheiten auf, die dazu zwingen, bei der Düngung im Walde häufig andere Wege als in der Landwirtschaft zu gehen. Das gleiche gilt für die betriebswirtschaftlichen Grundlagen. Mit diesen Besonderheiten der Waldwirtschaft wollen wir uns zunächst beschäftigen.

1. Humus

Er spielt im Walde eine ungleich grössere Rolle als im Ackerboden. Vor allem ist er dort wichtigste Grundlage der Stickstoffernährung. Wie stark diese im Walde auf dem Humus beruht und wie lange ein gesunder Humusvorrat diesen Nährstoff nachliefert, zeigte eine Versuchsfläche der Baden-Württembergischen Versuchsanstalt, die ich bearbeiten durfte. Unter einem Buchenbestand der ersten Ertragsklasse

mit ungestörter Streuzersetzung, also der Humusform Mull, wurde in jedem Jahr die gesamte Streu nach dem Abfall völlig entfernt. Trotzdem lag die Stickstoffaufnahme durch den Bestand – ungefähr dem Zuwachsrückgang entsprechend – in den ersten 30 Jahren nur um 11% niedriger als auf der unberührten Vergleichsfläche. (Dabei handelt es sich um das Mittel von langsam ansteigenden, in den letzten 5 Jahren 18% erreichenden Werten.) Der Bestand hatte in dieser Zeit im wesentlichen von dem Stickstoff gelebt, der durch Mineralisierung aus dem Bodenhumus frei wurde, und dabei einen progressiv zunehmenden, aber doch zunächst noch relativ geringen Rückgang seiner Zuwachsleistung erfahren. So lange reichte die «alte Kraft» dieses gesunden, mengenmässig normalen Humusvorrates aus. Bis zu einem gewissen Grade gilt das auch für die anderen Nährstoffe. Von der aufgenommenen Phosphorsäure ist oft der grössere Teil den Weg über den Humus gegangen. Für Kalk und besonders Kalium gilt das nur in wesentlich geringerem Grade, da sie stark aus der sich zersetzenden Streu und in gewissem Grade auch schon aus den grünen Blättern ausgewaschen werden. Die Stickstoffmengen des Bodens schwanken in erheblichen Grenzen. Sie hängen ab von seinem Gehalt an Humus und dessen C/N-Verhältnis. Ersterer liegt bei Mullzustand meist zwischen 100 und 200 kg/ha organischer Trockensubstanz. Davon entfallen ungefähr 2% auf in schneller Zersetzung befindliche, auf dem Mineralboden liegende Streu. Alles andere ist als sogenannter «Bodenhumus» intensiv mit diesem vermischt. Für diagnostische Zwecke ist es wertvoll, zu wissen, dass zwischen der Basensättigung des Humus und seinem C/N-Verhältnis eine relativ gute Korrelation besteht. Humus eines noch karbonathaltigen Lösses enthält etwa 2–3mal soviel Stickstoff wie Humus des gleichen Ausgangsmaterials, das seinen Karbonatgehalt bis in grössere Tiefe verloren hat. Andererseits spielt auch die Baumart eine Rolle. Wenn der N-Gehalt des Humus unter Kiefer beispielsweise 1,5% beträgt, so liegt er auf dem gleichen Standort unter Fichte meist bei etwa 1,8% und unter Buche bei ca. 2,2%. Danach ist verständlich, dass die Stickstoffmineralisierung auf demselben Boden unter Laubholz grösser ist als unter Nadelholz. Das ist in wesentlich stärkerem Masse der Fall, als es dem Unterschied im Stickstoffgehalt entspricht [16]. Folgt Nadelholz auf Laubholz, so kann man längere Zeit mit einer übernormalen Stickstoffernährung rechnen, wobei je nach Art des Laubholzes graduelle Unterschiede bestehen. Umgekehrt liegen die Verhältnisse, wenn Laub- auf Nadelholz folgt. Besonders anspruchsvolle Laubholzarten bedürfen dann längere Zeit einer N-Düngung, bis der Stickstoffgehalt des Humus eine ausreichende Höhe erreicht hat.

Wenn ein Boden mit Mullzustand lange unter dem Einfluss derselben Vegetation gestanden hat, herrscht Gleichgewicht zwischen Mineralisierung von Stickstoff und Einbau in den Bodenhumus. Letzterer stellt, im grossen betrachtet, eine gleichmässig fliessende Stickstoffquelle dar. Im kleinen schwankt die Ergiebigkeit dieser Quelle entsprechend dem Verlauf der Witterung und der davon abhängigen Tätigkeit der Bodenorganismen. Die Bedeutung dieser Schwankungen beruht darauf, dass sie dem wechselnden Bedarf der Waldbäume angepasst sind. Bei warmer und feuchter Witterung, wenn diese viel Nährstoffe benötigen, sind auch die mineralisierend wirkenden Mikroorganismen sehr tätig. Bei Kälte oder Trockenheit ist auch die Nachlieferung gering. Dies ist der ideale Zustand. Soweit das möglich ist, sollte man die leicht löslichen Nährstoffe bei der Düngung in den natürlichen Kreislauf über Streu und Humus leiten. Dadurch wird auch eine nachhaltigere Wirkung der Düngung erreicht. Diese ist grundsätzlich anzustreben, da man im Walde aus be-

triebswirtschaftlichen Gründen keine regelmässige Düngung wie in der Landwirtschaft durchführen kann. Nach der Düngung von Beständen, die unter Nährstoffmangel leiden, nimmt nicht nur die jährlich zum Boden gelangende Streumenge zu, sondern auch ihr Nährstoffgehalt.

Die Anpassung der Nährstoffnachlieferung an die witterungsmässig bedingten Schwankungen im Bedarf der Bäume gilt auch für Rohhumus. Dagegen stellt dieser im Gegensatz zu Mull eine im grossen sehr unregelmässig fliessende Nährstoffquelle dar. Durch die geringe Leistung der Bodenorganismen infolge ungünstiger Lebensbedingungen sammelt sich im Laufe der Bestandesentwicklung der Arbeitsrückstand in Form einer allmählich anwachsenden Rohhumusdecke an. Die Nährstoffe, die in ihr festgelegt sind, werden dem Bestand gerade dann vorenthalten, wenn er sie am nötigsten hat. Auf der Schlagfläche mit ihrer meist unerwünscht starken biologischen Tätigkeit werden sie in kurzer Zeit mineralisiert, ohne dass ein Bestand vorhanden ist, der die grossen, dabei frei werdenden Nährstoffmengen ausnützen könnte. Hier kommt es darauf an, die Rohhumusdecke durch geeignete Düngungsmassnahmen schon einige Jahrzehnte vor der Verjüngung des Bestandes biologisch zu aktivieren, so dass die verstärkte Mineralisierung als Mehrzuwachs aufgefangen werden kann.

Eine gewisse Anreicherung mit Stickstoff ist auch bei Rohhumusdecken möglich. Das kann auf dem Wege über die Streu oder das Eiweiss der Bodenorganismen erfolgen. Bei sehr ungünstigem Rohhumus mit starker relativer Anreicherung der schwer angreifbaren Ligninbruchstücke kann dieser Einbau auch abiotisch erfolgen durch Autoxydation der Sechseringe bei schwach alkalischer Reaktion [19]. In gekalkten Böden findet sich diese – auch bei im ganzen tieferen pH-Werten – in der Umgebung der Kalzitkörnern.

Die Stickstoffnachlieferung aus dem gesunden Humusvorrat der oben erwähnten streugenutzten Versuchsfläche hielt sich 30 Jahre lang auf beachtlicher Höhe. In dieser Zeit war, wie der Vergleich mit der geschonten Fläche ergab, fast nur der wertvolle α -Amino-N geschwunden. Wird die Streunutzung nach diesem Stadium noch länger durchgeführt, so nimmt die Stickstoffnachlieferung rapide ab, bis es zu ihrem fast völligen Zusammenbruch kommt. Dies ist weniger die Folge eines absolut niedrigen Gehaltes des Bodens an Stickstoff als der einseitigen Verarmung an den leicht angreifbaren, für die Stickstoffernährung wichtigen Verbindungen bzw. der relativen Anreicherung des schwer angreifbaren Stickstoffs. Schwinden des Bodenumus um 40% bedeutet deshalb nicht etwa einen Rückgang der Nachlieferung auf 60% der normalen, sondern auf einen Betrag, der sich meist in der Grössenordnung von 5 bis 10% bewegt. Hier findet man oft nur noch elende Krüppelbestände, die nicht ahnen lassen, dass auf diesem Boden frohwüchsige Bestände gestockt haben. Ein solcher an Humus verarmter Boden ist in dieser Hinsicht sehr viel ungünstiger zu beurteilen als ein junger Boden mit gleichem oder sogar noch geringerem Gehalt, der sich im Stadium des Neuaufbaus von Humus befindet. Beschränkt man sich darauf, bei einem in dieser Art an Humus verarmten Boden die Streunutzung einzustellen, so sind auch nach hundert Jahren die Wuchsstörungen noch nicht beseitigt. Mit dem Stickstoffmangel sind zahlreiche sekundäre Veränderungen des Bodenzustandes verbunden (chemotropistisch bedingtes flaches Wurzelwachstum, Verschlechterung des Wasserhaushaltes, Fehlen der selbstauflockern- den Kräfte des Bodens durch Rückgang der biologischen Tätigkeit u. a.). Entscheidender Schwachpunkt, an dem alle Meliorationsmassnahmen anzusetzen haben,

aber ist der N-Mangel. Seit wir ihn kennen, lassen sich die Wuchsstörungen fast schlagartig beseitigen. Die Verhältnisse sind ähnlich wie in ausgetragenen Ackerböden, die mit dem Schwinden ihres Humus die «alte Kraft» verloren haben. Was sie an Stickstoff und anderen Nährstoffen benötigen, muss ihnen, da die natürliche Quelle dafür nur spärlich fließt, durch Düngung zugeführt werden. Im Prinzip genau so müssen wir im Walde vorgehen, nur muss gleichzeitig dafür gesorgt werden, dass der natürliche Kreislauf über die organische Substanz wiederhergestellt wird. Dafür eignet sich der Mitanbau von bodenpfleglichen Baumarten, Sträuchern und sonstigen Pflanzen mit N-reicher Streu, die grosse Stickstoffmengen in organische Form zu überführen vermögen. Besonders bewährt hat sich der Mitanbau von Stickstoffsammlern (Dauerlupine, Ginster, Erle, Robinie). Die dabei fast überall notwendige oder zum mindesten zweckmässige Düngung mit Phosphorsäure, Kalium und Kalk hat hier in erster Linie die Aufgabe, günstige Bedingungen für die Entwicklung dieser Pflanzen und die Bindung von Stickstoff durch ihre Symbionten zu schaffen. Je länger dieser Mitanbau durchgeführt werden kann und je mehr es dabei gelingt, die Restitution der ausgekämmten Humusreste durch Einbau von Eiweiss-Stickstoff zu erreichen, desto nachhaltiger ist die Wirkung. Wo der Anbau von Stickstoffsammlern nicht möglich ist, kann man dasselbe durch eine mehrere Jahre lang durchgeführte Düngung mit mineralischem Stickstoff (möglichst mit gleichzeitigem Anbau von Pflanzen mit hohem N-Bedarf) erreichen. Wir sehen an diesem Beispiel, *wie wichtig es sein kann, die mineralische Düngung im Walde planmässig durch geeignete waldbaulich-biologische Massnahmen zu ergänzen.*

2. Nährstoffentzug und Aufschliessungsvermögen der Waldbäume

Der weitaus grösste Teil der von den Waldbäumen aufgenommenen Nährstoffe wird dem Boden durch die Streu zurückgegeben. Der «Entzug» ist also gering. Nur bei sehr anspruchsvollen Arten kommt er dem durch Feldfrüchte nahe. Es ist aber nicht berechtigt, wenn man dies als Argument für die Behauptung vorbringt, dass eine Düngung im Walde – abgesehen von Pflanzgärten mit ihrem hohen Entzug, wo sie seit langem üblich ist – nicht erforderlich sei. Nach *Hartmann*, Wien, erfolgt unter der natürlichen Waldbestockung eine allmähliche Nährstoffanreicherung armer Böden [3]. Diese Annahme trifft nicht zu. Die extreme Erschöpfung der Böden, die im letzten Interglazial nur dem Einfluss der natürlichen Vegetation unterlegen haben, wurde schon erwähnt. Ähnlich konnten wir durch Vergleich ursprünglich homogener jungdiluvialer Schichten, in denen die Verwitterung zu verschiedener Zeit begonnen hat, den Nährstoffverlust quantitativ ermitteln. Er erwies sich als hoch. Vor allem gilt das für Lockersedimente, in denen die Mineralien dem Angriff des Wasserstoffs bis in grosse Tiefe zugänglich sind. Hierauf beruht die – gemessen am Gesamtgehalt an Nährstoffen – ungewöhnlich hohe laufende Abspaltung von Ionen aus dem Kristallgitter. Die Folge ist bei genügend tiefer Durchwurzelung eine vergleichsweise hohe Ertragsleistung, aber auch eine – wenn man in Jahrtausenden denkt – ungewöhnlich schnelle selektive Erschöpfung. Der relativ geringe Nährstoffentzug durch die üblichen Wirtschaftsbaumarten hat nur die Wirkung, dass das Verhältnis zwischen den meist stark überwiegenden H- und Al-Ionen einerseits und den Nährstoffionen andererseits in Bodenlösung und Sorptionskomplexen etwas zugunsten der letzteren verschoben wird. Die Richtung der Ent-

wicklung (selektiver Verbrauch der Mineralien) ändert sich nicht, nur das Tempo, in dem diese fortschreitet, wird dadurch etwas verlangsamt. Abgestoppt werden kann der Verarmungsprozess nur durch Düngung. Letztere sollte aus betriebswirtschaftlichen Gründen so erfolgen, dass die optimale Ionenkonzentration möglichst lange erhalten bleibt. Bei Phosphorsäure, Kalk und Magnesium macht eine Bevorratung keine Schwierigkeiten. Die Nachhaltigkeit der Stickstoffnachlieferung lässt sich auf dem Wege über die organische Substanz erreichen. Für Kalium wäre, besonders bei Sandböden, die Entwicklung eines Düngemittels mit Depotwirkung für die Verwendung im Walde erwünscht.

Für den Nährstoffhaushalt des Waldes wichtig ist die Tatsache, dass die meisten Wirtschaftsbaumarten ein im Durchschnitt wesentlich höheres Aufschliessungsvermögen besitzen als die landwirtschaftlichen Kulturgewächse. Doch bestehen zwischen den Arten grosse Unterschiede. Ein Versuch im Forstamt Syke mit 18 verschiedenen Baumarten auf Flotssand [18] zeigte klar, dass das Versagen der anspruchsvollen Baumarten nichts mit der Menge der benötigten Nährstoffe zu tun hat – in dieser Hinsicht sind die Unterschiede gegenüber den anspruchslosen Arten dank der Rückgabe durch die Streu nicht gross –, sondern eine Folge des geringen Aufnahmevermögens ist. Bei den weniger anspruchsvollen Baumarten, die sich durch Selektion den armen Böden angepasst haben, ist das Aufnahmevermögen ungleich grösser. Die Mykorrhizen spielen bei der Aufschliessung eine wichtige, aber nicht die alleinige Rolle. Ihre Entwicklung unter dem Einfluss der Düngung muss beachtet werden. Die Ansicht, dass sie dadurch gestört werde, ist unrichtig. Sie kann je nach der Humusform und der Art der Düngung sowohl geschädigt als auch – wie bei dem Syker Baumartenversuch – gefördert werden [10].

Grundlagen für den Aufbau einer Waldernährungslehre

Voraussetzung für erfolgreiche Düngung ist neben einem ausreichenden pflanzenphysiologischen Grundwissen die Kenntnis des Nährstoffhaushaltes der Böden und der Ansprüche, die die einzelnen Baumarten an diesen stellen. Ausserdem müssen wir wissen, was die in Frage kommenden Arten auf dem betreffenden Standort leisten und was sie leisten werden, wenn die Nährstoffversorgung optimal gestaltet wird. Wir müssen also den A-Wert des Ertragsgesetzes von *Mitscherlich* kennen. Liegt dieser tief, weil sonstige Schwächen des Standortes (ungenügende Wärme, ungünstiger Wasserhaushalt usw.) die Leistung stark einschränken, so kann von einer Düngung keine nennenswerte Zuwachssteigerung erwartet werden. Ausserdem müssen wir wissen, wie weit die Versorgung mit den einzelnen Nährstoffen unter dem Optimum liegt, damit diese entsprechend dem Mangel unter Berücksichtigung schädlicher Disharmonien im Ionenverhältnis zugeführt werden können. Das ist in der Theorie sehr einfach. Für die Realisierung in der Praxis aber fehlen noch viele Grundlagen. Dazu gehört auch eine genügende Kenntnis der Waldböden. Zweifellos hat sich in den letzten Jahrzehnten unser Wissen auf diesem Gebiet erheblich verbessert. Wir haben gelernt, die Böden nicht mehr als zufällige Konstellationen von zahlreichen Einzeleigenschaften anzusehen, sondern als natürlich gewordene Ganzheiten, deren Einzeleigenschaften entsprechend den Gesetzen der Bodendynamik in bestimmter Weise aneinandergekoppelt sind. Man hat charakteristische Grundtypen der verschiedensten Art herausgegriffen und ihre Eigenart

bezüglich Genetik, Eigenschaften und Ertragsfähigkeit untersucht. Diese genetisch fundierten Grundtypen können wir an den Profilvermerkmalen wiedererkennen und so ein gewisses, auf Erfahrung beruhendes Urteil darüber abgeben, was die verschiedenen Baumarten auf ihnen leisten. Wir kommen aber in Verlegenheit, wenn wir angeben sollen, in welchem Grade die einzelnen Nährstoffe an dieser Leistung beteiligt sind. Wir wissen zwar seit langem, dass Pappel, Esche und Ulme Arten mit hohen Ansprüchen sind, Kiefer, Fichte und jap. Lärche solche mit geringen. Man hat aber erst in neuerer Zeit mit Versuchen begonnen, zu klären, welches für jede dieser Baumarten das günstigste Ionenverhältnis ist. Immerhin haben wir heute ein Stadium erreicht, in dem in verschiedenen Ländern mit hochentwickelter Forstwirtschaft daran gearbeitet wird, das Grundlagenmaterial für den Aufbau einer speziellen Waldernährungslehre zu schaffen. Dazu gehören auch Vegetationsversuche zur Klärung der spezifischen Ansprüche der Baumarten. *Ingestad* und andere haben dabei mit Nährlösungen gearbeitet, wobei das Nährstoffverhältnis systematisch variiert wurde [7]. Mehr und mehr werden auch Vegetationsversuche in Gefäßen mit Klonen der einzelnen Baumarten durchgeführt. Wir können in beiden Fällen zwar nicht unterstellen, dass das gefundene Optimum mit dem von älteren Bäumen im Freiland genau übereinstimmt. Die Verhältnisse in der Rhizosphäre des Waldes lassen sich in Vegetationsgefäßen nicht in der erwünschten Masse herstellen. Man kann aber doch wohl damit rechnen, dass die in dieser Art ermittelten Unterschiede in den spezifischen Ansprüchen der einzelnen Baumarten auch für die Bedingungen des Freilandes Geltung haben. Wichtig ist, dass die Waldbäume, insbesondere die weniger anspruchsvollen Wirtschaftsbaumarten, imstande sind, innerhalb einer erheblichen Breite des Ionenangebotes das für sie günstigste Verhältnis in den Zellen durch ihr Selektionsvermögen zu schaffen. Es ist also nicht nötig, das Ionenverhältnis individuell auf einzelne Baumarten auszurichten. Wahrscheinlich wird es genügen, die Arten auf wenige Gruppen aufzuteilen und für jede dieser Gruppen eine Nährstoffverteilung zu wählen, bei der alle zu ihr gehörenden Baumarten imstande sind, das für sie günstigste Ionenverhältnis in der Zelle aufrecht zu erhalten. Eine solche Gruppenbildung ist aber nötig. Böden, auf denen Esche und Ulme optimale Leistungen aufweisen, sind für Kiefer und Fichte meist so wenig geeignet, dass diese kränkeln, empfindlich gegen Pilzbefall werden und häufig absterben. Die Stärke von Meliorationseingriffen darf sich deshalb nicht allein nach dem Optimum für die Bodenorganismen richten, sondern muss gleichzeitig die Ansprüche der Baumarten berücksichtigen. Auch in den Pflanzgärten versagen die anspruchslosen Nadelhölzer auf den Beeten, auf denen die anspruchsvollen Laubhölzer ihr Optimum finden. Die physiologischen Eigenschaften der beiden Baumartengruppen sind zu verschieden.

Für den Aufbau einer Waldernährungslehre sind selbstverständlich auch die jetzt in schneller Folge anfallenden Ergebnisse der allgemeinen pflanzenphysiologischen Forschung von Bedeutung. In manchen Fällen sind sie noch auf ihre Gültigkeit für Waldbäume zu überprüfen. Eine besondere Rolle spielen in der Forschung noch immer die Mykorrhiza, im Zusammenhang damit die Aufnahme organischer Stoffe durch die Waldbäume und die noch wenig durchsichtigen Verhältnisse in der Rhizosphäre des Waldbodens. Wichtig sind auch Untersuchungen über die Abhängigkeit der Photosynthese von der Nährstoffversorgung. So konnten *Keller* und *Koch* zeigen [8], dass sie bei Pappel mit zunehmendem N- und Fe-Gehalt der Blätter ansteigt. Über dieses Gebiet wird *Keller* selbst berichten. Auch die Wirkung der Dün-

gung auf die Holzqualität, eine Frage von ausserordentlicher Bedeutung, und auf die Widerstandskraft der Bäume gegen Schädlinge, über die auf dieser Tagung spezielle Vorträge gehalten werden, gehört hierher.

Düngung zur biologischen Aktivierung und Umwandlung von Rohhumus

Bei der Düngung im Walde muss unterschieden werden zwischen Massnahmen zur unmittelbaren Verbesserung des Nährstoffhaushaltes und Eingriffen, die der biologischen Aktivierung von Rohhumus gelten. Noch vor wenigen Jahren überwogen in Deutschland Massnahmen letzterer Art. Dies ist im wesentlichen psychologisch zu erklären. Forstleute und Waldbesitzer, die der Nährstoffzufuhr durch mineralische Düngung ablehnend gegenüberstanden, waren oft zu Meliorationseingriffen bereit, wenn es sich um die Beseitigung von biologischen Störungen handelte, die nach ihrer Ansicht auf unpfleghche forstliche Massnahmen zurückzuführen waren. Hierher gehörte vor allem die Umwandlung von Laub- in Nadelwald. Sie hat bekanntlich zu einer ausserordentlichen Steigerung der Massen- und Wert-erzeugung des Waldes geführt und sich in der Zeit der Holznot sehr segensreich ausgewirkt. Andererseits sind dadurch der biologische Zustand des Bodens und damit die Humusform verschlechtert worden. Man glaubte, die Mehrleistung nicht als nachhaltig ansehen zu können, wenn es nicht gelänge, der ungünstigen Entwicklung entscheidend entgegenzutreten. Extreme Vertreter lehrten sogar, dass schon die zweite Nadelholzgeneration das «Grab des Waldes» bedeute. Dem steht der Hinweis auf die natürlichen Nadelwälder und die alten Bergbaugelände Deutschlands gegenüber, wo seit mindestens 400 Jahren reine Fichtenbestände stocken, ohne dass – abgesehen von der Rohhumusbildung – nennenswerte Degradationser-scheinungen äusserlich zu erkennen sind. Sie sind sicherlich auch hier vorhanden. Nur verlaufen sie wesentlich langsamer, als im allgemeinen angenommen wird. Ausserdem lassen sie sich durch geeignete Meliorationseingriffe meist ohne hohe Kosten auch wieder beseitigen.

Heute gewinnen mehr und mehr ertragskundliche Gesichtspunkte an Gewicht. Man versucht, die Ungleichmässigkeiten in der Nährstoffnachlieferung, wie sie durch Anhäufung einer Rohhumusdecke entstehen, durch rechtzeitige biologische Aktivierung im Bestandesstadium und Annäherung an die Humusform Mull zu beseitigen. Früher glaubte man, dies allein durch Kalkdüngung erreichen zu können. Ihre Wirkung auf den Zuwachs war aber ungleichmässig. Sie blieb vor allem dort aus, wo der Rohhumus sehr stickstoffarm war. Wegen der Korrelation zwischen Basensättigung und N-Gehalt des Humus war dieser Fall nicht selten. Heute gibt man deshalb meist zusätzlich Stickstoff und, wo Phosphorsäure und Kalium fehlen, auch diese. Es handelt sich ja nicht nur um eine Entsäuerung des Bodens, sondern die in ihm tätigen Organismen, deren Entwicklung gefördert werden soll, haben auch einen grossen Bedarf an den genannten Nährstoffen. Bei sehr ungünstigen Rohhumusdecken mit starker relativer Anreicherung von Ligninbruchstücken, wie sie besonders unter Kiefer häufig sind, kann eine zu starke Kalkdüngung, die schwach alkalische Reaktion schafft, durch Autoxydation der Ligninreste zum heterozyklischen Einbau von Ammoniak-N und dadurch zu einem geringeren Angebot an Ammonium-Ionen führen. Dies wirkt sich oft länger aus als eine durch zu weites C/N-Verhältnis bedingte, vorübergehende biologische Stickstoffsperre.

Die Eingriffe zur biologischen Aktivierung von Rohhumus und die Düngungsmassnahmen zur unmittelbaren Verbesserung des Nährstoffhaushaltes überschneiden sich in ihrer Wirkung. Die Umformung des Rohhumus beeinflusst durch die damit verbundene Mineralisierung auch die Ernährung der Bäume. Umgekehrt wirkt sich jede Düngung zur Verbesserung der Nährstoffversorgung in ungleich stärkerem Masse als in der Landwirtschaft auf das Fliessen der auf dem Humus basierenden Nährstoffquelle aus. Dies erschwert die ursächliche Klärung der bei faktoriellen Mangelversuchen festgestellten Ertragsunterschiede. So können z.B. – ein besonders häufiger Fall – die durch stickstofffreie Düngung zugeführten Nährstoffe zu einer Wuchssteigerung führen, die in Wirklichkeit eine Wirkung der durch sie verstärkten Stickstoffmineralisierung ist.

Methoden zur Ermittlung der Düngebedürftigkeit

Bodenanalysen zur unmittelbaren Bestimmung der Düngebedürftigkeit von Waldböden reichen für sich allein in der Mehrzahl der Fälle heute noch nicht aus. Sie werden an Bedeutung gewinnen, wenn die Zahl charakteristischer Standorte zugenommen hat, auf denen Düngungsversuche mit richtig interpretierten Ergebnissen durchgeführt sind. An sie kann man sich anlehnen. Um den Grad der Übereinstimmung festzustellen, können Bodenanalysen nützlich sein. Sehen wir von dieser heute noch seltenen Möglichkeit ab, so ist die Wahl der im Einzelfall zweckmässigen Analysemethoden schwierig. Ich möchte auf das Beispiel der tief durchwurzelten sandigen Lockersedimente zurückgreifen. Würden wir die Versorgung solcher Böden mit den wichtigsten Nährstoffen nach ihrem Gehalt an austauschbarem K, Ca und Mg sowie an laktat- oder zitronensäurelöslichem P_2O_5 entsprechend den üblichen Grenzzahlen beurteilen, so kämen wir auch bei silikatreichen Sanden mit hervorragend wüchsigen Mischbeständen zu dem Ergebnis, dass extremer Mangel vorliegt. Der Grund für das Versagen dieser Methode ist die Armut der Sandböden an Sorptionskörpern, die austauschbare Nährstoffe festzuhalten vermögen. Trotzdem ist die Versorgung mit diesen Ionen infolge der Zugänglichkeit der Silikate gut. Der Natur dieser Böden wird man gerecht, wenn man z. B. die in der Zeiteinheit durch Hydrolyse aus dem Kristallgitter abgespaltenen Ionen unmittelbar misst. Man kann statt dessen auch bestimmte Bodeneigenschaften analytisch bestimmen, die mit dieser Abspaltung korrelativ verbunden sind. Bei den norddeutschen Diluvialsanden genügt dafür meist schon die Bestimmung des Basen-Mineralindex von *Tamm*. Bei anderen ist die gleichzeitige Bestimmung des Silikatgehaltes oder eine Bauschanalyse notwendig. Die angegebenen Methoden zur Bestimmung der Phosphorsäure versagen im Walde, weil die meisten Baumarten die Fähigkeit haben, auch nicht laktat- oder zitronensäurelösliches P_2O_5 – zum mindesten einen Teil davon – aufzuschliessen.

Einen guten Einblick in die Stärke der Stickstoffnachlieferung aus dem Humus gewährt bei richtiger Anwendung und Interpretation der Lagerversuch. Seit Hesselman ist er mit gutem Erfolg zur Bestimmung der Nettomineralisierung verwendet worden. An sich kann man aus den Ergebnissen nur den Schluss ziehen, dass die gleiche Menge Stickstoff in derselben Zeit auch im Freiland der Vegetation zur Verfügung gestellt werden würde, wenn dort vorübergehend dieselben Wärme- und Feuchtigkeitsbedingungen vorlägen. Wenn man sich dies vor Augen hält, weiss

man, welche Einschränkungen bei der Übertragung der Ergebnisse auf den ungestörten Waldboden gemacht werden müssen. Vor der Entnahme der Bodenproben vorhandene Unterschiede im Humuszustand drücken sich in den Ergebnissen stets, aber je nach den Bedingungen mehr oder minder deutlich aus. Die Übereinstimmung ist gut, wenn die Unterschiede in den Humuseigenschaften durch Faktoren bedingt waren, die sich im Lagerversuch nicht ändern (durch den Charakter der Streu oder die Basensättigung bedingte stoffliche Eigenschaften usw.). Sie ist weniger gut, wenn z. B. durch vorübergehend zu dichten Bestandesschluss mit Wärme- oder Feuchtigkeitsmangel auf einem basenreichen Boden biologische Störungen eingetreten waren.

Da die Bodenanalyse Gegenstand eines besonderen Vortrages ist, will ich keine weiteren Einzelheiten bringen. Ich möchte aber dringend davor warnen, die üblichen, in der Landwirtschaft entwickelten Routinemethoden schematisch auf Waldböden zu übertragen. Dies war häufig der Grund für falsche Düngungsmassnahmen. *Nur wer viel Erfahrung in der Beurteilung von Waldböden hat, wer gleichzeitig das Bodenprofil kennt oder wenigstens eine richtige Vorstellung von ihm hat, ist imstande, die jeweils geeignetsten Untersuchungsmethoden einzusetzen und deren Ergebnisse im Hinblick auf den Nährstoffhaushalt richtig zu interpretieren.* Für die Ernährung des Waldes wichtige Schichten können unter Umständen in einer Tiefe von mehreren Metern liegen. Hier ist nicht nur die Entnahme der Proben schwer, sondern auch die spätere Integration der aus verschiedenen Tiefen stammenden analytischen Ergebnisse.

Unter diesen Umständen drängt sich im Walde die *Pflanzenanalyse* als diagnostisches Hilfsmittel geradezu auf. Während man aus den Ergebnissen von Bodenanalysen nur indirekt und mit recht erheblichen Fehlerquellen Schlüsse auf die Menge der für die Pflanzen aufnehmbaren Nährstoffe ziehen kann, werden hier die tatsächlich aufgenommenen Nährstoffe analytisch ermittelt. Die Frage, aus welchen Bodenschichten sie entnommen wurden, ist dabei ohne Bedeutung. Meist beschränkt man sich auf die Analyse bestimmter Pflanzenteile, insbesondere der Blätter, wobei man unterstellt, dass eine Korrelation zwischen ihrem Nährstoffgehalt und der Gesamtaufnahme durch die Pflanzen besteht. Das ist nicht immer der Fall. So können z. B. Blätter bei nur mässiger Versorgung mit Stickstoff reich daran sein, weil P und K in ungenügender Menge zur Verfügung stehen und dadurch der Aufbau der gebildeten Aminosäuren zu Proteiden und ihr Abtransport nicht möglich sind. Bei einem Kaligehalt der Blätter, der weit über den üblichen Grenzwerten liegt, können, wie *Themlitz* gezeigt hat, äusserlich sichtbare Symptome für Kalimangel auftreten, wenn Antagonisten, die die Wirkung des Kaliums einschränken, in zu grosser Menge vorhanden sind. Aufgabe des Fachmanns ist es, Anomalien dieser und anderer Art, die sich aus dem komplizierten Zusammenspiel der Nährstoffe untereinander und mit dem Zuwachs ergeben, zu erkennen und bei der Diagnose zu berücksichtigen. Starre Grenzwerte, unterhalb deren mit einer Düngewirkung zu rechnen ist, gibt es also nicht. Immerhin bieten die von zahlreichen Autoren angegebenen Grenzwerte einen Anhalt. Auf weitere Einzelheiten der Blattanalyse, mit deren Anwendbarkeit sich neben vielen anderen besonders *Tamm* und Mitarbeiter beschäftigt haben, brauche ich in Anbetracht des dafür vorgesehenen speziellen Vortrages nicht einzugehen.

Wenigstens erwähnen möchte ich die äusserlich erkennbaren Symptome für starken Mangel (Chlorosen, Nekrosen, anomal entwickelte Organe) und den Zeigerwert der Bodenvegetation. Letztere lässt immer Schlüsse auf den Gesamtcharakter

eines Standorts zu, aber nur selten auf Einzelheiten seines Nährstoffhaushaltes. Eine Ausnahme macht Stickstoff, dessen Nachlieferung aus dem Humus in gleicher Weise die Versorgung der Bodenvegetation wie die der tiefwurzelnden Bäume beeinflusst. Mit N-Mangel ist besonders bei Auftreten von *Calluna*, *Vaccinium vitis idaea* und Flechten zu rechnen, vor allem wenn es sich um mineralisch kräftige Böden handelt, die bei normaler Stickstoffversorgung eine anspruchsvollere Vegetation tragen würden. Der Schluss aus dem Auftreten von nitratspeichernden Pflanzen auf Nitrifikation dürfte im allgemeinen zutreffen, obwohl *Epilobium* nach den Untersuchungen vom *Tamm* [13a] nicht auf Nitrate angewiesen ist. Der schon von Hesselman angewandte Farbttest erlaubt ein schnelles, bis zu einem gewissen Grade auch quantitatives Urteil über die Stärke der Nitratspeicherung in den Pflanzen.

Der *faktorielle Mangelversuch*, der sich in der Landwirtschaft und im Pflanzgarten bewährt hat, lässt sich in älteren Beständen nur selten in seiner klassischen Form durchführen. Meist fehlt eine genügend grosse Fläche mit annähernd gleichmässigen Bodenverhältnissen, die die Anlage einer ausreichenden Zahl von Vergleichs-parzellen erlaubt. Dazu kommen die grossen Fehlerquellen bei der Zuwachsermittlung im älteren Holz. Sie lassen sich erst bei längeren Beobachtungszeiträumen auf ein erträgliches Mass reduzieren. Diese Schwierigkeiten fallen bei Beständen im Dickungs- und frühen Stangenholzalter grösstenteils fort. Hier ist in der Regel der Wurzelraum schon annähernd der gleiche wie im Altholzstadium. Die Parzellen-grösse und damit der Flächenbedarf sind geringer. Störende Nebenwirkungen durch die Schlagflora sind nicht mehr zu befürchten. In jungen Kulturen kann diese durch die Düngung so gefördert werden, dass die negativen Wirkungen der Wurzelkonkurrenz die positiven der Nährstoffzufuhr weit übertreffen. Ein grosser Vorteil der Anlage im Dickungsalter ist die Möglichkeit, alle massenbildenden Faktoren noch unmittelbar zu ermitteln. Dadurch erhält man eine sichere und schnelle Antwort des Bestandes auf die Düngung. Besonders gross sind die Möglichkeiten für eine Interpretation, wenn die Ermittlung des jährlichen Zuwachses mit einer laufenden Analyse der Blätter und möglichst auch anderer Baumteile, die in diesem Alter noch leicht durchgeführt werden kann, verbunden wird. Zur Erweiterung unseres Wissens über die Grundlagen der Ernährung der Baumarten und der Düngung im Walde sind solche Untersuchungen, die durch wissenschaftliche Institute ganz oder zum Teil durchgeführt werden müssen, wichtig. Versuchsflächen in alten Beständen sind selbstverständlich nicht ganz zu entbehren. Auch sie sollten möglichst mit Blattanalysen kombiniert werden; denn bei der Bedeutung der Nebenwirkungen am Ergebnis faktorieller Mangelversuche im Walde lassen sich oft nur aus der spezifischen Art, in der der Nährstoffgehalt der Blätter auf die Düngung reagiert, Schlüsse auf den Anteil der einzelnen Nährstoffe am Ergebnis ziehen [12].

Auswirkungen erfolgreicher Düngung auf die Betriebsführung im Walde

Erfolgreiche Düngung bedeutet Erhöhung der Fruchtbarkeit des Bodens. Hieraus ergeben sich mancherlei Folgerungen für die Betriebsführung im Walde, von denen die wichtigsten wenigstens grob skizziert werden sollen. Wir erstreben heute in unseren Wäldern im allgemeinen neben der Steigerung der Erträge eine Erhöhung der Betriebssicherheit und in zunehmendem Masse eine Förderung der Wohlfahrtswirkungen. Dazu ist die verstärkte Einbringung bodenpfleglicher Mischholz-

arten erwünscht. Durch Düngung wird sie erleichtert und auf Standorte erweitert, die ohne Verbesserung des Nährstoffhaushaltes dafür ungeeignet sind. In Syke war es, wie eingangs erwähnt, dadurch möglich, Arten mit besonders wertvoller, stickstoffreicher Streu anzubauen, die vorher nicht einmal im Kümmerstadium am Leben zu erhalten waren. Dies bedeutet eine besonders starke Wirkung auf die Bodenorganismen, vor allem auch die wühlend wirkende Makrofauna. Biologisch untätige Böden sind immer wieder Ausgangspunkte für Insekten- und sonstige Kalamitäten gewesen. Durch Stimulation des Bodenlebens kann man ihnen – abgesehen vielleicht von sehr trockenen Standorten – bis zu einem gewissen Grade den Charakter von gesunden, schädlingsresistenten Wäldern geben. Die unmittelbare Wirkung einer Düngung auf die Schädlinge ist Gegenstand besonderer Vorträge.

Erfolgreiche Düngung bedeutet – ertragskundlich gesehen – den Übergang des Standortes in eine höhere Leistungsklasse. Die sich aus dieser Tatsache ergebenden Folgerungen für die Bestandesbehandlung hat *Assmann* klar herausgestellt [1]. Infolge Steigerung der Fruchtbarkeit des Bodens können mehr Bäume der vorhandenen Dimension auf gleicher Fläche ernährt werden. Dies kommt vor allem den mit herrschenden Stämmen zugute, die infolgedessen auf die Düngung besonders stark reagieren. Damit die Verbesserung der Ernährung voll in Holzzuwachs umgesetzt werden kann, empfiehlt es sich, den Bestand schwächer zu durchforsten, als das ohne Düngung zweckmässig ist. Die Verbreiterung des Standraums des Einzelstammes durch stärkere Durchforstung führt zur Ausbildung grösserer Kronen, die stärker transpirieren. Bei den Nadelholzarten bedeutet das Ausbildung von Tracheiden mit grösserem Leitungsquerschnitt, also von weiltumigerem Holz geringerer Qualität. Diese unerwünschte Wirkung fehlt, wenn die Jahrringe ohne Standraumerweiterung, also ohne Verstärkung der Transpiration, allein durch eine bessere Mineralstoffernährung vergrössert werden [11].

Grösste Vorsicht ist nach unseren Erfahrungen bei der Düngung von Kiefern kulturen geboten. Im Gegensatz zu den meisten Baumarten reagiert die Kiefer auf Verschlechterung der Ernährungsbedingungen (Erziehung unter Schirm oder in engem Schluss) mit einer stärkeren Abnahme des Dickenwachstums gegenüber dem Höhenzuwachs. Sie versorgt unter diesen Umständen den Höhentrieb bevorzugt mit Nährstoffen. Die dünnen Äste werden leicht abgestossen, so dass hochwertiges, astreines Holz heranwächst. Die umgekehrte Reaktion, Bevorzugung des Dicken- gegenüber dem Höhenzuwachs mit Bildung grober Äste, finden wir bei einer Verbesserung der Ernährungsbedingungen. Sehr stark in dieser Richtung wirkt, wie der Düngungsversuch von Boitzenhagen gezeigt hat, eine Verbesserung der Ernährungsbedingungen durch Düngung. Andererseits zeigte dieser Versuch aber auch mit aller Klarheit, dass die Beimischung von mitwüchsigem Laubholz, die nur nach dieser Düngung möglich war, die unerwünschte Verlagerung der Substanzerzeugung vom Höhen- auf das Dickenwachstum nicht nur verhinderte, sondern dass sich auf diesem Wege sogar eine besonders dünnastige Kiefer erziehen liess.

Die Erfolgsaussichten der Düngung im Walde nach dem heutigen Stand unseres Wissens

In den letzten Jahren konnten zahlreiche sorgfältig angelegte Düngungsversuche ausgewertet werden. Sie zeigten nicht nur, ob und wie weit die Düngung das Wachstum gefördert hat, sondern sie liessen zu einem grossen Teil auch eine ursächliche

Erklärung der Ergebnisse zu. Erst wenn diese dadurch den Charakter des Zufälligen verloren haben und man sagen kann, auf welchen Standorten mit ähnlichen Ergebnissen zu rechnen ist, sind sie für die Praxis nutzbringend zu verwenden. Je mehr dabei charakteristische Grundtypen von Standorten berücksichtigt werden, an die sich der Forstmann anlehnen kann, desto geringer wird das Risiko von Fehlschlägen. Auf Grund der neueren Untersuchungen ist der Wirkungsbereich der Düngung grösser, als man bisher angenommen hatte. Bei Beständen der ersten Ertragsklasse erschien sie sinnlos, da hier angenommen wurde, dass der A-Wert von Mitscherlich nicht weit von der tatsächlichen Leistung entfernt liege. Demgegenüber ergaben Untersuchungen von *Hausser* im östlichen Schwarzwald, dass Fichtenbestände der Leistungsklasse 13 (13 fm/ha Durchschnittsertrag in 100 Jahren) in den ersten 13 Jahren nach der Düngung einen jährlichen Mehrzuwachs von 4,6 fm aufwiesen [4]. Bei einer solchen Zuwachssteigerung spielen die Kosten der Düngung eine untergeordnete Rolle. (Die Frage der Rentabilität wird in einem besonderen Vortrag behandelt werden.) Nach *Assmann* liegt die Zuwachssteigerung bei Fichte und Kiefer unter normalen Bedingungen in Deutschland zwischen 10 und 50%.

Die grössten *prozentualen* Zuwachssteigerungen sind bei Böden erzielt worden, die durch unpflegliche menschliche Eingriffe (Streunutzung, Heideplaggen, Waldweide, Waldfeldbau) einen starken Humusschwund erlitten haben. Seit wir die dadurch hervorgerufenen Änderungen im Boden kennen, lassen sich, wie früher dargestellt, selbst extreme Wuchsstockungen in kürzester Zeit beseitigen. Ich habe unter anderem einen besonders eindrucksvollen Meliorationsversuch in dem mit Streunutzungsrechten stark belasteten bayerischen Forstamt Schnabelwaid geschildert [17]. Hier wies der 115jährige Kiefernvorbestand eine Mittelhöhe von 5 bis 6 m auf. Nach einer Grunddüngung mit P, K, Ca, die in erster Linie der zwischen den Pflanzreihen gesäten Dauerlupine galt, stand die Kultur ungefähr 10 Jahre bis zum Verschwinden im Dickungsalter unter dem Einfluss der stickstoffreichen, jährlich absterbenden Lupinenstreu. Der neu begründete Mischbestand von Lärche mit unterständiger Eiche, Buche und Linde erreichte mit 22 Jahren eine Höhe von 11 m. In dieser Zeit war eine Restitution des selektiv verarmten Resthumus erreicht worden. Ein grosser Teil der Wälder Mitteleuropas leidet noch heute unter den Nachwirkungen früherer Streunutzung, oft auch noch, wenn diese schon vor 100 Jahren eingestellt worden ist. Dies ist mit ein Grund für die weite Verbreitung [9] von Stickstoffmangel. Durch die Arbeiten von *Tamm* [13b], *Wehrmann* [14] und anderen wissen wir, dass die Assimilation entscheidend vom N-Gehalt der Blätter abhängt.

Schwere Störungen der Stickstoffernährung treten auch bei extremen Humusformen auf. Sie sind im Norden Skandinaviens unter dem Einfluss des Wärmemangels auf armen Böden weit verbreitet [5], kommen aber gelegentlich auch in Mitteleuropa vor. Hier sind ähnliche Wuchssteigerungen durch Düngung erzielt worden wie auf streugenutzten Böden. Sichere Erfolge sind meines Erachtens in den riesigen Moorgebieten Finnlands nach Regelung des Wasserstandes von einer K- und P-Düngung zu erwarten. Je mehr sich der Torf dem oligotrophen Typ, wie er unter dem Einfluss kalkarmen Wassers gebildet wurde, nähert, desto notwendiger ist eine gleichzeitige Düngung mit N, desto stärker muss diese auch sein. Durch zunehmenden Einblick in die Gesetze, welche die Bodenbildung bestimmen, erkennen wir mehr und mehr auch ohne analytische Untersuchungen die Schwächen bestimmter Böden; ebenso die durch menschliche Eingriffe hervorgerufenen Veränderungen

im Bodenzustand, die den Nährstoffhaushalt beeinflussen. Ich erinnere an die Änderungen in der Stickstoffnachlieferung, die beim Übergang von Laub- zu Nadelholz und umgekehrt eintreten. Mit ihnen kann man sicher rechnen und bei Düngungsmassnahmen darauf Rücksicht nehmen.

Ich bin überzeugt, dass der Waldbau sich an einem entscheidenden Wendepunkt seiner Entwicklung befindet und eine richtig durchgeführte Düngung mehr noch als andere Betriebsmassnahmen dazu beitragen wird, unseren Wäldern den im Sinne des Wirtschaftszieles erwünschten Aufbau zu geben. Ich hoffe, dass meine Ausführungen aber auch das Verständnis dafür gefördert haben, dass die forstliche Düngung ihre eigenen, der besonderen Natur der Waldwirtschaft angepassten Wege gehen muss. Hält man sich daran, dann wird der Wald nichts von seinem Charakter verlieren. Er wird nicht nur ertragreicher, sondern auch schöner sein.

Zusammenfassung

Der Wald befindet sich an einem Wendepunkt seiner Entwicklung. Die forstlich-bodenkundliche Forschung hat in den letzten Jahrzehnten eine Fülle neuer Erkenntnisse gebracht, die es ermöglichen, die Erscheinungen im Walde mehr und mehr in ihren ursächlichen Zusammenhängen zu sehen. Damit ist ein neuer Weg der Intensivierung der Forstwirtschaft erschlossen worden; der früher nur mit grossem Risiko gangbar war. Wir können in zunehmendem Masse bewusst regulierend in die Waldböden eingreifen und dort, wo Mangel an Nährstoffen die Ertragsleistung begrenzt, diese dem Boden zuführen. Im Gegensatz zu den meisten Düngungsversuchen, die zu Beginn dieses Jahrhunderts mit noch unzureichendem Wissen und fehlenden Erfahrungen angelegt worden sind, haben zahlreiche neuere Versuche, die unter Berücksichtigung der individuellen Schwächen der Böden sachgemäss durchgeführt wurden, die Möglichkeit erheblicher Wuchssteigerungen nachgewiesen. Ausserdem zeigten sie, dass Mängel des Nährstoffhaushaltes viel verbreiteter sind, als man früher annahm.

Die Grundlagen der Ernährung des Waldes und seiner Betriebswirtschaft weisen mancherlei Besonderheiten auf, die zwingen, bei der Düngung andere Wege zu gehen als in der Landwirtschaft. So spielt der Humus bei der Stickstoffversorgung des Waldes eine viel wichtigere Rolle. Ein gesunder Mull, der als Nährstoffquelle dem zeitlich wechselnden Bedarf der Bäume gut angepasst ist, kann, wenn seine Ergänzung aus der Streu durch menschliche Missgriffe unterbunden wird, noch lange die Leistung des Waldes durch Nachlieferung von Stickstoff auf beachtlicher Höhe halten. Andererseits ist der Wald ausserordentlich empfindlich gegen Humusschwund. Dabei tritt, progressiv fortschreitend, ein selektiver Verlust der leichter angreifbaren Stickstoffverbindungen ein. Verlust der Hälfte des Humus bedeutet infolgedessen einen Rückgang der Stickstoffnachlieferung auf einen kleinen Bruchteil der bisherigen. Dieser Zustand ist noch heute in den Wäldern Europas infolge der früher notwendigen Ausnutzung für die Zwecke der menschlichen Ernährung (Streuentnahme usw.) weit verbreitet. Die Nachwirkungen sind auch hundert Jahre nach Einstellung der Nutzung meist noch nicht beseitigt. Seit wir die Art der Veränderungen im Boden kennen, lassen sich selbst extreme Wuchsstockungen durch planmässig regulierende Eingriffe fast schlagartig beseitigen. Diese sollten aber möglichst durch geeignete waldbaulich-biologische Massnahmen ergänzt werden.

Auch die Methoden zur Ermittlung der Düngebedürftigkeit von Waldböden weichen wesentlich von den in der Landwirtschaft entwickelten Routinemethoden ab. Dies erklärt sich nicht nur durch die höhere Aufschlusskraft der Waldbäume für Nährstoffe, sondern auch durch ihre Fähigkeit, Wasser und Nährstoffe tieferer Schichten auszunutzen. So gibt es viele Böden – vor allem bei Lockersedimenten –, auf denen der Wald optimale Entwicklungsbedingungen findet, während sie, als Acker genutzt, geringwertig sind. Dies zwingt zur Verwendung anderer Untersuchungsmethoden. Sie müssen sich beweglich den verschiedenen Standorten anpassen. Die beste Interpretation von Düngungsversuchen erreicht man, wenn man sie als faktoriellen Mangelversuch anlegt und mit der Analyse der Blätter oder auch anderer Organe und mit Bodenanalysen verbindet. Dafür eignet sich vor allem das Dickungs- und Stangenholzalter, wenn die störenden Nebenwirkungen der Schlagflora fortfallen, Messungen und Entnahme von Blättern oder anderen Baumorganen aber noch leicht durchzuführen sind.

Erfolgreiche Düngung bedeutet den Übergang des Bestandes in eine höhere Leistungsklasse. Dies verlangt eine Verringerung der Durchforstungsstärke, um die anderenfalls mit der Verbreiterung der Jahrringe verbundene Verschlechterung der Holzqualität zu vermeiden. Die Verbesserung des biologischen Zustandes des Bodens und seiner Fruchtbarkeit erweitert die Möglichkeit, den Wäldern den ihnen im Sinne des Wirtschaftszieles erwünschten Charakter zu geben.

Schrifttum

1. *Assmann E.*: Düngung und Melioration von Waldbeständen in ertragskundlicher Sicht. Allg. Forstzeitschr. 16/17 (1965).
2. *Bjoerkman E.*: Über die Natur der Mykorrhizabildung. Forstw. Cbl. 75, 9/10 (1956).
3. *Hartmann F.*: Forstökologie. Georg Fromme & Co., Wien 1952.
4. *Hausser K.*: Ergebnisse von Düngungsversuchen. Allg. Forst- u. Jagdzeitung 132, 11, (1961).
5. *Hesselman H.*: Studien über die Humusdecke des Nadelwaldes. Medd. Skogsforsöksanstalt. 22, Stockholm 1926.
6. *Hesselmann H.*: ebenda 30 (1937).
7. *Ingestad T.*: Macro element nutrition in nutrient solutions. Medd. Skogsforskn. Inst. 51, Nr. 7, Stockholm 1962.
8. *Keller Th. und Koch W.*: Der Einfluss der Mineralstoffernährung auf CO₂-Gaswechsel. Mitt. d. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. 35 (1962).
9. *Laatsch W.*: Bodenfruchtbarkeit und Nadelholzanbau. BLV München 1963.
10. *Linnemann G.*: Mykorrhiza und Düngung. Allg. Forst- u. Jagdzeitung. 135, 9 (1963).
11. *Pechmann H. von.*: Die Auswirkung wiederholter Mineraldüngung auf die Holzeigenschaften. Forstw. Cbl. 81, 3/4 (1962).
12. *Seibt G. und Wittich W.*: Ergebnisse langfristiger Düngungsversuche. Schriftenreihe d. Forstl. Fakultät der Universität Göttingen 27/28. J. D. Sauerländers Verlag, Frankfurt a. M. 1965.
- 13a. *Tamm C. O.*: Physiol. Plant. 9, S. 331, Kopenhagen 1956.
- 13b. *Tamm C. O.*: Die Blattanalyse als Methode zur Ermittlung der Nährstoffversorgung des Waldes. Tagungsbericht DALB, Nr. 66, 7-15.
14. *Wehrmann J.*: Die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen in Bayern. Forstw. Cbl. 78, 5/6 (1959).
15. *Wiedemann E.*: Der gegenwärtige Stand der forstlichen Düngung. Arbeiten der DLG, H. 383 (1932).
16. *Wittich W.*: Untersuchungen über den Einfluss der Holzart auf den biologischen Zustand des Bodens. Mitt. aus Forstwirtschaft u. Forstwissenschaft. Schaper, Hannover 1933.
17. *Wittich W.*: Die Melioration streugennutzter Böden. Forstw. Cbl. 73, 7/8 (1954).
18. *Wittich W.*: Düngung humusverarmerter Waldböden. 7th Intern. Congr. of Soil Sc. IV, 49 (1960).
19. *Wittich W.*: Die Grundlagen der Stickstoffernährung des Waldes. Kap. X des Buches «Der Stickstoff». Verlag Gerhard Stalling, Oldenburg 1961.

Evolution of Forest Fertilization in Finland

Lic.K.SALONEN, Rikkihappo Oy, Helsinki/Finland

It is often said that forests are the green gold of Finland. We can agree with this because the products of the woodprocessing industry account for 70% of our total exports.

Finland is the most forested country in Europe. Of the whole land area more than 71% that is 21.74 million hectares are covered with forests. The amount of woodland per capita is 4.58 hectares which is more than in any other European country.

The abundance of peat lands is another typical feature of Finland. They account for 9.7 million hectares that is 31.9% of the whole land area. About 2 million hectares of peat lands have been drained for growing forest up till now. According to *Huikari* and *Numminen* (1964) the peat land area suitable for draining was 6 million hectares at the end of 1963 and the area of paludified firm forest lands in need of drainage was 1 million hectares. It has been estimated that fertilization would improve the growth of trees by two site quality classes on all peat lands. *Huikari* and *Numminen* are of the opinion that 2.2 million hectares of peat lands and 0.2 of paludified firm lands are such that the only method to make them produce forest is to fertilize them after drainage.

The total growth of the Finnish forests amounts to about 42 million m³ of solid measure a year. For more than ten years cutting has exceeded the growth. In fear of a decrease in the growing stock, we have during the last few years drawn up several programmes to increase the production of the forests. The latest programmes also cover forest fertilization.

The oldest known forest fertilization experiment on peat land was carried out on the Suljento swamp at Kymi in 1911 with potash and basic slag. The same year *Arvid Borg* established the first fertilization experiment on mineral soil using lime. Already 5–6 years earlier clay had been added after draining to the treeless *Torransuo* swamp at Tammela. The area is now covered by dense forest. In the 1920's and 1930's systematic fertilization experiments were carried out mainly on peat lands. Artificial fertilizers, lime and wood ash were used in these experiments. In the 1950's The Forest Research Institute started very large forest fertilization experiments all over the country both on peat lands and on mineral lands.

As a summary of the results of the fertilization experiments it can be said that in mineral forest lands the lack of nitrogen seems to most commonly limit growth. Peat lands usually lack phosphorus and potash but often also nitrogen.

On a practical scale, forest fertilization was started in our country in the beginning of the 1960's. Contrary to Sweden and Norway the emphasis in fertilization has been on the peat lands all the time. The growth of the fertilized area can be seen from Table 1.

Table 1 Evolution of forest fertilization in Finland

Year	Fertilized area in hectares			
	Private forest owners	Companies	State	Total
1961	300	500	1 200	2 000
1962	600	900	2 500	4 000
1963	1 600	1 700	3 700	7 000
1964	4 900	3 000	4 100	12 000
1965	10 200	9 000	7 800	27 000
1966	13 500	15 000	21 500	50 000

In 1966, 33 000 hectares of the fertilized area were peat lands and 17 000 hectares were mineral lands. In 1967, 80 000–100 000 hectares of forests will be fertilized. In 1966 we used 12 600 tons of PK-fertilizers in total (0–24–15 and 0–27–10) and 1500 tons of NPK-fertilizer (14–18–10) in the fertilization of peat lands. In addition to that peat lands were fertilized with rock phosphate and muriate of potash. 1200 tons of urea and 4200 tons of NPK-fertilizer (18–12–6) were used in the fertilization of mineral land.

According to the programmes, forest fertilization will considerably increase in the years to follow. As mentioned in the plan of the Board of Economy published in 1965 we should have fertilized a total of 100 000 hectares of forests by the end of 1966. This aim was achieved. It is supposed in the plan that the fertilized area should increase by 100 000 hectares a year so that already in 1975 we would fertilize 1 million hectares. After that fertilization would be annually continued by 1 million hectares. It is estimated that at this fertilization rate the growth of our forests can be increased by 12 million m³ of solid measure a year. It is, however, most obvious that in practice fertilization will not be carried out on areas as large as are supposed in the plan of the Board of Economy. A new plan, the MERA-II programme, was published in 1966. According to it, forest fertilization will increase so that 633 000 hectares will be fertilized in 1975. In the MERA-II programme attention is also paid to the financing of forest fertilization. At the moment it seems possible that the forests will be fertilized nearly in the extent put forth in the MERA-II programme.

The Evolution of Forest Fertilization in Sweden

Docent STIG HAGNER, Svenska Cellulosa Aktiebolaget, Skogsavdelningen, Sundsvall/Sweden

The oldest known forest fertilization experiment in Sweden on fresh (upland) soils was carried out in Värmland in 1907 by *H. V. Tiber*g [1, 17]. In this trial fertilization with several different fertilizing agents e.g. bone dust, Thomas phosphate and animal manure was carried out. Unfortunately *Tiber*g's experiments were not followed up with much emphasis.

In the year 1922 Professor *H. Hesselman* made several fertilization experiments on Scots pine and in 1924 he started another in Northern Sweden at Kulbäcksliden in order to test his theory, that lacking nitrogen mobilisation in the humus cover was the principal reason for the remarkable slow growth of many old spruce stands. Through this attempt, carried out with ammonium nitrate dissolved in water, *Hesselman's* correctness of theory was more than confirmed [2].

Subsequent trials have later been done but their scope widened by the use of certain mineral compound effects, by Prof. *L. G. Rommell* in Orsa Finnmark and in Northern Sweden (Kulbäcksliden) and during the last years by Prof. *C. O. Tamm* at several places in Southern and Central Sweden. Figure No. 1 shows the result of *Rommell's* attempt in an old forest at Storliden, Kulbäcksliden. Good effects have been attained here with 538 kg N per hectare, applied in small dosages during the course of three summers. But the effect of nitrogen has been reinforced through additional mineral substances in the form of phosphoric acid and wood ashes respectively [2].

The oldest known fertilization attempt on peat land in Sweden took place in 1898 at «Flahults Experimental Farm» in Småland (South Sweden). There, among other constituents lime kainite and Thomas phosphate were applied. After 17 years several of the trees had reached double the height of a man. Later at Flahult additional attempts came in 1911 and 1913 with lime and various commercial fertilizers. The experiment showed that especially phosphorus, potassium and nitrogen give palpable growth increases, also that Scots pine becomes more frost resistant [4].

Wilhelm Ålund made several simple attempts on drained peat lands at Robertsfors in Northeast Sweden in 1910 (Smedsmyren), 1918 (Södra Hällmyren) and 1926 (Norra Hällmyren). The growth increases in these trials were given by using tree ashes.

These fertilized areas are now covered with dense stands of birch with some mixing in of Scots pine and spruce. At Södra Hällmyren, however, growth decreased in about 1945 and on Norra Hällmyren the first symptoms on potassium deficiency began to diminish about 1960, thus almost 35 years after fertilization. Actually these experiments were in our country the first to show that the mineral content in the peat plays a decisive part in the obtaining of forest growth on drained moors.

Additionally ash fertilizing attempts have been carried out by, among others, Prof. *Carl Malmström* and Prof. *Rommell*. The latter tried also in the 1940s a more com-

Basal area
increment, response
Relative values

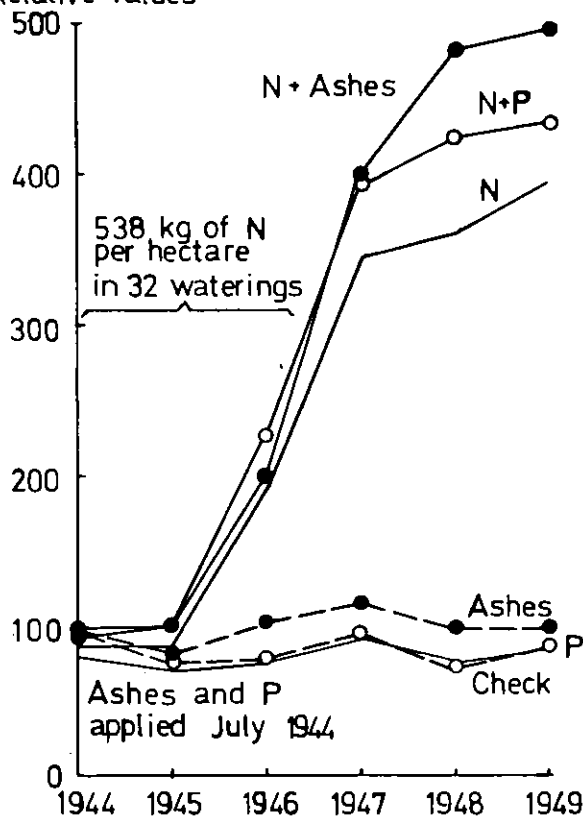


Fig. 1: Response courses according to fertilization experiments by Romell in an old forest stand in Kulbäcksliden, North-east Sweden. Nitrogen was added as a solution of ammonium-nitrate, phosphorus as phosphoric acid [2,17].

prehensive nutritional supply on peat land and also supplies of tracer elements. From these experiments among other things, the key role of phosphorus could be seen [5].

In later years tests have been carried out with mineral supplies on peat land firstly directed by *Department of Ecology at the Royal College of Forestry*. Hereby the different peat type nourishment conditions and fertilization requisites, in order to raise different lack situations, could be clearly seen [3, 6, 7].

The main center of the Swedish forest industry lies since long ago in Central and Northern Sweden. The reason for this was the great untouched forest supplies of wood that was stored in this area at the industrial breakthrough in the middle of the 1800s. In the forests saw timber was first harvested, but later on also increasing quantities of pulpwood.



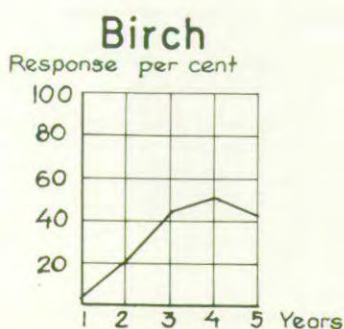
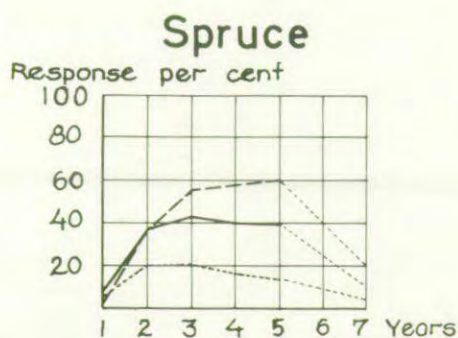
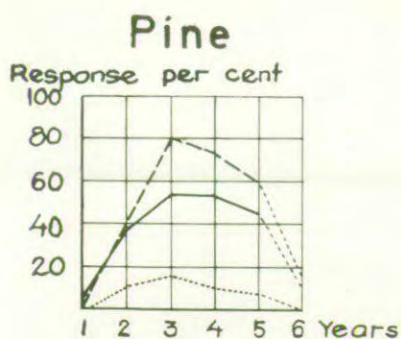
Fig. 2: Previously Piper Cub aircrafts were used, carrying 250 kg of fertilizer.

In Northern Sweden virgin forests were in sufficient supply for a long period, but at the time of the Second World War, we were confronted with the situation that the primarily exploiting form of forestry, which up to then was directed, no longer could be continued. The operational plans then had to be altered and successively we compensated to a great extent the forests which had been cut down with cultivated stands. A factor with the greatest emphasis in the new situation besides the access to loggable forest areas was the knowledge of the yearly increment by tree species, age classes and totally in the forest. In such a stage of balance between annual harvest and growth the latter namely is of great importance for calculating the cutting budget.

With the successively increased emphasis on forest industry products that arose after the Second World War – and especially during the 1950s – the interest everywhere became obvious to increase the production of already existing forest industries and to build new units. This can naturally only take place as long as accessible forest yield resources allow.

In the middle of the 1950s prognoses indicated that a shortage situation would arise concerning wood within a relatively near future, at least concerning such wood quantities that could be found at normal costs. Different alternatives to cope with this shortage situation were examined. *Svenska Cellulosa AB (SCA)*, who own considerable forest areas in Northern Sweden – approx. 2,1 million hectares – and moreover have a comprehensive industrial activity, decided to try fertilization of their own forests with growth increase as a productional alternative.

Even if at this time the knowledge about the reactional uptake for nutritional supply of the trees not altogether was missing, it was however reserved only a small



--- 120 kg N/ha ; 107 lbs. of N per acre
 — 80 — " — 71 — " —
 40 — " — 36 — " —

Fig. 3: Average course of response in basal area growth percentage. Fertilizer: Urea. *SCA* fertilization experiments.

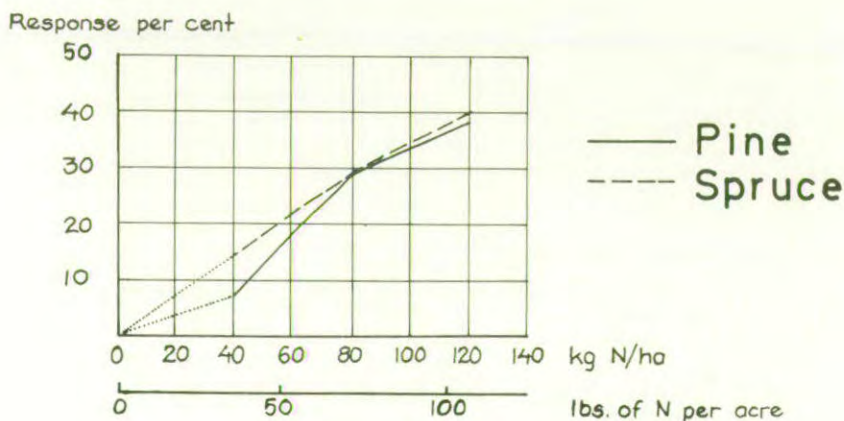


Fig. 4: Average response during seven years after treatment for the basal area percentage at various rates of nitrogen supply (Urea). *SCA* fertilization experiments.

number of scientists and despite all, relatively limited. From 1957 SCA began a comprehensive trial process, which successively became more oriented towards studying different nitrogen compounds and their growth response effect on forest trees growing on fresh (upland) sites [8, 9, 10].

At the same time as these trials were carried out development work was commenced to find suitable methods for spreading of the fertilizers. Aerial fertilization on an experimental basis was started in 1958.

During the summer of 1964 the first more comprehensive revision was undertaken concerning the 23 oldest of more than 100 trial tracts, which SCA then had at their disposal. Another important task was to create a program of action for practical forest fertilization. If the activity will be of interest and value to the forest industry, it must be given such a comprehension that palpable wood quantities could be released within a reasonable time. Ways had to be found so that the primary result of the fertilization activity—growth increase—could be clearly shown, in the form of an increased supply of wood from the own forests [11, 12, 13].

The trial results obtained showed that wood production through forest fertilization in many cases is clearly a profitable activity. Returns vary however naturally from one fertilization object to the other depending upon the prevailing situation. It is therefore important that the fertilization only gives such a comprehension, that the produced wood will not be more expensive than what can be obtained in another way, e.g. through wood purchase on the open market.

Through SCA's attempts one also finds that the type of forest, where nitrogen fertilizer gives the best results in form of extra growth, considerably differs from those which are most urgently needed for clear cutting. The fertilization activity should firstly be concentrated to middleage stands on good fresh land, thus in forests that already are in a growing, vigorous stage. The goal became then to increase the growth over vast areas through wide scale continually recurring fertilizations and in line of that growth increase, also increase logging to a corresponding degree. The extra wood quantities are taken out in stands, which wait in turn for processing. Some cause to specially direct logging operations on the fertilized stands does not therefore exist. This course of action also has the advantage of the least possible friction between fertilization activity and logging operations and planning.

This program of operation is differentiated from the goal, which earlier was set up for practical fertilization. One considered then that on the first hand old stands close to clear cutting stage should come into the question of fertilization.

Comprehension of SCA's practical forest fertilization is depicted by figure No. 5, which shows annual increases of treated areas under the first part of the 60s. The current extent of the fertilizing activity means that 15000 tons of Urea is spread over approximately 60000 hectares annually. The same area is treated every 5 years, meaning that approximately 300000 hectares of forest land will continuously be provided with extra nitrogen. In this way during a 7-year period the amount of timber yearly cut will increase to 15% over the level, which otherwise should have been reached. This means harvest of an extra wood quantity sufficient for a whole pulp mill. Annual expenditure for this fertilization program, which for the moment is carried out completely from aircraft is approximately 9 million Skr. (2 mill. \$ US).

In Sweden the fertilization activity within the forestry sector according to *Holmen* [18] has had the following extent totally;

	1962		1963		1964		1965		1966	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Forest stands on fresh (up-land sites)	4017	(84)	5996	(84)	11 500	(92)	40 208	(98)	106 131	(99)
Peat bogs	749	(16)	1102	(16)	1 021	(8)	765	(2)	906	(1)
Nurseries	432		1046		964		1 229		1 292	
Seed Orchards	30		114		155		170		(685)	
Total	5228		8258		13 640		42 372		109 014	

Even within other Swedish forest companies there has been a great interest in fertilization. After SCA the most comprehensive activity up to date is directed by *Stora Kopparbergs Bergslags AB*, where during the years 1966 and 1967 they have fertilized approximately 15 000 hectares of forest land with 3000 tons of Urea per annum.

Also the State forest have a great interest in forest nutritional questions. *The Swedish Forest Service* have in Northern Sweden large areas of slow growing pine on dry poor sites with thin humus cover. Under these conditions nitrogen is a pronounced deficiency factor. During 1957–1958, Chief Forester *Fredrik Ebeling* created a large number of trials in this area. He tried to eliminate the growth stagnation through nitrogen supply, which often takes place in young forest stands on this sort of land. The expectation was that through such a growth stimulation bring about help to selfhelp, to form a more active growth stage with the following building up of a more nitrogen-mobilising humus layer [14, 15].

Ebeling has also created several fertilization trials in forest on fresh sites growing under very barren climatic conditions, where through the use of nitrogen growth can be improved. The North Norwegian impression given is that nitrogen lack rather than temperature conditions is the limiting factor regarding growth [16]. During the last year Forest Service have also commenced fertilizing their forest on a practical scale. Similar to SCA their activity is primarily concentrated on the better land and the main center is limited to their forests in Central Sweden, where the value of the forests is higher than in the north.

Principally speaking, as a by-product of the increasing fertilization activity, an all the while stronger emphasis can be observed for the value producing ability of different forest areas. The value produced certainly is the result of a combination between the quantity and quality of the timber crop plus the logging costs and transport distance to the mill. All economical fertilization calculations show of course that the activity on the first hand shall be concentrated on such forest areas, where the value of the produced excess wood quantities unloaded at the factory or at a sale yard is as great as possible. The investments in forestry, to which even fertilization can be included, thereby are displaced from the less accessible forest areas – which in Northern Sweden also nearly always are fairly barren and low producing – to more favourable tracts.

The interest for the fertilizing of peat land has so far in Sweden been considerably less emphasised compared to that of fresh land. So far no real fertilization of moors has taken place except for pure experiment value.

Nevertheless the attempts by both state and private concerns regarding this matter are equally well conducted. Even the Royal College of Forestry direct experiments with peat land fertilization. A contributing reason for the minor interest in fertilizing peat lands in Sweden compared to e.g. Finland has its explanation in the

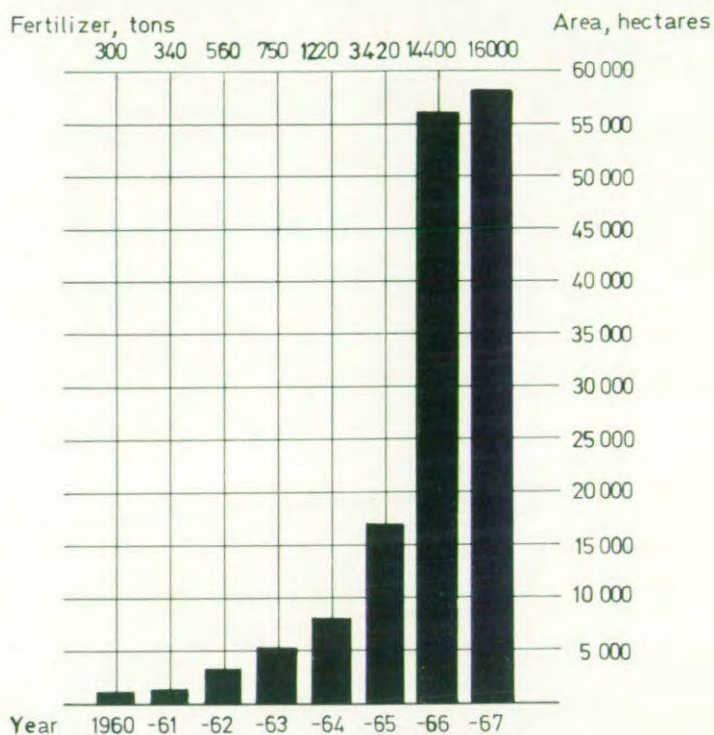


Fig.5: Annual consumption by SCA of Urea and the corresponding area treated.



Fig.6: Loading 800 kg of Urea in Aero Commander Snow aircraft on SCA airstrip.

considerably worse climatic conditions on high elevations and northerly latitudes, where our peat bogs are most common.

Within the smaller private forests, forest fertilization has till now been practiced on a small scale especially since in Sweden about 50% and moreover the best part of forest acreage belongs to these small owners. The reasons are more than one. Very important is however the difficulty to organize and make use of an activity which is best directed on a very large scale, where nutrition is supplied over comprehensive areas once and for all and where the increased growth results in a general increase in cutting, perhaps within completely different forest areas.

Certainly however we in Sweden only stand at the beginning of what could be termed 'The Forest Fertilization Epoch'. At the same time our knowledge yet is very incomplete in many important details. We acknowledge with gratification that from this year on a special institute is being established, where research in the field of forest fertilization will be directed by the state as also from the forest industry.

Bibliography

1. *Tiberg H.V.*: Uppsatser i Wermländsk Bergsmannaförenings Annaler (1903–1910).
2. *Romell L.E.* and *Malmström C.*: Henrik Hesselmanns tallhedsförsök åren 1922–1942, MSS 34 (1945).
3. *Tamm C.O.* and *Carbonnier Ch.*: Växtnäringen som skoglig produktionsfaktor. KSLA 1–2 (1961).
4. *Lustig H.*: Försök med skogsgödsling redan år 1911 i Småland. RLF-Tidn. 38 (1960).
5. *Malmström C.*: Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. Comm. Inst. Forest. Fenn. 40, Helsingfors 1952.
6. *Holmen H.*: Forest Ecological Studies on Drained Peat Land in the Province of Uppland, Sweden, Parts I–III. Studia Forestalia Suecica 16 (1964).
7. *Tamm C.O.*: Studier över skogens näringsförhållanden. MSS 46 (1956).
8. *Johansson B.* and *Abgren A.*: Gödsling av skogsmark. SCA 61, 1959 och 68 (1962).
9. *Johansson B.* and *Abgren A.*: Gödslingseffekt och spridningstidpunkt. Skogen 5 (1966).
10. *Hagström Bj.*: Synpunkter på målsättningen för skogsgödsling. VN 3 (1962).
11. *Hagner S.*, *Johansson B.*, *Saraste J.* and *Abgren A.*: Virkesframställning genom skogsgödsling. SST 2 (1966).
12. *Hagner S.*: Timber Production by Forest Fertilization. The Fertilizer Society, Proceedings No. 94, London 1966.
13. *Hagner S.*: Forest Fertilization as a Production Factor in Industrial Forestry. H. R. McMillan Lecture in Forestry, Univ. of British Columbia (1967).
14. *Ebeling F.* and *Hägström B.*: Domänverkets gödslingsförsök. Svenska Skogsvårdsföreningens tidskrift, Vol. 60, H3 (1962).
15. *Ebeling F.*: Norrlandsskogarnas biologiska produktionsförutsättningar, Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift, Vol. 64, H6 (1966).
16. *Ebeling F.*: Skogen vid ishavet – tankeställare för traditionalister. Skogen, H2 (1966).
17. *Andréason O.*, *Hansson A.* and *Holmen H.*: Skogliga växtnäringsfrågor. GKS, Stockholm 1967.
18. *Holmen H.*: Skogsgödsling i Sverige. GKS, Växtnäringsnytt, H20 (1967).

A Brief Summary on the Evolution of Forest Fertilization in Norway

O. JERVEN, Royal Department of Agriculture, Directorate of Forestry, Oslo/Norway

The first experiments with fertilization of productive forest were carried out in the years 1935–1947. The experiments were conducted by forester *Obel* in co-operation with Norsk Hydro. These experiments have later been taken over by the Norwegian Forest Research Institute. A report on the results was published in 1962 (*Brantseg*: 'Et gjødslingsforsøk i furuskog' – a report of Det norske skogforsøksvesen).

The forests involved in the experiments were 100 years old pine forest, the ground being gravel, sandy and poor in nutrients. The experiments proved that both calcium-nitrate (15.5% N) and NPK fertilizer (15% N, 5.2% P, 16.2% K) resulted in increased growth. The increase in growth has almost been proportional to the quantity of fertilizers applied. The application, however, of small quantities (100 kg per hectare), will bring about only a modest improvement of the growth. Calcium-nitrate caused a larger increase in growth than corresponding quantities of compound fertilizers. This experiment showed that the use of calcium-nitrate gave the best economic result: larger growth increase – and at less expenses.

The experiments indicate that nitrogen gives the best improvement of growth. The experiments, however, do not provide us with any possibilities for an evaluation of the individual nutrients' share in the growth increase.

In recent years The Norwegian Forest Research Institute has established a series of fertilization experiments in older spruce and pine forests. Prof. *Brantseg* has been conducting this work. In brief, the results of these experiments are:

The fertilizer that first and foremost contributes to improved growth in older forest is nitrogen. In spruce forest the most positive results are gained by fertilization with phosphorus in addition to nitrogen. The amount required is at least 150 kg nitrogen per hectare. Urea (46% N) gives the best results on soils rich in humus. On pine sites poor in humus 'kalkamonsalpeter' (26% N) is to be recommended. The forest to be fertilized should have a volume of 120–150 m³ per hectare and the trees must be healthy and have good crowns. The fertilization has to be repeated after 6–8 years.

Based on the results of the trials mentioned above, we are of the opinion that it is advisable to go ahead with fertilization of older forests, and our forest owners are informed correspondingly. Fertilization of young forest, however, is still on the research stage. Where the above mentioned fertilization is concerned there are still a number of questions not yet solved. We do for example know little of other nutrients' effect on the growth and the best timing of such fertilization. Experiments are being carried out to clarify these problems. At present the fertilization is carried out in the spring and early summer (to be terminated in the middle of July).

In older forest only nitrogen fertilization is recommended. In 1960 the first aero-fertilization was carried out. Real headway within forest fertilization was not made until 1963, in which year about 550 tons fertilizer were applied in forests.

Forest fertilization has since this made a rapid development. In 1966 we reckon that approximately 2400 tons were applied, whereof 2000 tons Urea.

The total forest area in Norway is 7,5 million hectares. In 1966 the area fertilized covered 7000–7500 hectares, = 1000 p.p. m. of the entire forest area. In a few years time we reckon these figures to be 10–20 times higher.

Most of the fertilizers are spread by aircrafts. Ordinary aeroplanes as well as seaplanes are being used for the purpose. A few of the larger forest owners have had their own airfields constructed, but to a great extent straight roads are used as start bases. Though the use of seaplanes is more expensive, spreading by these aircrafts is in many cases the best solution. Helicopters are rarely used in Norway. The undulating country implies that spreading of fertilizers by aircraft is the most advantageous method. The forests, however, are often divided into small units (the average size amounts to 20–30 hectares), making it hard to achieve a rational utilization of aircrafts. Tractors with spreads and manual spreading are the most suitable means in smaller forests.

We have no statistics on the various methods of spreading, but approximately 70% of all fertilization is carried out by aircraft.

Fertilization of peat bog

Not less than 12% of the area below the timberline consist of peat bog, the total area of peat bog being 2 million hectares, whereas the forest area totals 7.5 million hectares. To utilize the peat bog areas for forest production has always been of great interest.

As early as in the 1870s there were carried out fertilization experiments on peat bogs poor in nutrients in order to improve the conditions for vegetation. Nutritious gravel was applied as fertilizer. These experiments never became of any practical importance. In the 1940s Mr. *Thurmann-Moe* and Mr. *Egil Berg* resumed these research activities. Both gravel, nutritious peat (turf) and NPK fertilizers were tried.

15 years ago the Norwegian Forest Research Institute commenced their research work in this field. Research Officer Mr. *Mesbechok* has directed this section and has written a number of research reports and articles on the subject.

The experiments have given the replies to several main questions. Suitable planting methods for afforestation of peat bogs have developed from these experiments. With the experiment results as a basis we now know what kind of fertilizers – as well as the quantities – to be used for the first fertilization of peat bogs of the various characters.

Peat bogs poor in nutrients always need phosphorus fertilizers. After some years fertilization with potassium is also required. The most inferior peat bogs must also be supplied with nitrogen.

When peat bogs are to be planted it is necessary to apply phosphorus fertilizer on the zone of the root, whereas a small spot around the plant is to be supplied with NPK or PK fertilizers. The amount required is approximately 30 g fertilizers for a spot the size of 0.3 m² around the plant (NPK fertilizer contains: 12.5% N, 5.5% P, 15% K, PK fertilizer contains: 5.7% P, 12.9% K).

After 3–4 years the planted field is to be refertilized with 700–900 kg NPK or PK fertilizers per hectare.

On less decomposed peat bog which is poor in nitrogen, NPK fertilizer will be applied. On other fields fertilizers containing phosphorus and potassium are required.

On drained fields with natural regrowth (seeds from surrounding forest) the same kinds and quantities of fertilizers are to be used (700–900 kg NPK or PK fertilizers per hectare).

Every year 10000 hectares peat bog areas are drained for the purpose of forest production. 4000–5000 hectares of this area consist of inferior peat bog, which is poor in nutrients and which has to be fertilized. Approximately 15% of the area has to be replanted.

In 1966 1800–2000 hectares peat bog were fertilized. The amounts used were 500 tons NPK and 300 tons PK fertilizers.

In relation to the areas of inferior peat bog which is drained, the fertilization is much less than required. Our goal for the years to come is a significant increase of the fertilization of the peat bog areas.

2nd Session

**Growth factors and assessment of
fertilizer needs of forest trees**

2. Arbeitssitzung

**Wachstumsfaktoren und Bestimmung
der Düngungsbedürfnisse von Wald-
bäumen**

Chairman:
Vorsitzender:

Prof. Dr. C. O. TAMM, The Royal College
of Forestry / Stockholm

Co-ordinator:
Koordinator:

Prof. Dr. S. L. JANNSSON, Institute of Soil
Fertility, College of Agriculture,
Uppsala / Sweden
Member of the Scientific Board of the
International Potash Institute

Kriterien zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses in der Forstwirtschaft

Ing. C. P. VAN GOOR, Forstliche Versuchsanstalt «De Dorschkamp», Wageningen/Niederlande

1. Einleitung

Es besteht kein Zweifel, dass Wachstum und Gesundheit der Bäume durch eine Düngung positiv beeinflusst werden können. Diesbezüglich liegen zahlreiche Beweise vor (*White und Leaf* [14]). Die Kenntnisse über die Ernährung der einzelnen Holzarten haben in den letzten Dekaden stark zugenommen, was besonders auf die Entwicklung und Anwendung der Blatt- und Nadelanalyse zurückzuführen ist (*Goodall* [4]). Es ist deshalb erstaunlich, dass die praktische Anwendung der Düngung in der Forstwirtschaft als Massnahme zur Produktionssteigerung nicht Schritt hält mit dem Umfang der Untersuchungen auf diesem Gebiet. Mit einigen Ausnahmen haben betriebsmässige Düngungsmassnahmen nicht immer den gewünschten Erfolg gezeitigt. Wahrscheinlich ist die Ursache solcher Enttäuschungen bei der Düngung zu suchen, im Fehlen von Kriterien, mit denen das Düngungsbedürfnis konkret bestimmt werden kann und die eine Prognostizierung der Düngerwirkung ermöglichen.

Solche Kriterien müssen abgeleitet werden

- von den Nährstoffbedürfnissen der Holzarten,
- von der Fruchtbarkeit der Waldböden,
- vom Zusammenhang zwischen der Bodenfruchtbarkeit, der Aufnahme der Nährstoffe und dem Wachstum der Holzarten,
- von der Wirkung der Düngung auf die Bodenfruchtbarkeit, die Nährstoffaufnahme durch die Holzart und das Wachstum.

Eine Erörterung dieser Aspekte folgt weiter unten, wobei Beispiele aus eigenen Düngungsuntersuchungen vorgelegt werden. Auf Grund diesbezüglicher Überlegungen wird hierauf ein Bild gegeben über die Entwicklung der Düngungsuntersuchungen in den Niederlanden.

2. Die Nährstoffbedürfnisse der Holzarten

Nicht nur zwischen den Laub- und Nadelholzarten besteht ein grundsätzlicher Unterschied punkto Nährstoffbedürfnisse, sondern auch bei den verschiedenen Nadelhölzern sind diese Bedürfnisse unterschiedlich. Die Unterschiede betreffen nicht nur Stickstoff, Phosphor, Kali, Magnesium und Kalzium, sondern auch Spurenelemente. Vergleichende Ernährungsuntersuchungen auf identischen Standorten und in Gefässen sowie Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Blattzusammensetzung und Wachstum haben das oftmals bestätigt.

Der Unterschied in den Nährstoffbedürfnissen äussert sich deutlich in der Menge eines Nährstoffes, welche die Pflanze aufnimmt, oder besser noch in der Menge, welche die verschiedenen Holzarten aus den gleichen Böden herauszuziehen vermögen. So zeigt es sich, dass *Pinus* und *Larix* aus ursprünglich stickstoffarmen Heideböden viel mehr Stickstoff aufnehmen als Fichte und Douglasie. Dies bedeutet, dass die beiden erstgenannten Holzarten mit einer geringeren Stickstoffversorgung des Bodens besser zu wachsen in der Lage sind als die beiden anderen Holzarten. Das gilt auch, aber in anderer Folge, für die übrigen Elemente, von denen für unsere Verhältnisse Phosphor, Kali und Kupfer die wichtigsten sind.

In Tabelle 1 sind die Nährstoffbedürfnisse der wichtigsten Nadelholzarten zusammengefasst.

Tabelle 1

Holzart	Bedürfnis an			
	N	P	K	Cu
<i>Pinus sylvestris</i>	niedrig	niedrig	hoch	niedrig
<i>Larix leptolepis</i>	niedrig	hoch	niedrig	hoch
<i>Picea excelsa</i>	hoch	hoch	niedrig	niedrig
<i>Pseudotsuga douglasii</i>	hoch	hoch	hoch	hoch

Jede Holzart hat also ihre spezifischen Eigenschaften in bezug auf die Ernährung. Bei der Düngung bildet daher die Holzart das erste Kriterium zur Feststellung der Düngerbedürfnisse.

3. Die Bodenfruchtbarkeit

Die Bestimmung der chemischen Bodenfruchtbarkeit von Waldböden bietet sehr viele Schwierigkeiten. Es stellt sich die Frage, ob es überhaupt möglich ist, die Bodenfruchtbarkeit für die verschiedenen Holzarten quantitativ zu kennzeichnen.

Die Schwierigkeiten liegen bei der Bodenprobeentnahme und der Extraktionsmethodik. Bei der Bodenprobenentnahme kann man sich fragen, wo und wieviel Proben gesammelt werden müssen und in welcher Tiefe im Boden. Die Beantwortung dieser Fragen ist verbunden mit der Möglichkeit, die dem Bestand zur Verfügung stehenden Mengen an Nährstoffen exakt zu bestimmen. Diese Möglichkeit besteht meines Erachtens nicht, weil:

- die Nährstoffaufnahme nicht für jede Holzart gleich oder vergleichbar ist,
- die effektive Wirkung des Wurzelsystems in den verschiedenen Horizonten des Bodenprofils hinsichtlich der Nährstoffaufnahme nicht bekannt ist und wahrscheinlich stark vom Aufbau des Bodenprofils beeinflusst wird.

Es hat keinen Sinn, bei der Probeentnahme die verschiedenen Horizonte zu scheiden oder die Proben volumemässig zu sammeln, da nicht festzustellen ist, welcher Teil des Nährstoffkapitals durch die Holzarten ausgenützt wird. Die Probeentnahme nach Horizonten ist von Bedeutung für die Beschreibung und Charakterisierung des Bodens, nicht aber für den Vergleich der Fruchtbarkeit verschiedener Böden.

Innerhalb bestimmter Bodeneinheiten, insbesondere solchen mit identischen physikalischen Eigenschaften, kann eine normalisierte Probeentnahme angewandt werden. Dabei müssen aber die Analyseresultate empirisch überprüft werden.

Es sind systematische Untersuchungen nach der Methode der Probeentnahme durchgeführt worden, und es hat sich dabei gezeigt, dass auf normal entwickelten und normal aufgebauten Bodenprofilen mit einer Horizontfolge von A- via B- nach C- oder G-Horizont, aus einer Bodentiefe von 0 bis 25 cm eine Bodenprobe entnommen werden kann. Diese Tiefe ist von gleichem Wert wie jede Probentiefe zwischen 0 bis 25 und 0 bis 50 cm (*Anonym [1]*). In den Niederlanden wird die Bodenprobe aus einer Tiefe von 0 bis 25 cm entnommen. Jede Bodenprobe besteht aus 25 Stichen.

Auch in der Landwirtschaft ist die Tiefe der Bodenprobeentnahme normalisiert und dem Hauptwurzelschizont der Gewächse angepasst. In Wiesen beträgt die Tiefe 0 bis 5 cm, im Ackerbau 0 bis 25 cm. In den meisten Waldböden liegt der Hauptwurzelschizont zwischen 0 und 25 bis 50 cm.

Die Extraktionsmethodik bildet ein Problem, das noch nicht gelöst worden ist. Es hat sich gezeigt, dass Bäume nicht nur die in der Bodenlösung vorhandenen Nährstoffe aufnehmen, sondern auch Nährstoffe aus schwerlöslichen Verbindungen herauslösen. Besonders deutlich ist dies bei Phosphor, aber auch bei Kali (*Reinken [12]* und *van Goor [7]*). Dies ist der Grund, dass Totalanalysen oder Analysen mit Extraktion durch starke Säuren für Bodenfruchtbarkeitsuntersuchungen in der Forstwirtschaft bevorzugt werden.

Der einzige Nährstoff, der bis jetzt durch Bodenanalyse verhältnismässig gut in Beziehung zur Bodenfruchtbarkeit gebracht werden kann, ist Phosphat. Es besteht innerhalb bestimmter Bodeneinheiten ein guter Zusammenhang zwischen dem Phosphatgehalt des Bodens und dem Wachstum verschiedener Holzarten. Zu einer brauchbaren Analysenmethodik für die Elemente Kali und Stickstoff oder Kupfer im Boden ist es aber noch nie gekommen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es nur in stark beschränktem Ausmass möglich ist, die Fruchtbarkeit von Waldböden durch Bodenanalyse zu bestimmen. Für eine solche Bestimmung stehen nur empirische Verfahren, und zwar in der Hauptsache in bezug auf Phosphat, zur Verfügung.

Obwohl die Blattanalyse viele Informationen geben kann über den Ernährungszustand der Bäume, muss bezweifelt werden, ob diese Methode auch geeignet ist, einen Hinweis über die chemische Bodenfruchtbarkeit zu vermitteln. Zwischen der Zusammensetzung der Blattorgane und dem Gehalt an Nährstoffen im Boden steht der Aufnahmeprozess. Nun steht aber der Gehalt an einem Nährstoff in der Pflanze nicht in direkter Beziehung zum Gehalt im Boden. Neben dem Gehalt an Nährstoffen im Boden haben der Säuregrad, der Wasserhaushalt, der Profilaufbau, die physikalischen Eigenschaften, die biologische Aktivität usw. Einfluss auf die Nährstoffaufnahme.

Durch eine Kombination der Boden- und Blattanalyse, wobei auch andere Bodenfaktoren in Betracht gezogen werden, ist es möglich, Einsicht in die Nährstoffverhältnisse von Boden und Baum zu gewinnen. So wurde z. B. in einigen Untersuchungen festgestellt, dass bei Douglasie das Wachstum mit dem Phosphatgehalt des Bodens und mit dem Stickstoffgehalt der Nadeln in Beziehung steht. Zwischen dem Phosphatgehalt des Bodens einerseits und dem Stickstoff- und Kaligehalt der Nadeln andererseits bestand in diesem Falle ein enger Zusammenhang (*van Goor [9]*).

3.1 Die Fruchtbarkeit der Waldböden und das Wachstum der Holzarten

Um die Bedeutung der Nährstoffe für das Wachstum der Holzarten zu kennen, ist es angebracht, eine vollständige Analyse der Beziehungen zwischen allen Wachstumsfaktoren eines bestimmten Standortes und dem Wachstum der Holzart anzustellen. Da die Ernährung einer Holzart von vielen Faktoren beeinflusst wird, ist es deutlich, dass im Hinblick auf Düngungsuntersuchungen der Einfluss dieser Faktoren bestimmt werden muss. Eine derartige Analyse – von uns Standortkorrelationsuntersuchung genannt – muss meistens in Form einer Multiregressionsanalyse vorgenommen werden. Viele Hunderte von Versuchsflächen werden in eine solche Analyse miteinbezogen, wobei mit Hilfe bestehender Methoden Daten über Wachstum und Standort gesammelt werden. Die Standortsfaktoren, die in der Analyse berücksichtigt werden, sind Klima, Bodentyp, Wasserhaushalt, Bodenfruchtbarkeit und Vorgeschichte. Bei der Bearbeitung der Daten werden die Versuchsflächen gruppiert nach Klima – z. B. nach Wasserbilanz – und Bodentyp. Aus den Resultaten geht hervor, welche Faktoren für das Wachstum der betreffenden Holzart entscheidend sind. Sind es Faktoren der chemischen Bodenfruchtbarkeit, so bildet dies einen Hinweis für eine erfolgreiche Düngieranwendung zur Wachstumsverbesserung.

In dem Heideaufforstungsgebiet im Norden der Niederlande wurde vor einigen Jahren in Lärchenbeständen eine Korrelationsuntersuchung durchgeführt. Anlass dazu bot die ziemlich niedrige Bonität der Bestände und die schlechte Bodenfruchtbarkeit. Es handelt sich um geologisch und klimatologisch einheitliches Gebiet, in dem nur Humuspodsole anzutreffen sind. Man unterschied zwei Feuchtigkeitsklassen: ein feuchter und ein trockener Boden.

Zur Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit wurden nur Boden- und keine Nadelanalysen durchgeführt. Nach der Auswertung der erhaltenen Daten zeigte sich folgendes:

- Die Wasserversorgung hat einen starken Einfluss auf das Wachstum.
 - Der Phosphatgehalt des Bodens hat einen positiven Einfluss auf das Wachstum, wobei bestimmte Grenzwerte – in diesem Fall 40 mg Gesamt- P_2O_5 pro 100 g Boden – für eine optimale Phosphaternährung festgelegt werden könnten.
 - Der pH-Wert hat einen negativen Einfluss auf das Wachstum.
- Optimaler pH-Wert in KCl war 3,5.

In Tabelle 2 sind die Korrelationskoeffizienten gegeben.

Tabelle 2 Korrelationskoeffizienten zwischen der Bonität der Lärche, dem Gesamtphosphatgehalt des Bodens und dem pH-Wert

Phosphat: feuchter Humuspodsol	$r = 0,86$
Phosphat: trockener Humuspodsol	$r = 0,70$
pH: feuchter Humuspodsol	$r = -0,48$
pH: trockener Humuspodsol	$r = -0,71$

Die Versuchsflächen weisen alle etwa 30jährige Bestände auf, die alle der ersten Generation angehören. Versuchsflächen in Beständen zweiter Generation oder auf anderen Bodentypen zeigen abweichende Verhältnisse. Mit Hilfe der Resultate

konnte aber nachgewiesen werden, dass die Ursache des unbefriedigenden Wachstums mit einer unteroptimalen Phosphatversorgung zusammenhing (*van Goor* [6]).

Eine gleichartige Untersuchung ist in Douglasie-Beständen durchgeführt worden. Die Versuchsflächen lagen in diesem Fall auf vier Bodentypen über das ganze Land verbreitet. Drei Humuspodsole in drei Feuchtigkeitsklassen (feucht, mässig feucht und trocken) und ein Humuseisenpodsol. Die Bodenfruchtbarkeit wurde auch hier nur durch Bodenanalysen bestimmt. Aus den Resultaten zeigt sich ein deutlicher Einfluss des Klimas in dem Sinne, dass das Wachstum der Douglasie im durchschnittlich ein Grad Celsius wärmeren Süden des Landes um 20% geringer ist als im Norden auf identischen Böden. Der Einfluss des Bodentypes ist auch deutlich, obwohl dieser von geschichtlichen Faktoren abhängig ist. Handelt es sich um Bestände erster Generation auf Heideböden, so besteht kein Einfluss des Wasserhaushaltes auf das Wachstum. In Beständen zweiter oder weiterer Generationen ist aber der Einfluss ganz deutlich und das Wachstum nimmt mit der Feuchtigkeitsklasse zu. Der Grund der Verbesserung des Wachstums liegt aber nicht in der Wasserversorgung, aber sehr wahrscheinlich in einer verbesserten Stickstoffversorgung durch die erste Generation, was aber die Bodenanalysen nicht deutlich hervorheben lassen, wohl aber die Resultate von Nadelanalysen (Tabelle 3).

Tabelle 3 Durchschnittszuwachs der Douglasie auf verschiedenen Bodentypen

Bodentyp		Geschichtliches	Zuwachs m ³ /ha/J
trockener	Humuspodsol	1. Generation	11,5
mässig feuchter	Humuspodsol	1. Generation	10,6
feuchter	Humuspodsol	1. Generation	11,7
trockener	Humuspodsol	Wiederaufforstung	11,1
mässig feuchter	Humuspodsol	Wiederaufforstung	12,4
feuchter	Humuspodsol	Wiederaufforstung	14,1

Eine Beziehung zu der chemischen Bodenfruchtbarkeit besteht nur im Falle des Phosphats und auch nur auf den feuchten Bodentypen. Wie aus Tabelle 4 hervorgeht, ist die Korrelation nicht hoch und nur signifikant auf dem feuchten Humuspodsol.

Tabelle 4 Korrelationskoeffizienten zwischen Bonität der Douglasie und Phosphatgehalt des Bodens

trockener	Humuspodsol	r = 0,11	nicht signifikant
mässig feuchter	Humuspodsol	r = 0,33	nicht signifikant
feuchter	Humuspodsol	r = 0,43	signifikant

Es wurden Hinweise dafür gefunden, dass auch der Stickstoffgehalt des organischen Materials einen positiven Einfluss auf das Wachstum ausübt, aber signifikant war dieser Einfluss nicht.

Diese Untersuchungen haben gezeigt, dass für Lärche und für Douglasie der Phosphatgehalt des Bodens einen entscheidenden Einfluss auf das Wachstum hat und dass in vielen unserer Waldböden der Phosphatgehalt unteroptimal ist. Dies muss als Hinweis betrachtet werden, dass auf bestimmten Böden durch Phosphatdüngung Produktionssteigerungen erwartet werden könnten.

4. Die Wirkung der Düngung

Anfänglich wurde geglaubt, dass die Resultate der vorher behandelten Korrelationsuntersuchungen, kombiniert mit den Resultaten einiger auf willkürlich gewählten Standorten angelegten Düngungsversuchsflächen mit positivem Phosphateffekt ausreichend seien, um zu der Schlussfolgerung zu gelangen, dass in den untersuchten Heideaufforstungsgebieten mit Lärchenbeständen Produktionssteigerung möglich ist. Nach ausgedehnten Bodenfruchtbarkeits- und Wachstumsuntersuchungen wurde vor etwa 10 Jahren auf grossen Flächen eine Betriebsdüngung mit Phosphat durchgeführt. Einige tausend Hektaren Lärchenbestände wurden mit durchschnittlich 300–500 kg P_2O_5 /ha gedüngt (*van Broekhuizen [3]*).

Nach vorsichtiger und sorgfältiger Berechnung wurde die Produktionserhöhung auf etwa 30% oder 2–3 m³/Jahr und ha veranschlagt. Da Phosphatdüngung einen langfristigen Effekt hat, ist nur eine einmalige Düngung durchgeführt worden.

Im Jahre 1961, also 5 Jahre nach der Düngung, wurden auf den zuerst behandelten Flächen in 20 Vergleichsparzellen Zuwachsuntersuchungen durchgeführt: gedüngt/ungedüngt.

Diese Untersuchungen haben ergeben, dass in 50% der Fälle kein Effekt festzustellen ist, bei 20% ist der Effekt positiv und signifikant, und beim Rest ist eine nicht signifikante Tendenz zur Zuwachsvergrösserung zu beobachten: eine enttäuschende Erfahrung, nicht nur zufolge des Ausbleibens einer Produktionserhöhung, sondern auch wegen der Investitionsverluste und der antipropagandistischen Wirkung. Weitere Betriebsdüngungen mit dem Zwecke der Produktionserhöhung sind später unterlassen worden. Die Ursache ist wahrscheinlich darin zu suchen, dass, neben Phosphat, mehrere Faktoren entscheidend für das Wachstum sind, dass aber diese Faktoren nicht aus den Untersuchungen zum Vorschein gekommen sind. Während der letzten Jahre ist z. B. festgestellt worden, dass in diesem Gebiet die Kupferversorgung der Böden schlecht ist und dass das Wachstum manchmal durch Kupfermangel gehemmt wird. Phosphat hat die Wirkung, den Kupfermangel zu verstärken (*van Goor und Henkens [8]*; *Oldenkamp und Smilde [11]*).

Inzwischen sind die Düngungsversuche weiter ausgebaut worden und geben Resultate, welche deutlich demonstrieren, wie kompliziert die Probleme sind. Die Ergebnisse von Boden- und Blattanalysen geben eben innerhalb bestimmter Bodeneinheiten keine einheitlichen Hinweise in bezug auf die Düngebedürfnisse und die Wirkung einer Düngung. So werden zum Beispiel die Untersuchungsresultate von vier standortsmässig gut vergleichbaren Düngungsversuchen bei Douglasie in der Jungwuchsphase vorgeführt. In Tabelle 5 ist die Zusammensetzung der Nadeln vor der Düngung angegeben.

Tabelle 5 Zusammensetzung der Nadeln vor der Düngung, in Prozenten der Trockensubstanz

Versuchsfläche	N	P	K	Mg
Grote Woeste Hoeve.....	1,10	0,21	0,69	0,13
Kootwijk	1,05	0,20	0,67	—
Ulvenhout.....	2,22	0,08	0,78	0,11
Nunspeet.....	1,25	0,15	0,60	0,13

Auf Grund dieser Daten konnte festgestellt werden, dass auf drei Parzellen Stickstoffmangel und auf einer Parzelle Phosphormangel vorherrscht. Es wurde nach traditionellen Methoden gedüngt, wobei aber nicht auf alle Versuchsflächen die gleichen Kombinationen gebracht wurden. In Tabelle 6 ist die Wirkung der Düngung in relativem Höhenwachstum im Vergleich zum Höhenwachstum in der Nullparzelle (= 100) angegeben.

Tabelle 6 Maximaler Zuwachs des Höhenwachstums nach der Düngung in Relation mit dem Höhenwachstum der Douglasie in der Nullparzelle = 100

Versuch	O	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
Grote Woeste Hoeve.....	100	140	—	—	140	160	115	160
Kootwijk	100	115	125	135	200	150	200	310
Ulvenhout.....	100	90	135	—	175	120	145	180
Nunspeet.....	100	—	—	—	190	—	180	200

In der Versuchsparzelle «Grote Woeste Hoeve» ist der Maximaleffekt eine Folge der NK-Behandlung, obwohl keine Hinweise für einen Kalieffekt vorhanden waren. In der Versuchsparzelle «Kootwijk» wurde der Maximaleffekt mit der kombinierten NPK-Behandlung festgestellt. Es ergaben sich aber keine Hinweise für ein Phosphatbedürfnis. Auch auf den anderen Versuchsparzellen besteht keine Beziehung zwischen Effekt und Nährstoffzustand.

Wird die Wirkung der Düngung auf die Zusammensetzung der Nadeln in Beziehung zum Wachstum gebracht, so ändert sich das Bild wiederum. In Tabelle 7 sind die Korrelationen zwischen Wachstum und Nadelzusammensetzung im Jahr vor der Wachstumsmessung angegeben.

Tabelle 7 Korrelation des Wachstums mit der Zusammensetzung der Nadeln

Versuch	Jahr	N	P	K	NP	NK	PK	NPK
Grote Woeste Hoeve.....	1958	+	—	—	+	+	—	+
	1959	—	—	+	—	+	+	+
	1960	+	—	—	+	+	—	+
	1961	—	—	+	—	—	+	+
Kootwijk	1958	+	—	+	+	++	+	++
	1959	+	—	+	+	+	+	+
Ulvenhout.....	1959	+	+	—	+	+	+	+
	1960	+	+	—	+	+	+	+
	1961	+	+	—	+	+	+	+
Willemsbos	1959	+	—	—	+	+	—	+
	1960	+	—	—	+	+	—	+

- Korrelation nicht signifikant
 + Korrelation signifikant
 ++ Korrelation der Interaktion signifikant

Aus dieser Übersicht geht folgendes hervor: Auf der Versuchsparzelle «Grote Woeste Hoeve» ist 1958 die Korrelation zwischen Wachstum und N-Gehalt der Nadeln am stärksten; 1959 ist dies der Fall bezüglich N- und K-Gehalt, 1960 bezüglich

lich des N-Gehalts, und 1961 kommt die Relation zwischen Wachstum und Nadelzusammensetzung am deutlichsten in bezug auf den K-Gehalt zum Ausdruck. Auf der Versuchsparzelle «Kootwijk» ist das Wachstum für die beiden Jahre 1958 und 1959 am stärksten korreliert mit dem N- und K-Gehalt der Nadeln. Es besteht kein solcher Zusammenhang mit dem P-Gehalt, obwohl der Düngungseffekt von Phosphat gross war. Die hohe Korrelation von Wachstum und N-Gehalt der Nadeln auf der Versuchsparzelle «Ulvenhout» ist negativ. Aus der Beziehung mit der Nadelzusammensetzung ist abzuleiten, dass hier der P-Gehalt der Nadeln stark mit dem Wachstum korreliert ist. Die negative Korrelation mit dem N-Gehalt wird verursacht durch Volumenantagonismus. In allen Jahren ist die Beziehung zwischen Wachstum und Nadelzusammensetzung in Übereinstimmung mit dem Düngungseffekt.

Auf der Versuchsparzelle «Willemsbos» ist in 1959 das Wachstum mit dem N-Gehalt der Nadeln und in 1960 mit dem N- und K-Gehalt korreliert.

Aus diesen Daten geht hervor – das wird auch durch die anderen Düngungsversuchspartzellen immer wieder bestätigt –, dass das Düngungsbedürfnis und der zu erwartende Effekt einer Düngung nicht abzuleiten sind aus den Ergebnissen der Nadelanalyse oder aus der Analyse des Bodens. Zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses und der Prognose der Wirkung soll ein anderes Verfahren eingeschlagen werden.

5. Die Methode zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses

Viele Faktoren üben einen Einfluss auf das Wachstum eines Bestandes und dessen Ernährung aus. Eine grosse Rolle spielen dabei besonders der Profilaufbau, der Bodentyp, der Wasserhaushalt, die Textur und die Struktur (*van Lynden* [2]). Diese Faktoren sind gleichfalls von grosser Bedeutung für die Wirkung einer Düngungsmassnahme, weil sie die Aufnahme von Nährstoffen beeinflussen.

Aus dem vorhergehenden ist deutlich geworden, dass die Resultate einer Boden- oder Blattanalyse an sich keine Hinweise geben können über das Düngungsbedürfnis oder die Düngungswirkung. Es ist aber auch nicht möglich, die Bedeutung der anderen Faktoren in dieser Hinsicht zu interpretieren. Eine solche Interpretation der Analyse- und Beobachtungsresultate ist nur mit empirischen Methoden möglich. Das heisst, dass die Kriterien zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses nur aus den Resultaten der Boden- und Blattanalyse abgeleitet werden können, wenn diese in Relation zu den Resultaten eines Düngungsversuches auf identischen Standortsverhältnissen und mit der gleichen Holzart gebracht werden.

Es ist also notwendig, über die Ergebnisse einer grossen Reihe von Versuchspartzellen zu verfügen. Diese Versuchspartzellen sollen nicht an willkürlichen Standorten liegen, sondern an Standorten, die auf Grund standortkundlicher oder bodenkundlicher Überlegungen gewählt worden sind. Eine Boden- oder Standortsklassifikation ist deshalb absolut notwendig, um zur Schaffung von Kriterien zur Feststellung des Düngungsbedürfnisses zu gelangen. Wahrscheinlich ist die hiermit verbundene Riesenarbeit der Grund, dass die Düngungsuntersuchungen in der Forstwirtschaft derart langsam weiterkommen.

In den Niederlanden besteht jetzt der Plan, auf Grund der Bodenkartierungen in den Forstbetrieben zu einer Organisation der Düngungsuntersuchungen zu gelan-

gen, womit die Grundlagen zur Durchführung einer zweckmässigen Betriebsdüngung entwickelt werden.

Die Bodeneinheiten sind nach Bodentyp und Wasserhaushalt gegliedert. Es besteht die Absicht, innerhalb kleinerer klimatologisch, geologisch und geschichtlich vergleichbarer Betriebseinheiten von 1000 bis 5000 ha für eine Betriebsperiode von 10 Jahren für jede Holzart pro Bodeneinheit 5–10 Düngungsversuche durchzuführen. Die Vorbereitungen bestehen aus einer Inventur der Bodenfruchtbarkeit mit Hilfe von Boden- und Nadelanalysen.

Neben N, P und K wird in Spezialfällen auch Kupfer in den Versuch einbezogen. Die Versuche sind einfach und werden nur eine einmalige Düngung umfassen. Die Ergebnisse werden Hinweise liefern über die Art der durchzuführenden Düngung.

Die Untersuchungen kommen erst dieses Jahr in Gang, so dass noch keine Resultate zu melden sind. Für die Praxis besteht aber eine vorläufige Vorschrift für die Düngung von Nadelholzkulturen (*van Goor* [5]). In dieser Vorschrift ist eine Methode entwickelt, welche ermöglicht, das Düngungsbedürfnis für junge Kulturen mit Wuchsstörungen global zu bestimmen. Der Zweck der durchzuführenden Düngungen besteht nicht direkt in einer Produktionserhöhung, sondern eher in einer Kulturverbesserung. In diesem Fall ist die Düngung als eine Kulturmassnahme zu betrachten. Die Wirkung der Düngung ist nicht immer sicher, aber die bestehende Vorschrift wird ernsthaften Fehlern vorbeugen können. Der Vorschrift liegen folgende Kriterien zugrunde: durchschnittliche Bodenfruchtbarkeit der verschiedenen Bodentypen, pH und Phosphatgehalt des Bodens, Mangelsymptome bei den Bäumen und Kulturbehandlung.

Zusammenfassung

Die praktische Anwendung der Düngung steht nicht in Beziehung zu der Menge der Untersuchungen auf diesem Gebiet. Enttäuschende Erfahrungen, wie sie z. B. in den Niederlanden mit Phosphatdüngung gemacht worden sind, bilden hiezu des öfters den Anlass. Der Mangel an Kriterien zur Bestimmung der Düngungsbedürfnisse bilden wohl die Ursache dieser enttäuschenden Erfahrungen. Die Kriterien sind nur dann vollständig, wenn sie abgeleitet werden von Boden- und Blattanalysen oder von anderen Methoden zur Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit in Verbindung mit den Resultaten eines Düngungsversuches in gleicher Holzart und auf gleichem Standort und übrigen weiteren vergleichbaren Verhältnissen.

Eine auf einer Standortsklassifikation begründete, systematische Düngungsuntersuchung ist daher absolut notwendig, bevor Betriebsdüngung angewendet wird. Die Resultate von Boden- und Blattanalysen können an sich einen Eindruck geben über die Nährstoffverhältnisse eines Bestandes, aber sie reichen nicht zur Feststellung der Düngungsbedürfnisse oder zur Prognose in Sachen Düngungswirkung.

Bibliographie

1. *Anonym*: Overzicht van de werkzaamheden in 1961. Korte Meded. Stichting Bosbouwproefstation «De Dorschkamp», No. 52 (1962).
2. *Lynden K. R. van*: Indeling van gronden naar hun geschiktheid voor de bosbouw. Ned. Bosb. Tijdschr. 38, No. 8, 280–291 (1966); Korte Meded. Stichting Bosbouwproefstation «De Dorschkamp», No. 84 (1966).
3. *Broekhuizen J. S. van*: Het gebruik van de kunstmestverstuiver in de bosbouw. I en II. Ned. Bosb. Tijdschr. 28, No. 2, 32–36 (1956); Ned. Bosb. Tijdschr. 28, No. 10, 225–234 (1956).
4. *Goodall, D. W. and Gregory F. G.*: Chemical composition of plants as an index of their nutritional status. Techn. Comm. Imp. Bur. Hort. and Plant Crops, No. 17 (1947).

5. *Goor C.P. van*: Bemestingsvoorschrift voor naaldhoutculturen. Ned. Bosb. Tijdschr. 35, No. 5, 129-142 (1963); Korte Meded. Stichting Bosbouwproefstation «De Dorschkamp», No. 56 (1963); 2. neubearbeitete Aufl. (1967).
6. *Goor C.P. van*: De groeiplaatseisen van de Japanse lariks in Nederland. Ned. Bosb. Tijdschr. 26, No. 11, 298-306 (1954).
7. *Goor C.P. van*: Kaligebrek als oorzaak van gele puntziekte van groveden (*Pinus silvestris*) en Corsicaanse den (*Pinus nigra var. corsicana*). Ned. Bosb. Tijdschr. 28, No. 2, 21-31 (1956); Korte Meded. Stichting Bosbouwproefstation «De Dorschkamp», No. 25 (1956).
8. *Goor C.P. van* und *Henkens Ch. H.*: Groeimsvormingen bij douglas en fijnspar en sporenclementen. Ned. Bosb. Tijdschr. 38, No. 3, 108-120 (1966); Korte Meded. Stichting Bosbouwproefstation «De Dorschkamp», No. 76 (1966).
9. *Goor C.P. van* und *Laar A. van*: De aanleg van douglasopstanden. Ned. Bosb. Tijdschr. 30, No. 3, 67-83 (1958); Korte Meded. Stichting Bosbouwproefstation «De Dorschkamp», No. 33 (1958).
10. *Mustanoja K. J.* und *Leaf A. L.*: Forest fertilization research 1957-1964. Bot. Rev. 31, No. 2, 151-246 (1965).
11. *Oldenkamp L.* und *Smilde K. W.*: Kopergebrek bij douglas. Ned. Bosb. Tijdschr. 38, No. 5/6, 203-214 (1966); Korte Meded. Stichting Bosbouwproefstation «De Dorschkamp», No. 77 (1966).
12. *Reinken G.*: Untersuchungen über die Aufnahme verschiedener Phosphatverbindungen und die Phosphatverteilung bei Apfelbäumen. Gartenbauwissenschaft 3, No. 21, 3-58 (1956).
13. *Stoeckeler J. H.* und *Arneman H. F.*: Fertilizers in forestry. Adv. in agronomy 12, 127-195 (1960).
14. *White D. P.* und *Leaf A. L.*: Forest fertilization. Techn. publ. Coll. Forestry New York State Univ., No. 81 (1957).

The Influence of Fertilization on Gaseous Exchange of Forest Tree Species

Dr. TH. KELLER, Swiss Forest Research Institute, Birmensdorf/Zürich/Switzerland

It is a well-known and long established fact that dry matter production of plants can be raised substantially by fertilizer applications. Even in forestry earliest fertilizer experiments date back to the first half of the last century (*Baule and Fricker [1]*) and by 1865 *Koderle* had already published a treatise on this subject. The physiological processes, however, which are responsible for this increase of productivity, have attracted relatively little attention and are not yet completely known or understood. The dependence of gaseous exchange, particularly photosynthesis, on mineral nutrition of forest tree species is one such hitherto largely neglected scientific field. Although many results of investigations performed on agricultural or horticultural crops may also be valid for forest trees, so many differences exist between shortlived herbs and trees with a lifespan of centuries that studies on the behavior of forest tree species seem necessary.

The Swiss Forest Research Institute has taken up this problem in connection with afforestations near the upper treeline, needed for avalanche control. The seedlings are subject to a severe climate on these sites and the strongly leached podzol soils yield little available nutrients in the rawhumus layer, the rooting zone of the young plants. Because fertilizer applications in the planting hole seemed likely to increase seedling vitality, fertilizer experiments were started a few years ago. Leader growth, however, which frequently is used as a measure of fertilizer response is extremely slow on these sites because of the short growing season and therefore is a poor indicator of response. Since gaseous exchange quickly reacts to a change of environmental conditions, it was thought it would be a useful indicator of the plant's well-being. Thus, the main objective was to find nutrient contents which allow optimum growth by coupling foliar analysis with measurements of gaseous exchange by means of infrared gas-analyzers.

1. The influence of mineral nutrition on photosynthesis

Of the many possibilities for mineral nutrients to exert a direct or indirect influence on photosynthetic activity and efficiency of leaves the important ones are:

- minerals may be parts of pigments or enzymes,
- they may act as catalysts in synthesis and/or activity of pigments and enzymes,
- they may influence permeability of membranes,
- they may regulate stomatal behavior,
- they may alter leaf size, number, and anatomical structure, and
- mineral deficiency may shorten the life span of photosynthesizing tissue.

According to its different functions and tasks a particular nutrient may affect photosynthesis by one or more of these possibilities, but growth of forest plantations on

poor sites is probably most often and most severely impeded by a limitation of photosynthesis due to a shortage of pigments and decreased foliage mass.

Among the micronutrients, iron, manganese, copper, and zinc may impede photosynthesis by interfering with chlorophyll synthesis and by disturbing certain enzymatic systems. In the latter case photosynthetic rate may drop without appearance of visible symptoms of deficiency or toxicity.

In iron-deficient poplar leaves *Keller and Koch* [10, 11] found good correlations between iron content, chlorophyll content and photosynthetic rate. In deficient leaves size was severely reduced and palisade cells were distinctly shorter than in normal leaves. Leaves which formed after a chelate application were of normal size and color whereas older leaves were hardly affected. This result confirmed the statement by *Kramer* [14] that deficiency of an element may affect several processes and that some effects are more rapidly or more easily reversed than others when the deficient element is supplied.

The effects of the macronutrients potassium, nitrogen, and phosphorus are discussed in the following paragraphs together with some experimental results. For more details reference can be made to the review by *Pirson* [21]. Information on horticultural woody species has been recently reviewed by *Kozłowski and Keller* [13.]

1.1 The influence of potassium

Potassium deficiency, like phosphorus (*Pirson* [21]), most likely impedes photosynthetic energy transfer and an increase of respiratory rate counteracting photosynthesis was observed in barley leaves as early as 1929 by *Gregory and Richards* [5]. Another way of influencing photosynthetic efficiency is open to potassium as it plays a major role in regulating permeability of plasma membranes which control transport of water and of photosynthates (*Kursanov and Vyskrebentseva* [16]).

Belated stomatal closure of potassium-deficient hybrid poplars under conditions of incipient drought may temporarily lead to a higher CO₂ gain (as compared to plants well supplied with potassium) but does increase danger of drought injury (*Neuwirth and Fritzsche* [19]).

In order to study the influence of potassium on gaseous exchange a clone of *Populus tacamahaca* × *trichocarpa* was grown in sand cultures with increasing levels of potassium. Potassium contents of leaves ranged between 0.59 and 2.47% when photosynthesis was measured. Although the threshold of potassium deficiency of hybrid poplars lies near 1.1% according to data collected by *Gussone* [6], and near 0.8% according to *Fritzsche* (1967) for balsam poplar, even the leaves with only 0.6% showed no deficiency symptoms. Effects of extreme deficiency therefore are not included in the results.

Figure 1 shows a very distinct influence of potassium on assimilatory rate if leaf weight is used as basis of comparison. At 30 000 lux CO₂ uptake of leaves averaging 2.25% K is almost 60% higher than that of leaves averaging 0.75% K. These values, however, call for an analysis before assuming that this highly increased efficiency is due to improved conditions for synthetic processes caused by better potassium supply. If the photosynthetic rate is calculated on an area basis we find a much smaller effect, the increase amounting to only 15%. Examination of the chlorophyll content (table 1) reveals no significant changes in pigment content per unit area at different

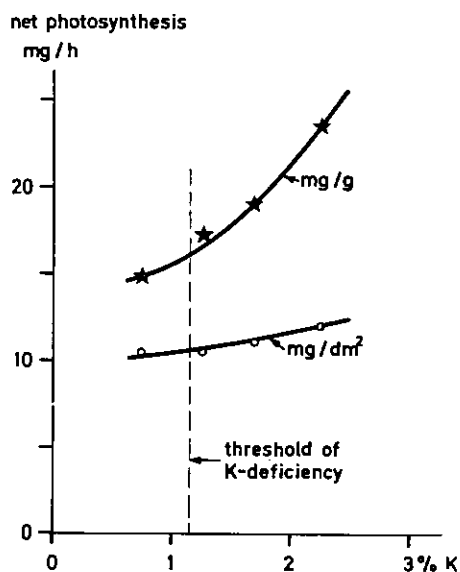


Fig. 1: Dependence of net photosynthesis at 30000 lux upon potassium content of balsam poplar leaves (*Populus tacamahaca* X *trichocarpa*).

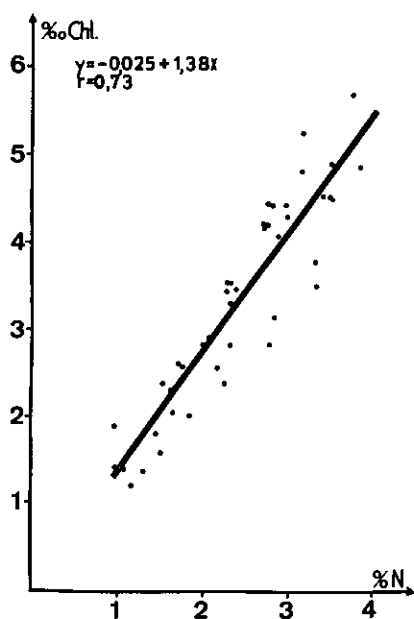


Fig. 2: Dependence of chlorophyll content of black poplar leaves (*P. nigra* L.) upon nitrogen supply.

potassium levels which might account for the increase of photosynthesis. Table 1, however, shows that leaf weight per unit area undergoes a pronounced decrease with increased potassium content. Potassium deficient leaves build up much sclerenchymatic tissue which is heavy but photosynthetically inactive. Therefore, one may conclude that the decrease of photosynthetic rate per unit dry weight because of low potassium supply is largely due to an increase in weight of tissue (the basis of comparison) and only to a lesser degree to an actual depression of activity or efficiency.

Table 1 Poplar leaf data in relation to potassium supply

K content %	Leaf area dm ²	Spec. area weight g/dm ²	Chlorophyll mg/dm ²
0.74	0.69	0.72	2.44
1.28	0.67	0.63	2.17
1.71	0.71	0.59	2.18
2.26	0.75	0.53	2.26

1.2 The influence of nitrogen

Of nutrient deficiencies occurring in forests nitrogen deficiency probably has the most pronounced depressing effect on photosynthesis. It blocks chlorophyll synthesis, leads to accumulation of photosynthates due to depressed protein synthesis and causes small size and premature senescence of leaves. Nitrogen deficiency reduced photosynthesis of fruit trees (*Kramer* [14]) as well as of conifers (*Neuwirth* [18]) or hybrid poplar (*Neuwirth* and *Fritzsche* [19]) more than did a lack of other macronutrients.

Sand cultures with increasing nitrogen supply were used to study the effect of this nutrient on a black poplar clone (*Populus nigra* L.). The dominant role of nitrogen in chlorophyll formation is illustrated by figure 2 with a coefficient of correlation of 0.73; even better results were obtained from a fertilizer trial with spruce. These high correlations are surprising in that as roughly only 1% of the nitrogen in a leaf is bound in chlorophyll. The fact that 99% remains available for the formation of plasm etc. explains the strong effect of nitrogen supply on leaf size.

Although photosynthesis is not necessarily proportional to chlorophyll content, we found a close relationship between these values in poplar (figure 3) as well as in spruce in different fertilizer experiments. Leader growth was also closely correlated to chlorophyll content of needles prior to growing season (*Keller* [7]).

Nitrogen not only exerts a very strong influence on leaf size but also on leaf weight (table 2) and structure. Deficiency of this element, like potassium, may cause xeromorphism and increased formation of sclerenchymatic tissue. *Müller-Stoll* [17] found in bog plants that nitrogen fertilization increased the intercellular spaces within the leaf, a condition which favors diffusion of CO₂ and stimulates photosynthesis.

The influence of light intensity on photosynthesis of poplar leaves at two different nitrogen levels is shown in figure 4 which demonstrates that effects are most pronounced at higher illumination. In order to integrate cumulative effects of increased leaf size and of improved photosynthetic efficiency a whole leaf was taken as basis of

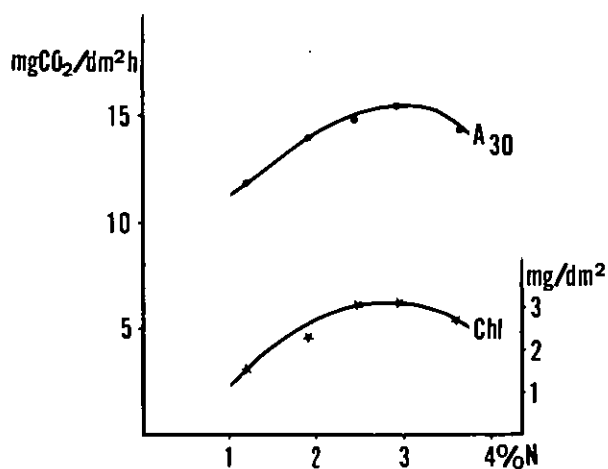


Fig. 3: Photosynthetic rate at 30000 lux and chlorophyll content of poplar leaves (*P. nigra*) at different nitrogen levels.

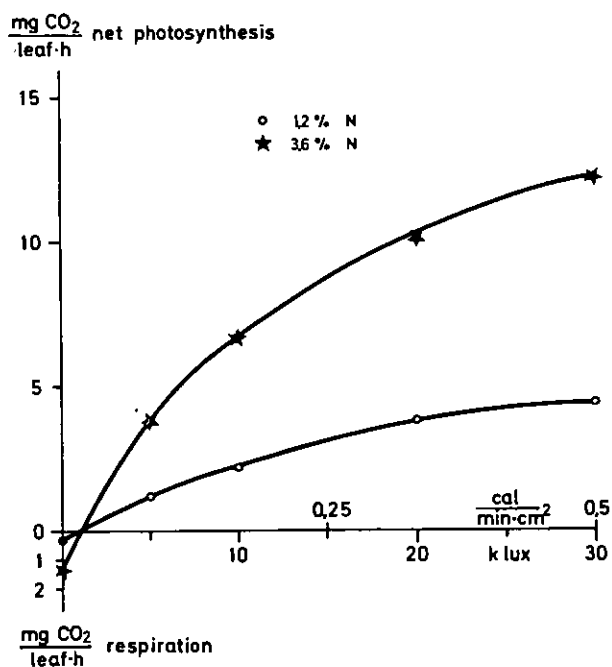


Fig. 4: Influence of light intensity on CO₂ exchange of poplar leaves (*P. nigra*) with different nitrogen supplies.

Table 2 Poplar leaf data in relation to nitrogen supply

N content %	Leaf area dm ²	Spec. area weight g/dm ²	Chlorophyll mg/dm ²
1.20	0.40	1.03	1.57
1.94	0.58	0.92	2.33
2.44	0.69	0.85	3.11
2.92	0.68	0.77	3.13
3.63	0.86	0.57	2.68

comparison. CO₂ uptake of the nitrogen deficient leaf is characterized by a rather flat curve. Light saturation is nearly reached at 20000 lux whereas photosynthesis of the well-supplied leaf distinctly increases beyond this light intensity as has been shown earlier for hybrid poplars (*Keller and Koch [9]*). The photosynthetic rate of the deficient leaf amounts to only 36% of the rate of a well-supplied leaf.

1.3 The influence of phosphorus

A lack of phosphorus lowers photosynthetic rate primarily by disturbing the energy transfer of the adenosine diphosphate-adenosine triphosphate-system (*Pirson [21]*). Leaf size is also affected by phosphorus supply, although to a lesser degree than by nitrogen. *Reinken [22]* reported depressed photosynthesis of apple leaves not only in the range of deficiency but also from excessive phosphorus fertilization, due likely to unfavorable nutrient ratios. Chlorophyll formation is not directly influenced by phosphorus. In general the influence of this element on photosynthesis is less conspicuous than that of nitrogen. The effect of phosphorus was studied on the same poplar clone which had been used in the nitrogen series. Leaves contained between 0.13 and 1.0% P when gaseous exchange was measured and this range did not include extreme deficiency as only weak symptoms appeared. In figure 5 the dependence of photosynthesis on phosphorus nutrition at different light intensities is shown for whole leaves, again cumulating the effects on efficiency and on leaf size. Both photosynthetic intensity and leaf size exhibit an optimum curve when plotted against phosphorus content of leaves. Figure 5 shows that either deficiency or excess depressed photosynthesis in our material to the same extent, roughly by 20% of the rate of leaves at optimum phosphorus supply. The differences in photosynthesis were not related to differences in chlorophyll content nor were distinct differences in leaf structure observable which might account for an influence on gaseous exchange in the range investigated. Improved photosynthetic efficiency at optimum phosphorus nutrition is therefore attributed to better efficiency of energy transfer.

In a later experiment it was found that acute phosphorus deficiency impedes photosynthesis about as much as nitrogen deficiency. Photosynthesis showed under such conditions an even sharper decline than in the case of nitrogen deficiency (*Keller [8]*). But acute phosphorus deficiency extends only over a narrow range of leaf contents as compared to nitrogen and such extreme cases probably are very rare in the field.

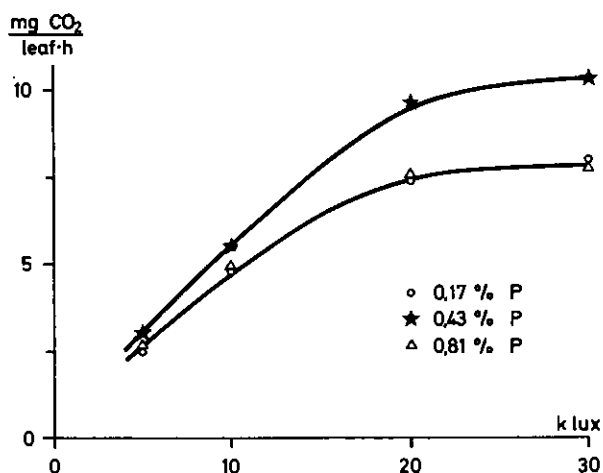


Fig.5: Influence of light intensity on photosynthesis of poplar leaves (*P. nigra*) with different phosphorus contents.

2. The influence of mineral nutrition on respiration

Deficiency or excess of nutrients will affect respiration mainly by influencing activity of respiratory enzymes. Several micronutrients are components of respiratory enzymes but according to Syrett [24] there is still little evidence that mineral deficiencies alter respiration by impeding formation of a particular respiratory enzyme. As mentioned previously increased respiration was observed in cases of potassium deficient cereals. In our experiments with forest tree species we have thus far not yet observed this phenomenon, which apparently occurs only under more extreme conditions.

With varying nitrogen supply the results presented in figure 6 were obtained with poplar. Nitrogen deficiency impeded respiration strongly, a result also described by Friedrich and Schmidt [3] for fruit trees and by Neuwirth [18] for conifers. The decreased respiration may be ascribed to a lack of substrate due to depressed photosynthesis and to metabolic disorders. In the range of optimum nitrogen supply, respiration remains constant; however, with excess nitrogen respiration rises steeply, probably due to enzymatic disturbances and unbalanced nutrient ratios.

In contrast to nitrogen, acute phosphorus deficiency of poplar leads to increased respiration per unit leaf area (figure 7) which has also been observed in cereals (Pirson [21]). With better phosphorus supplies respiration decreases and remains at a constant level. In the range investigated no increase of respiration was detected at high phosphorus contents although Reinken [22] was able to induce high respiratory rates in apple leaves by extreme phosphorus applications.

Regarding root respiration, first results obtained with young poplar plants show that it behaves essentially in similar manner to shoot respiration. Calculated respiration per gram root dry weight increases in the nitrogen series from deficient to normal supply; it then remains rather constant over a wide range and rises steeply at

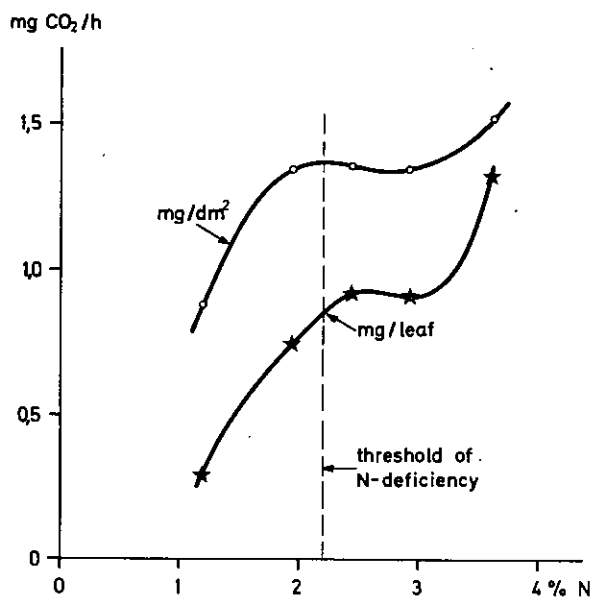


Fig. 6: Influence of nitrogen content of poplar leaves (*P. nigra*) on dark respiration.

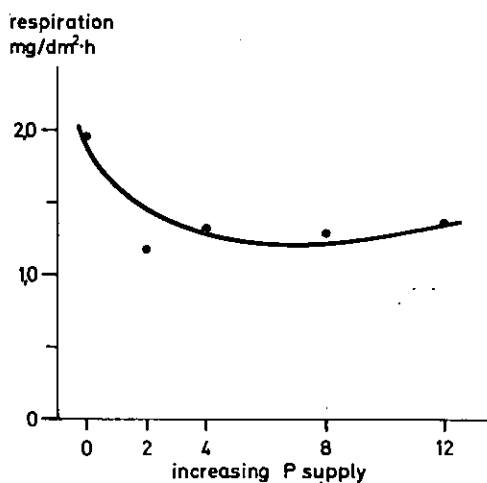


Fig. 7: Influence of phosphorus supply on respiration of poplar leaves (*P. nigra*).

excessive nitrogen supply (table 3). In the phosphorus series the curve takes an opposite course: respiration drops in the range from deficient to normal supply as well as in the range above optimum. If root respiration is expressed as percentage of shoot respiration we find that in both series deficiency leads to a root respiration equal to or greater than shoot respiration. This fact results from the relatively large size of the root system compared to top size which one usually finds on poor sites. The root/shoot ratio drops from 2.3 to 0.6 with increasing nitrogen levels and from 1.2 to 0.8 with increasing phosphorus levels. Root respiration as compared to shoot respiration is smallest in the range of best nutrition. At excessive nitrogen levels it rises sharply.

A comparison of root respiration to photosynthesis at 50000 lux yielded the data of the last column in table 3. It reveals that roughly 10 to 25% of the CO₂ gain of the shoot at rather high light intensity is consumed by root respiration. Consumption reaches a relative minimum in the range of optimum nutritional conditions. In general, root respiration of these poplars is quite low, especially when compared with conifers (*Keller and Wehrmann [12]*).

Table 3 Root respiration of poplar (*P. nigra*) at different nutrient supplies calculated per gram root dry weight, as percentage of shoot respiration and as percentage of net photosynthesis at 50000 lux

Nutrient dose	Root respiration		
	mg/g root dry weight	in % of shoot respiration	in % of photosynthesis
N ₀	0.47	115	22
N ₁	0.70	105	23
N ₂	0.70	90	21
N ₄	0.63	63	12
N ₈	0.61	44	11
N ₁₂	1.19	57	18
P ₀	0.70	(80)	23
P ₁	0.47	100	17
P ₂	0.58	99	18
P ₄	0.63	63	12
P ₈	0.53	65	15
P ₁₂	0.45	57	17

3. The influence of mineral nutrition on transpiration

Mineral nutrition may influence transpiration primarily by affecting plant hydration either by modifying

- water uptake via development and functioning of root system, root/shoot ratio etc., or
- water loss by altering osmotic pressure, permeability and viscosity of cytoplasmic membranes which influence water flow and stomatal movements, or by affecting leaf morphology and anatomy.

Details may be found in the review of *Biebl* [2]. It has been mentioned before that deficiency of nutrients, particularly of potassium and nitrogen, may induce xeromorphic leaf structure. *Kramer* and *Kozłowski* [15] state that in xeromorphic leaves more cell wall surface is exposed to internal atmosphere than in mesomorphic leaves, providing more evaporating surface. Under conditions of adequate water supply transpiration of xeromorphic leaves may therefore surpass that of mesomorphic leaves, especially if in addition the network of water conducting tissue is denser and stomata are more numerous though smaller. However, under drought conditions, when stomata are closed, heavily cutinized xeromorphic leaves show distinctly lower water loss than mesomorphic leaves.

According to *Kramer* and *Kozłowski* [15] responsiveness of stomata may be more decisive than their number and size, and *Neuwirth* and *Fritzsche* [19] emphasize the importance of an adequate and balanced fertilization for securing maximum responsiveness.

3.1 The influence of potassium

The role of potassium in regulating permeability of cytoplasm is well-known. Potassium fertilization may suppress the increased transpiration observed under conditions of potassium deficiency. Excessive or unbalanced applications of potassium, however, may increase transpiration. This response has been reported by *Neuwirth* [18] for spruce and Japanese larch. Potassium deficient poplars showed more intensive gaseous exchange at incipient drought than did normal poplars due to sluggish stomatal reaction and they were therefore more subject to drought injury (*Neuwirth* and *Fritzsche* [19]).

The results of an investigation of transpiration of poplar leaves at 30000 lux and a vapor pressure saturation deficit of 15 mm Hg are tabulated in table 4. Although the plants were well watered, no increase of transpiration was observed in deficient plants. Plants receiving more than optimum amounts of potassium, however, showed higher transpiration rates, an indicator for excessive or unbalanced fertilization.

In a fertilizer experiment with spruce, transpiration decreased slightly in the range above potassium deficiency threshold. Plants with 0.42 to 0.60% K transpired 0.63 g/g dry needles/h at 20000 lux whereas plants with 0.61 to 0.79% K showed a transpiration rate which was 14% less. The N/K ratio in both classes varied between 1.22 and 3.74.

Table 4 Transpiration of poplar leaves (*Populus tacamahaca* × *trichocarpa*) with varying potassium supply at 30000 lux and vapor pressure saturation deficit of 15 mm Hg (28°C, 47.5% relative humidity)

K content %	Transpiration per hour		
	g/leaf	g/dm ²	g/g dry weight
0.74	1.01	1.48	2.06
1.28	1.01	1.52	2.53
1.71	1.00	1.38	2.36
2.26	1.32	1.75	3.42

3.2 The influence of nitrogen

As pointed out before, nitrogen deficiency is known to induce xeromorphism and to influence viscosity and permeability of cytoplasm. Adequate and even high nitrogen supply to hybrid poplar was found to be beneficial for stomatal responsiveness by *Neuwirth* and *Fritzsche* [19]. Likewise *Pharis* and *Kramer* [20] reported that loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings grown with optimum nitrogen supply were most drought resistant, whereas higher amounts of nitrogen decreased resistance. This effect might explain the unfavorable results after fertilization of red pine (*Pinus resinosa* Ait.) with ammonium sulfate observed by *Shirley* and *Meuli* [23].

The results of our experiments with black poplar in sand cultures are shown in table 5. Optimum nitrogen levels stimulate transpiration together with the general metabolism. These results largely agree with the observations by *Neuwirth* and *Fritzsche* [19] on hybrid poplar, except at the highest nitrogen levels where those authors found a further rise of transpiration.

Table 5 Transpiration rate of poplar leaves (*Populus nigra* L.) with varying nitrogen supply at 30000 lux and a vapor pressure saturation deficit of 15 mm Hg

Nitrogen %	Transpiration per hour		
	g/leaf	g/dm ²	g/g dry weight
1.20	0.83	2.02	2.08
1.94	1.12	1.94	2.20
2.44	1.58	2.40	2.82
2.92	1.57	1.87	3.25
3.63	1.34	1.63	2.91

3.3 The influence of phosphorus

Shirley and *Meuli* [23] observed increased drought resistance of red pine seedlings after application of potassium phosphate and *Viktorov* and *Bystrjancew* [25] were able to measure depressed transpiration of maple (*Acer negundo* L.) and Scotch pine seedlings after phosphate fertilization in a nursery. *Reinken* [22] reported greatly in-

Table 6 Transpiration of black poplar leaves (*Populus nigra* L.) with varying phosphorus supply at 30000 lux and a vapor pressure saturation deficit of 15 mm Hg

P content %	Transpiration per hour		
	g/leaf	g/dm ²	g/g dry weight
0.167	1.59	2.72	3.54
0.251	1.48	2.50	3.21
0.353	1.57	2.49	2.96
0.434	1.32	1.84	2.69
0.530	1.36	1.79	2.67
0.629	1.28	2.01	2.90
0.807	1.22	2.09	2.71

creased transpiration of deficient apple leaves and markedly decreased transpiration and improved stomatal response after phosphorus application. *Neuwirth* and *Fritzsche* [19] confirmed this for hybrid poplar and *Neuwirth* [18] determined increased transpiration in deficient Scotch pine.

Transpiration of black poplars grown in sand cultures with varying phosphorus supply was measured under standardized conditions and results are recorded in table 6. These data agree with findings of other authors showing increased water loss at deficiency levels and a decline of transpiration rate with improving phosphorus supply. Only at high phosphorus levels transpiration increases slightly again (on area and weight basis).

4. Conclusions

The literature reviewed and the experimental data presented clearly show that photosynthesis and transpiration are physiological processes which may be influenced beneficially by appropriate fertilization, although the reactions caused by different levels of various elements may be bewildering at the first sight.

As fertilization usually aims at improving dry matter production (i. e. largely the difference between photosynthesis and respiration) without disturbing the water relationships of plants, the ratio of photosynthesis to transpiration (usually called P/T or A/T quotient) is a valuable indicator of whether the goal is being achieved or not. These A/T quotients (denoting how many milligram CO₂ are photosynthesized per gram water loss) determined in our experiments with poplars at 30 000 lux may be found in table 7.

Table 7 A/T quotients (mg CO₂/g H₂O) at 30 000 lux of poplar leaves of varying nutritional states

Nutrient	A/T	Nutrient	A/T
0.74 % K	7.7	0.17 % P	5.7
1.28 % K	8.4	0.25 % P	6.7
1.71 % K	9.0	0.35 % P	6.7
2.26 % K	7.3	0.43 % P	8.0
		0.53 % P	8.2
1.20 % N	5.9	0.63 % P	7.5
1.94 % N	7.3	0.81 % P	7.2
2.44 % N	6.3		
2.92 % N	7.7		
3.63 % N	9.2		

The A/T values of the potassium series show a trend toward following an optimum curve. Relief of potassium deficiency leads to an increase of CO₂ uptake and higher A/T ratio. In the range above optimum, however, transpirational increase surpasses the rise of photosynthesis and depresses the A/T ratio again.

In the nitrogen series the A/T values increase with increasing supply as CO₂ uptake is strongly stimulated. At high nitrogen levels photosynthetic rate may again be lowered due to excessive respiration. The transpiration curve shows a similar

trend. In the low nitrogen range CO_2 uptake increases more than transpiration and in the high nitrogen range it decreases less, resulting in a more or less steady increase of A/T quotients.

The phosphorus series yields an optimum curve for photosynthesis and a steady decline of transpiration except at highest phosphorus levels. The A/T values consequently form an optimum curve.

It seems an interesting point that maximum photosynthetic rate and most economic water use are not always found at the same nutrient levels, e. g. maximum CO_2 uptake is reached at or above 2.26% potassium, while the best A/T value is at 1.7% potassium in poplar. The desired nutritional state, as characterized by foliar nutrient content, therefore may vary somewhat according to the moisture regime of the site.

The data presented support the conclusion that fertilizer applications which aim at balancing nutrient supply and harmonizing the nutritional state of plants will also improve gaseous exchange and water use, whereas excessive amounts of fertilizers may cause physiological disorders and failure. Even if water use may be more economic, improved nutrition will lead to increased water consumption due to greater foliage mass. On droughty sites, therefore, productivity may be raised hardly at all by direct effects of fertilization, but such action may reduce losses by bringing about improved drought resistance of the forest stand.

Summary

Depending on nutritional state of the plant a fertilizer application may cause different reactions of the photosynthetic, respiratory, and transpirational behavior. Mineral nutrients may affect photosynthesis – the basis of dry matter production – as parts of pigments and enzymes, as catalysts, by influencing membrane permeability, stomatal behavior, size, number, structure, and lifespan of leaves, etc. In most cases, however, forest growth on poor sites is limited mainly by reduced photosynthesis due to a shortage of pigments and decreased foliage mass. Minerals influence respiration mainly through activity of respiratory enzymes and affect transpiration primarily by a modification of either water uptake (development and functioning of root system, root/shoot ratio) or water loss (by altering osmotic pressure, permeability and viscosity of cytoplasm, leaf morphology, stomatal responsiveness, etc.).

Potassium deficiency exerts an influence on photosynthesis by impeding photosynthetic energy transfer and altering plasmic permeability but the effect is usually relatively small. The difference in photosynthetic rate between poplar leaves with 0.75% K and 2.25% K amounted to only 15% on an area basis (fig. 1). In this range respiration seemed unaffected by potassium supply whereas transpiration showed a stimulation at high potassium level (table 4). Optimum of water economy as expressed by the A/T ratio (net photosynthesis/transpiration) therefore lies at a lower potassium level (leaf content) than the photosynthetic optimum in the case of balsam poplar, e.g. at 1.7% versus 2.3%.

Nitrogen affects photosynthesis mainly through chlorophyll synthesis and leaf size. Although only about 1% of leaf nitrogen is bound in chlorophyll, nitrogen and chlorophyll contents are well correlated (fig. 2) and as a consequence also photosynthesis and nitrogen supply (fig. 3). In a nitrogen deficient leaf photosynthesis may drop to one third of that of a well supplied leaf. At excessive nitrogen levels, however, photosynthesis may decrease again due to increased respiration (fig. 6). The dependence of transpiration on leaf nitrogen supply shows an optimum curve (table 5) similar to photosynthesis but the water economy of poplar shows a steady improvement in the range 1.2–3.6% N. Optimum photosynthetic rate thus was found at 3% N, optimum water economy at 3.6% N.

Phosphorus affects photosynthesis by disturbing phosphorus-bound energy transfer but this influence is relatively weak (fig. 5) except at extreme deficiency. In the deficiency range (and again at high excess) respiration shows stimulation (fig. 7). Transpiration shows a more or less steady decline with increasing supply, except at highest levels, and the optimum A/T ratio was found around 0.4–0.5%. The optimum photosynthetic rate was near 0.3–0.4% P. in poplar.

Root respiration exhibits the same pattern as shoot respiration. Under unfavorable nutritional conditions root respiration may exceed shoot respiration and may amount to about a quarter of net photosynthesis at 50000 lux in poplar (table 3).

Because nutrient levels for maximum photosynthesis and most economic water use do not coincide, the desired nutrient content of foliage may vary somewhat according to the moisture regime of the site. However, the data presented stress that fertilizer applications which aim at optimizing nutritional state will also improve conditions for gaseous exchange whereas excessive or unbalanced fertilization may cause physiological disorder and failure.

Zusammenfassung

Der Einfluss der Düngung auf den Gaswechsel von Waldbaumarten

Je nach dem Ernährungszustand eines Baumes ruft eine Düngung unterschiedliche Reaktionen von Photosynthese, Atmung und Transpiration hervor. Mineralnährstoffe können die Kohlen-säureassimilation – die Basis jeglicher Stoffproduktion – als Bausteine von Pigmenten und Enzymen oder als Katalysatoren beeinflussen sowie über ihre Wirkung auf Plasmaquellung, Membran-permeabilität, stomatisches Verhalten, Blattgrösse, -zahl, -struktur und Lebensdauer. In den meisten Fällen ist die Wuchsleistung auf nährstoffarmen Standorten jedoch vor allem begrenzt durch einen Mangel an Pigmenten und durch geringe Laubmasse, welche die Photosynthese beschränken.

Die Mineralien beeinflussen die Atmung hauptsächlich über die Aktivität der Atmungsenzyme, die Transpiration weitgehend durch eine Veränderung von Wasseraufnahme (Entwicklung und Tätigkeit des Wurzelwerks, Spross/Wurzel-Verhältnis) oder Wasserabgabe (Osmose, Permeabilität, Viskosität des Plasmas, Blattmorphologie, Reaktionsfähigkeit der Stomata).

Kalimangel stört den Energietransfer bei der Photosynthese und verändert die Plasmapermeabilität, doch ist die Auswirkung auf die Assimilation gewöhnlich relativ gering. Der Unterschied in der Photosyntheseintensität/dm² zwischen Balsampappelblättern mit 0,75 % bzw. 2,25 % K betrug nur 15 % (Abb. 1). Bei der Atmung zeigte sich in diesem Bereich keine nennenswerte Veränderung, während die Transpiration durch hohen Kaligehalt stimuliert wurde (Tab. 4). Beste Wasserökonomie, ausgedrückt durch den A/T-Quotienten (Assimilation/Transpiration, mg CO₂/g H₂O), findet sich daher bei geringerem Blatt-Kaligehalt (1,7 %) als die höchste Assimilationsintensität (bei 2,3 % K).

Stickstoff beeinflusst die Assimilation vor allem über Chlorophyllsynthese und Blattgrösse. Obwohl nur etwa 1 % des Blattstickstoffes im Chlorophyll gebunden ist, sind Stickstoff- und Chlorophyllgehalt gut korreliert (Abb. 2), in der Folge auch Chlorophyllgehalt und Assimilationsrate (Abb. 3). Die CO₂-Aufnahme eines Schwarzpappelblattes mit Stickstoffmangel betrug nur noch einen Drittel im Vergleich zum voll ernährten Blatt (Abb. 4). Übermässige Stickstoffdüngung dagegen führt zu einem Rückgang der Assimilationsrate wegen erhöhter Atmung (Abb. 6). Die Abhängigkeit der Transpiration von der Stickstoffversorgung zeigt ähnlich wie die Assimilation eine Optimumkurve (Tab. 5), aber der Wasserverbrauch wird im Bereich 1,2–3,6 % N immer ökonomischer (A/T-Wert steigt). Höchste Assimilationsrate/dm² wurde bei 3 %, höchster A/T-Quotient bei 3,6 % N gefunden.

Phosphor beeinflusst die Photosynthese durch den phosphatgebundenen Energietransfer, aber die Auswirkung ist relativ gering, ausser in extremen Fällen (Abb. 5). Im Mangelbereich (und bei grossem Überschuss) ist die Atmung leicht erhöht (Abb. 7). Die Transpiration sinkt mit zunehmendem Phosphorgehalt der Blätter bis zu einem Minimum im Bereich von Blattgehalten von 0,4 bis 0,5 % P (Tab. 6), wo der A/T-Wert am grössten ist (Tab. 7). Höchste Assimilationsleistung der Schwarzpappel wird dagegen im Bereich 0,3–0,4 % P gefunden.

Die Wurzelatmung verhält sich im wesentlichen gleich wie die Sprossatmung. Bei ungünstiger Ernährung kann die Wurzelatmung die Sprossatmung übersteigen und kann bei der Pappel bis etwa einen Viertel der Photosynthese bei 50000 Lux ausmachen (Tab. 3).

Da sich höchste Assimilationsleistung und bestes A/T-Verhältnis nicht bei denselben Nährstoffgehalten der Blätter einstellen, variiert der anzustrebende Nährstoffspiegel in den Assimilationsorganen je nach dem Wasserhaushalt des Standortes. Die Resultate zeigen jedoch, dass eine Düngung, welche einen optimalen Ernährungszustand bezweckt, auch die Bedingungen für den Gaswechsel verbessert, während übermässige oder unausgeglichene Düngergaben physiologische Störungen hervorrufen, welche sich im Gaswechselverhalten äussern.

Bibliography

1. Baule H. and Fricker C.: Die Düngung von Waldbäumen. 259 p. Bayer. Landwirtsch. Verlag, München 1967.
2. Biebl R.: Der Einfluss der Mineralstoffe auf die Transpiration. *Encycl. Pl. Physiol.* IV, 382–426. Springer, Berlin 1958.
3. Friedrich G. and Schmidt G.: Weitere Untersuchungen über das assimilatorische und respiratorische Verhalten der Obstgehölze. *Archiv f. Gartenbau* 11, 209–245 (1963).
4. Fritzsche K. H.: Personal communication (1967).
5. Gregory F. G. and Richards F. J.: Physiological studies in plant nutrition I. *Ann. Bot.* 43, 119–161 (1929).
6. Gussone H. A.: Faustzahlen für Düngung im Walde. 98 p. Bayer. Landwirtsch. Verlag, München 1964.
7. Keller Th.: Modellversuche zur Düngung von Ballenpflanzen. *Schweiz. Zeitschr. f. Forstwes.* 116, 243–255 (1965).
8. Keller Th.: Nettoassimilation, Spross- und Wurzelatmung junger Pappeln bei unterschiedlicher Ernährung (in press, 1967).
9. Keller Th. and Koch W.: Der Einfluss der Mineralstoffernährung auf CO₂-Gaswechsel und Blattpigmentgehalt der Pappel. I. Stickstoff. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes.* 38 (2), 257–282 (1962).
10. Keller Th. and Koch W.: Der Einfluss der Mineralstoffernährung auf CO₂-Gaswechsel und Blattpigmentgehalt der Pappel. II. Eisen. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes.* 38 (2), 283–318 (1962).
11. Keller Th. and Koch W.: The effect of iron chelate fertilization of poplar upon CO₂-uptake, leaf size, and content of leaf pigments and iron. *Plant and Soil* 20 (1), 116–126 (1964).
12. Keller Th. and Wehrmann J.: CO₂-Assimilation, Wurzelatmung und Ertrag von Fichten- und Kiefernssämlingen bei unterschiedlicher Mineralstoffernährung. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes.* 39 (4), 217–242 (1963).
13. Kozłowski T. T. and Keller Th.: Food relations of woody plants. *Bot. Review* 32 (4), 293–382 (1966).
14. Kramer P. J.: Photosynthesis of trees as affected by their environment. In: *The Physiology of Forest Trees*, p. 157–186; K. V. Thimann (edit.), Ronald Press, New York 1958.
15. Kramer P. J. and Kozłowski T. T.: *Physiology of Trees*. 642 p. McGraw-Hill, New York 1960.
16. Kursanov A. and Vyskrebentseva E.: Le rôle du potassium dans le métabolisme du végétal et la biosynthèse des composés déterminant la qualité des produits agricoles. *Potassium Symposium* 1966. In press.
17. Müller-Stoll W. R.: Der Einfluss der Ernährung auf die Xeromorphie der Hochmoorpflanzen. *Planta* 35, 225–251 (1948).
18. Neuwirth G.: Assimilation, Atmung und Transpiration unterschiedlich gedüngter junger Koniferen während des Frühjahrsaustriebes in Abhängigkeit von Klimafaktoren. *Arch. Forstwes.* 15 (5/6), 629–639 (1966).
19. Neuwirth G. and Fritzsche K. H.: Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Düngergaben auf das gasstoffwechselökologische Verhalten einjähriger Pappel-Steckholzaufwüchse. *Arch. Forstwes.* 13 (3), 233–246 (1964).
20. Parris R. P. and Kramer P. J.: The effects of nitrogen and drought on loblolly pine seedlings. I. Growth and composition. *Forest Sci.* 10 (2), 143–150 (1964).
21. Pirson A.: Photosynthese und mineralische Faktoren. *Encycl. Pl. Physiol.* V/2, 123–151. Springer, Berlin 1960.
22. Reinken G.: Wachstum, Assimilation und Transpiration von Apfelbäumen und ihre Beeinflussung durch Phosphor. *Phosphorsäure* 23 (3), 91–108 (1963).
23. Shirley W. L. and Meuli L. J.: The influence of soil nutrients on drought resistance of two-year old pine. *Amer. J. Bot.* 26, 355–360 (1939).
24. Syrett P. J.: The effect of minerals on plant respiration. *Encycl. Pl. Physiol.* XII/2, 170–184. Springer, Berlin 1960.
25. Viktorov D. P. and Bytrjancev P. I.: The influence of P nutrition on the transpiration of seedlings of woody species. *Dokl. Akad. Nauk SSSR* 128, 1302–1304 (1959); *For. Abstracts* 21, Nr. 2726 (1960).

Aussagewert von Boden- und Nadelanalysen

Prof. Dr. R. THEMLITZ, Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Forstlichen Fakultät
Hann.-Münden, Bundesrepublik Deutschland

Das Thema beinhaltet die Frage, inwieweit chemische Untersuchungen an forstlich genutzten Böden und an Assimilationsorganen von Waldbäumen eine zuverlässige Aussage über den Nährstoffzustand und mithin über die Ertragsleistung eines Standortes sowie über die Aussichten einer Ertragssteigerung durch Zufuhr bestimmter Nährstoffe vermitteln. Für die Beurteilung des Nährstoffzustandes landwirtschaftlich genutzter Böden haben sich die Ergebnisse von Reaktions- und Nährstoffuntersuchungen bewährt. Dabei dienen als Beurteilungsmassstab Grenzwerte, die sich auf eine Vielzahl von vergleichenden Feld-, Gefäss- und Laboruntersuchungen bzw. -versuchen stützen. Man denke hier zum Beispiel an die Einführung der Laktatmethode, die die kosten- und zeitaufwendigen Gefässversuche nach Mitscherlich und die Keimpflanzenmethode nach Neubauer ablöste. Wenn die Auswertung chemischer Bodenuntersuchungsergebnisse unter Berücksichtigung der örtlichen Besonderheiten (Klima, Exposition, Bodenart, Bodentyp u. a. m.) erfolgt, können dem Landwirt erfolgssichernde Düngungs- und Anbauvorschläge gemacht werden.

Die Entnahme der Bodenproben von landwirtschaftlich genutzten Flächen beschränkt sich in der Regel auf die bearbeitete Krume. Das ist berechtigt, weil sich das Wurzelwerk der meisten landwirtschaftlichen Nutzpflanzen hauptsächlich in dieser Zone entwickelt. Gleiches trifft auf die Jungpflanzen in Forstpflanzenan-zuchtstätten zu. Es ist daher verständlich, wenn Bodenanalysen an Proben, die bis zur Bearbeitungstiefe entnommen wurden, hier eine gute Hilfe für die Beurteilung einer mehr oder minder ausreichenden Nährstoffversorgung sind. Die Grundlage hierfür schufen Versuche von Nemec [9] und besonders von Süchting [12], die zur Aufstellung eines Beurteilungsrahmens für den K- und P-Zustand führten. Dabei wird das lösliche K in 1%iger NH_4Cl -Lösung, die Phosphorsäure im Auszug mit 1%iger Zitronensäure ermittelt. Kraus [6] hat diesen Werten dann später die entsprechenden Laktatwerte gegenübergestellt (Tabelle 1).

Tabelle 1. Beurteilung der K- und P-Versorgung von Waldböden

Versorgungsgrad	Milligramm in 100 g Boden			
	(Süchting) K_2O (löslich in 1% NH_4Cl)	P_2O_5 (löslich in 1% Zitronensäure)	(Kraus) K_2O (Doppellaktatmethode)	P_2O_5
schlecht	bis 4	bis 10	bis 7	bis 3
mässig	4–10	10–20	7–12	3–9
ausreichend	über 10	über 20	über 12	über 9

Süchting [11] macht zu den von ihm vorgeschlagenen Grenzwerten für den K- und P-Zustand selbst den Vorbehalt, dass es noch weiterer Untersuchungen zur Sicherung dieser Grenzwerte bedürfe, die weder die verschiedenen Bodenarten noch die speziellen Ansprüche junger Holzpflanzenarten berücksichtigen. Immerhin hat sich der Bewertungsrahmen für die Beurteilung des Nährstoffzustands von Böden in Anzuchtstätten für Nadelholzpflanzen bewährt. Im Prinzip ist es belanglos, welches Verfahren man zur Bestimmung löslicher Nährstoffe im Boden wählt. Wesentlich ist, dass zwischen der in irgendeinem Medium gelösten Menge eines Nährstoffes und seiner Aufnahme durch die Pflanzen eine Korrelation besteht.

Untersuchungen an Böden und Pflanzen aus Anzuchtstätten ergaben einen progressiven Anstieg der K-Gehalte in Fichten- und Kiefernnadeln von der schlechten zur ausreichenden K-Versorgungsstufe der Böden (Tabelle 2).

Tabelle 2. Kaliegehalt in Böden und zugehörigen Fichten- und Kiefernnadeln aus Pflanzenanzuchtstätten

Versorgungsstufe nach <i>Süchting</i>	Milligramm K ₂ O in 100 g Boden (NH ₄ Cl-löslich)	Prozent K ₂ O in Nadeln	
		Fichten	Kiefern
schlecht	< 4	0,67	0,54
mässig	4-10	0,93	0,88
ausreichend	10-20	1,02	1,14
	> 20	1,04	1,14

Es zeigte sich ferner, dass der K-Spiegel der Assimilationsorgane trotz sehr reichlichen Angebotes begrenzt war [17]. Die Ursache hierfür ist erfahrungsgemäss vielfach darin zu suchen, dass mit einer hohen Kalidüngung eine reichliche Anwendung auch anderer Nährstoffe verbunden zu sein pflegt. Abgesehen von ausgesprochenen Kalkdüngemitteln führen, und das wird meist übersehen, auch Phosphatdünger (ausser Superphosphat) beachtliche Mengen aufnehmbaren Kalkes dem Boden zu, die dann die K-Aufnahme im Sinne des Kali-Kalk-Antagonismus zurückdrängen. Die Erfahrung hat ferner gelehrt, dass selbst dann, wenn die pH-Werte eines Bodens für die Anzucht z. B. von Nadelholzjungpflanzen in Ordnung sind, dennoch ein Überangebot an Ca in der Bodenlösung vorliegen kann, das zu einer Chlorose führt [14].

Bei unseren Untersuchungen an Böden aus Forstpflanzenanzuchtstätten wurde ein gesetzmässiger Zusammenhang zwischen dem P-Angebot im Boden und dem P-Spiegel in den zugehörigen Fichten- und Kiefernnadeln im Gegensatz zum Kali nicht deutlich [17]. In allen Versorgungsstufen ergaben sich z. B. für Fichtennadeln Gehalte von 0,52 bis 0,58% P₂O₅, und zwar bemerkenswerterweise auch dann, wenn der Boden ungewöhnlich gut mit Phosphorsäure versorgt war (bis zu rund 59 mg zitronensäurelösliches P in 100 g Boden). Nur sehr vereinzelt wurden bei sehr niedrigen P-Gehalten im Boden auch niedrige, an der Grenze der Mangelversorgung liegende P-Gehalte in den Nadeln von Jungpflanzen gefunden. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangte auch *Nemec* [9] bei Untersuchungen in Waldbaumschulen.

Diese Hinweise mögen zeigen, dass die Ergebnisse von Modellversuchen in Gefässen, von denen *Süchting* bei der Aufstellung seines Beurteilungsrahmens für den K- und P-Zustand ausging, auf die Verhältnisse im Freiland nicht ohne weiteres

übertragbar sind. Bei der Frage nach der N-Versorgung des Bodens und dem zu erwartenden N-Angebot an die Pflanzen gibt der Gehalt an Humus und dessen C/N-Verhältnis einen gewissen, allerdings nur groben Anhalt.

Immerhin ist zu sagen, dass bei Böden, die für die Anzucht von Forstpflanzen bestimmt sind und nach einem bewährten Beurteilungsmassstab eine schlechte Versorgung mit diesem oder jenem Nährstoff aufweisen, die Zufuhr des betreffenden Nährstoffes in der Düngung Aussicht auf Erfolg verspricht.

Bei ausgesprochenen Waldstandorten sind andere Massstäbe als bei den für die Forstpflanzenanzucht bestimmten Böden anzulegen, weil sich die Durchwurzelung dort nicht auf einen der Bearbeitungstiefe in Pflanzengärten entsprechenden Raum beschränkt. Dafür geben Beobachtungen von Wittich [20] auf einem Diluvialstandort der Mark Brandenburg ein überzeugendes Beispiel. Es handelt sich hier um einen wasserdurchlässigen Boden mit 95% Kies und Grobsand bei einem Quarzgehalt von 80%. Würde man die für Baumschulböden auch durchaus richtigen Massstäbe anwenden, so müsste dieser Standort als äusserst ungünstig bewertet werden. Tatsächlich stocken hier aber bestwüchsige Kiefern, Eichen und selbst anspruchsvolle Edellaubbäume. Die Erklärung für diesen scheinbaren Widerspruch ist in der sehr guten Durchwurzelbarkeit des Bodens bis in grosse Tiefe und der leichten Zugänglichkeit der in geringer Menge vorhandenen nährstoffliefernden Minerale sowie des Bodenwassers zu suchen. Nach dem Genannten kann man sich mit Hilfe der Elektro-Ultrafiltration und der Mineralanalyse einen analytischen Anhalt für die Leistungsfähigkeit solcher Standorte verschaffen.

Bekanntlich ist für Diluvialböden eine diskontinuierliche Schichtung und mithin ungleichmässige Verteilung der Minerale, also auch der Nährstoffe, kennzeichnend. Dies mögen Untersuchungen in einer Kiefern-Flugstreifenkultur auf Heideboden im Raume Meppen vor Augen führen (Tabelle 3). Anlass zu diesen Untersuchungen

Tabelle 3. Bodenanalysen (Tinnen 1967)

Tiefe	p.p.m.		
	Ca ¹	Mg ¹	K ¹
0- 10 cm	44,9 (50,0)	16,3 (26,9)	16,4 (35,2)
10- 20 cm	38,1 (34,3)	14,4 (70,1)	12,2 (31,2)
20- 30 cm	32,9 (16,4)	12,2 (40,3)	12,6 (21,4)
30- 40 cm	16,4 (31,6)	11,9 (33,3)	8,4 (19,5)
40- 60 cm	8,0 (75,0)	13,1 (41,1)	7,0 (23,1)
60- 80 cm	5,6 (88,9)	10,7 (24,8)	6,9 (35,5)
80-100 cm	9,2 (47,6)	10,2 (26,1)	6,4 (19,8)
	P ²	% C	
0- 10 cm	16,8 (18,5)	1,96 (28,8)	
10- 20 cm	29,1 (17,0)	2,93 (22,9)	
20- 30 cm	39,6 (40,8)	2,58 (33,5)	
30- 40 cm	37,4 (34,0)	1,76 (20,2)	
40- 60 cm	27,7 (25,2)	0,73 (35,8)	
60- 80 cm	21,3 (25,8)	0,31 (39,4)	
80-100 cm	18,0 (11,7)	0,15 (19,3)	

¹ In 0,1 n HCl. ² In 1 % Acid. citr; () = s % (Streuung)

gab die Frage nach dem bei der Probenahme erforderlichen Aufwand zur zuverlässigen Aussage über die Wanderung von Nährstoffen im Profil. Hierzu wird andernorts noch berichtet werden.

Auf den 50×50 m grossen Parzellen wurden unter Auslassung von Randstreifen in fünf gleichmässig über die Parzelle verteilten Reihen jeweils sechs Bohrungen mit dem Volumenbohrer bis 1 m Tiefe vorgenommen. Die je Reihe aus der gleichen Tiefe stammenden Proben vereinigte man zu einer Mischprobe, so dass je Parzelle fünf Mischproben aus gleicher Tiefe zur Verfügung standen. Ca, Mg und K wurden im Auszug mit kalter 0,1 n HCl, P im Auszug mit 1% Zitronensäure bestimmt. Die in Tabelle 3 zu findenden Daten gelten für die in den Pflugstreifen der ungedüngten Parzelle genommenen Proben.

Nach den Werten für den C-Gehalt und deren Streuung (s%) sorgte die Pflugarbeit für eine ungleichmässige Verteilung der aus dem ursprünglichen A-Horizont stammenden Humussubstanz bis zur Tiefe von 40 cm. Aber auch in dem durch Pflugarbeit nicht gestörten Unterboden war die Streuung des C-Gehaltes bei wesentlich geringeren Werten, die mit der Tiefe deutlich abnahmen, im Durchschnitt nicht kleiner. Für K und deutlicher noch für Ca ist in Übereinstimmung mit der Erfahrung eine Abnahme der Gehalte mit zunehmender Tiefe erkennbar. Dabei sind die Streuungen für Ca meist auffällig grösser als für K, besonders im Unterboden. Zum Teil recht grosse Streuungen fanden sich auch für Mg, dessen Verteilung im Profil relativ gleichmässig war. Für die zitronensäurelösliche Phosphorsäure ergab sich im Vergleich zu den vorbesprochenen Nährstoffen eine geringere Streuung. Das grösste Ausmass der P-Streuung fiel mit den höchsten Durchschnittsgehalten in den Tiefenstufen 20–40 und 30–40 cm zusammen. Auf die fraglos mit Podsolierungsvorgängen zusammenhängende Anreicherung der Phosphorsäure in diesen Zonen soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

Im ganzen gesehen ist aus den Daten in Tabelle 3 zu entnehmen, dass den Ergebnissen der chemischen Bodenuntersuchung für diesen Standort wegen der hohen Streuungen ein den Aussagewert stark einschränkender Unsicherheitsfaktor anhaftet, und zwar trotz sorgfältiger Probenahme. Hinzu kommt, dass man ohne diffizile Wurzeluntersuchungen auch nicht sagen kann, inwieweit das in den einzelnen Tiefenstufen vorhandene Nährstoffkapital von den Waldbäumen genutzt wird. Der Wert von Bodenanalysen soll damit keineswegs in Abrede gestellt werden. So untersuchte Zöttl [22] die Mineralstickstoffanlieferung aus Waldhumus im Brutversuch zu verschiedenen Jahreszeiten, wobei sich zeigte, dass die Mineralstickstoffanhäufung ein geeignetes Mass zur N-Anlieferung im Bestande ist [23]. Auch lassen sich auf Standorten mit Rohhumus- oder Moderzustand anhand des N-Gehaltes der organischen Substanz vornehmlich der F-Lage näherungsweise Angaben zur N-Anlieferung machen [24]. Bodenanalysen vermögen für die Beurteilung der Ertragsleistung eines Standortes erst dann einen wertvollen Anhalt zu geben, wenn ihre Auswertung durch einen erfahrenen Fachmann erfolgt, der sich auch in der Beurteilung des betreffenden Bodenprofils auskennt.

Zur Nährstoffaufnahme kann zutreffend nur die Analyse der Pflanzen selbst Auskunft geben. Bei Sämlingen macht die analytische Verarbeitung der gesamten Pflanzenmasse keine Schwierigkeit, wohl aber in älteren Kulturen und in Beständen. Hier bedient man sich aus naheliegenden Gründen der Blatt- oder Nadelanalyse.

Die Probenahme hierfür erfolgt bei immergrünen Bäumen stets ausserhalb der Vegetationszeit. Höhne [5] rät für Fichten den Zeitraum zwischen Oktober und

Januar an. Bei Kiefern hält *Wehrmann* [19] die Zeitspanne von Ende Oktober bis Ende November für besonders geeignet. Üblicherweise wählt man die Zeit von Anfang November bis Ende Januar zur Probenentnahme. Eine starre Regel wird man nicht aufstellen können, weil die Vegetationsruhe regionalen Schwankungen unterliegt. Man kann auch innerhalb der Vegetationsruhe nicht mit konstanten Nährstoffspiegeln in den Assimilationsorganen rechnen, da leichtbewegliche Nährstoffe der Auswaschung durch Niederschläge unterliegen. Bei Laubgehölzen, auf die in dieser Abhandlung nicht näher eingegangen werden soll, erfolgt die Blattentnahme kurz vor dem vermutlichen Vergilbungstermin. Schattenblätter sind von der Entnahme auszuschliessen.

Nach *Höhne* [2, 3, 4] ist es für eine aussagefähige Analyse unzulässig, Fichtennadeln verschiedenen Alters sowie von verschiedenen alten Bäumen eines Standortes miteinander zu mischen, da die Nährstoffgehalte 1-, 2-, 3- und mehrjähriger Nadeln selbst von ein und demselben Zweig unterschiedlich sind. So pflegt die Konzentration an N und K, weniger die an P und Mg, mit dem Nadelalter abzufallen, diejenige an Ca deutlich zuzunehmen. Auf das Verhalten anderer Elemente sei hier nicht eingegangen.

Die Nadelproben sollten aus dem vollbelichteten Kronenraum von 2. bis 4. Quirl von Bäumen vergleichbarer soziologischer Stellung im Bestande stammen und aus gleicher Exposition. Für eine repräsentative Mischprobe reichen nach *Nebe* [8] auf leistungsfähigen Standorten 10 bis 15 Individuen, auf leistungsschwachen 30 bis 50 aus, soweit es sich um die N-, P-, K- oder Mg-Versorgung handelt. Beim Ca sind die Streuungen in der Regel so gross, dass auf eine grössere Individuenzahl zurückzugreifen ist. Bei Kiefern hält *Wehrmann* [19] in diesem Falle die Entnahme der Nadeln von sogar 80 bis 100 Bäumen für erforderlich.

Der Prozentgehalt der einzelnen Nährstoffe in den Nadeln ist verständlicherweise kein Mass für die aufgenommenen Nährstoffmengen, wohl aber ein Hinweis auf einen für ein normales Wachstum erforderlichen Nährstoffspiegel. Wird dieser unterschritten, so ist mit Mangelercheinungen zu rechnen, die sich in kümmerlichem Wuchs oder auch in Verfärbungen der Assimilationsorgane äussern. Hierzu sei auf die Veranschaulichungen in dem jüngst erschienenen Werk von *Baule und Fricker* [1] verwiesen. Allerdings sind manche Mangelsymptome nicht absolut eindeutig. So sind z. B. blassgrüne, kurze Nadeln nicht mit Sicherheit auf Ca-Mangel zurückzuführen, da ein gleiches Erscheinungsbild auch auf N-Mangel zutrifft. Ebenfalls sind Gelbverfärbungen der Nadelspitzen von Kiefern und Fichten nicht mit Sicherheit als K- oder Mg-Mangel zu diagnostizieren. Hier bietet die Nadelanalyse ein sicheres Hilfsmittel, zumindest, wenn es sich um ungedüngte Standorte handelt.

Nach den Erfahrungen verschiedener Autoren (*Krauss* [7]) kann man als Grenzwerte für Fichten und Kiefern, bei deren Unterschreitung mit Nährstoffmangel zu rechnen ist, die in Tabelle 4 aufgeführten Werte nennen. Diese Tabelle führt weiterhin die erhebliche Variationsbreite für die Hauptnährstoffe N, P und K für Freilandpflanzen vor Augen.

Tabelle 4. Grenzwerte für N-, P- und K-Mangel in Fi- und Ki-Nadeln (nach Krauss)

	Mangelgrenzwerte	Variationsbreite
N %	1,0 -1,4	0,9 -2,4
P %	0,11-0,13	0,03-0,31
K %	0,40-0,50	0,12-1,30

Anhand eines Düngungsversuches im südlichen Randgebiet der Lüneburger Heide gelangte *Wittich* [21] für Kiefern, Fichten und Lärchen in einer 7jährigen, auf einer Brandfläche angelegten Kultur zu folgenden Werten für die Düngerwirkung bzw. das Ausbleiben derselben:

	Beginn der Düngerwirkung			Düngerwirkung nicht nachweisbar		
	Ki	Fi	Lä	Ki	Fi	Lä
P %	0,13	0,10	0,16	> 0,14	> 0,11	> 0,23
K %	0,46–0,5	0,33	0,32–0,42	–	> 0,44	> 0,66

Zu diesen Grenzwerten bemerkt *Wittich*, dass sie nur für die in diesem Versuch bzw. auf diesem Standort vorliegenden Verhältnisse Geltung haben. Die Berechtigung dieser Einschränkung zeigen Beobachtungen an Versuchen zu Kiefernkulturen bei Dudenhofen im Rhein-Main-Gebiet sowie bei Tinnen im Emsland. In beiden Versuchen traten in der ersten Vegetationsperiode besonders nach PN-Düngung Gelbverfärbungen der Nadelspitzen auf, worüber andernorts bereits berichtet wurde (*Themlitz*, [15, 16]). Die Chlorosen veranlassten Nadeluntersuchungen nach Abschluss der ersten Vegetationsperiode.

Im Versuch Dudenhofen (Tabelle 5) lag der K-Spiegel der Nadeln ungedüngter Kiefern oberhalb des Grenzwertes für zu vermutenden K-Mangel. Der Mg-Spiegel hielt sich an der unteren Grenze der Erfahrungswerte von 0,08 bis 0,13% Mg für ausreichende Versorgung [7]. Der Ca-Gehalt war etwas grösser als der von *Krauss* [7] für ausreichend genannte Bereich (0,15–0,20% Ca). Die P- und vor allem die N-Versorgung liess sich auch ohne Düngung als ausgesprochen günstig bewerten. Die schon bei den ungedüngten Kiefern beobachtete gelbgrüne Verfärbung der Nadelspitzen war mithin anhand der üblichen Gesamtnadelanalysen nicht zu klären.

Tabelle 5. Dudenhofen 1958 (*Pinus silvestris*)

%	Analyse der Gesamtnadeln				Differenzierte Nadelanalyse					
	O	N	NP	NPKMg	O	chl.	N	chl.	NP	chl.
Ca	0,24	0,23	0,31	0,23	0,21	0,39	0,23	0,24	0,31	0,31
Mg	0,08	0,08	0,08	0,12	0,08	0,05	0,09	0,04	0,09	0,04
K	0,53	0,44	0,45	0,49	0,54	0,48	0,46	0,34	0,47	0,36
P	0,21	0,18	0,19	0,19	0,21	0,21	0,19	0,16	0,19	0,18
N	2,47	2,37	2,33	2,36	2,50	2,31	2,41	2,19	2,34	2,25

Bemerkung: gr. = grüner Nadelteil; chl. = chlorotischer Nadelteil.

Einen Aufschluss gab jedoch die getrennte Analyse der chlorotischen und normalgrünen Nadelteile (Tabelle 5). Danach lag der Mg-Gehalt für den chlorotischen Nadelteil ungedüngter Kiefern weit unterhalb des Grenzwertes ausreichender Versorgung. Ebenfalls war der K-Spiegel im chlorotischen Nadelteil niedriger als im grünen. Für Ca wurde die umgekehrte Tendenz erkennbar, die P- und N-Werte hielten sich in den chlorotischen und grünen Teilen der Nadeln dagegen auf praktisch gleicher Höhe und weit oberhalb der Grenze für zu erwartenden Mangel. Durch die N- und PN-Düngung sank der Mg-Gehalt der auf diesen Parzellen auffallend gelb gefärbten Nadelspitzen noch weiter ab. Auch die K-Werte sprachen hier

für einen ausgeprägten Mangel. Dass die zusätzliche KMg-Düngung die Chlorose beseitigte, entsprach der aus der differenzierten Nadelanalyse abzuleitenden Erwartung.

Im Versuch Tinnen ergaben sich nach der ersten Vegetationsperiode die in Tabelle 6 für die einjährigen Gesamtnadeln angeführten Gehalte.

Tabelle 6. Tinnen 1957; Analyse der Gesamtnadeln von Kiefern (*Pinus silvestris*)

Düngung	O	NP	NPKMg
Ca %	0,36	0,31	0,30
Mg %	0,12	0,12	0,11
K %	0,67	0,62	0,84
P %	0,18	0,19	0,19
N %	1,95	1,92	1,84
Farbe der Nadelspitzen	grün	gelb	grün

Die Mg-, K- und P-Werte der Nadeln ungedüngter Kiefern lagen hier weit oberhalb der Grenzwerte für unzureichende Versorgung. Der Ca-Gehalt liess auf kein Überangebot und derjenige für N auf kein mangelhaftes Angebot schliessen. Dennoch führte die NP-Düngung zu intensiver Spitzenchlorose. Sie konnte durch zusätzliche KMg-Düngung restlos behoben werden, wie die Figuren 1 und 2 vor Augen führen.

Auch schon alleinige K-Zufuhr behob die Chlorose. Mg-Mangel lag in Übereinstimmung mit den Analysenwerten mit Sicherheit nicht vor. Mit dem Älterwerden verschwand die Chlorose auch ohne K-Zusatzdüngung.

Die differenzierte Nadelanalyse wurde auch in diesem Versuch durchgeführt, allerdings erst im Februar 1967, also 10 Jahre später.

Inzwischen war noch nachgedüngt worden. Verteilt auf die Jahre 1957 bis 1962, beliefen sich die Stickstoffgaben auf insgesamt 150 kg/ha N in Form von Kalkammonsalpeter und die Kaligaben auf insgesamt 450 kg/ha K_2O als schwefelsaure Kalimagnesia. Die Phosphatgaben von insgesamt 180 kg/ha P_2O_5 als Rhenianaphosphat verteilten sich je zur Hälfte auf die Jahre 1957 und 1959.

Zur Untersuchung wurden die letztjährigen Nadeln des vorletzten Quirls herangezogen. Zweijährige Nadeln schieden deshalb aus, weil sie in jenem Wuchsgebiet nach Abschluss der 2. Vegetationsperiode vielfach schon weitgehend abgeworfen sind.

Wie schon erwähnt, fanden sich keine auffälligen Nadelverfärbungen mehr vor. Deshalb wurden die Nadeln in etwa gleichlange Basis- und Spitzenteile zerlegt. In Tabelle 7 finden sich die Analysendaten für diese Nadelteile denen für die Gesamtnadeln gegenübergestellt.

Die Ca- und besonders die Mg- und P-Werte für die Gesamtnadeln und für die zugehörigen Basis- und Spitzenteile unterscheiden sich bei gleicher Düngung jeweils kaum voneinander. Andere Befunde ergaben sich für die K- und N-Spiegel. Die K-Konzentration nahm von den Basis- zu den Spitzenteilen der Nadeln durchweg sehr deutlich ab, diejenigen für N sehr deutlich zu.



Fig. 1: Kalimanglerscheinung nach NP-Düngung.



Fig. 2: Behebung der Manglerscheinung durch zusätzliche Kalidüngung.

Tabelle 7. VDK-Versuch Tinnen 1967 (*Pinus silvestris*). Gesamtnadelanalyse und differenzierte Nadelanalyse

Düngung		Ca %	Mg %	K %	P %	N %
O	Gesamtnadel	0,27	0,09	0,56	0,15	1,78
	Spitzenhälfte	0,27	0,09	0,51	0,15	1,89
	Basishälfte	0,27	0,09	0,60	0,15	1,67
NP	Gesamtnadel	0,37	0,13	0,52	0,17	1,68
	Spitzenhälfte	0,39	0,13	0,49	0,17	1,82
	Basishälfte	0,34	0,13	0,54	0,17	1,54
NPKMg	Gesamtnadel	0,32	0,11	0,72	0,17	1,72
	Spitzenhälfte	0,31	0,11	0,66	0,16	1,84
	Basishälfte	0,33	0,12	0,78	0,18	1,61

Im Falle der NP-Düngung war die K-Konzentration der oberen Nadelhälften in den erfahrungsgemässen Mangelbereich gefallen, was nach der Gesamtanalyse nicht zu vermuten war. Die gegenüber O zu beobachtende Depression des K-Spiegels ist fraglos einem Verdünnungseffekt zuzuschreiben. Es bewiesen nämlich die 1964 vorgenommenen Untersuchungen eine hochsignifikante Zunahme der Nadelgewichte wie auch der Triebblängen durch NP-Düngung. Zusätzliche KMg-Düngung liess diese Grössen weiterhin hochsignifikant zunehmen (*Themlitz* [18]).

Die Gesetzmässigkeit des umgekehrten Konzentrationsgefälles für die Nährstoffe K und N konnte auch in anderen Kiefernkulturen festgestellt werden, die mit andersartigen Versuchsfragen angelegt worden waren und 1967 ein Alter von 8 bis 10 Jahren hatten. Insgesamt wurden 14 Düngungsglieder zur Untersuchung herangezogen. Wie aus Tabelle 8 zu ersehen ist, hielt sich das Verhältnis der K- und N-Konzentrationen in den Basis- und Spitzenhälften der Nadeln, im folgenden Nährstoffquotient genannt, in engen Grenzen, und zwar unabhängig von der Höhe der Gehalte.

Tabelle 8. Verhältnis der Elementkonzentrationen in Basis- und Spitzenhälften von Kiefernadeln (*Pinus silvestris*)

	Nährstoff- quotient	s	s %	Variationsbreite Basishälfte	Spitzenhälfte
K	1,17	0,057	4,9	0,52 -0,78 %	0,42 -0,68 %
Na	0,74	0,346	46,8	0,059-0,126 %	0,082-0,178 %
Ca	1,02	0,453	44,5	0,15 -0,41 %	0,11 -0,39 %
Mg	0,92	0,082	8,9	0,07 -0,13 %	0,08 -0,13 %
P	0,99	0,067	6,7	0,13 -0,18 %	0,13 -0,18 %
N	0,89	0,042	4,7	1,39 -1,86 %	1,56 -2,01 %
Mn	0,45	0,073	16,1	0,007-0,021 %	0,012-0,051 %
Fe	1,06	0,404	38,1	0,009-0,016 %	0,009-0,013 %
Al	0,66	0,068	10,3	0,024-0,040 %	0,035-0,061 %

Für P und Mg ergab sich praktisch kein Nährstoffgefälle bei ebenfalls relativ geringer Streuung, für Ca ist bei sehr erheblicher Streuung die Tendenz einer Anreicherung in den Basishälften der Nadeln erkennbar. Für die weiteren in die Untersu-

chung einbezogenen Elemente Na, Mn und Al sind Konzentrationsgefälle von den Spitzen zur Basis der Nadeln charakteristisch. Beim Fe war der Quotient praktisch gleich 1. Die für die einzelnen Nährstoffe bzw. Elemente innerhalb der Kiefernadeln zutage getretene Dynamik bedarf selbstverständlich weiterer Überprüfungen. Immerhin liess sich erkennen, dass die K-Konzentration in den Spitzenhälften der Kiefernadeln offenbar einen sichereren Anhalt für die Versorgung mit diesem Element zu geben vermag als diejenige in der Gesamtnadel.

Im Blick auf die Möglichkeiten, die Konzentrationsunterschiede in den verschiedenen Nadeljährgängen von Fichten z. B. zur Beurteilung der Nährstoffversorgung heranzuziehen, verdienen die Untersuchungsergebnisse von *Reemtsma* [10] Beachtung. Er gelangte zu dem Schluss, dass bei Entnahme eines ganzen Quirls vom Einzelbaum und getrennter Untersuchung der Nadeljährgänge die Aussagekraft der Nadelanalyse wesentlich zunimmt und die Bestandesrepräsentation durch Einbeziehung einer geringeren Baumzahl als bisher und durch einmalige Probenahme möglich erscheint. Derartige Untersuchungen, die die Feststellung der Nadelgewichte sowie der Nährstoffmengen in einer bestimmten Nadelzahl einschliessen sollten, vermitteln auch Rückschlüsse auf die Ursachen von Wuchsstörungen in vorangegangenen Jahren, zum Beispiel durch verminderte N-Anlieferung infolge anhaltender Trockenzeit.

Wie schon gesagt, gibt der Nährstoffspiegel in den Assimilationsorganen einen guten Anhalt für die an bekannten Grenzwerten zu messende unzureichende Versorgung mit diesem oder jenem Nährstoff. Eine oberhalb der Mangelgrenze liegende Nährstoffkonzentration besagt aber keineswegs, dass eine Düngung keine Aussicht auf Erfolg haben kann. Zumal es bekanntlich nicht allein auf die Konzentration der Nährstoffe in den Assimilationsorganen ankommt, sondern auch auf deren Verhältnis zueinander, ist die Auswertung von Nadelanalysen auch in der Hand des Fachmannes nicht leicht. Nach dem heutigen Stand des Wissens ermöglichen weder Boden- noch Blattanalysen für sich eine voll befriedigende Beurteilung des Ernährungszustandes und eines durch gezielte Düngungen erreichbaren Optimalwachstums. In Übereinstimmung mit *Tamm* [13] ist hierzu die Durchführung exakter Düngungsversuche erforderlich. Der Aufwand für Pflege und Auswertung lohnt sich um so mehr, je grösser das Gebiet ist, für das der gewählte Versuchsstandort repräsentativ ist.

Zusammenfassung

Es wird der Aussagewert von Boden- und Nadelanalysen zur Beurteilung forstlich genutzter Standorte und ihrer Düngungswürdigkeit erörtert. In Forstpflanzenanzuchtstätten hat sich die Beurteilung des Nährstoffzustands nach einem bestimmten Bewertungsrahmen für den Boden ähnlich wie in der Landwirtschaft bewährt. Daneben sind Nadelanalysen eine gute Hilfe besonders bei der Auffindung der Ursachen für nichtparitätäre Erkrankungen.

In Kulturen und vor allem Beständen geben Bodenanalysen in der Regel einen geringen Anhalt für die Nährstoffanlieferung, da die Waldbäume eine absolute Nährstoffarmut in der Gewichtseinheit des Bodens durch ein mehr oder weniger intensiv entwickeltes Wurzelnetz auszugleichen vermögen. Untersuchungen an einem Diluvialstandort führen vor Augen, dass die Inhomogenität des Bodens den Aussagewert der Bodenanalysen trotz sorgfältiger Probenahme einschränkt.

Vor allem auf ungedüngten Standorten gibt der Nährstoffspiegel in den Assimilationsorganen einen Hinweis auf die an bekannten Grenzwerten zu messende unzureichende Versorgung mit diesem oder jenem Nährstoff. In einer Kiefernkultur liess sich die Ursache für eine durch einseitige Düngung hervorgerufene oder verstärkte Chlorose bemerkenswerterweise eindeutig nur durch die differenzierte Analyse der chlorotischen und grünen Nadelteile finden. Neuere Untersu-

chungen ergaben auch bei gesundgrünen Kiefernadeln ein für die einzelnen Elemente spezifisches Konzentrationsgefälle innerhalb der Nadeln. Für die Aussagekraft der Nadelanalyse sind bei Fichten die Konzentrationsunterschiede in den einzelnen Nadeljahrgängen offenbar von wesentlicher Bedeutung. Bei ausgeglichenem Nährstoffverhältnis besagt eine oberhalb der Mangelgrenze liegende Nährstoffkonzentration nicht, dass eine Düngung keine Erfolgsaussichten hat. Darüber geben allein exakt angelegte Düngungsversuche Auskunft.

Bibliographie

1. Baule H. und Fricker C.: Die Düngung von Waldbäumen. BLV München-Basel-Wien 1967.
2. Höbne H.: Blattanalytische Untersuchungen an jüngeren Fichtenbeständen. AfF 12, 341–360 (1963).
3. Höbne H.: Einfluss des Baumalters auf das Gewicht sowie den Mineral- und Stickstoffgehalt einjähriger Fichtennadeln. AfF 13, 153–167 (1964).
4. Höbne H.: Über den Einfluss des Baumalters auf das Gewicht und den Elementgehalt 1- bis 4-jähriger Nadeln der Fichte. AfF 13, 247–265 (1964).
5. Höbne H.: Untersuchungen über die jahreszeitlichen Veränderungen des Gewichtes und Elementgehaltes von Fichtennadeln in jungen Beständen des Osterzgebirges. AfF 13, 747–774 (1964).
6. Krauss H. H.: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen in den Forstpflanzgärten des Bezirks Frankfurt (Oder) im Jahre 1960 und Folgerungen für die Düngung. AfF 10, 643–661 (1961).
7. Krauss H. H.: Untersuchungen über die Melioration degradierter Sandböden im nordostdeutschen Diluvium IV. AfF 14, 499–532 (1965).
8. Nebe W.: Zum Ernährungszustand älterer Fichtenbestände des Osterzgebirges. AfF 12, 315–337 (1963).
9. Nemec A.: Untersuchungen über den Einfluss der Phosphorsäuredüngung auf das Wachstum und auf die Ernährung der Fichte in Waldbaumschulen. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 11 (56), 93–128 (1938).
10. Reemtsma J. B.: Untersuchungen an Fichte und anderen Nadelbaumarten über den Nährstoffgehalt der lebenden Nadeljahrgänge und der Streu. Diss. Hann.-Münden 1964.
11. Süchting H.: Die Ernährungsverhältnisse des Waldes. AFJZ 119, 29–75 (1943).
12. Süchting H.: Lehrbuch der Bodenkunde und Pflanzenernährung. Landbuchverlag Hannover 1949.
13. Tamm C. O.: Die Blattanalyse als Methode zur Ermittlung der Nährstoffversorgung des Waldes – eine kritische Betrachtung. Tag. Ber. DALB Nr. 66, 7–15 (1964).
14. Themnitz R.: Beobachtungen zum Kalk-Kali-Antagonismus bei jungen Nadelholzpflanzen. Kali-Briefe, Fachgebiet 6, Folge 1 (1958).
15. Themnitz R.: Untersuchungen zur Nährstoffwanderung in einem Heideboden und Nährstoffdynamik junger Kiefern (Pin. silv.). Kali-Briefe, Fachgebiet 6, Folge 2 (1958).
16. Themnitz R.: Nährstoffmangelerscheinungen an jungen Kiefern als Folge unausgeglichener Düngung und ihre Diagnose durch differenzierte Nadelanalyse. Kali-Briefe, Fachgebiet 6, Folge 5 (1959).
17. Themnitz R.: Erfahrungen zum Nährstoffzustand von Böden und Pflanzen in Forstpflanzenanzuchtstätten. AFJZ 134, 173–177 (1963).
18. Themnitz R.: Zur Nährstoffwanderung in einem Heideboden und Auswirkungen insbesondere einer Kalidüngung auf das Wachstum und den Nährstoffgehalt von Jungtrieben einer 8-jährigen Kiefernkultur (Pin. silv.). AFJZ 136, 77–84 (1965).
19. Wehrmann J.: Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen in Kiefernbeständen. Fw. Cbl. 78, 77–97 (1959).
20. Wittich W.: Natur und Ertragsfähigkeit der Sandböden im Gebiet des norddeutschen Diluviums. Z. f. Forst- u. Jagdwesen, 1–42 (1942).
21. Wittich W.: Auswertung eines forstlichen Düngungsversuches auf einem Standort mit für weite Gebiete Deutschlands typischem Nährstoffhaushalt. Ruhrstickstoff A.G., Bochum, 1–48 (1958).
22. Zöttl H.: Die Bestimmung der Stickstoffmineralisation im Waldhumus durch den Brutversuch. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 80 (126), 35–50 (1958).
23. Zöttl H.: Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der Mineralstickstoffnachlieferung des Waldbodens. FC 72–90 (1960).
24. Zöttl H.: Die Mineralstoffanlieferung in Fichten- und Kiefernbeständen Bayerns. FC 221–236 (1960).

Düngungsversuche und ihre ertragskundliche Interpretation

Dr. F. FRANZ, Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt
München/Bundesrepublik Deutschland

1. Einleitung

1.1 In den vergangenen beiden Jahrzehnten wurden in Deutschland zahlreiche neue Forstdüngungsversuche eingeleitet. Bei ihrer Planung und Anlage wurden in vielem neue Wege beschritten, wobei besonders die richtungweisenden Arbeiten von *Vater* und *Wittich*, *Schwappach* und *Wiedemann* einen wertvollen Anhalt boten. Ein Teil der neueren Versuche hat – trotz einer noch verhältnismässig kurzen Beobachtungszeit – inzwischen erste aufschlussreiche Ergebnisse gebracht, über die in zahlreichen Veröffentlichungen berichtet wurde. Sie lassen erkennen, dass auf keinem Gebiet der forstlichen Versuchstätigkeit in Deutschland in jüngerer Zeit derart weitreichende Fortschritte erzielt worden sind wie auf dem der Düngung und Melioration.

Ebenso wie die Verfahren der Versuchsplanung und -anlage sind auch die Methoden der ertragskundlichen Aufnahme und Auswertung von Düngungsversuchen in den letzten Jahren erheblich weiterentwickelt worden.

Die Voraussetzungen hierfür wurden im wesentlichen geschaffen durch:

die mathematische Statistik, die für die verschiedensten biometrischen Problemsituationen statistische Modelle und Lösungsverfahren entwickelt hat. Hier sind besonders die Methoden der multiplen Regressions- und Kovarianzanalyse und die zahlreichen neueren Verfahren der multivariaten Analyse zu erwähnen, die bei der Untersuchung ertragskundlicher Tatbestände wertvolle Dienste leisten;

die Programmdienste für die elektronischen Rechenanlagen, die – zumindest für die mittleren und grösseren Anlagen der marktgängigen Fabrikate – inzwischen brauchbare Rechenprogramme für alle wichtigeren biometrischen Verfahren entwickelt haben, woran neben den Programm-Entwicklungsabteilungen der Herstellerfirmen für elektronische Rechenanlagen auch zahlreiche biometrisch arbeitende wissenschaftliche Institute in wesentlichem Masse beteiligt sind.

1.2 Der ertragskundliche Vergleich der Versuchsglieder in Düngungsversuchen wurde bisher massgeblich auf die Hypothese gestützt, dass nicht nur die standörtliche und waldbauliche, sondern auch die ertragskundliche Ausgangslage zu Versuchsbeginn auf allen Teilstücken des Versuches gleich sei. Die Voraussetzungen zur Formulierung dieser Ausgangshypothese hat man durch eine möglichst sorgfältige Auswahl der Beobachtungsfläche zu schaffen versucht. Die Hypothese von der gleichen ertragskundlichen Ausgangslage bietet die Möglichkeit, die Entwicklung der Leistungsgrössen in den einzelnen Versuchsgliedern unter dem Einfluss der in dem Versuch variierten Faktoren anhand einfacher biometrischer Verfahren zu vergleichen, ohne die den Ausgangszustand kennzeichnenden Ertrags Elemente – Mittelhöhe, Grundfläche, Stammzahl zu Versuchsbeginn, letztpriorischer Aushieb u. a. m. – zusätzlich berücksichtigen zu müssen. Ein solcher Vergleich setzt einen

hohen Übereinstimmungsgrad der Ertrags Elemente zu Versuchsbeginn voraus. Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, so kann es geschehen, dass ein Beobachtungsergebnis auf den zu prüfenden Faktor zurückgeführt wird, das in Wirklichkeit durch den ertragskundlichen Ausgangszustand zu Versuchsbeginn hervorgerufen worden ist.

Die zahlreichen Ergebnisse der älteren und neueren Forstdüngungsversuche in Deutschland haben indes gezeigt, dass wir die beschriebene Ausgangshypothese im allgemeinen nicht voraussetzen können.

Die veröffentlichten Ertragszahlen lassen nämlich beim überwiegenden Teil der Düngungsversuche auf Unterschiede zwischen den Ertrags Elementen der Versuchsglieder zu Versuchsbeginn schliessen. Da die meisten dieser Versuche zweifellos sorgfältig geplant und angelegt worden sind, müssen wir hieraus folgern, dass die Forderung nach gleicher ertragskundlicher Ausgangslage (in dem Sinne, dass die Ertrags Elemente zu Versuchsbeginn als kovariante Grössen ausscheiden) bei der Flächenauswahl im allgemeinen praktisch nicht realisierbar ist.

1.3 Um unter diesen Bedingungen ein aussagefähiges Versuchsergebnis erzielen zu können, sollten darum die wichtigsten ertragskundlichen Messgrössen, die den Bestockungszustand der Versuchsglieder zu Beginn der Beobachtungsperiode kennzeichnen, neben den zu prüfenden Faktoren unmittelbar in die Auswertung einbezogen werden. Wir erhalten auf diese Weise eine gegliederte Information darüber, welcher Anteil an der Streuung der Leistungsgrössen in der Beobachtungsperiode auf Unterschiede im ertragskundlichen Ausgangszustand der Versuchsglieder und welcher Anteil auf die in dem Versuch variierten Faktoren zurückzuführen ist. Als Prüfverfahren dienen die eingangs erwähnten biometrischen Methoden, in erster Linie Verfahren der Kovarianzanalyse mit multiplen Kovariaten, die in anderen Fachwissenschaften (Medizin, Pharmakologie, Pflanzenzüchtung, Tierzucht) bei der Prüfung vergleichbarer biometrischer Sachverhalte bereits seit längerem angewandt werden.

Die aufgezeigten Zusammenhänge sollen im folgenden an Beobachtungsergebnissen zweier Kiefern-Düngungsversuche näher beschrieben werden. Die beiden Versuche gehören unterschiedlichen Wuchsstadien an und liegen in verschiedenen, räumlich voneinander getrennten Wuchsgebieten. Der erste ist der aus mehreren aufschlussreichen Veröffentlichungen bekanntgewordene Kulturversuch *Tinnen* im Emsland (Nordwestdeutschland), der zweite der im Jahre 1967 nach fünfjähriger Beobachtungszeit aufgenommene Bestandesdüngungsversuch *Ellingen* in Nordbayern.

2. Der Kiefern-Kulturdüngungsversuch *Tinnen* (Emsland)

2.1 Versuchsbeschreibung

Der Düngungsversuch *Tinnen* liegt im südlichen Teil des ehemals ausgedehnten emsländischen Moor- und Heidegebietes, dessen Landschaftsbild durch umfangreiche Aufforstungen in den vergangenen zwei Jahrzehnten grundlegend verändert worden ist (*Behrndt* [8, 10]). Er gehört zu einer Reihe eindrucksvoller Düngungs- und Meliorationsversuche, die im wesentlichen gleichzeitig mit den Aufforstungen begründet worden sind (*Barelmann* [3, 4], *Behrndt* [9], *Wandt* [19, 20, 21, 22], *Wandt* und *Barelmann* [23], *Themlitz* und *Wandt* [17]).

Der Versuch wurde im Frühjahr 1957 von der Forstabteilung der Verkaufsgemeinschaft Deutscher Kaliwerke GmbH (Dr. *Baule*, Lutterberg, Krs. Hann.-Münden) in Zusammenarbeit mit der Forstabteilung der Landwirtschaftskammer Weser-Ems (Fm. *Wandt*, Oldenburg, Fm. *v. Jagow*, Meppen) als Demonstrationsversuch in einer zweijährigen Kiefernkultur angelegt. Die Fläche liegt – nach der Standortbeschreibung des Versuchsanstellers (vgl. *Baule* und *Fricker* [7], S. 123–125) – auf einem altdiluvialen Grundmoränenstandort mit ca. $1\frac{1}{2}$ –2 m starker, ausgewaschener Grundmoräne über Sand in fast ebener Lage in 30 m über NN. Sie ist weitgehend standortgleich. Im Versuchsgebiet fällt im Jahresdurchschnitt 760 mm und im Durchschnitt der Vegetationszeit 360 mm Niederschlag. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8,7° C.

Der Vorbestand, eine schlechtwüchsige Kieferndickung, brannte im Jahre 1947 ab. Bei Anlage des Versuchsbestandes war die Fläche völlig verheidet. Der hierauf begründete Versuchsbestand entstand aus Pflanzung einjähriger Kiefernssämlinge auf Waldfpflugstreifen im Verband $1,3 \times 0,3$ m.

Die Versuchsanlage umfasst 7 Versuchsglieder (Düngungsvarianten) in zweifacher Wiederholung. Die Flächengröße der einzelnen Parzellen beträgt 0,25 ha in den Abmessungen 50×50 m. Auf Bild 1 ist der Lageplan des Versuches dargestellt. Tabelle 1 gibt die Verteilung der Parzellen auf die 7 Düngungsvarianten und Tabelle 2 den Düngungsplan des Versuches – nach den Angaben von *Baule* und *Fricker* ([7]; S. 124) – wieder.

Tabelle 1 Kiefern-Kulturdüngungsversuch Tinnen. Versuchsanordnung

Versuchsglied Nr.	Düngung	Parzellennummer	
		Block 1	Block 2
1	ungedüngt	8	9
2	NP	3	5
3	NK _{Mg}	6	14
4	PK _{Mg}	11	13
5	NPK _S	2	10
6	NPK _{Mg}	7	12
7	NPK _{Mg}	4	1

Über den Versuch liegen bisher Veröffentlichungen von *Themlitz* [14, 15], *Themlitz* und *Baule* [16], *Schindler* und *Baule* [13] sowie von *Baule* und *Fricker* [6, 7] vor. *Themlitz* und *Baule* untersuchten den Versuchsflächenstandort und den Nährstoffhaushalt der Kiefern in den einzelnen Düngungsvarianten, *Schindler* und *Baule* beobachteten den Einfluss des Ernährungszustandes der Kiefer auf den Kiefernknospentriebwicklerbefall, und *Baule* und *Fricker* gaben eine kurze bildliche Darstellung der bisherigen Versuchsergebnisse und beschrieben Versuchsplan und Versuchsziel (siehe hierzu auch *Baule* [5]).

2.2. Ertragskundliche Aufnahme 1964

2.2.1 Aufnahmemethode

Der Versuch wurde im Februar 1964 nach rund siebenjähriger Laufzeit ertragskundlich aufgenommen. Die Aufnahme umfasste:

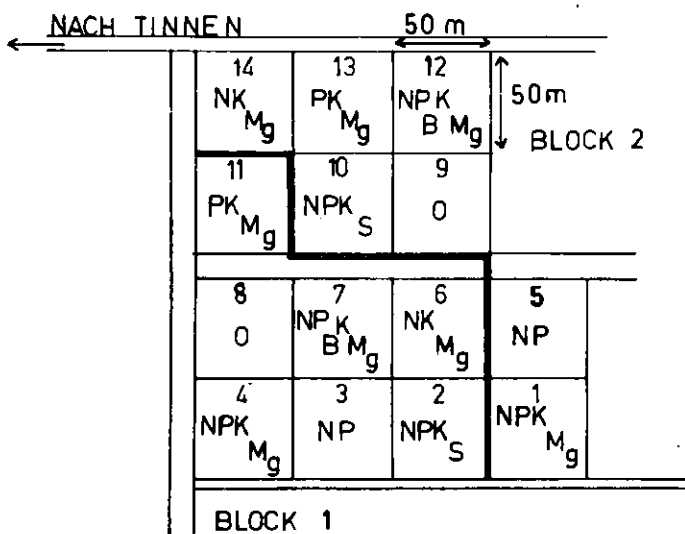


Bild 1: Lageplan des Kiefern-Kulturdüngungsversuchs Tinnen (Emsland).

Tabelle 2 Kiefern-Kulturdüngungsversuch Tinnen (Emsland). Düngungsplan (nach Bauls und Fricker [7])

Gesamtzufuhr von Reinnährstoffen je ha 1957-1962:

N = 250 kg
 P_2O_5 = 180 kg
 K_2O = 450 kg

Als Düngemittel wurden verwendet:

N als Kalkammonsalpeter mit 20,5% N
P als Rhenaniaphosphat mit 23-25% P_2O_5
 P_B als Bor-Rhenaniaphosphat mit 21-23% P_2O_5 und 6,5% Borax
 K_{Mg} als Kalimagnesia (Patentkali) mit 26-30% K_2O und 9% MgO
 K_S als Kalisulfat mit 48-52% K_2O

Durchführung:

1957 und 1958 Reihendüngung
1959 bis 1962 breitwürfige Düngung

1. Eine Stichprobeninventur der bis zum Ende der Vegetationszeit 1963 erreichten Baumhöhen.

2. Eine Erhebung der Stammabstände zwischen den Höhenmessstämmen der Stichprobeninventur als Weiserwerte für den Stammabgang vom Versuchsbeginn bis zum Aufnahmezeitpunkt.

3. Eine Stichprobenaufnahme des jährlichen Höhenzuwachses 1958-1963 an Messstämmen aus der obersten von drei relativen, auf die Höhenvarianz der einzelnen Parzellen bezogenen Höhenschichten.

Die ertragskundlichen Messgrößen wurden in fünf Reihenabschnitt-Stichproben je Parzelle an 10 Höhenmessstämmen und 2 Höhenzuwachs-Probestämmen je Stichprobe erhoben, das sind insgesamt 50 Höhen- und Stammabstandsmessungen und 10 Probestamm-Höhenzuwachsmessungen je Parzelle.

2.2.2 Untersuchungsergebnis

a) Baumhöhen- und Stammabstandswerte

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Baumhöhen- und Stammabstandsmessung zusammengefasst. Die Höhenmittel der Parzellen aus den Reihenabschnittsmessungen, in die – im Gegensatz zur Höhenzuwachsmessung (vgl. Abschnitt b) – Bäume aller Höhengschichten einbezogen wurden, weichen innerhalb des gleichen Blocks um mehr als 20% voneinander ab, wobei die Rangordnung der Versuchsglieder nach der Höhenwuchsleistung in den beiden Blocks z. T. unterschiedlich ist. Besonders günstige Höhenwerte zeigen die Düngungsvarianten NPK_{Mg} und $\text{NP}_{\text{B}}\text{K}_{\text{Mg}}$ (Tabelle 4).

Demgegenüber lassen die übrigen Gedüngt-Varianten keine so deutliche Gliederung der Höhendurchschnitte erkennen. Insgesamt gesehen, sind die festgestellten Unterschiede zwischen den Höhendurchschnitten nicht mehr signifikant. Der errechnete F-Wert für die Varianzursache «Düngungen» liegt knapp unterhalb der Signifikanzschwelle für $p = 0,05$. Ebenso konnten zwischen den Düngungsvarianten keine Unterschiede im Stammabgang in der Beobachtungsperiode festgestellt werden. Die Streuungszerlegung der Stammabstandswerte brachte kein signifikantes Ergebnis.

b) Höhenzuwachs der oberen Höhengschicht

Dagegen haben sich die Bäume aus der oberen Höhengschicht, die im wesentlichen den zukünftigen Bestand bilden werden, unter dem Einfluss der verschiedenen Düngung sehr unterschiedlich entwickelt, wie Tabelle 5 erkennen lässt. In dieser Tabelle sind die durchschnittlichen Höhen und die mittleren Höhenzuwächse der Oberschicht-Bäume der sieben Versuchsglieder für die Jahre 1958–1963 zusammengestellt worden. Der Höhenzuwachs im Jahr der Versuchsanlage, 1957, wurde nicht mit einbezogen, weil er nicht mehr einwandfrei gemessen werden konnte.

Bei der biometrischen Prüfung der Düngerwirkung auf die Höhenentwicklung war der bekannten ertragskundlichen Feststellung Rechnung zu tragen, wonach – unter sonst gleichen Bedingungen – höhere Anfangshöhen auch grössere Höhenzuwächse leisten. Die Prüfung musste darum in Form eines Vergleiches der Höhenzuwächse unter Konstanzhaltung der Anfangshöhen vorgenommen werden. Auf diese Weise konnte festgestellt werden, ob die verschiedenen Düngungsvarianten auch bei gleicher Anfangshöhe einen unterschiedlichen Höhenzuwachs hervorgebracht haben.

Für die Übereinstimmungsprüfung von Wachstumskurven hat *Rao* [12] im Jahre 1958 eine leicht zu handhabende Methode vorgeschlagen, die für den hier vorzunehmenden Vergleich gut geeignet ist. *Raos'* Methode ist zu den Verfahren der Kovarianzanalyse zu stellen. Sie vergleicht Wachstumskurven anhand der zugeordneten Zuwachskurven, wobei die Wachstumsgrößen zu Beginn der Zuwachsperiode als Kovariate erfasst werden. Vorausgesetzt wird ein linearer Zeit-Metameter. Die *Rao*-Methode wurde – in erster Linie für den Vergleich von Zuwachswerten aus

96 *Tabelle 3* Kiefern-Kulturdüngungsversuch Tinnen (Emsland) – Baumhöhen- und Stammabstandsmittel (in m) aus fünf Reihenabschnitts-Stichproben mit insgesamt 50 Probestämmen je Parzelle

Düngung	Höhenmittel $\bar{h}$						Abstandsmittel $\bar{A}$									
	P.	$\bar{h}$	% v. O.	P.	$\bar{h}$	% v. O.	Gesamt		P.	$\bar{A}$	% v. O.	P.	$\bar{A}$	% v. O.	Gesamt	
							$\bar{h}$	% v. O.							$\bar{A}$	% v. O.
Unged.																
O	8	1,87	100	9	1,54	100	1,705	100	8	0,81	100	9	0,81	100	0,81	100
NP	3	1,71	91	5	1,81	118	1,760	103	3	0,88	109	5	0,76	94	0,82	101
NK _{Mg}	6	1,84	98	14	1,77	115	1,805	106	6	0,79	98	14	1,03	127	0,91	112
PK _{Mg}	11	1,60	86	13	1,74	113	1,670	98	11	0,87	107	13	0,80	99	0,83 _s	103
NPK _S	2	1,75	94	10	1,76	114	1,755	103	2	1,05	130	10	1,16	143	1,10 _s	136
NP _B K _{Mg}	7	1,90	102	12	1,86	121	1,880	110	7	0,92	114	12	0,85	105	0,88 _s	109
NPK _{Mg}	4	1,92	103	1	1,91	124	1,915	112	4	0,76	94	1	0,90	111	0,83	102

Tabelle 4

Rang-Nr.	Block 1				Block 2				Gesamt		
	P.	Dü	$\bar{h}$ in m	% v. O.	P.	Dü	$\bar{h}$ in m	% v. O.	Dü	$\bar{h}$ in m	% v. O.
1	4	NPK _{Mg}	1,92	103	1	NPK _{Mg}	1,91	124	NPK _{Mg}	1,915	112
2	7	NP _B K _{Mg}	1,90	102	12	NP _B K _{Mg}	1,86	121	NP _B K _{Mg}	1,880	110

Tabelle 5 Kiefern-Kulturdüngungsversuch Tinnen (Emsland). Anfangshöhen 1958, Höhenzuwachs 1958–1963, Endhöhen 1963 (alle Werte in dcm) und Höhenzuwachskoeffizienten nach Rao [12] von Probebäumen der Oberschicht. Durchschnittswerte der Versuchsglieder

Parzellen	Tab.- Grösse	$\bar{h}_A$ 1958	$\bar{z}_h$ im Jahre 19... (in dcm)							$\bar{z}_h$ 1958- 1963	$\bar{h}_E$ 1963	$\bar{b}_h$ n. <i>Rao</i> 1958- 1963
			58	59	60	61	62	63				
Ungedüngt		3,90	2,95	2,07	1,52	3,77	3,40	3,27	16,98	20,88	82,4	
0	% v. O	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
8+ 9	Rang	6,5	6	6	6	7	7	7	7	7	7	
NP		4,52	3,88	2,17	1,60	4,07	3,45	4,60	19,77	24,29	97,1	
3+ 5	% v. O	116	132	105	105	108	101	141	116	116		
	Rang	1	1	4	4,5	5	5	2	2	1	2	
NK _{Mg}		3,90	3,47	2,47	1,70	3,82	3,42	3,70	18,58	22,48	89,4	
6+ 14	% v. O	100	118	119	112	101	101	113	109	108		
	Rang	6,5	5	1	2	6	6	6	6	6	6	
PK _{Mg}		4,00	2,80	2,35	1,67	4,30	3,88	4,75	19,75	23,75	96,9	
11+ 13	% v. O	103	95	114	110	114	114	145	116	114		
	Rang	4	7	2	3	2	1	1	3	4	3	
NPK _s		4,17	3,75	1,92	1,60	4,22	3,63	4,32	19,44	23,61	95,8	
2+ 10	% v. O	107	127	93	105	112	107	132	114	113		
	Rang	3	2	7	4,5	3	4	5	5	5	5	
NPBK _{Mg}		3,95	3,55	2,22	1,72	4,50	3,85	4,38	20,22	24,17	99,1	
7+ 12	% v. O	101	120	107	113	119	113	134	119	116		
	Rang	5	4	3	1	1	2	3	1	2	1	
NPK _{Mg}		4,30	3,67	2,13	1,47	4,20	3,80	4,35	19,62	23,92	96,7	
4+ 1	% v. O	110	124	103	97	111	112	133	116	115		
	Rang	2	3	5	7	4	3	4	4	3	4	

Düngungsversuchen – vom Verfasser im Jahre 1964 für den Elektronenrechner IBM 7090 FORTRAN-II programmiert [11].

Zunächst wurden die Höhenzuwächse der Oberschicht in den 14 Parzellen über den gesamten Zuwachszeitraum 1958–1963 hinweg mit Hilfe des Verfahrens von Rao [12] miteinander verglichen. Hierbei wurde der Einfluss der unterschiedlichen Baumhöhen zu Beginn der Zuwachsperiode 1958 auf den Höhenzuwachs 1958–1963 rechnerisch eliminiert. Es zeigte sich jedoch, dass der Einfluss der noch sehr geringen Anfangshöhen 1958 ausserordentlich gering war. Die Anfangshöhen erklären lediglich 0,33% der Varianz der Höhenzuwächse innerhalb der Parzellen. Zwischen den Oberschicht-Höhenzuwächsen der Parzellen bestehen dagegen hochsignifikante Unterschiede. Die Rangordnung der Düngungen hinsichtlich des Höhenzuwachses 1958–1963 lässt sich am besten aus Raos Weisergrössen b_h in Tabelle 5 ablesen, die das Ausmass der Höhenveränderung in der Beobachtungsperiode ausdrücken. Die höchsten Zuwächse wurden hiernach im Durchschnitt auf den NPBK_{Mg}-Parzellen geleistet ($\bar{b}_h = 99,1$). Sie betrugen 20,22 dcm, das sind rund

119% der Zuwachsleistung auf Ungedüngt ($\bar{b}_h = 82,4$; $\bar{z}_h = 16,98$ dcm). Nur unwesentlich geringer sind die Zuwächse auf NP ($\bar{b}_h = 97,1$; $\bar{z}_h = 19,77$ dcm; 116% v. O) und PK_{Mg} ($\bar{b}_h = 96,9$; $\bar{z}_h = 19,75$; 116% v. O), gefolgt von NPK_{Mg} ($\bar{b}_h = 96,7$; $\bar{z}_h = 19,62$ dcm; 116% v. O) und NPK_s ($\bar{b}_h = 95,8$; $\bar{z}_h = 19,44$ dcm; 114% v. O). Zwischen den fünf Versuchsgliedern mit den besten Leistungen bestehen keine signifikanten Differenzen. Dagegen unterscheiden sie sich alle signifikant gegenüber Ungedüngt wie auch gegenüber NK_{Mg}, deren Höhenwuchsleistung in beiden Wiederholungen gering war ($\bar{b}_h = 89,4$; $\bar{z}_h = 18,58$ dcm; 109% v. O). Dennoch unterscheidet sich auch NK_{Mg} signifikant gegenüber Ungedüngt. Wir erhalten damit folgende Ranggruppenordnung der Düngungsvarianten nach der Höhenwuchsleistung 1958–1963 der Oberschicht:

- I. Vergleichsweise hohe Mehrleistung gegenüber Ungedüngt:
 - (1) NP_BK_{Mg}, (2) NP, (3) PK_{Mg}, (4) NPK_{Mg}, (5) NPK_s
 Mehrleistung 14–19% von Ungedüngt.
- II. Geringe Mehrleistung gegenüber Ungedüngt:
 - (6) NK_{Mg}
 Mehrleistung 9% von Ungedüngt.
- III. Standard
 - (7) Ungedüngt.

Der beschriebene Zuwachsvergleich bezog sich auf die gesamte sechsjährige Zuwachsperiode 1958–1963. Um feststellen zu können, wie die errechneten Zuwachsunterschiede innerhalb dieser Periode unter dem Einfluss der verschiedenen Düngungen entsanden sind, wurde für jede der sechs Vegetationsperioden eine Zuwachsanalyse nach dem Rao-Verfahren durchgeführt, in die jeweils die Höhen zu Beginn der Vegetationsperiode als Kovariate einbezogen wurden. Das Ergebnis ist in Tabelle 6 (CoVA 1–6) zusammengefasst. Es liefert eine anschauliche Erklärung der in Tabelle 5 dargestellten Zusammenhänge:

1. Das Klima unmittelbar vor und in der Beobachtungsperiode hat den Höhenwachstumsgang auf der Versuchsfläche stark mitbestimmt. In allen Parzellen des Versuches wurde ziemlich übereinstimmend der gleiche Rhythmus des Höhenwachstums festgestellt, wie Bild 2 zeigt. Die Versuchsglieder unterscheiden sich jedoch in der absoluten Grösse der Jahreszuwächse, besonders am Anfang und am Ende der Beobachtungszeit. In den sechs Vegetationsperioden (V_p) erreichte der Höhenzuwachs (z_h) folgende Grössenordnungen (in Klammern Gesamtmittel des z_h aus allen Parzellen in Prozenten des Gesamtdurchschnittes der Beobachtungsperiode):

- (a) z_h mittlerer Grössenordnung in der V_p 1958 (109%),
- (b) geringer z_h im Trockenjahr 1959 (68%),
- (c) sehr geringer z_h in der auf das Trockenjahr folgenden V_p 1960 (50%),
- (d) hoher z_h in der V_p 1961 (129%),
- (e) z_h mittlerer Grössenordnung in der V_p 1962 (113%),
- (f) hoher z_h in der V_p 1963 (131%).

2. Dass neben dem Klima auch die unterschiedliche Düngung den Höhenwachstumsgang deutlich mitbestimmt hat, geht aus den Bildern 3 und 4 (oben) hervor, auf denen Höhenwachstum und Höhenzuwachs der Oberschicht auf den

Tabelle 6 Kiefern-Kulturdüngungsversuch Tinnen (Emsland). Prüfung des Unterschiedes zwischen den jährlichen Höhenzuwächsen 1958–1963 von 140 Probebäumen der Oberschicht über die Höhenzuwachskoeffizienten nach der Methode von Rao [12] bei Vorgabe der Anfangshöhen zu Beginn der einzelnen Vegetationsperioden

CoVA	Veg.-Per.	S _{bb} zwischen	S _{bb} innerhalb	S _{bb} korr. zwischen	S _{bb} korr. innerhalb	B _{yob} innerhalb	B _{yob} total	MQ zwischen	MQ innerhalb	F (s. Anm.)
y ₀ = h ₅₇	1958	572,86	2237,86	499,37	2101,09	0,0611	0,0748	38,41	16,81	12,29
y ₀ = h ₅₈	1959	80,99	944,38	61,09	615,95	0,3478	0,3397	4,70	4,93	0,95
y ₀ = h ₅₉	1960	46,33	189,49	46,31	178,48	0,0581	0,0468	3,56	1,43	2,50
y ₀ = h ₆₀	1961	649,32	3365,90	687,19	3291,94	0,0220	0,0090	52,86	26,34	12,01
y ₀ = h ₆₁	1962	364,08	1983,90	371,10	1976,22	0,0039	0,0003	28,55	15,81	11,81
y ₀ = h ₆₂	1963	1510,86	3247,06	1123,61	3072,90	0,0536	0,1180	86,43	24,58	23,52

Anm. 1 = signifikant mit $0.05 > p > 0.01$
 2 = » » $0.01 > p > 0.001$
 3 = » » $p < 0.001$

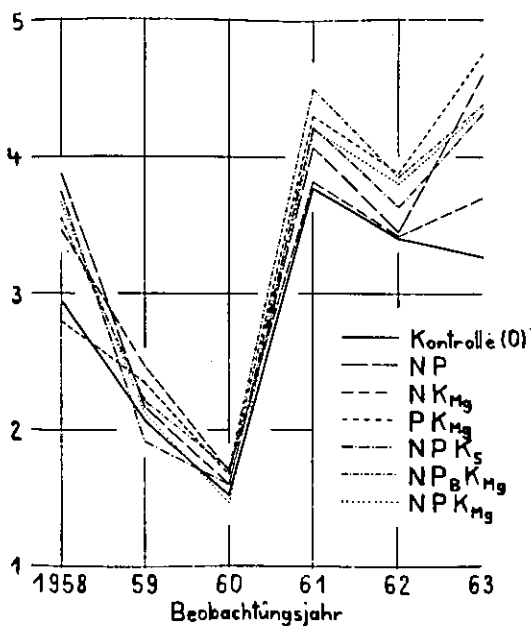


Bild 2: Kiefern-Düngungsversuch Tinnen; Höhenzuwachs 1958–1963 der Oberschicht.

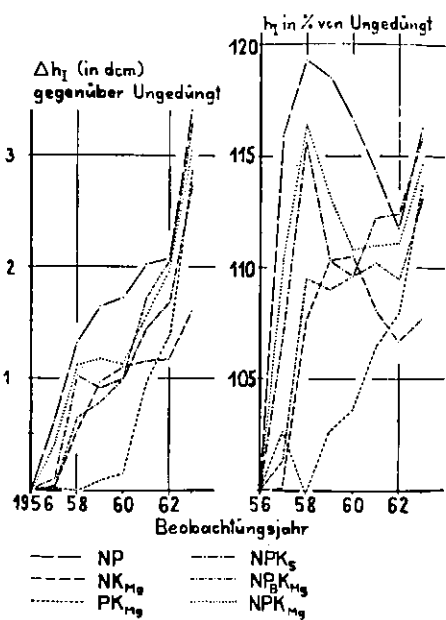


Bild 3: Kiefern-Düngungsversuch Tinnen; Höhenentwicklung der Oberschicht im Vergleich zu «ungedüngt».

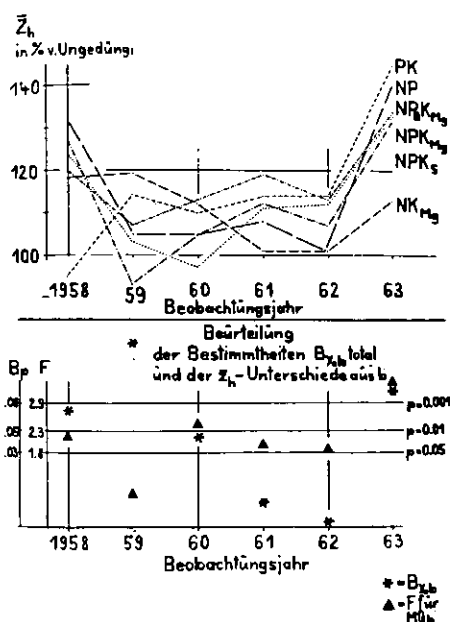


Bild 4: Kiefern-Düngungsversuch Tinnen; relativer Höhenzuwachs 1958–1963 der Oberschicht.

Gedüngt-Parzellen der Höhenentwicklung auf Ungedüngt gegenübergestellt wird. Auf Bild 4 unten sind die wichtigsten Ergebnisse des Wachstumskurvenvergleiches nach der Methode von Rao graphisch dargestellt.

Bereits in der V_p 1958 – der zweiten nach Versuchsanlage – beginnt sich das Höhenwachstum der Versuchsglieder deutlich zu differenzieren. Die Höhenzuwächse 1958 zeigen – bezogen auf die gleichen Anfangshöhen – signifikante Unterschiede ($F = 2,29$) (siehe auch Bild 4 unten). Der Einfluss der Höhe zu Beginn der V_p 1958 auf den z_h 1958 ist mit B (innerhalb) = 0,0611 und B (total) = 0,0748 erwartungsgemäss eindeutig grösser als der Einfluss der gleichen Ausgangshöhe auf den z_h der gesamten Beobachtungsperiode 1958–1963, über den zuvor berichtet wurde.

3. Im Dürrejahr 1959 wurden keine signifikanten Unterschiede im Höhenzuwachs der Versuchsglieder festgestellt ($F = 0,95$). Dagegen hat die Anfangshöhe 1959 den z_h 1959 wesentlich mitbestimmt (B (innerhalb) = 0,3478, B (total) = 0,3397).

4. In der auf das Dürrejahr folgenden Vegetationsperiode 1960 wurden wiederum signifikante Unterschiede im Höhenwachstum der Düngungsvarianten festgestellt ($F = 2,50$). Der Einfluss der Ausgangshöhe ist wesentlich geringer als im Vorjahr ($B(\text{innerhalb}) = 0,0581$, $B(\text{total}) = 0,0468$). In den beiden folgenden Jahren erreichen die Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern etwa das gleiche Ausmass. Die F -Werte für 1961 und 1962 sind etwas geringer als die für 1960 errechneten (F für 1961 = 2,01, F für 1962 = 1,81). Der Einfluss der Anfangshöhen auf z_h ist in diesen beiden Jahren gering.

5. Die letzte in die Untersuchung einbezogene Vegetationsperiode 1963 lässt eine zunehmende Differenzierung der Höhenwuchsleistung unter dem Einfluss der Düngung erkennen ($F = 3,52$). Hierbei gliedern sich die Zuwächse – wie im wesentlichen auch in den Vorjahren – annähernd in der gleichen Weise wie in der Gesamtperiode 1958–1963. Gleichzeitig sind auch die Beziehungen zwischen den Anfangshöhen 1963 und den z_h 1963 enger als in den beiden Vorjahren.

Die Differenzierung der Höhenwuchsleistung 1958–1963 der Versuchsglieder stellt sich damit als ein über die gesamte Beobachtungsperiode – mit Ausnahme des Dürrejahres 1959 – wirksamer Prozess dar, der gegen Ende der Beobachtungszeit eine zunehmende Tendenz zeigt.

3. Der Kiefern-Bestandsdüngungsversuch Ellingen

3.1 Versuchsbeschreibung

Der Düngungsversuch Ellingen liegt im bayerischen Regierungsbezirk Mittelfranken. Standortsgеоgraphisch liegt er in der Grenzzone des südlichen Juras zu dem nördlich anschliessenden Wuchsgebiet «Mittelfränkischer Keupersand». Die Versuchsfläche wurde im Frühjahr 1962 in der Abteilung Vogtsweiher der Fürstl. v. Wredeschen Forstverwaltung Ellingen von der örtlichen Forstdienststelle in Zusammenarbeit mit dem Forstsachverständigen der Kali-Chemie-AG Hannover, von Bredow-Stechow, angelegt. Der Versuchsbestand, ein stark durchforsteter Kiefernbestand mittlerer Schaftqualität mit einzelnen Überhältern, stockt auf einem degradierten mittleren Sandstandort. Er war bei Versuchsbeginn 64 Jahre alt und hatte eine durchschnittliche Höhenbonität (nach der Kiefern-Ertragstafel 1943 für die mässige Durchforstung von Wiedemann) von II.9 in den Grenzen von III.3 und II.6. Die Fläche hatte – nach einer stärkeren Entnahme vor Versuchsbeginn – einen Bestockungsgrad von rund 0,65 nach der oben genannten Tafel.

Der Versuch wurde als Rhe-Ka-Phos-Düngungsversuch zu Lupinenunterbau mit fünf Düngungsvarianten in zweimaliger Wiederholung angelegt (vgl. Bild 5). Die 10 Parzellen haben eine Messflächengrösse von einheitlich 0,25 ha. Zu Versuchsbeginn erhielten die fünf Versuchsglieder die in Tabelle 7 angegebenen Düngergaben.

Die Düngung wurde im Jahre 1964 mit den gleichen Mengen wiederholt.

Zu Versuchsbeginn wurden darüber hinaus auf allen Parzellen 7,5 kg/ha Dauerylupinen eingesät, die sich auf den Gedüngt-Parzellen ohne wesentliche Unterschiede gut entwickelten, auf Ungedüngt jedoch bald völlig ausfielen.

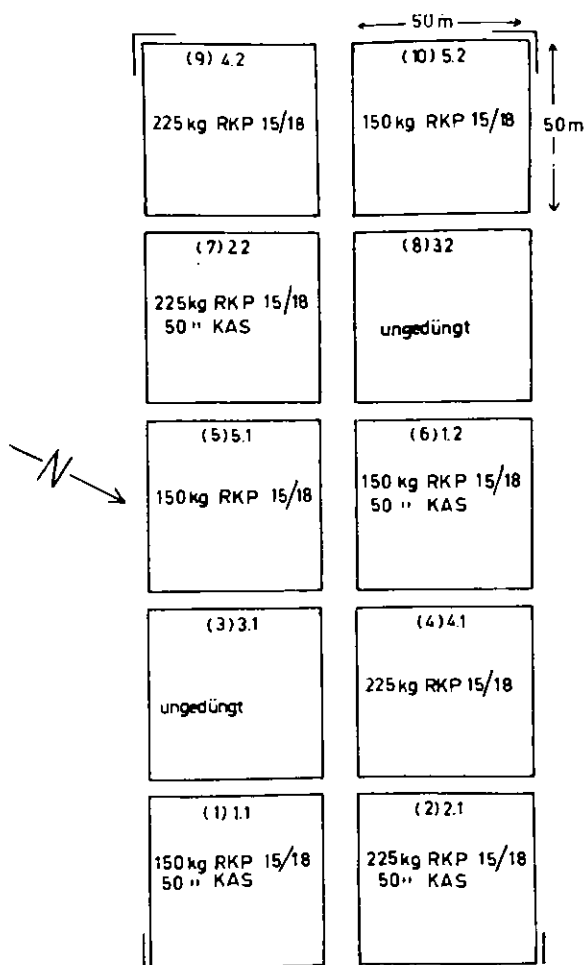


Bild 5: Lageplan des Kiefern-Bestandsdüngungsversuches Ellingen (Bayern).

Tabelle 7

Versuchsglied	Parzellen	Düngergaben 1962 in dz/ha
1	1,1 und 1,2	1,50 Rhe-Ka-Phos 15/18, 0,50 KAS
2	2,1 und 2,2	2,25 Rhe-Ka-Phos 15/18, 0,50 KAS
3	3,1 und 3,2	ungedüngt
4	4,1 und 4,2	2,25 Rhe-Ka-Phos 15/18, kein KAS
5	5,1 und 5,2	1,50 Rhe-Ka-Phos 15/18, kein KAS

3.2 Ertragskundliche Aufnahme und Auswertung

3.2.1 Bestockungszustand bei Versuchsbeginn

a) Im Frühjahr 1967 wurde der Versuch vom Verfasser ertragskundlich aufgenommen. Hierbei konnte er sich auf eine Aufnahme des Versuchsbestandes zu Beginn der Beobachtungsperiode 1962 stützen, die der damalige Forstverwalter ausführte. Ausserdem lag eine genaue parzellenweise Aufnahme des letztpriorischen Aushiebs vor Versuchsbeginn vor. Hauptziel der ertragskundlichen Untersuchung war es, den auf den einzelnen Parzellen in der Beobachtungsperiode Frühjahr 1962 bis Herbst 1966 geleisteten Volumenzuwachs festzustellen und die Zuwächse, bezogen auf eine gleiche ertragskundliche Ausgangslage, zwischen den fünf Versuchsgliedern zu vergleichen. In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der ertragskundlichen Aufnahmen zusammengestellt. Die in der Tabelle mitgeteilten Zuwächse wurden aus zahlreichen Bohrspanmessungen hergeleitet. Auf diese Weise konnten sehr genaue Zuwachsgrössen gewonnen werden.

b) Aus Tabelle 8 ist zunächst zu entnehmen, dass sich die Ertragselemente des verbleibenden und ausscheidenden Bestandes der Parzellen zu Beginn der Versuchsbeobachtung z. T. deutlich unterscheiden.

So schwanken die Mittelhöhen h_m 1962 zwischen 14,7 m (Parzelle 3.1) und 17,0 m (P. 2.2) und die Grundflächen/ha G 1962 zwischen 17,9 m² (P. 5.2) und 23,0 m² (P. 1.1). Auch die vor Versuchsbeginn eingelegte Durchforstung hatte auf den einzelnen Parzellen eine unterschiedliche Stärke. Die zur Kennzeichnung der Durchforstungsstärke errechneten Grundflächen-Entnahmeprozente P_e nach Assmann ([1]; S. 293) für ein mittleres Durchforstungsintervall von 10 Jahren bewegen sich zwischen 2,34 (P. 4.1) und 1,04 (P. 4.2). Ähnliche Unterschiede zeigen auch die Stammzahlen und Durchmesser des ausscheidenden Bestandes.

Im Vergleich zu den behandlungsbedingten Differenzen zwischen den Ertragselementen sind die Schwankungen der «wirklichen», in der Altersoberhöhe zum Ausdruck kommenden Höhenbonität auf der Versuchsfläche verhältnismässig gering. So differiert die am Ende der Beobachtungsperiode gemessene Bestandesoberhöhe – bestimmt als Höhe des Grundflächenmittelstammes der 100 stärksten Stämme je Hektar – lediglich um 1,2 m, während die Differenz 2,3 m bei der Mittelhöhe beträgt.

c) Die festgestellten behandlungsbedingten Unterschiede zwischen den Ertragselementen bei Versuchsbeginn bringen ein erhebliches Störmoment in die Versuchsauswertung. (Aus diesem Grunde sollten stärkere Hiebseingriffe unmittelbar vor Einleitung eines Düngungsversuches tunlichst vermieden werden, worauf besonders Assmann [1, 2] wiederholt hingewiesen hat.) Denn der Volumenzuwachs, die wichtigste Weisergrösse für das Versuchsergebnis (vgl. Abschnitt a), steht zu den meisten dieser Ertragselemente in engem Zusammenhang. Darum wurden die auf den einzelnen Versuchsgliedern geleisteten Zuwächse auf vorhandene düngungsbedingte Unterschiede mit Hilfe einer Kovarianzanalyse geprüft, in welche als Kovariate diejenigen Ertragselemente der Ausgangsbestockung eingegeben wurden, die neben der Düngergabe einen differenzierenden Einfluss auf die Zuwachsleistung erwarten lassen. In Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass dies neben der Mittelhöhe in erster Linie die Grundflächen und Stammzahlen des verbleibenden und ausscheidenden Bestandes sind. (Hierbei wurden bereits Ertragselemente mit einem $t > 1,0$ für die Regressionskoeffizienten ihrer linearen par-

Tabelle 8 Kiefern-Bestandsdüngungsversuch Ellingen (Bayern). Ertragskundliche Messgrößen der Parzellen für die Beobachtungsperiode F 1962 bis H 1966

Versuchsglied Düngung	Fläche	Alter t	Ober- höhe h ₀ in m	Mittel- höhe h _m in m	Stamm- zahl/ N/ha	Mittlerer Durchm. d _m in cm	Grund- fläche G/ha in qm	Vorrat V _s /ha V _{fm} S	Aussch. Bestd. vor Vers.- Beginn		Jährl. Zuwachs Z _v /ha V _{fm} S	Z _v d. Versuchsglieder		
									N _A /ha	G _A /ha		Jährl. Z _v 1962 bis 1966	% v. O	Rang Nr.
1 1,50 RKP 0,50 KAS	1,1	64		16,8	636	21,4	23,0	174,8	136	3,00				
		69	17,9	17,7	636	22,8	25,9	205,1			6,06			
	1,2	64		16,2	612	20,0	19,2	144,0	192	2,59				
		69	18,2	17,2	612	21,2	21,6	168,6			4,92	5,49	121	2
2 2,25 RKP 0,50 KAS	2,1	64		15,2	708	18,7	19,4	136,3	272	2,93				
		69	17,7	16,0	708	20,1	22,4	163,8			5,50			
	2,2	64		17,0	624	19,6	18,7	145,6	268	5,11				
		69	18,5	17,8	624	20,9	21,4	173,1			5,50	5,50	121	1
3 Ungedüngt 0	3,1	64		14,7	836	16,8	18,4	127,2	248	3,48				
		69	17,3	15,5	836	17,8	20,9	150,3			4,62			
	3,2	64		16,8	552	21,0	19,2	146,0	212	3,92				
		69	18,5	17,6	552	22,1	21,2	168,4			4,48	4,55	100	5
4 2,25 RKP	4,1	64		16,1	720	18,4	19,1	142,4	312	5,86				
		69	17,9	16,9	720	19,7	21,9	170,1			5,54			
	4,2	64		15,1	676	19,0	19,2	133,4	212	2,24				
		69	17,4	15,9	676	20,0	21,2	154,4			4,20	4,87	107	3
5 1,50 RKP	5,1	64		15,1	728	17,7	18,0	126,1	276	3,78				
		69	17,6	15,9	728	19,0	20,6	150,6			4,90			
	5,2	64		16,1	592	19,6	17,9	132,0	232	4,04				
		69	18,3	16,9	592	20,9	20,2	155,4			4,68	4,79	105	4

tiellen Beziehungen zum Volumenzuwachs als mutmasslich wichtige Kovariate angesprochen).

3.2.2 Untersuchungsergebnis

a) Durchschnittlich-jährlicher Volumenzuwachs F 1962 bis H 1966

Bereits die unkorrigierten Parzellenmittel des jährlichen Durchschnittszuwachses $\bar{Z}_v$ F 1962 bis H 1966 der fünf Versuchsglieder lassen deutliche Unterschiede erkennen (vgl. Tabelle 8):

Versuchsglied	Düngergabe	$\bar{Z}_v$	in % v. O	Rang-Nr.
1	1,50 RKP, 0,5 KAS	5,49	121	2
2	2,25 RKP, 0,5 KAS	5,50	121	1
3	ungedüngt	4,55	100	5
4	2,25 RKP	4,87	107	3
5	1,50 RKP	4,79	105	4

Alle vier Gedüngt-Varianten haben einen höheren Zuwachs als Ungedüngt. Die höchste Mehrleistung ($> 20\%$ von Ungedüngt) erreichten im Durchschnitt die beiden mit Rhe-Ka-Phos und KAS gedüngten Versuchsglieder. Die allein mit Rhe-Ka-Phos gedüngten Varianten erreichten eine Mehrleistung von 5 bzw. 7%.

Da jedoch die Zuwächse auf den Parzellen mit gleicher Düngergabe infolge der unterschiedlichen ertragskundlichen Ausgangsbedingungen z. T. erheblich schwanken (vgl. Tabelle 8), sind die oben festgestellten Zuwachsunterschiede – bei Ansatz einer einfachen Streuungszerlegung – nicht signifikant. Werden die Zuwächse dagegen hinsichtlich der wichtigsten Ertrags Elemente auf eine gleiche Ausgangslage bezogen, so ergeben sich gesicherte Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten. In Tabelle 9 ist das Ergebnis einer Kovarianzanalyse des Zuwachses unter Berücksichtigung der Ertrags Elemente

h_m , Mittelhöhe des verbleibenden Bestandes bei Versuchsbeginn

G_v , Grundfläche/ha des verbleibenden Bestandes bei Versuchsbeginn

G_A , Grundfläche des ausscheidenden Bestandes vor Versuchsbeginn

als Kovariate dargestellt. Die Rechnung wurde mit Hilfe eines sehr effektiven Standardprogramms [18] auf einem IBM-7090-Elektronenrechner ausgeführt. Eine zusätzliche Eingabe von Stammzahlgrössen neben den Grundflächengrössen brachte keinen weiteren Informationsgewinn. Die Prüfung der Unterschiede zwischen den auf gleiche Ausgangsbestockung bezogenen Zuwächsen ergab ein F von 22,65. Dass auch die drei Kovariaten h_m , G_v und G_A den Zuwachs wesentlich mitbestimmen, geht aus den t-Werten für ihre Koeffizienten hervor. In allen drei Fällen ist t hochsignifikant.

Die vorgenommene Korrektur auf gleiches h_m , G_v und G_A hat die anfängliche Rangordnung der Versuchsglieder nach der Grösse des Volumenzuwachses innerhalb der Gruppen gleichen Düngers verändert. Daneben verringerten sich die Zuwachsunterschiede gegenüber Ungedüngt z. T. erheblich:

Versuchsglied	Düngergabe	Korr. $\bar{Z}_v$	in % von O	Rang-Nr.
1	1,50 RKP, 0,5 KAS	5,49	119	1
2	2,25 RKP, 0,5 KAS	5,47	118	2
3	ungedüngt	4,62	100	5
4	2,25 RKP	4,63	100	4
5	1,50 RKP	4,99	108	3

Tabelle 9 Kiefern-Bestandsdüngungsversuch Ellingen (Bayern). Kovarianzanalyse des durchschnittlichen Volumenzuwachses F 1962 bis H 1966 (5 Vegetationsperioden) der Versuchsglieder.

Eingegebene Kovariate: h_m , G (vbl.Bestand) F 1962 und G (ausscheid. Bestand) F 1962

Streuung	FG_1	SQ_{yy}	SQ_{cov}	SQ_{var}	FG_2	MQ
zwischen den Versuchsgliedern	4	1,4912				
innerhalb der Versuchsglieder	5	1,5816	1,5587	0,0229	2	0,0114
Insgesamt	9	3,0728	2,0138	1,0590	6	
		$F = 22,65^*$		1,0361	4	0,2590
		$F(4,2) = 19,25$ für $p = 0,05$				

Koeffizienten für h_m , G und G_A sowie deren Standard Errors und t-Werte

Streuungsursache		Koeffizient	Standard Error	t-Wert	Signifikanz des Koeffizienten
Versuchsglieder (zwischen)	h_m	1,4550			
	G	0,0695			
	G_A	0,6538			
Fehler (innerhalb)	h_m	-0,3269	0,0663	-4,93	× ×
	G	0,3160	0,0398	7,95	× ×
	G_A	0,4448	0,0481	9,26	× × ×

Ursprüngliche und korrigierte Durchschnitte von Z_v und die Standard Errors der korrigierten Durchschnitte

Versuchsglied	Unkorrigierter Durchschnitt	Korrigierter Durchschnitt	Standard Error	Rang-Nr. uncorr.	corr.
1	5,49	5,49	0,1196	2	1
2	5,50	5,47	0,0768	1	2
3	4,55	4,62	0,0775	5	5
4	4,87	4,63	0,0829	3	4
5	4,79	4,99	0,0911	4	3

Die beiden mit Rhe-Ka-Phos und KAS gedüngten Versuchsglieder erreichten annähernd gleiche Zuwachsleistungen, die gesichert von Ungedüngt, jedoch auch gesichert von der Leistung des Versuchsgliedes 1,50 RKP abweichen. Das Versuchsglied 1,50 RKP zeigte seinerseits eine deutliche Mehrleistung gegenüber Ungedüngt. Seine Leistungsdifferenz zu Ungedüngt liegt knapp unterhalb der Grenzdifferenz $D_{0,05}$. Der schlechte Leistungsdurchschnitt der Variante 2,25 RKP ist auf den ausserordentlich geringen Zuwachs der Parzelle 4.2 zurückzuführen, für den bisher keine plausible Erklärung gefunden werden konnte.

b) Volumenzuwachs und Nährelementversorgung nach Nadelanalysen

Um einen orientierenden Überblick über den Zusammenhang zwischen der Zuwachsleistung und dem Ernährungszustand der Versuchsglieder am Ende der Zuwachsperiode zu erhalten, wurden die korrigierten Zuwächse mit den Nadelspiegeln 1966/67 (in Prozenten der Trockensubstanz) für N, P, K, Ca und Mg aus der Nadelanalyse herrschender Probestämme in Beziehung gesetzt. Die Analysen wurden in der Landwirtschaftlichen Versuchsstation der Kali-Chemie-AG in Hannover ausgeführt [24]. Ihre Ergebnisse sind in Tabelle 10 wiedergegeben. Sie weisen für die vier Gedüngt-Varianten bei allen Nährelementen mit Ausnahme der Phosphorsäure über den Grenzwerten (nach Wittich 1958 und Themnitz 1959; zit. bei Baule und Fricker [7] S. 70) liegende Werte aus. – Die Angaben für P % liegen mit Ausnahme der Variante 2 (2,25 RKP – 0,5 KAS) deutlich unter den entsprechenden Grenzwerten. Auf Ungedüngt sind ausser P % auch N % und Ca % kleiner als ihre Grenzwerte. Die weitaus beste Nährelementversorgung wurde in der Variante 2, die mit Abstand schlechteste auf Ungedüngt, festgestellt.

Tabelle 10 Kiefern-Bestandsdüngungsversuch Ellingen (Bayern). Ergebnis der Nadelanalyse herrschender Probestämme aus den fünf Versuchsgliedern. Versuchsglied 1: Nur Parzelle 1.2 (nach Werner W. [24])

Versuchsglied		Gehalte in % der Trockensubstanz				
		N	P	K	Ca	Mg
1	1,50 RKP 0,50 KAS	1,80	0,100	0,730	0,320	0,075
2	2,25 RKP 0,50 KAS	1,65	0,120	0,730	0,395	0,110
3	Ungedüngt 0	1,30	0,079	0,520	0,240	0,075
4	2,25 RKP	1,55	0,109	0,745	0,345	0,101
5	1,50 RKP	1,55	0,086	0,690	0,420	0,109

Tabelle 11 enthält die wichtigsten biometrischen Kennwerte der einfachen linearen Regressionen $\bar{Z}_v$ (korr.) = f (X_{Na}) zwischen dem korrigierten Volumenzuwachs $\bar{Z}_v$ (korr.) und den fünf Nährelementen (X_{Na}). Die Bestimmtheitsmasse für die fünf Beziehungen sind zwar in Anbetracht des sehr geringen Datenumfanges (jeweils nur fünf Wertepaare $\bar{Z}_v$ (korr.)/ X_{Na}) in keinem Fall signifikant verschieden

Tabelle 11 Kiefern-Bestandsdüngungsversuch Ellingen (Bayern). Biometrische Kennwerte der einfachen linearen Regressionen zwischen den nadelanalytisch ermittelten Nährelementen (vgl. Tabelle 9) und den korrigierten Durchschnittszuwächsen F 1962 bis H 1966 der Versuchsglieder (Versuchsglied 1: Nur Parzelle 1. 2)

Biometrischer Kennwert	Regressionsgrößen für $X_{Na} =$				
	N %	P %	K %	Ca %	Mg %
Regressionskonstante a	3,3985	3,7265	3,8048	3,8075	3,9109
Regressionskoeffizient b	0,9729	12,1281	1,6416	3,2514	10,7987
Bestimmtheitsmass B	0,2616	0,3426	0,1953	0,4342	0,3033
Korr.-Koeffizient r	0,5114	0,5854	0,4419	0,6590	0,5508
SQ (total)	0,4813				
SQ (Regression)	0,1259	0,1649	0,940	0,2090	0,1460

von Null, sie weisen jedoch bei allen Nährelementen eindeutig auf bestehende Zusammenhänge hin. Nach den errechneten einfachen linearen Regressionen wird dem grösseren Wert eines gegebenen Nährelements übereinstimmend der grössere Zuwachs zugeordnet.

Zusammenfassung

Ein ertragskundlicher Vergleich der Versuchsglieder in Düngungsversuchen setzt eine gleiche ertragskundliche Ausgangslage bei Versuchsbeginn voraus. Diese ist – in dem erforderlichen Übereinstimmungsgrad – in der Regel nicht gegeben. Bei unterschiedlicher ertragskundlicher Ausgangslage lässt ein Leistungsvergleich der Düngungsvarianten nur dann brauchbare Ergebnisse erwarten, wenn die zu vergleichenden Leistungsgrößen auf eine übereinstimmende Konstellation der wichtigsten Ertragselemente bei Versuchsbeginn bezogen werden. Als Prüfverfahren für die Beurteilung des Leistungsunterschiedes zwischen Düngungsvarianten bieten sich in erster Linie Methoden der Kovarianzanalyse an, in welche die wichtigsten, den ertragskundlichen Ausgangszustand kennzeichnenden Ertragselemente als Kovariate eingegeben werden.

Am Beispiel des Kiefernkultur-Düngungsversuches Tinnen (Emsland) und des Kiefernbestand-Düngungsversuches Ellingen (Bayern) wird dargestellt, welche Möglichkeiten des Informationsgewinnes die kovarianzanalytischen Methoden bieten.

Im Versuch Tinnen wurden die durchschnittlichen Höhenzuwächse von Probestämmen der Oberschicht in der sechsjährigen Beobachtungsperiode 1958–1963 und die jährlichen Höhenzuwächsgänge innerhalb dieser Periode zwischen den sieben Düngungsvarianten des Versuches (O, NP, NK_{Mg}, PK_{Mg}, NPK_s, NP_HK_{Mg}, NPK_{Mg} in zweifacher Wiederholung) verglichen. Als Kovariate wurden die Anfangshöhen zu Beginn der jeweiligen Zuwachsperiode eingegeben. Mit Hilfe eines von Rao im Jahre 1958 vorgeschlagenen Verfahrens konnte festgestellt werden, in welchem Masse die ertragskundliche Ausgangslage und in welchem die Düngung die festgestellten signifikanten Unterschiede in der Höhenwuchsleistung der Versuchsglieder mitbestimmt hat.

Auf der bei Versuchsbeginn (1962) 64jährigen, stark durchforsteten Versuchsfläche Ellingen war die ertragskundliche Ausgangslage infolge unterschiedlicher Hiebseingriffe vor Versuchsbeginn nicht einheitlich. Nach fünfjähriger Beobachtungsperiode wurden die durchschnittlichen Höhenzuwächse der fünf Versuchsglieder (0, 1,50 Rhe-Ka-Phos, 2,25 Rhe-Ka-Phos, 1,50 Rhe-Ka-Phos + 0,5 KAS, 2,25 Rhe-Ka-Phos + 0,5 KAS in zweifacher Wiederholung) miteinander verglichen. Nach Korrektur der Zuwachswerte auf gleiche Anfangsmittelhöhen und -grundflächen und auf gleiche Grundflächenentnahmen vor Versuchsbeginn wurden signifikante Leistungsunterschiede zwischen den Düngungsvarianten festgestellt. Die am Ende der Beobachtungsperiode aus Nadelanalysen geschätzte Nährelementversorgung der Versuchsglieder an N, P, K, Ca und Mg lässt deutliche Beziehungen zum Volumenzuwachs erkennen.

Bibliographie

1. *Assmann E.*: Waldertragskunde. 490 S., Bayer. Landwirtschaftsverlag München-Bonn-Wien 1961.
2. *Assmann E.*: Düngung und Melioration von Waldbeständen in ertragskundlicher Sicht. *AFZ* 20, Nr. 16/17, 241–251 (1965).
3. *Barelmann H.*: Forstliche Düngung, wie und wo? *Landwirtschaftsblatt Weser-Ems*, Nr. 30, S. 1460–1461; Nr. 31, S. 1497 (1961).
4. *Barelmann H.*: Bodenbearbeitung, Düngung und Baumartenwahl im Emsländerschliessungsgebiet. *AFZ* 18, Nr. 42, 649–653 (1963).
5. *Baule H.*: Über die Möglichkeit zur Erfassung der Düngebedürftigkeit von Waldstandorten. *Der Forst- u. Holzwirt* 16, Nr. 18, 394–401 (1961).
6. *Baule H. und Fricker C.*: Welche pflanzenphysiologischen Gesetzmässigkeiten sind für die Ernährung der Forstpflanzen entscheidend? *AFZ* 21, Nr. 15/16, 260–261 (1966).
7. *Baule H. und Fricker C.*: Die Düngung von Waldbäumen. 259 S., Bayer. Landwirtschaftsverlag, München, Bonn, Wien 1967.
8. *Behrndt G.*: Über die Wiederbewaldung des Emslandes. Festschrift aus Anlass des zehnjährigen Bestehens des Kuratoriums für die Staatl. Moorversuchsstation Bremen. S. 184–200, Parey-Verlag, Hamburg 1958.
9. *Behrndt G.*: Zur Frage der forstlichen Düngung. *Landwirtschaftsblatt Weser-Ems*, Nr. 23, 1162–1163 (1961).
10. *Behrndt G.*: 15 Jahre Ödlandaufforstung im Emsland. *Der Forst- und Holzwirt* 21, Nr. 4, 90–92 (1966).
11. *Franz F.*: Auswertung von Düngungsversuchen mit unterschiedlicher Bestockungsdichte bei Versuchsbeginn. *Forstwiss. Cbl.*, 84, Nr. 3/4, 84–96 (1965).
12. *Rao C. R.*: Some statistical methods for comparison of growth curves. *Biometrics* 14, No. 1, 1–17 (1958).
13. *Schindler U. und Baule H.*: Forstliche Düngung und Kiefernknospentriebwicklerbefall. *AFZ* 19, Nr. 34/35, 534–537 (1964).
14. *Themlitz R.*: Untersuchungen zur Nährstoffwanderung in einem Heideboden und Nährstoffdynamik junger Kiefern (Pin. silv.). 1. Mitteilung. *Kali-Briefe, Fachgebiet* 6, 12 S. (1958).
15. *Themlitz R.*: Zur Nährstoffwanderung in einem Heideboden und Auswirkung insbesondere einer Kalidüngung auf das Wachstum und den Nährstoffgehalt von Jungtrieben einer achtjährigen Kiefernkultur (Pin. silv.). *AFJZ* 136, Nr. 4, 77–84 (1965).
16. *Themlitz R. und Baule H.*: Über das Auftreten von Nährstoffmangelsymptomen an jungen Kiefern als Folge unausgeglichener Düngung. *Der Forst- u. Holzwirt* 15, Nr. 1, 12–13 (1960).
17. *Themlitz R. und Wandt H.*: Kalidüngung zu Lärchen. *AFZ* 15, Nr. 45, 643–645 (1960).
18. University of California, Health Sciences Computing Facility: Biomedical Computer Programs. Program BMD O 4 V. S. 525–542, UCLA, Los Angeles 1964.
19. *Wandt H.*: Düngung schlechtwüchsiger Kiefernkulturen mit Volldünger. *Landwirtschaftsblatt Weser-Ems*, Nr. 1 (1961).
20. *Wandt H.*: Düngung von Emslandaufforstungen. *Landwirtschaftsblatt Weser-Ems*, Nr. 23 (1961).
21. *Wandt H.*: Die Standortmerkmale des Emslandes. *AFZ* 18, Nr. 42, 646–648 (1963).
22. *Wandt H.* (unter Mitarbeit von *H. J. Grummer*): Die Wehsande des Emslandes und Möglichkeiten ihrer Melioration. Manuskriptdruck, 18 S. (1967).
23. *Wandt H. und Barelmann H.*: Düngungsversuche im Emsland. *AFZ* 18, Nr. 42, 664–669 (1963).
24. *Werner W.*: Ergebnis der Nadelanalyse von Probestäumen des Düngungsversuches Ellingen. Schriftliche Mitteilungen 1967.

A. Leader Growth and Foliar Composition in Sitka spruce (*Picea sitchensis* Carr.) in Relation to Fertilizer Application on Blanket Peat

P. J. O'HARE, M. Agr. Sc., An Foras Taluntais Peatland Experimental Station, Glenamoy, Co.
Mayo/Ireland

1. Introduction

In 1956, Contorta pine (*Pinus contorta* Doug.) and Sitka spruce (*Picea sitchensis* Carr.) were planted as part of a shelterbelt system on the newly established Peatland Experimental Station at Glenamoy, North Mayo. The trees were mound planted and fertilized with 56.7 g (2 oz.) per plant of ground mineral phosphate (14.5% P). Establishment and growth were satisfactory but by 1961, the young trees had gone into 'check'. A combined dressing of Ca, N, P, K, and Cu was applied in the spring of 1961 and a response in foliage colour was noted within six weeks of application. Mean annual leader growth in Sitka spruce three years later was 38.6 cm (15.2 in.) for the fertilized area and 12.4 cm (4.9 in.) for the control, O'Hare [17].

In 1963 a further experiment was laid down on a shelterbelt planted in 1957. It was hoped to determine the relative importance of the nutrients involved in the earlier experiment. Data for the first three years of this second experiment are presented.

2. Description of site

The average depth of peat on the experimental area was 4 m. This blanket of ombrogenous peat rests on a shallow, strongly podsolised soil derived mainly from fragmented, metamorphosed sandstone [15]. The top 50 cm has an ash content of 2.5% and a humification of 5 to 6 on the *von Post* scale, Walsh and Barry [20]. Some of the chemical data for the virgin peat are given in table 1. Figures given represent the simple mean of eight individual samples.

Table 1 Peat analyses prior to planting

Depth cm	% D. M.	pH	Ca ¹	P ¹	K ¹	% N ²
0-10	9.50	4.3	213.9	0.58	16.28	2.30
10-20	8.95	4.2	202.1	0.47	7.08	2.45
20-30	7.50	4.2	158.1	0.47	3.58	2.52
30-50	7.00	4.3	149.6	0.31	2.34	2.38

¹ Figures are p. p. m. in wet peat. To convert to p. p. m. in oven-dry peat, multiply by 100 and divide by per cent. D. M.

² Figures are per cent. N in oven-dry peat.

The analytical method for peat analyses was different to that used by *Walsb* and *Barry* in 1958 [20]. Major nutrient levels have been determined on *wet peat* and figures given can be regarded as 'available'. The figures given by *Walsb* and *Barry* [20] for a site adjacent to the experimental area show lower Ca and N levels, higher P levels and about the same levels of K. The concentration of K in the surface layer of peat is in agreement with the findings of *O'Hare* and *Fleming* [16] as well as those of *Walsb* and *Barry* [20].

3. Climate

The climate of the area is extreme oceanic with severe gales in practically every month of the year. The annual rainfall of 1400 mm (55.5 in.) is distributed over 270 days and the mean annual relative humidity at mid-day is 83%. Mean annual air temperature is 10°C and ground frost occurs on 66 days per annum. Mean wind speed (10 m above ground surface) is 13.9 knots per hour over the whole year but the wind occasionally reaches 87 knots per hour [1].

4. Methods

The experimental area of 2 hectares (5 acres) was prepared for planting in 1957 with a double furrow forestry plough, giving drains 30.5 cm (12 in.) deep, 3.05 m (10 ft.) apart and furrows for planting 1.52 m (5 ft.) apart. The young trees were planted 1.52 m (5 ft.) apart on the furrows and fertilized with 56.7 g (2 oz.) per plant of ground mineral phosphate (14.5% P) at the time of planting.

In April 1963, six years after planting, the following treatments were applied broadcast.

The plot size was 0.133 acre (0.054 hectare) and the treatments were replicated twice. For leader growth measurements, thirty trees were selected at random in each

Table 2 Treatments applied April 1963 (lbs./acre $\times$ 1.12 = kg/hectare)

Treatment	Nutrient	Source of nutrient
A	Control	
B	P ₁	P ₁ = 336 lbs./acre ground mineral phosphate, 14.5 % P
C	P ₁ + K	K = 168 lbs./acre muriate of potash, 50 % K
D	P ₁ + K + Cu	Cu = 10 lbs./acre copper sulphate, 25.4 % Cu
E	P ₁ + K + Cu + N*	N = 336 lbs./acre calcium ammonium nitrate, 23 % N
F	N*	
G	P ₂	P ₂ = 336 lbs./acre basic slag, 8 % P
H	P ₂ + K	
I	P ₂ + K + Cu	
J	P ₂ + K + Cu + N*	
K	Ca	Ca = 1120 lbs./acre ground limestone, 99.5 % CaCO ₃
L	P ₃ + Ca	P ₃ = 336 lbs./acre superphosphate, 8 % P
M	P ₃ + Ca + K	
N	P ₃ + Ca + K + Cu	
O	P ₃ + Ca + K + Cu + N*	

* Treatments E, F, J and O received 336 lbs./acre calcium ammonium nitrate in 1963, 1964, 1965.

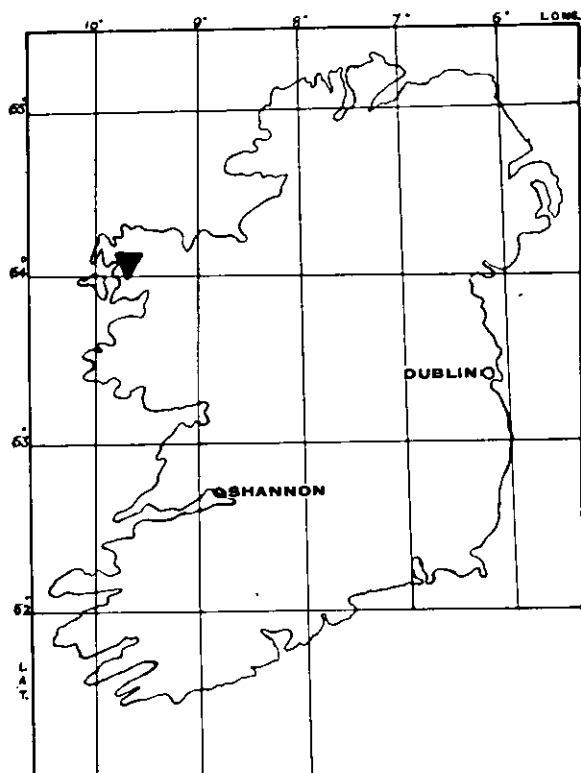


Fig.1 Ireland with experimental area marked ▼

plot and labelled. This meant that 60 individual leader growth figures were available for each treatment. The figures were processed by computer.

For foliar analyses two sets of fifteen trees were selected at random from the thirty trees labelled for leader growth. A composite sample of current year's needles was made from the top whorls of the trees in each set. This arrangement gave four samples for each treatment but the data were not acceptable for statistical analyses and have therefore been presented as the simple mean of four readings.

To have taken sufficient needles from each tree to permit individual analyses, might have affected growth in subsequent years. Measurements of leader growth and sampling for foliar analyses took place in November 1963, 1964 and 1965.

4.1 Plant analyses

Needles were dried in a hot air oven for 15 hours at 100°C. The sample was then wet ashed and diluted with distilled water. The concentrations of the various nutrients were determined as follows:

Ca, K and Na:	on a <i>Lange</i> Flamephotometer model 5/56
P and Mg:	colorimetrically
N:	standard <i>Kjeldahl</i> technique
Mn:	by developing colour using sodium bismuthate and reading colorimetrically with a 624 filter
B:	by developing colour with 1:1 dianthramide 0.01 % in conc. H_2SO_4 , and reading with EEL absorptiometer, 608 filter and 4 cm cells
Fe:	by developing colour with hydroxylamine hydrachloride 10% and O-phenanthroline 0.1 %, stabilizing with ammonium acetate buffer pH 7, and reading on an EEL absorptiometer with 603 filter and 4 cm cells

4.2 Peat analyses

Samples were dried in a hot air oven for 15 hours at 100°C for dry matter estimations. The concentrations of the various nutrients were determined as follows: 150 g of *wet peat* and 200 ml of 0.168 N. H_2SO_4 were macerated until all the fibrous material was broken up. An aliquot of macerated sample was placed in a 150 ml round bottom firmisal flask and shaken on a mechanical shaker for ½ hour. The contents of the flask were then filtered and the following determinations made on the filtrate:

Ca and K:	on a <i>Lange</i> Flamephotometer model 5/56
P:	colorimetrically using stannous chloride and ammonium molybdare

pH was determined by taking a 2:1 ratio by weight of distilled water and peat, macerating for two minutes and reading on a Radiometer.

5. Results

5.1 Effect of nutrients on leader growth

Nitrogen: In the year of application of fertilizers, three of the four treatments containing nitrogen gave significant increases in leader growth at the 5% level. Nitrogen with basic slag (treatment J) increased leader growth but not significantly.

In the second year, all four treatments containing nitrogen gave increases significant at the 1% level.

Phosphorus: Ground mineral phosphate gave an increase significant at 5% in the third year after application, but with potassium, the increase was significant at 1%. The addition of copper, however, reduced the significance to the 5% level. There was no response to phosphorus as basic slag, or superphosphate with lime, even after three years.

Potassium: There was a positive response to potassium with all three sources of phosphorus.

Copper: In all but one instance (N treatment 1963) there was a negative response to copper in the presence of phosphorus and potassium.

Calcium: There was no response to calcium as ground limestone.

In 1965 there was very little difference in the response to ground mineral phosphate (treatment E) and superphosphate plus lime (treatment O) in the presence of all the other nutrients.



Fig. 2 Aerial photograph of experimental area showing the four treatments with N (two replicates) as dark strips.

Table 3 Leader growth in inches

Treatment	1963	1964	1965
A	5.33	4.42	5.56
B	4.25	6.22	9.06 ¹
C	5.14	7.31	9.74 ²
D	4.96	6.58	8.22 ¹
E	6.82 ¹	13.57 ²	17.62 ²
F	6.68 ¹	10.05 ²	12.03 ²
G	5.20	4.61	4.94
H	5.24	5.83	7.39
I	4.74	4.52	4.90
J	5.71	12.33 ²	15.45 ²
K	4.82	4.57	4.80
L	4.15	4.97	5.39
M	4.66	6.90	8.76 ¹
N	5.45	5.76	6.34
O	6.26 ¹	11.53 ²	17.80 ²

S.E. of a treatment mean ± 0.54 for 1963; ± 1.09 for 1964; ± 0.95 for 1965.

¹ Sig. at 5%.

² Sig. at 1%.

Treatments with nitrogen are E F J O.

5.2 Effect of nutrients on chemical composition of needles

Nitrogen: The highest N levels in every year were for treatment E (ground mineral phosphate in the presence of nitrogen and the other nutrients). Nitrogen increased the N level in the needles whether applied as the only nutrient or in addition to others. In the first year each source of phosphorus increased the N level but by the third year this increase had declined to the N level of the control plot.

Potassium had no effect on N levels except where lime and superphosphate were used. Even in this instance the positive effect was very small. No other applied nutrient had any effect on N levels.

Phosphorus: All sources of phosphorus increased P levels in the year of application and in the succeeding year. There was a drop in P levels for all treatments in the third year. Potassium in the presence of ground mineral phosphate further increased P levels but in the presence of basic slag or superphosphate plus lime, the increase in P levels was negligible.

Potassium: The application of potassium gave a small increase in K levels with each source of phosphorus but this increase was lost in every case where nitrogen was applied alone and with the other nutrients. No other nutrient had any effect on K levels.

Calcium: None of the applied nutrients, even calcium alone, had any effect on Ca levels. There was some evidence of a slight fall in Ca levels in all treatments by the end of the third year.

Magnesium: The Mg levels were very similar for all treatments in every year. In contrast to calcium and phosphorus there was no evidence of lower levels in the third year.

Sodium: The Na levels are fairly uniform for all treatments in any one year. The Na levels in 1965 were lower than those of 1963 or 1964. The mean wind run at 2 m above the ground at Glenamoy for 1963, 1964, 1965 was 9.56, 9.36 and 8.91 knots per hour respectively [1]. 1965 was less windy and thus less sodium may have been deposited on the experimental area.

Copper: Copper sulphate in the presence of ground mineral phosphate and potassium had a positive effect on Cu levels in the needles in the second and third years after fertilizer application, with little difference in absolute levels.

Manganese: There is considerable variation in Mn levels for all treatments. The tendency for Mn levels to fall in the second and third year is very much accelerated by the application of nitrogen.

The levels of Fe, Al, B or Mo do not reflect any change due to applied nutrients.

The levels of P, K, Ca and Mg for all treatments and the control are above the deficiency levels given by Ingestad [8] for both *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. The N levels, however, are above deficiency level only where nitrogen has been applied.

6. Discussion

The development of the planting method used in this experiment has been described in detail by Zebetmayr, p. 67 [21]. The restriction of the initial fertilizer dressing to 1½-2 oz. per plant of ground mineral phosphate at time of planting was quite acceptable on the results of ten years experiments involving various combinations of ferti-

Table 4 Foliar analyses – Major elements

Treatment	% DM			% Ca			% P			% K			% Mg			% N			% Na		
	I	II	III _r	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
A	40.2	39.5	38.8	0.87	0.73	0.73	0.15	0.21	0.16	0.94	1.11	1.17	0.16	0.19	0.20	1.18	1.50	1.05	0.22	0.13	0.12
B	39.9	40.8	39.3	1.03	0.84	0.62	0.27	0.27	0.19	1.03	1.03	0.87	0.17	0.21	0.17	1.88	1.64	1.06	0.19	0.20	0.10
C	39.6	39.7	38.6	0.96	0.79	0.63	0.30	0.32	0.22	1.17	1.38	1.18	0.17	0.22	0.20	1.85	1.79	1.03	0.13	0.14	0.08
D	39.5	39.2	38.7	0.81	0.83	0.75	0.25	0.29	0.21	1.09	1.35	1.24	0.17	0.19	0.19	1.39	1.61	1.07	0.15	0.15	0.08
E	41.5	42.9	42.3	0.98	0.75	0.67	0.22	0.24	0.15	0.85	0.92	0.79	0.15	0.15	0.15	2.37	2.11	1.55	0.24	0.20	0.10
F	42.5	42.7	42.0	0.82	0.74	0.60	0.16	0.18	0.11	0.82	0.85	0.73	0.16	0.17	0.14	1.81	1.81	1.15	0.17	0.18	0.10
G	38.7	39.2	37.8	0.89	0.75	0.69	0.21	0.24	0.20	0.89	1.08	1.04	0.17	0.18	0.18	1.47	1.47	0.95	0.17	0.18	0.09
H	39.2	37.1	38.3	1.02	0.72	0.73	0.29	0.26	0.17	1.18	1.21	1.20	0.18	0.22	0.17	1.81	1.42	0.96	0.26	0.15	0.09
I	39.5	39.0	38.6	0.86	0.71	0.69	0.24	0.28	0.18	1.15	1.27	1.10	0.16	0.24	0.18	1.36	1.34	1.04	0.17	0.17	0.08
J	41.0	40.7	40.2	0.81	0.73	0.65	0.19	0.22	0.13	0.88	0.93	0.86	0.14	0.21	0.15	1.87	1.83	1.34	0.13	0.14	0.08
K	40.1	39.8	38.3	0.93	0.76	0.73	0.18	0.24	0.15	0.97	1.08	1.09	0.17	0.22	0.15	1.40	1.26	0.91	0.13	0.12	0.09
L	40.0	40.1	38.6	0.89	0.67	0.75	0.23	0.26	0.18	1.00	1.06	1.11	0.17	0.18	0.18	1.37	1.39	0.98	0.12	0.20	0.08
M	39.7	39.2	40.3	0.84	0.85	0.77	0.25	0.26	0.18	1.12	1.22	1.12	0.16	0.18	0.16	1.48	1.58	1.17	0.13	0.13	0.08
N	39.9	38.9	38.1	0.90	0.69	0.71	0.29	0.28	0.18	1.24	1.23	1.26	0.18	0.23	0.15	1.56	1.41	0.97	0.20	0.12	0.09
O	41.5	42.7	40.1	0.84	0.68	0.74	0.22	0.22	0.15	0.92	0.91	0.97	0.13	0.20	0.17	2.16	1.96	1.30	0.15	0.15	0.09

I = 1963, II = 1964, III = 1965.

Table 5 Foliar analyses - Minor elements

Treatment	p.p.m. Mn			p.p.m. Cu			p.p.m. Mo			p.p.m. Bo			p.p.m. Fe			p.p.m. Al		
	I	II	III ¹	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
A	167.0	236.5	162.5	3.50	2.40	3.30	² N.A.	0.40	0.25	N.A.	N.A.	23.5	42.5	70.5	57.0	59.5	40.0	25.0
B	203.0	261.5	116.2	3.88	3.00	2.98	N.A.	0.50	0.38	N.A.	N.A.	21.0	35.0	68.0	53.0	63.5	51.5	35.0
C	183.5	196.0	117.5	4.81	3.00	3.10	N.A.	0.40	0.38	N.A.	N.A.	19.0	35.0	76.5	47.0	53.5	57.5	17.5
D	184.0	212.5	123.7	3.50	2.65	2.90	N.A.	0.70	0.55	N.A.	N.A.	21.0	60.5	74.5	47.0	46.0	56.0	17.5
E	157.0	143.0	45.0	5.50	2.50	2.98	N.A.	0.60	0.60	N.A.	N.A.	19.5	48.0	73.0	46.5	65.0	51.0	20.0
F	155.5	173.0	104.2	3.81	1.70	2.40	N.A.	0.40	0.30	N.A.	N.A.	22.5	40.0	69.5	51.5	59.5	57.5	25.0
G	197.0	292.0	209.0	4.13	2.30	2.85	N.A.	0.40	0.50	N.A.	N.A.	20.2	54.0	71.5	51.0	57.0	44.5	22.5
H	204.0	295.5	226.2	3.88	1.95	2.98	N.A.	0.40	0.45	N.A.	N.A.	21.0	61.0	73.0	50.5	53.0	58.0	26.7
I	188.5	306.0	248.7	3.75	2.15	2.75	N.A.	0.40	0.80	N.A.	N.A.	22.2	52.5	72.0	47.5	46.5	51.5	30.0
J	156.0	248.0	117.5	4.44	2.73	2.40	N.A.	0.40	0.85	N.A.	N.A.	19.0	46.5	79.0	51.0	47.0	46.5	17.5
K	159.0	173.0	126.2	3.56	3.60	2.98	N.A.	0.40	1.00	N.A.	N.A.	21.0	39.0	72.0	49.5	35.5	49.5	22.5
L	171.0	158.7	120.0	4.00	2.40	2.95	N.A.	0.40	0.85	N.A.	N.A.	23.0	65.5	72.0	51.0	50.0	59.3	22.5
M	153.0	171.0	96.2	4.81	2.50	2.65	N.A.	0.80	0.35	N.A.	N.A.	19.2	53.0	68.0	54.0	35.5	35.0	36.0
N	182.0	176.0	103.7	4.13	2.30	2.75	N.A.	0.40	0.50	N.A.	N.A.	22.7	65.5	55.0	53.0	49.5	46.5	33.0
O	125.5	116.0	38.7	4.94	3.10	2.50	N.A.	0.40	0.33	N.A.	N.A.	19.0	52.5	74.5	49.0	47.5	39.3	17.5

¹ I = 1963, II = 1964, III = 1965. ² N.A. = Not available.

lizers, *Zebetmayr*, p. 80 (21). Meshechok (13 and 14) criticizes this approach because of the known low levels of potassium in most peatlands. He argues that it is bad economics to wait until the young trees have used up all the potassium in the peat before applying additional quantities. He recommended approximately 2 oz. per plant of raw phosphate in the planting hole and approximately 1 oz. per plant of potassic super (5% P and 10% K) on the surface around the plant. After three to four years a further dressing of potassic super is given broadcast at from 6 cwt. to 9 cwt. per acre.

In an earlier experiment on blanket peat, 50 lbs./acre of potassium, five years after planting, increased the level of K in the needles of Sitka spruce from 0.5% to 1.25%, *O'Hare* [17]. A level of 0.5% is low, *Binns* [2], and would infer that potassium deficiency was present much earlier than five years after planting.

The potassium levels in the present experiment, even in the control plot, are generally satisfactory but there was a positive response in leader growth to applied potassium. The low potassium reserves in blanket peat in western Ireland have been mentioned by *Grennan* and *Mulqueen* [6]. The time at which K deficiency first occurs in young trees appears to be well correlated with the total K content of the top foot (30.5 cm) of peat, *Binns* [3]. The K levels in the peat, table 1, show very much higher concentrations in the top 0-10 cm than in any of the lower layers down to 50 cm. A decrease in K reserves in the 0-10 cm zone of this type of peat should predict more accurately when K deficiency will occur in young trees.

The experiment confirmed a post-planting requirement of phosphorus and potassium but the requirement of nitrogen appeared much more important. The form in which nitrogen is applied to peatland may be important. In this experiment, calcium ammonium nitrate alone, gave an increase (sig. at 5%) in leader growth in the year of application. In Norway, *van Goor* [5] considered calcium ammonium nitrate the best N fertilizer to use for Norway spruce in heathland afforestation. Nitrogen in other forms has given disappointing results on peat, *Jack* [9], *Zebetmayr*, p. 79 [21], *McConoghy* [12]. *Laatsch* [11] however reported a significant response to a mixture of ammonium nitrate and ammonium sulphate on a dry podsolised sandy soil.

Dickson used a nitrogenous fertilizer containing ammonium nitrate and calcium carbonate (Nitro-chalk 21% N) on 24 years old Sitka spruce in 'check' on deep peat. There was only a small response in leader growth and no significant increase in nitrogen content of needles. After four years the residual effect of nitrogen on leader growth was negligible, *Dickson* [4]. *Laatsch* [10] mentioned the desirability of applying nitrogen to trees in 'check' for at least tree consecutive years and observing N levels in the foliage in the autumn of each year. He cited the work of *Strebel* [19] which established a statistically significant correlation between the N levels in the needles and the growth of the trees. *Laatsch* also suggested that an initial phosphorus application stimulated nitrogen mineralising microbes, resulting in a higher rate of nitrogen supply. The improved nitrogen nutrition of the trees might be possible at the expense of the nitrogen reserve in the peat, *Laatsch* [11]. But if the microbial modification of inactive raw humus to active humus is not completed, additional phosphorus may not resolve the position. Nitrogen may be required in addition to phosphorus to bring about the necessary change in humus form. When microbial modification is proceeding satisfactorily, an increase in the number of larger soil animals will follow. These in turn will mix the raw humus layer with mineral matter resulting in the development of an active humus layer. Under the conditions of high C/N ratios usually associated with peat, nitrogen and phosphorus are present mainly

as complex organic compounds and not readily available to young forest trees, *Parker* [18]. The nitrogen and phosphorus in the peat become available only through the activity of micro-organisms, which bring about the decomposition of the organic matter and liberate these nutrients in much simpler molecular or ionic forms, *Parker* [18].

7. Conclusions

Sitka spruce can be successfully established on ombrogenous blanket peat in western Ireland with conventional mound planting and a dressing of 56.7 g (2 oz) per plant of ground mineral phosphate. A post-planting dressing of nitrogen, phosphorus and potassium will be required somewhere between the third and sixth year after planting. On blanket peat, ground mineral phosphate was the most suitable form in which to apply phosphorus. Calcium ammonium nitrate was a suitable form in which to apply nitrogen but further research is required on the most suitable quantities to apply and the timing of these dressings.

8. Acknowledgements

The author wishes to thank Mr. *D. Harrington* for statistical analyses; Mr. *Wm. Nutt* for assistance with leader growth measurements and sampling; Mr. *R. Triggs* for chemical estimations and preparation of tables; and Mr. *C. Godson* for the aerial photograph.

Bibliography

1. *An Foras Taluntais*: Meteorological data for Glenamoy, Co. Mayo (unpublished).
2. *Binns W. O.*: Forest soils research in Scotland. Report For. Res. London, 93-94 (1960).
3. *Binns W. O.*: Some aspects of peat as a substrate for tree growth. *Irish Forestry XIX*, No. 1, 32-55 (1962).
4. *Dickson D. A.*: The effect of nitrogenous and phosphatic fertilizers on the growth of 'checked' trees on deep peat. *Rec. of Agr. Res. N. Ireland, XIV*, Part 2, 61-71 (1965).
5. *Goor C. P. van.*: Fertilizing Norway Spruce in heathland afforestation. *Stikstof*, No. 2, 60-66 (1958).
6. *Grennan E. and Mulqueen J.*: Grass production on blanket peat. 2. Potassium requirements. *Irish Jor. of Agr. Res.* 3, 51-61 (1964).
7. *Heikurainen L.*: Improvement of forest growth on poorly drained peat soils. *Int. Rev. of Forestry Research* 1, 39-113, London 1964.
8. *Ingestad T.*: Macro element nutrition of pine spruce and birch seedlings in nutrient solutions. *Medd. Skogsforskn. Inst., Stockh.* 51, (7), 1-150 (1962).
9. *Jack W. H.*: Experiments on tree growing on peat in Northern Ireland. *Forestry XXXVIII*, 20-40 (1965).
10. *Laatsch W.*: Private communication (1961).
11. *Laatsch W.*: The nitrogen economy of coniferous forest soils in Bavaria. *Irish Forestry XIX*, No. 2, 113-126 (1962).
12. *McConaghy S.*: The effects of fertilizer treatments on the growth and composition of Sitka spruce. *Irish Forestry XIX*, No. 1, 56-59 (1962).
13. *Mesbechok B.*: Peatland afforestation - The results of experiments by Norwegian Experimental Forestry Section. *Skog - Eiren*, No. 4, (1961). Bord na Mona, Ireland. Translation No. 998.

14. *Mesbechok B.*: From experiments with afforestation on peatland in Norway. International Peat Congress, Leningrad, Sect. III, No. 26 (1963).
15. *O'Hare P. J.*: An ecological study on certain blanket bogs in Co. Mayo. Thesis for M. Agr. Sc., Univ. Coll. Dublin (1959) (unpublished).
16. *O'Hare P. J.* and *Fleming G. A.*: The chemical composition of peat supporting *Schoenus nigricans* in North Mayo. Soc. Chem. Ind. Monograph No. 9, 133-139, London 1960.
17. *O'Hare P. J.*: Manuring of forest trees. Soils Division, An Foras Taluntais Research Report, 93-94 (1963).
18. *Parker R. E.*: The problems of peatland forestry. Irish Forestry XIX, No. 1, 4-14 (1962).
19. *Strebel O.*: Mineralstoffernährung und Wachstumsleistung von Fichtenbeständen (*Picea abies*) in Bayern. Forstw. Cbl. 79, 17-42 (1960).
20. *Walsh T.* and *Barry T. A.*: The chemical composition of some Irish peats. Proc. R. Irish Acad. 59 B, 305-328 (1958).

B. The Leaching of Nutrients by Rain-water from Forest Trees – A Preliminary Study

P. J. O'HARE, M. Agr. Sc., An Foras Taluntais, Peatland Experimental Station, Glenamoy, Co. Mayo/Ireland

1. Introduction

In 1956 a shelterbelt system was planted on the newly established Peatland Experimental Station at Glenamoy, North Mayo. The trees were mound planted and fertilized with ground mineral phosphate according to the method described by Zehetmayr [26].

The experimental area is representative of approximately one million acres of low-level blanket peat in western Ireland. The average depth of this blanket of peat is 4 m. The 50 cm surface layer is truly ombrogenous and has an ash content of 2.5%, Walsh and Barry [24].

2. Climate

The climate of the area is extreme oceanic with severe gales in practically every month of the year. The annual rainfall of 1400 mm (55.5 in.) is distributed over 270 days and the mean annual relative humidity at mid-day is 83%. Mean annual air temperature is 10° C and ground frost occurs on 66 days per annum. Mean wind speed (10 m above ground surface) is 13.9 knots per hour over the whole year but the wind occasionally reaches 87 knots per hour [1].

3. Description of site

The native vegetation of much of this acid peat contains *Schoenus nigricans* L., a fen loving sedge, as the character plant, O'Hare [12]. Nutrients of marine origin are known to be linked with the occurrence of the plant, Gorham [7] and Sparling [18]. Rain-water falling on the area has been analysed as part of an ecological study on the native vegetation, O'Hare [13].

4. Methods

When the shelterbelts were nine years old and some 12 ft. high, rain-water was collected beneath Contorta pine (*Pinus contorta* Doug.) for comparison with samples from an open site near the shelterbelt system. The data presented cover only one growing season but clearly demonstrate a substantial nutrient contribution from intercepted rainfall.

Rainfall was collected at intervals ranging from 14 to 33 days from 16th March 1965 to 16th November 1965. A standard 5" rain-gauge was used on the open site

(O) and three such gauges at sites (S) underneath the trees. When positioning the rain-gauges in the shelterbelt, care was taken to place the gauge approximately 18" (46 cm) from the stem of the tree. A small piece of cotton wool was placed in the neck of the funnel to prevent leaf debris entering the gauge. Rainfall and throughfall samples were filtered through a No. 42 *Whatman* filter paper in preparation for analyses.

Chemical determinations were carried out as follows:

- Ca, K and Na: Read directly on a *Lange* Flame photometer, Model 5/56.
Mg: An aliquot sample (concentrated x5) taken, and colour developed using Brilliant Yellow/Tylose solution and 15% Sodium Hydroxide.
pH: Read on a Radiometer using Buffers pH 4 and pH 7 as standards.
S: An aliquot sample taken, to which was added 1 ml of 50% HCl and 5 ml of Absolute alcohol, followed by 1.28 g of Barium Chloride, then shaken and allowed to stand. Samples then read against known standards on an EEL Nephelometer.
Cl: Determined by taking an aliquot of sample and adding 3 ml of 2% HNO₃ and 25 mg of Mercuric Chloro-Anilate. Sample then shaken, centrifuged at 2500 r. p. m. for 5 minutes, and colour read on an EEL absorptiometer using 4 cm cells and 607 filter.

Wind-run was measured daily at 9.0 a. m. using a Mark II cup anemometer (British Met Office Standard) at 2 m above ground level, near the rain-gauge on the open site. Direction was read at 9.0 a. m. on a Dines pressure tube anemograph, located on the Station some 800 yards from the experimental area. The direction at 9.0 a. m. was accepted for table 1, as referring to the wind-run for the previous twenty four hours. This would not be satisfactory for a more detailed study of wind as a nutrient 'vehicle'.

5. Results

From the quadrant south to west, the area received 44.49% of the total wind for the period studied. The uniform wind-speed throughout the season ensures continuous distribution of marine nutrients whether dissolved in rain-water or free as aerosols. The moderately high rainfall spread over 270 days of the year, conveys these nutrients for deposition on the native vegetation and/or interception by trees.

There is a considerable concentration of all nutrients in the throughfall collected beneath the trees. The mean concentrations for the period show the following ratios:

Ca and K five times greater in the throughfall under trees than in the rain on the open site, Mg 2.5 times and Na 3.4 times greater.

The throughfall is also less acid. There is no clear correlation between mean wind speed and the concentrations of Ca and K in the throughfall beneath the trees and the rain-water on the open site. The concentration of Mg in both the sheltered and open sites vary within much narrower limits than Ca or K. A relationship would appear to exist between mean wind speed and concentration of Mg in rain-water on the open site.

The highest level for Na (34.38 p.p.m.) and Cl (39.65 p.p.m.) on the open site occurred during the latter half of October 1965 when the wind reached a mean speed of 12.55 miles per hour, the highest for the period studied.

Table 1 Percentage distribution of wind, total wind-run and mean speed per hour at 2 m above ground level on open site

Date of commencement of period	No. of days in period	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total wind-run knots	Total wind-run miles	Knots hr.	Miles hr.
16. 3.65	16	—	—	7.89	9.84	8.08	4.21	4.83	6.75	20.72	12.74	15.78	3.14	6.02	—	—	—	3974.6	4568.5	9.00	10.35
1. 4.65	33	—	—	—	1.84	—	9.05	6.72	7.59	—	17.43	4.20	17.86	9.49	9.64	5.04	11.14	8039.4	9240.7	8.83	10.15
4. 5.65	14	—	—	—	5.76	4.60	—	17.46	10.14	10.47	7.24	12.98	11.50	—	8.27	—	7.42	3182.9	3658.5	8.24	9.47
18. 5.65	16	7.45	40.61	—	—	10.45	4.08	—	8.14	14.79	—	4.09	—	4.41	2.99	—	2.99	3112.0	3577.0	7.05	8.10
3. 6.65	30	—	4.00	—	—	1.96	2.36	—	8.16	8.51	35.24	8.00	14.40	9.06	3.75	2.69	1.87	6331.0	7277.0	7.65	8.79
3. 7.65	17	—	12.43	5.18	6.60	5.12	15.50	—	4.11	—	3.83	21.43	—	—	11.93	4.28	9.59	2521.0	2897.7	8.56	9.85
20. 7.65	29	—	5.90	6.16	3.53	—	2.93	10.19	4.93	3.32	18.00	1.78	16.53	6.87	7.72	7.04	5.10	5182.8	5957.2	6.48	7.45
18. 8.65	20	—	—	—	2.19	—	—	—	—	—	18.05	22.22	18.81	—	6.73	4.96	27.04	4552.4	5232.6	8.25	9.48
7. 9.65	29	12.01	—	—	—	4.71	6.87	4.86	—	7.32	28.92	8.28	1.05	6.29	4.62	3.66	11.46	5629.7	6470.9	7.04	8.09
6. 10.65	14	—	—	—	14.00	—	—	17.59	—	17.28	2.49	—	12.80	13.26	14.77	7.81	—	1783.4	2049.9	4.61	5.30
20. 10.65	17	—	—	—	—	—	4.78	34.53	—	4.58	7.43	8.63	14.54	11.07	7.99	6.45	—	5123.8	5889.4	10.92	12.55
6. 11.65	10	—	13.20	23.29	29.09	16.18	—	—	—	—	8.98	—	—	—	—	9.26	—	1694.8	1948.1	6.14	7.06
End of period																					
16. 11.65																					
Mean for full period of 244 days		1.63	6.36	3.55	6.09	4.27	4.16	8.04	4.16	7.27	13.43	8.99	9.25	5.55	6.55	4.27	6.43			7.73	8.90

Table 2 Chemical analyses of rain-water and throughfall Total ion content in rain-water (p.p.m)

Date of commence- ment of collecting period	No. of days in period	Rainfall mm on open site	Ca		K		Mg		Na		Cl		S		pH	
			S	O	S	O	S	O	S	O	S	O	S	O	S	O
16. 3.65	16	45.2	1.83	1.06	1.71	0.60	1.06	0.77	14.25	9.25	53.30	14.45	0.007	ND	5.3	4.8
1. 4.65	33	133.0	9.40	2.55	7.81	1.28	2.18	0.95	60.00 ²	21.00	46.70	21.85	0.440	0.01	5.8	5.7
4. 5.65	14 ¹	31.7 ¹	2.10 ¹	ND	5.17 ¹	ND	1.04 ¹	ND	18.83 ¹	ND	29.40	ND	0.21	ND	5.6	ND
18. 5.65	16	33.1	10.00 ²	0.64	10.00 ²	2.79	1.80	0.69	60.00 ²	6.38	67.40	2.68	ND	ND	5.1	5.3
3. 6.65	30	136.4	3.87	0.68	10.00 ²	0.65	2.16	0.40	30.92	4.75	30.10	9.00	ND	ND	5.2	5.1
3. 7.65	17	19.3	5.68	0.85	9.58	3.31	1.38	0.39	49.58	8.88	33.70	1.32	0.26	0.48	6.0	5.9
20. 7.65	29	89.6	2.66	1.04	7.59	0.90	0.20	0.13	28.55	7.50	30.90	8.50	0.17	0.33	5.4	5.2
18. 8.65	20	87.1	10.00 ²	1.38	8.88	1.43	2.18	0.70	60.00 ²	18.88	42.70	19.65	0.33	0.04	ND	ND
7. 9.65	29	153.9	1.95	0.61	4.32	1.18	0.82	0.50	31.67	10.00	ND	ND	0.20	0.06	5.6	4.7
6. 10.65	14	29.7	2.68	1.34	4.07	0.73	0.64	0.46	32.42	10.30	29.3	12.80	0.29	0.01	5.7	5.5
20. 10.65	17	93.0	10.00 ²	2.10	8.65	2.28	2.18	1.12	60.00 ²	34.38	72.9	39.65	1.43	0.30	5.4	4.7
6. 11.65	10	25.4	10.00 ²	1.10	8.86	0.98	1.80	0.46	56.00	8.38	48.6	8.20	ND	ND	5.0	4.6
End for period 16. 11.65																
Total rain over 231 days = 875.7																
Mean			0.10	1.22	7.40	1.46	1.50	0.59	43.94	12.70	ND	ND	ND	ND	5.0	4.6

ND = not determined.

S = throughfall collected beneath trees (mean of three separate samples).

O = rain-water collected on open site near experimental area.

¹ = excluded from totals and means because sample on open site not available for comparison.

² = highest direct reading possible without individual dilution.

In computing the figures for deposition of nutrients in throughfall (S) table 3, a figure of 63% of total rain on open site has been used. In practice, the percentage of intercepted rain which reached the ground, varied from 56 to 70. The 5" rain-gauge is not a satisfactory instrument for collecting samples beneath trees. A much larger diameter instrument is required.

The figures for the sheltered sites have been allowed to stand though it is recognised that many more records would have been required to overcome variation in intercepted rain-fall within the shelterbelt and give more reliable figures for percentage throughfall.

6. Discussion

6.1 Percentage throughfall

Dawkins [3] found that differences between reading rainfall in a rain-gauge (a) daily and (b) once in seven days were not greater than observational error.

If larger than 5" diameter rain-gauges are used under trees the collecting vessel can be of moderate size if readings are taken weekly (under Irish conditions).

The percentage of annual rainfall intercepted by a 16 year old *Pinus sylvestris* plantation in Berks, England, was 32%, *Rutter* [17]. Even in winter, intercepted rainfall disappeared fairly rapidly between showers. The water needed to saturate the canopy and stem surfaces was equivalent to 1.4–1.8 mm of rain but at least twice this amount would frequently be intercepted from rainfall exceeding 5 mm within a 24-hour period. *Rutter* concluded that the major part of the intercepted water was evaporated [17]. This particular study implied a rate of evaporation, which whether calculated per rain-day or per month, in winter considerably exceeded the evaporation from an open water surface as calculated by *Penman's* formula [17].

Martin working with Sitka spruce and Scots pine 10 m high in Aberdeenshire, Scotland, found 50–60% of total rainfall penetrating the tree canopy [10]. *Tomanek* working in the Bialowieza National Park, eastern Poland, found the average precipitation penetrating the tree canopy was 66% of the total rainfall outside the forest [22].

Boggers measured the throughfall in a fourteen year old Shortleaf Pine plantation in Illinois for three consecutive seasons from 1951 and found 7.5%, 9.5% and 10.5% interception of total rainfall [2].

Tanaka [21] studied throughfall in a 3 year old and 2 year old Japanese Black Pine plantation in Japan and found 40–50% and 60–70% respectively of total rainfall penetrated during a 1 mm shower.

For trees 12 ft. high in western Ireland, throughfall will probably vary from 56 to 70% of total rainfall, depending on climatic factors such as wind force, relative humidity and frequency of rainfall.

6.2 Deposition of Nutrients

Trees can obtain a large proportion of the nutrients they require from the air, and can thus live on the poorest soils, provided rainfall is adequate, *Ingham* [8]. Work at Michigan State University cast some doubt on *Ingham's* work, attributing the nutrients which *Ingham* considered received as aerosols, to the splashing of leach-

Table 3 Deposition lbs./acre from rain-water and throughfall (estimated)

Date of commencement of collecting period	No. of days in period	Rainfall mm on open site	Ca		K		Mg		Na		Cl		S	
			S	O	S	O	S	O	S	O	S	O	S	O
16. 3.65	16	45.2	0.46	0.43	0.43	0.24	0.27	0.31	3.62	3.73	13.54	5.82	0.00	ND
1. 4.65	33	133.0	7.24	3.02	5.84	1.51	1.63	1.13	44.83	24.91	34.89	25.91	0.32	0.02
4. 5.65	14 ¹	31.7 ¹	0.37 ¹	ND	0.92 ¹	ND	0.18 ¹	ND	3.35 ¹	ND	5.24	ND	0.04	ND
18. 5.65	16	33.1	1.86	0.19	1.86	0.82	0.33	0.20	11.16	1.88	12.53	0.79	ND	ND
3. 6.65	30	136.4	2.97	0.82	7.66	0.79	1.43	0.49	23.69	5.78	23.06	10.95	ND	ND
3. 7.65	17	19.3	0.62	0.15	1.04	0.57	0.15	0.06	5.38	1.52	3.65	0.23	0.03	0.08
20. 7.65	29	89.6	1.34	0.83	3.82	0.72	0.10	0.09	14.37	5.99	15.55	6.79	0.08	0.26
18. 8.65	20	87.1	4.89	1.07	4.35	1.11	1.07	0.54	29.36	14.66	20.89	15.26	0.16	0.03
7. 9.65	29	153.9	1.69	0.84	3.74	1.61	0.71	0.68	27.38	13.72	ND	ND	0.17	0.86
6.10.65	14	29.7	0.45	0.35	0.68	0.19	0.11	0.12	5.41	2.73	4.88	3.39	0.05	0.00
20.10.65	17	93.0	5.22	1.74	4.52	1.89	1.14	0.93	31.35	28.51	38.08	32.88	0.75	0.25
6.11.65	10	25.4	1.43	0.25	1.26	0.22	0.26	0.10	7.99	1.89	6.93	1.86	ND	ND
Total for 231 days			28.17	9.69	35.20	9.67	7.20	4.65	204.54	105.32	ND	ND	ND	ND

ND = not determined.

S = throughfall collected beneath trees (mean of three separate samples).

O = rain-water collected on open site near experimental area.

¹ = excluded from totals because sample on open site not available.

ates [5]. *Rennie* [14] compiled data on nutrient contents in stands of a number of forest species and compared them with the total amounts in poor heathland soils, particularly in Yorkshire, England. He concluded that forest growth to maturity would be impossible without fertilization, but he did not consider the annual amounts of dust and rain-water nutrients which would be deposited during a forest rotation. In a further study, assessing forest site capacity, the atmosphere as a source of nutrients was omitted [15].

Denaeyer-de Smet compared the nutrient content of rain-water beneath a mixed deciduous forest 12 m high, with rain-water 500 m distant on an open site. K and Ca were six and two times higher respectively whether the trees were in leaf or not [4]. During the growing season the K and Ca contents of the green leaves were not modified. He suggested that the higher nutrient levels in the rain-water beneath the trees appeared to come from atmospheric deposits on the leaves and bark rather than leachings from the foliage itself.

Madgwick and *Ovington* compared the nutrient content of rain on three open sites and under thirteen different forest canopies in S. E. England [2]. They gave the following figures:

	Ca	K	Mg
Open site	11	3	4 kg per hectare per annum
Under Forest Canopy	24	24	10

Sviridova [20] gave the following figures for the composition of throughfall under Pine near Voronezh, 300 miles south of Moscow Latitude 52°:

Ca	K	Mg
6.0	1.0	0.9 kg per hectare per annum

Neuwirth reviewed Scandinavian and German work and reported that the Ca, K and Mg contents of precipitation were fairly adequate to the nutrient requirement of forests but the position of P was not clear and N was certainly deficient [11]. Sulphur and chlorine compounds were precipitated faster than they could be assimilated [11].

Wilson [25] investigated the surface 'skin' of the ocean on the west coast of New Zealand as a source of air-borne nutrients and found a much higher concentration of potassium and nitrogen than in sea water. The 'skin' was particularly rich in bacteria and had large quantities of diatoms and fragments of phyto and zoo-plankton [25]. The potassium/sodium ratio in sea water is usually 1/27, but in precipitation collected near the coast it may be greater by a factor of 10 [25]. This could be explained by the concentration of potassium in marine organisms [25].

Risbeth and *Meredith* [16] collected large numbers of fungal spores in rain-water dripping from a Pine plantation but there is no evidence of a nutrient contribution from such organisms.

The difference between the Ca, K and Mg figures of *Madgwick* and *Ovington* [2] and those of *Sviridova* [20] could be explained by distance from the ocean. It seems reasonable to assume that when the potassium/sodium ratio is very much greater than 1/27, the ocean is the likely source of supply of potassium.

Voigt [23] compared the contents of Ca, N, P and K in the throughfall under three different species, with rain-water on an open site and concluded that considerable amounts of Ca and K were extracted from the foliage and branches and returned

to the forest soils. N and P returns were about equal to those received by soils in the open site [23].

The ratio of potassium/sodium reported in table 2 suggests a potassium contribution from the Atlantic ocean but further study is required to separate the nutrient contributions from rainfall, aerosols and leachates. The source of the additional calcium in the throughfall also requires further investigation.

7. Acknowledgements

The author wishes to thank Mr. R. Triggs for technical assistance in collection of samples and chemical estimations.

Bibliography

1. *An Foras Taluntais*: Meteorological data for Glenamoy, Co. Mayo (unpublished)
2. *Boggess W. R.*: Amount of throughfall and stemflow in a Short-leaf Pine plantation as related to rainfall in the open. Repr. from Trans. Illinois Acad. Sc. (Springfield, Ill.) 48, 55-61 (1956).
3. *Dawkins H. E.*: Weekly measurement of rainfall. Tech. Note For. Dep. Uganda, No. 84 (60) (1960).
4. *Denaeyer-de Smet S.*: Investigations into the action of rain-water in removing chemical substances from forest cover. Bull. Soc. Bot. Belg. 94, No. 2, 285-308 (1962). (Original not seen; mentioned in Forestry Abstrs. 24, No. 4, Abs. No. 4536.)
5. Forestry the World Over. For. Abstrs. 17, No. 3, 470 (1956).
6. *Gorham E.*: The chemical composition of rain from Rosscahill, Co. Galway. Irish Nat. Jor. 12, 122-126 (1957).
7. *Gorham E.*: A note on the acidity and base status of raised and blanket bogs. J. Ecol. 41, 153 (1953).
8. *Ingham G.*: Effect of materials absorbed from the atmosphere in maintaining soil fertility. Soil Sc. 70, 205-212 (1950).
9. *Madgwick H. A. I.* and *Orington J. D.*: The chemical composition of precipitation in adjacent forest and open plots. Forestry 32, No. 1, 14-22 (1959).
10. *Martin Aranda J.* and *Coutts J. R. H.*: Micrometeorological observations in an afforested area in Aberdeenshire: rainfall characteristics. J. Soil Sc., 14, No. 1, 124-133 (1963).
11. *Neuwirth R.*: (Some recent investigations into the chemistry of air and of precipitation and their significance for forestry). Allg. Forst- u. Jagdztg. 128, No. 7, 147-150 (1957).
12. *O'Hare P. J.*: An ecological study of certain blanket bogs in Co. Mayo. Thesis for M. Agr. Sc., University College, Dublin 1959 (unpublished).
13. *O'Hare P. J.*: The presence of *Schoenus nigricans* L. on acid blanket peat in Western Ireland. The International Peat Congress, Leningrad, Sect. 2, No. 23 (1963).
14. *Rennie P. J.*: The uptake of nutrients by mature forest growth. Plant and Soil VII, No. 1, 49-95 (1955).
15. *Rennie P. J.*: Methods of assessing forest site capacity. Trans. Commission IV and V, Int. Soc. of Soil Sc., N. Zealand 1962.
16. *Risbeth J.* and *Meredith D. S.*: Surface microflora of Pine needles. Nature London, 179, Nr. 4561, 682-683 (1957).
17. *Rutter A. J.*: Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. J. Ecol. 51, No. 1, 191-203 (1963).
18. *Sparling J.*: Occurrence of *Schoenus nigricans* L. in the blanket bogs of Western Ireland and Western Scotland. Nature 195, No. 4842, August 1962.
19. *Stalfelt M. G.*: On the distribution of the precipitation in a Spruce stand: An attempted analysis. The water relations of plants, 115-126. Blackwell Scientific Publications, London 1963.
20. *Sviridova I. K.*: (Studies on the leaching of N and mineral elements from tree crowns by rain). Dokl. Akad. Nauk. SSSR 133, No. 3, 706-708 (1960).

21. *Zehetmayr J. W. L.*: Experiments in tree planting on peat. For. Com. Bull. No. 22, London 1954.
22. *Tanaka K.*: On the rate (ratio) of the amount of rain falling to the (through-fall below) Japanese Black Pine young trees. Jor. Agr. Met. Tokyo 9, No. 3 and 4, 112-114 (1954).
23. *Tomanek J.*: (Investigations with rain gauges in the Picceto-Pinetum of the Bialowieza National Park). Roczn. Nauk. Lesn. 21, 61-94 (1958). Original not seen. Ref. Fors. Abstrs. No. 1388, 20 (1959).
24. *Voigt G. K.*: Alteration of the composition of rain-water by trees. Amer. Midl. Nat. 63, No. 2, 321-326 (1960).
25. *Walsh T.* and *Barry T. A.*: The chemical composition of some Irish peats. Proc. Roy. Irish Acad. 59 B (15) (1958).
26. *Wilson A. T.*: Surface of the ocean as a source of air-borne nitrogenous material and other plant nutrients. Nature 184, No. 4680, 99-101 (1959).

Contributions to the Discussion concerning Session No. 2

Chairman of the Session:

Professor C. O. TAMM,
The Royal College of Forestry, Stockholm (Sweden)

Coordinator:

Professor Dr. S. L. JANSSON,
Institute of Soil Fertility, College of Agriculture, Uppsala (Sweden), Member of the Scientific
Board of the IPI

M. le directeur M. Bonneau (Nancy):

Il est étonnant de constater le bas niveau de cuivre dans les aiguilles d'épicéa de Sitka (moins de 4 p.p.m.).

Mr. P. J. O'Hare (Glenamoy):

The quantity of Cu applied in this experiment was dictated by research experiments for Cu requirements of agricultural crops such as grass, cereals and certain horticultural crops. It is likely that higher Cu applications would increase Cu content of needles, but 50 lbs. per acre CuSO_4 has aggravated Fe chlorosis in grasses and that is why we did not exceed 20 lbs. CuSO_4 /acre in this experiment.

Prof. Dr. K. Mengel (Hannover):

Der Einfluss des K^+ auf die CO_2 -Assimilation ist, bezogen auf die Trockensubstanz, stärker ausgeprägt als bei Bezug auf die Oberfläche. Ist hierfür neben dem unterschiedlichen Trockensubstanzgehalt auch eine veränderte Blattgrösse verantwortlich?

Dr. Th. Keller (Birmensdorf/Zürich):

In unsern Versuchen war akuter K-Mangel nicht erfasst, daher war die Blattgrösse im untersuchten Bereich nur wenig verändert (vgl. Tabelle 1). Das Trockengewicht pro Blattflächeneinheit steigt dagegen mit zunehmendem K-Mangel sehr stark an. Es wird viel Sklerenchym gebildet, das zwar schwer, aber photosynthetisch wirkungslos ist. Es macht sich daher ein Verdünnungseffekt bemerkbar, indem bei K-Mangel pro Gramm Blatttrockengewicht weniger Assimilationsgewebe entfällt als bei guternährten Blättern.

Prof. Dr. K. Mengel (Hannover):

Der Einfluss der Nährstoffe auf die Transpiration ist auch abhängig von der Wasserverfügbarkeit und -bindung im Nährmedium. Es interessiert mich daher, wie in den Versuchen die Wasserversorgung gehandhabt wurde.

Dr. Th. Keller (Birmensdorf/Zürich):

Die Pflanzen wuchsen in feinem Quarzsand ohne organische Substanz, um die Wurzelatmungsmessung nicht durch die bakterielle Zersetzung von Fremdkohlehydraten zu stören. Infolge der geringen Wasserhaltekapazität des Substrates wurden die Pflanzen häufig auf Durchlauf gegossen, so auch jeweils am Vorabend vor der Mes-

sung. Die Gaswechsellmessung erfolgte somit an Pflanzen mit ausreichender Wasserversorgung (voll turgeszent). Das Verhalten bei Trockenheit bleibt noch zu untersuchen.

Dr. U. Schindler (Göttingen):

Sieht die FAO Möglichkeiten, die Forstdüngung und Forstschädlingsbekämpfung mit Hilfe von Flugzeugen durch Einsatz grösserer Maschinen als den bisher üblichen und eingesetzten zu intensivieren?

Prof. Dr. N. A. Osara (Rome):

Particular experience in the techniques of spreading fertilizers from the air is no doubt available in countries with extended grassland-based animal husbandries. In New Zealand e. g. millions of hectares are fertilized through 'top dressing', an operation in which hundreds of airplanes are being engaged. Optimal types and sizes of airplanes are being engaged. Optimal types and sizes of airplanes have no doubt been developed in this connection. Such operations are commonly carried out through contractors. The experience so achieved should be useful also in the case of fertilization of forests.

Prof. Dr. N. A. Osara (Rome):

FAO has made tentative plans for the arrangement of a 'World Symposium on Fertilization of Forests' in – say – 1969. It would be most useful if the Colloquium could give some advice concerning this idea. Would a World Symposium be welcome and not a duplication of this Colloquium? Would FAO be the right body to organize such a meeting? Would it be possible to find another sponsor organization, maybe IUFRO? Would the fertilizer industry be willing to contribute to the budget? Would the Symposium be in Rome or in a country willing to act as host? Any ideas about the program?

Prof. Dr. F. Richard (Birmensdorf|Zürich):

1. Ein World Symposium für Forstdüngung ist begrüßenswert.
2. Wir brauchen eine ökologisch bessere Charakterisierung des Standortes, speziell des Bodens. IUFRO könnte hier mitmachen, besonders Sektion 21. Man muss Nährstoffanalysen pro Volumeneinheit, z. B. pro Kubikmeter Boden, angeben. Auf diese Weise kennen wir die *Dichte*, den Gehalt pro Volumeneinheit; die Gehaltswerte als Funktion der Tiefe können berücksichtigt werden. Die Kenntnis des Gehaltes pro Quadratmeter Oberfläche ist notwendig.

Prof. Dr. C. O. Tamm (Stockholm):

Concerning the suggestion of Dr. Osara to hold a forest fertilizer symposium sponsored by FAO in the near future, I would like to agree to the desirability. Even in countries like Sweden, where experimentation has been going on for a long time, the present knowledge of forest nutrition is not sufficient as a firm basis for the extensive practical application now going on. There is no doubt that forest fertilization has come to stay, and this will probably be true also for countries in other climatic regions. An FAO Symposium could stimulate experimentation, and thus make it possible to get information about the forest nutritional situation also in tropical and subtropical countries in time to meet the questions from the practical forestry.

Co-ordination Speech by the Co-ordinator and the Chairman of Session No. 2

Presented by Professor Dr. S. L. JANSSON

Instead of a summary and evaluation of the five interesting papers of the session I would like to present some complementary general considerations with regard to the theme of the session.

Whenever we want to increase or improve plant production per unit of area, fertilization has to be considered. This, however, does not mean that it also should be performed.

Plant production is governed by the growth factors which constitute a vast complex with many components. In considering fertilization we have to start with an analysis of the growth factors of the locality in question. The background of this analysis will be the general laws conducting the actions of the individual growth factors.

Here we still have the old law of the minimum formulated by Liebig. According to this law plant growth or production is regulated by the factor present in minimum amount and rises or falls according as this factor is increased or decreased in amount. After the days of *Liebig* the minimum law has been improved and extended, by *Mitscherlich* and others. The interactions between the growth factors have been considered and the minimum law has been changed to the law of the diminishing returns.

However, in a basic analysis of the growth factors on a certain locality the simple law of the minimum will often be helpful enough. The primary task will be to find and assess the minimum factor.

With regard to the possibilities of human control the growth factors can be classified as controllable or non-controllable. For example, non-controllable factors are associated with climate, soil texture, topography, etc. If the minimum factor of plant production on a certain locality is non-controllable, our possibilities to increase the production are and will remain very limited; fertilization can be omitted.

On the other hand, when the minimum factor is controllable, we are able to increase production. Nowadays the nutrient needs of the plants are easily controllable growth factors even in the forest. Fertilization is easily performed and will be able to increase production whenever a plant nutrient will constitute the minimum growth factor.

In assessing the nutrient needs of the plants the field experiment is the empirical highway. Forest fertilization of today is mainly based upon the results of empirical field experiments.

Of course, the field experiment should be supplemented with detailed investigations elucidating what really happens when plant nutrients increase the yield. The paper given by Dr. *Keller* is an example of this type of research work.

The field experiment is elaborate, time-consuming, and expensive. Short cuts in assessing the fertilizer needs are highly wanted. Two types of such short cuts are frequently in use, namely soil analysis and plant analysis. Both of them have certain advantages and disadvantages.

Soil analysis has with regard to certain nutrients, as phosphorus and potassium, turned out to be very useful in agriculture, horticulture and even in forest nurseries. However, in normal forestry with its variety of soil types and complicated soil profiles the difficulties of soil sampling have not been overcome. This makes so far the soil analysis of small value as a guide for forest fertilization.

Another thing which may be of importance in the interpretation of soil analysis on forest soils is the pool of nutrients kept within the trees themselves. At present in Scandinavia it is a common practice to fertilize old, big trees with nitrogen. The response to this fertilization is favourable but in spite of poor soil conditions with regard to P and K there is no response to PK additions. The explanation may be that a considerable stock of P and K has accumulated within the trees. An activation and efficient use of this stock may mask or delay a response to improved soil conditions.

Since the difficulties of soil analysis are so considerable with regard to forestry, the interest in plant analysis has been stimulated within this section of plant production. But this method has also its weaknesses. It is important to choose the right parts of the plants to be analyzed and to analyze them at a suitable, stable and reproducible stage of development. With regard to forest trees it is natural to choose some kind of leaf or needle analysis.

In the process of nutrient uptake as well as in the processes of translocation, assimilation, and growth within the plant there are a lot of interactions between the different nutrient elements. This often means that it will be of no use to analyze the plant material for only one or a few nutrient elements. An over-all picture of the nutritional status of the tree will be needed, the analysis has to be performed for many elements.

There are also some general relations between growth or yield on the one side and nutrient contents of the plant material on the other. These relations have always to be considered in the interpretation and use of plant analyses for fertilization predictions. They have been extensively studied by Professor *F. Steenbjerg* and his co-workers in Copenhagen. In Diagram 1 they are schematically illustrated.

The diagram shows a general yield curve (the curve of diminishing returns) and a general curve of nutrient content of the plant material achieved when the supply of a plant nutrient is intensified. With regard to forest fertilization our interest is focused on the yield curve; we want to assess the position on the curve of the forest to be fertilized and to evaluate the possibilities of yield increments by intensifying the nutrient supply. These assessments and evaluations are to be done by the use of the nutrient content curve with its S-formed shape. In pronounced deficiency situations the nutrient content in question – somewhat oddly – may be quite high (probably because of early physiological disturbances). When the nutrient supply is improved, the assimilation and growth processes become normalized, dry matter production per unit of nutrient will increase and the nutrient content decrease. When the supply is further increased, luxury consumption begins and the nutrient content curve passes its minimum. The task of plant analysis in predicting fertilizer needs is to assess a position on the yield curve by determining one or a few points on the content curve. Since the two curves are so different this task is not too easy and the predictions will not be too accurate.

However, the plant analysis – especially when comprising the main part of the nutrient elements – will always be a valuable tool in the assessment of the nutrient status of growing crops. Steadily it also becomes easier to perform. The techniques

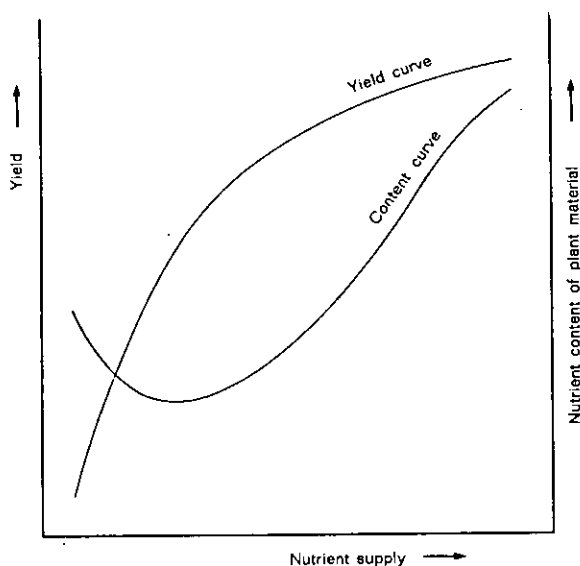


Fig. 1: Principal relations between intensity of nutrient supply, yield, and nutrient content of plant material.

of inorganic analysis are rapidly improving. With modern equipment and automation the over-all nutrient picture will be easily achieved. The evaluation can be facilitated by the use of electronic computers.

It has to be stressed, however, that the computer treatment must be founded on a sound theoretical basis. It will never be enough to collect a lot of experimental data and to submit them to a statistical analysis in the computer. The experimentation has to be handled with advanced skill. Single experiments have to be scrutinized and submitted to detailed causal analysis. A skilled experimentator can never be replaced by computer work.

For the rapid methods and short cuts to be used in predicting fertilization needs the correlation with results of field experiments will remain the highway of evaluation. Hereby improvement of the field experiment itself, its performance, evaluation and interpretation, will also be needed. An urgent task will be to erect well-planned, really long-term field experiments with forest trees – individual cases in which the actions and interactions of the growth factors can be followed permanently.

The production of the forest will be determined by the interaction between all the growth factors, controllable as well as non-controllable. We must consider this environmental wholeness of the growing trees, try to synthesize and co-ordinate our knowledge, avoid to get lost among details and specialities.

3rd Session: **Fertilizing young trees and methods
of applying fertilizers**

3. Arbeitssitzung: **Die Düngung von Jungbeständen und
Methoden der Düngieranwendung**

Chairman:
Vorsitzender: Prof. Dr. P. J. VIRO, Forest Research
Institute, Helsinki / Finland

Co-ordinator:
Koordinator: Prof. Dr. L. SCHMITT, Präsident des Ver-
bandes Deutscher Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstal-
ten (LUFA), Darmstadt / Bundesrepublik
Deutschland
Mitglied des wissenschaftlichen Beirats
des Internationalen Kali-Instituts

Nutrient Needs of Seedlings and Young Trees

Dr. T. INGESTAD, The Royal College of Forestry, Stockholm/Sweden

1. Introduction

The concept of nutrient requirements is often applied in a rather vague sense. Usually it is intended to convey that in a species with a high nutrient requirement, the internal requirement is large in quantitative terms on account of the high growth rate and the small tolerance of deviation from the optimum. One refers sometimes to the requirements of a certain nutrient supply for the attainment of maximum production. Again at times the term is used in a more comparative or qualitative sense. It is important to realise that there can be no one standard interpretation on account of the effects of the different external factors. In plant physiology certain basic and well-defined concepts are necessary, but to a large extent it has still not been possible to exactly define these. For instance, no clear line can be drawn between the effects of substance as a nutrient and its secondary effects. Mention can be made of the double role played by phosphorus, both as the nutrient substance (phosphorus) and as the buffer substance (phosphate), or of the various roles of calcium, e.g. as an essential base, in ion antagonism against heavy metals or as a substance having an effect on the substrate.

The problem has been discussed earlier (Ingestad [1] p. 71–72 and 106–116). In this experiment there were difficulties in clearly elucidating certain phenomena. This depended primarily on the method used, that of traditional water-culture. In fact, the results showed that this method involves an inadequate adjustment between nutrient supply and uptake, with a by no means negligible time factor as a consequence of the developing deficiency. The significance of optimum and luxury consumption and over-dosage remained to some extent unclear.

2. New experimental method

In order to avoid these problems, a new method has been developed and accounts of it are now in press (Ingestad [2, 3]). The method is based on the maintenance of the internal nutrient status at a constant level by adjustment of the supply of nutrient as closely as possible to its continuous uptake, without changing the root-medium. The method gives clearly definable parameters for determining the nutrient requirements of a species.

The basis of the method is that the nutrient substances are supplied in the exact proportions which it is desired shall occur in the plant. The following are the proportions of the macro elements for birch (Ingestad [2, 3]).

N	100	S	9
K	65	Mg	8,5
P	13	Ca	6

Experiments have shown that approximately the same proportions are required by pine, spruce and a number of other species. If in water-culture experiments these proportions of elements are supplied constantly and if they are taken up by the plants, there will occur in the system a stable balance that can be maintained by very simple determinations of pH and total concentration; also this makes it possible for an automatic supply of nutrient to be arranged (*Ingestad* [2, 3]). The method can best be discussed by describing the various possibilities in a proposed experiment.

3. The principal functions of the new method

A nutrient solution is prepared containing the above proportions of elements with a pH of 4.5–5.0 and with a total concentration corresponding to a conductivity in a solution of 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (table 1). The nitrogen is included with about 40% $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and 60% $\text{NO}_3^-\text{-N}$. If one now introduces into this solution a plant which has a rapid intake of ammonia, e. g. birch (*Betula verrucosa*), the ion uptake will cause a reduction of the pH in the solution. If pH is restored in the solution by supplying complete nutrient in the above proportions as basic compounds (see table 1, including nitrogen mainly in the form of NH_3), this restores also the composition of the nutrient solution if the $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$ ratio in the solution added corresponds to the ratio of nitrogen sources absorbed. If this does not correspond, the result is only that the total concentration of the solution is changed. Thus in the case of birch with a $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ ratio of 100:0, the conductivity of the solution tends to become approx. 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. On the other hand, where the ratio is 80:20 the conductivity changes to a value of approx. 700. In these both cases the growth is about the same.

Now if instead one introduces into the solution a species which has a rapid nitrate absorption, e. g. *Urtica dioeca*, the picture will be quite different. In fact with the given total concentration of 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ this species absorbs $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in a ratio considerably lower than 40:60. This causes an increase of pH and a lowering of the conductivity. If one now compensates the total concentration with a solution of the ratio of 40:60 the pH increase continues. For such a species a low ratio of $\text{NH}_4^+\text{-N}:\text{NO}_3^-\text{-N}$ must be introduced in order to maintain a constant pH value (table 1). At present there is a lack of more detailed data.

Table 1 Stock solutions for preparation of nutrient solutions with different ratios of NH_4^+ and NO_3^- nitrogen. One ml of solution 1 or 2 + one ml of solution 3 will result in a complete nutrient set with 50 mg of nitrogen and the following element proportions:

Macro nutrients:				Micro nutrients:			
N	100	S	9	Fe	0.7	Zn	0.03
K	65	Mg	8.5	Mn	0.4	Mo	0.007
P	13	Ca	7	B	0.2	Na	0.003
				Cu	0.03	Cl	0.03

Solutions 1 + 3 in equal amounts mean a ratio of NH_4^+ and NO_3^- nitrogen of 80:20 and 2 + 3 mean 20:80. A pH of about 4.5–5.0 and a total concentration corresponding to 50–100 mg N/litre (conductivity 380–750 $\mu\text{S}/\text{cm}$) is suitable in the start solution and is obtained at a quotient of about 35:65–40:60 between NH_4^+ and NO_3^- nitrogen.

Solution No.	Compound	g/litre
1	NH ₃	48.6
	KNO ₃	16.6
	KH ₂ PO ₄	28.6
	K ₂ SO ₄	24.5
	KOH	7.0
2	NH ₄ NO ₃	57.2
	HNO ₃	78.9
	KNO ₃	34.4
	KH ₂ PO ₄	28.6
	K ₂ SO ₄	24.5

Solution No.	Compound	g/litre
3	HNO ₃	1.6
	Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	44.9
	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	20.7
	Micro nutrients	

These properties in the nitrogen uptake seem to be characteristic of a species. Furthermore, in experiments of this type it has been found that the optimum nutrient requirements of birch can be described by the very proportions of elements given above. Quantitatively the birch plants need approx. 4 mg nitrogen per 100 mg dry matter; this means 0.64 mg a day with this plant weight as the rate of growth is approx. 16% per day in the existing growth conditions (0.64% of dry weight production per day). For pine and spruce the values are about the same as regards the qualitative requirements, while the quantitative requirements are considerably lower, being approx. 2.5 mg N per 100 mg dry substance and approx. 0.1% per day for pine and approx 1.8 mg N per 100 mg dry substance and approx. 0.04% per day for spruce.

Summary

The nutrient requirements of a species is stated by reference to the following parameters:

- The qualitative requirements as regards the proportions of elements supplied at optimum nutrient status.
- The quantitative requirements in the form of the optimum supply of nitrogen or total concentration of the nutrient solution.
- The absolute requirements in the form of the optimum daily uptake of nitrogen as a percentage of dry weight.
- The relative uptake of the sources of nitrogen NH₄⁺ and NO₃⁻.

These parameters are established by a new procedure of experimentation where the plant is placed in a nutrient solution containing the same element proportions as supposed to be present in the plant at optimum nutrition. The consumed nutrients are then added, not by changing the solution, but by adding complete nutrient sets to keep pH and conductivity of the solution constant.

Bibliography

1. Ingestad T.: Macro element nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solutions. Medd. Stat. Skogsf. Inst. 51 (7), 1-150 (1962).
2. Ingestad T.: Versuche mit konstantem innerem Ernährungszustand in Birkenpflanzen (Experiments with constant internal nutrient condition in birch seedlings). Tagung, German Democratic Republic 1965.
3. Ingestad T.: Experiments on constant internal nutrient concentrations. 5th Int. Col. Plant Analysis Fert. Problems (1966).

Manuring Young Conifers: Experiments in some English Nurseries¹

BLANCHE BENZIAN, B. Sc.

Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts./England

1. Introduction

A study by FAO in 1966 [1] 'Wood: World Trends and Prospects' is a useful background against which to view the role of British forest nurseries. The first column of table 1 shows areas under forest in some important timber-producing regions of the north temperate zone; here the contribution made by Britain is very small. However, among the planting plans for the period 1963 to 1967 (second column) it occupies a prominent position. Whereas, for example, Northern Europe has a forest area 25 times that of Britain, its area to be planted is only 10 to 20% larger. Hence, in this country, forest nurseries (where all planting stock has to be raised), form a much more important part of forestry than in countries with large natural forests or with a longer history of man-made forests.

Table 1 Forest areas and planting plans for some Forests of the North Temperate Zone

	Forest area (early nineteen-sixties) million ha	Planting plans 1963-1967 thousand ha
Northern Europe	52.0	190
British Isles	1.9	164
EEC	25.6	408
Central Europe	13.2	13
Southern Europe	32.6	635
Eastern Europe (excl. USSR)	26.5	618
Europe (total)	151.8	2028
USSR	705.9	—
US	205.9	2100
Canada	245.9	—
Japan	23.4	250

In Britain a planned and expanding forestry programme did not begin until after the 1914-1918 war. The emphasis was then - and has been ever since - on the production of softwood (that is wood from coniferous trees such as spruces and pines) to meet some of this country's urgent needs for pitwood, pulpwood, saw-timber and other wood products. (Of the 54 000 acres planted in Britain by the Forestry

¹ Reprinted (with minor corrections to Appendix Table 2) from The Fertiliser Society Proceedings No. 94 (1966), London.

Commission in 1965, 53000 were planted with conifers and only 1000 with broad-leaved trees). In parts of the upland areas of Scotland and Wales, spruces will grow two or three times as fast as in Scandinavia [2]. A single species, Sitka spruce, *Picea sitchensis*, introduced mainly from British Columbia, constitutes about 40% of all recent Forestry Commission plantings, followed by another North American species, Lodgepole pine, *Pinus contorta* (20%), Scots pine, *Pinus sylvestris* – the only widely planted native conifer (slightly less than 10%), and Norway spruce, *Picea abies* – the most important conifer in Scandinavia (8%). All these conifers and several other species not mentioned above, as well as the few hardwoods, are raised in the Forestry Commission's own nurseries which, in 1965, occupied 1700 acres.

2. History

Successful planting depends to a considerable extent on producing good quality seedlings and transplants in the nurseries. Much of the Forestry Commission's early research work was, therefore, devoted to different aspects of nursery techniques – though less than might have been expected to methods of manuring. R. F. Wood in his 'Historical Notes' in Forestry Commission Bulletin No. 37 (*Benxian* [3]) says: 'While steady progress in nursery technique since the early years can be claimed, the same cannot be said for the nutritional side. In fact no important advances in manuring were put into general practice in the Forestry Commission's nurseries between 1920 and the outbreak of the Second World War, though some valuable pointers were obtained by various workers during this period.' Such pointers came, among others, from experiments in Scotland conducted jointly by the Macaulay Institute and the Research Branch of the Forestry Commission and from those of Rayner [4] who – in the thirties – grew excellent conifer seedlings (far superior to those raised in the older Forestry Commission nurseries) using compost on the poor acid heathland near Wareham. This led to the establishment of several new nurseries on heathland soils.

Towards the end of the 1939–1945 war, the Forestry Commission planned an extensive planting programme, and had to make sure that planting stock of the right quality and quantity was produced quickly and efficiently. To quote Wood 'The situation plainly called for an immediate extension to the research efforts to investigate the unexplained contrast between the success of the new heathland nurseries and the unsatisfactory performance of the Commission's older nurseries'. A committee was set up under whose auspices the late E. M. Crowther of Rothamsted, in close collaboration with the Research Branch of the Forestry Commission, started the large experimental programme in forest nurseries which I continued after his death. In less than two years, Crowther had reached the conclusion that many of the Commission's older nurseries failed because their soils were not acid enough to grow good quality seedlings of Sitka spruce and some other conifers. The Commission therefore moved seedbeds of sensitive conifers either to a few older nurseries that were on acid soil, or more often, to the new heathland nurseries started as the result of Rayner's work. The soils of these heathland nurseries are usually very light, have small nutrient reserves and buffer capacity and much of our recent work has been concerned with finding methods that will ensure a steady supply of nutrients during the growing season.

3. *Experimental Methods*

Our work for the period 1945 to 1962 has recently been described in Forestry Commission Bulletin 37 previously quoted (*Benzian [3]*). The details given below, under 'Sites,' 'Crops,' 'Measurements' and 'Design of experiments' are therefore kept very brief and are intended only to draw attention to the changes made since this Bulletin was written.

3.1 *Sites*

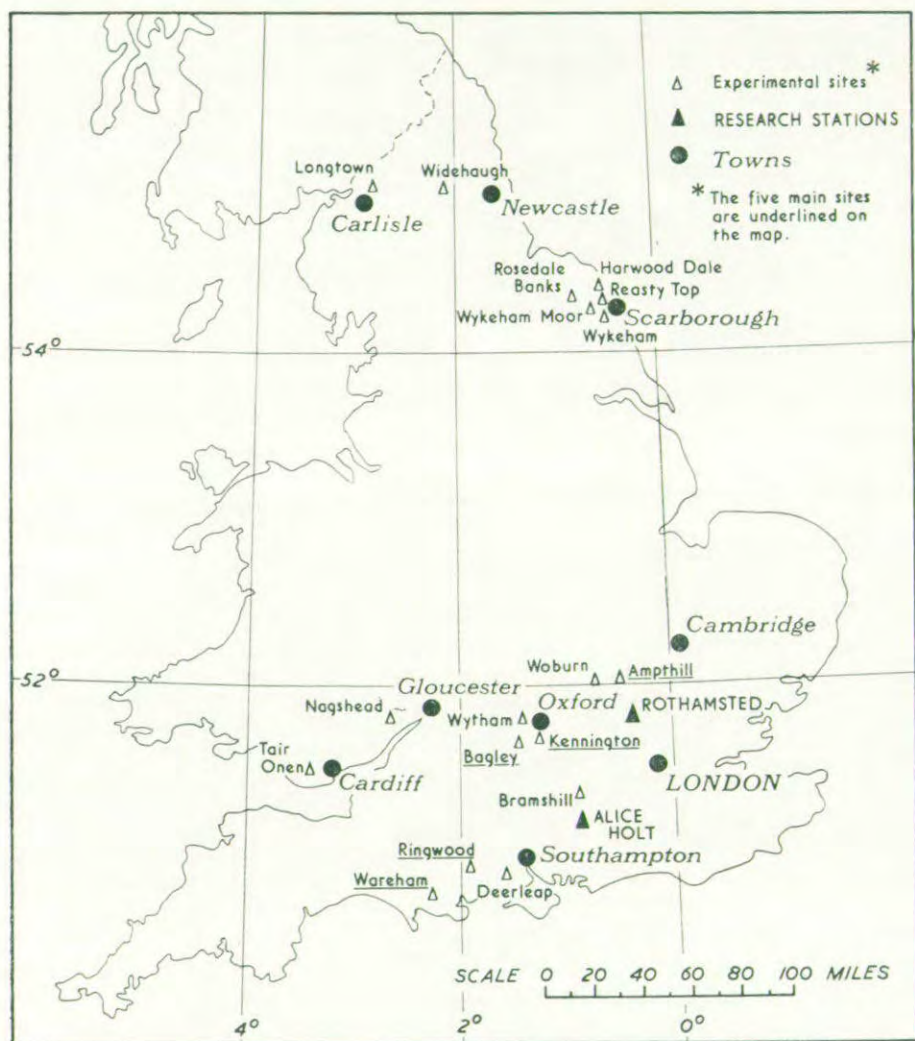
In the late forties experiments were first made in 18 nurseries in England and Wales – some of them research nurseries, others production nurseries. The middle-period experiments (from about 1951 to 1963) were done on half a dozen sites, all within fairly easy reach of the two Research Nurseries: Wareham in Dorset and Kennington near Oxford. (Appendix tables 1 and 2 give soil data for these sites.) Since 1964 experiments have been confined to the two Research Nurseries themselves, except for a few plots at Woburn Experimental Station, Bedfordshire, in the same enclosure as the 'Reference Plots' growing agricultural and horticultural crops. All experimental sites are shown on the map.

The two nurseries to which work is now confined are on very different soils. *Wareham* represents an extreme example of a heathland nursery on sandy podsollic soil of little buffering capacity and small nutrient reserves, and with a natural pH (CaCl_2) of between 3.2 and 4.0 – well below optimum even for Sitka spruce. In those sections of this nursery where the pan has been broken or is well below root range, nutrients are rapidly lost by leaching. These seem serious difficulties for intensive cropping, but acidity is more easily remedied than alkalinity, and provided the nutrient shortages can be made good, there are considerable compensations. Thus, the weed-seed population is initially small in heathland nurseries and with suitable management it can be kept down. Furthermore, freely draining sections can be cultivated within a few hours of very heavy rain. Any lessons learnt at Wareham about ways of supplying nutrients safely and steadily throughout the growing season, can be applied not only to other heathland soils, but also to the wetter areas of the west and north.

Kennington Nursery – on a sandy loam soil – has three parts: one – Old Kennington, more than 40 years old with neutral or near-neutral soils, provides one of the classical examples of 'stunted growth' of Sitka spruce which will be mentioned only briefly in this paper. The soils of the two newer parts (*Kennington Extension* and *Kennington Three*) have a pH near the optimum for Sitka spruce; they contain more nutrients than the Wareham soil, the clay content is greater, and any spells of wet weather halt cultivation for much longer than at Wareham.

3.2 *Crops*

The commonest practice for raising coniferous planting stock in British nurseries is to sow in the spring and transplant the seedlings after one or two growing seasons either in the same or in another nursery. The transplants in turn spend one or two years in the nursery before they are planted out in the forest. Nursery operations are expensive and the aim is to produce in the shortest possible time young trees suitable



Map. Location of experimental sites.

Fig.1: Map. Location of experimental sites.

for planting. In our experiments we have standardised on one-year seedlings and 'one-plus-one' transplants (one growing season in the seedbed and one growing season in the transplant bed). The smallest suitable seedling is well defined: from 11½ inches in height upwards it is referred to as 'usable', because it can be transplanted by hand or machine. The precise height of transplants matters much less and there is little clear evidence in this country as to which easily defined characteristics are correlated with survival and growth in the forest. (See below under 'Measure-



Fig.2: Experimental plots of seedlings (Sitka spruce) in the foreground and of transplants (Sitka spruce on the left, Norway spruce on the right) in the background.

ments.) Until recently most of our work was done on seedbeds, but with the realization that transplants of some species are less resistant to damage from fertilizer salts than Sitka spruce, more tests than before are now devoted to these older plants.

Sitka spruce, *Picea sitchensis*, the most widely planted conifer remains the principal experimental species. Other commonly planted conifers have occasionally been included in our experiments, but in recent years more work has been done on Norway spruce, *Picea abies*, because transplants of this species were found to be salt-sensitive (Fig. 2).

3.3 Measurements

For all experiments, height is measured in the nursery before the plants are lifted. Height of *seedlings* is a useful measurement not only because in practice plants are graded according to their size, but because the height of many conifers (though not pines) is closely correlated with weight. As mentioned above, small differences in height of *transplants* are less important; neither is correlation between height and weight very close for these older plants, and additional measurements, such as stem diameter at soil surface, will have to be made in future. At the end of the growing season, plant samples are taken from many experiments to measure the dry weight (of roots and tops separately) and for chemical analysis (usually of the whole plant).

During the last three years (1964–1966), seedling tops have been repeatedly sampled for analysis *during* the growing season to obtain information on nutrient uptake from soluble and from slow-release fertilizers.

3.4 *Design of experiments*

During the exploratory phase of our work, factorial designs proved to have great merits. More recently, with the shift of emphasis to comparisons between forms of fertilizer supplying more than one nutrient element, randomized blocks have been used. However, several of the older factorial experiments (with a wide range of nutrient contents in soil and plant) have been retained to help with the interpretation of tests on novel forms of fertilizer.

4. *The Nutrition of Young Conifers*

4.1 *Soil-less cultures*

The nutritional needs of young conifers can be studied by the same methods as those used for other crops. Some aspects are best investigated in water-, sand- or other soil-less cultures (*Hewitt* [5]) and the results from such work help to interpret experiments done in the more complex conditions of forest nurseries.

Some excellent work with soil-less cultures has been done by, for example, *Ingestad* [6] of Sweden and *Evers* [7] of Germany. Figure 3 (after *Ingestad*), shows for the major nutrients, growth and nutrient concentrations in the crop in relation to increasing nutrient concentrations in the solution. The spruce seedlings were grown under controlled temperature and light conditions and the samples taken at a time of rapid growth.

4.2 *Mycorrhiza*

Rayner who, using compost, grew very good conifers on the poor heathland soil near Wareham, held the view that the main role of compost was not to supply nutrients but to stimulate mycorrhizal infection of conifer roots. Since then much work has been done on mycorrhiza using new techniques. *Hewitt* points out the need to study the relation of mycorrhiza to micro-nutrient uptakes, but whatever importance they may have on impoverished forest sites, it seems unlikely that they are important with the nutrient conditions aimed at in present-day forest-nursery manuring.

4.3 *Results of our nursery experiments*

The results from our own experiments, can conveniently be discussed under four heads: Soil reaction; Learning to use soluble fertilizers; Comparing compost and soluble fertilizer in many short-term and in two long-term experiments on two contrasted soils; Avoiding or making good leaching losses by using slow-release fertilizer and/or repeated topdressings.

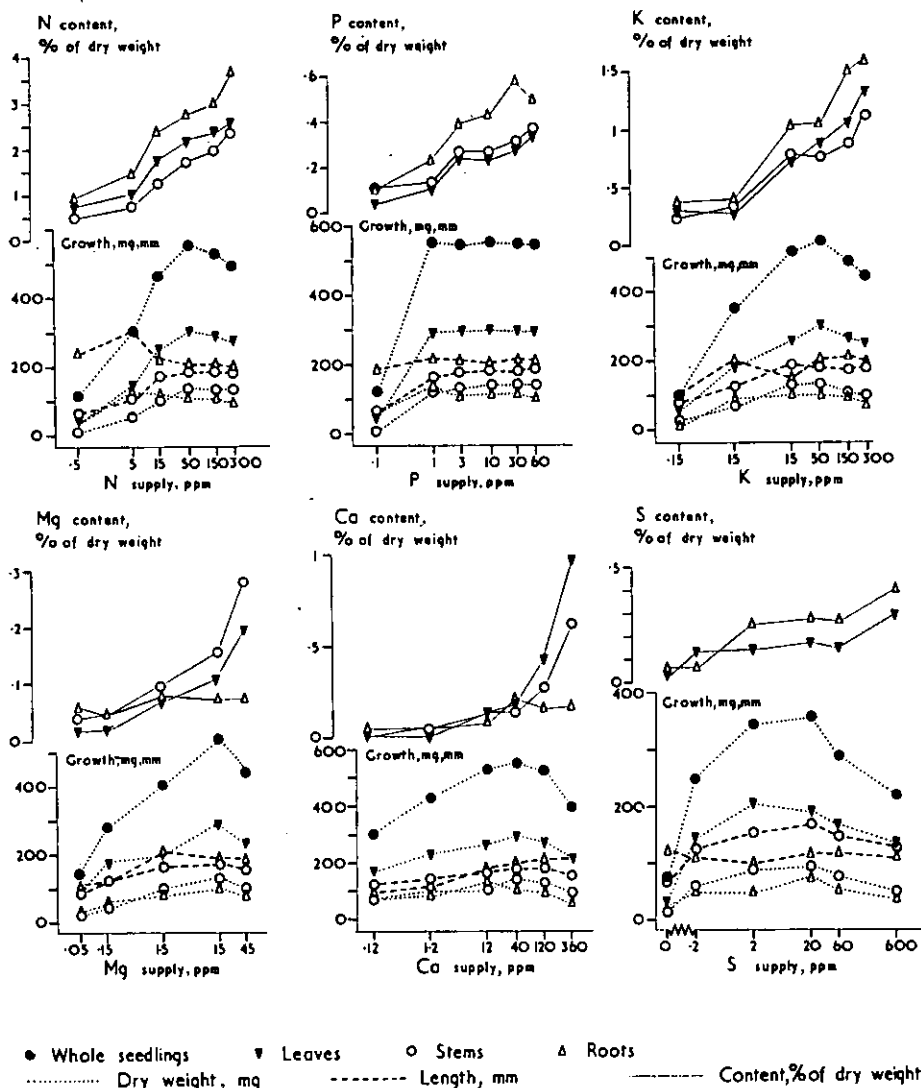


Fig.3: Growth and nutrient concentrations of Norway spruce (*Picea abies*) grown in nutrient solutions (after Ingestad[6]).

4.3.1 Soil Reaction

Seedlings of several of the commonly grown conifers are very sensitive to soil reaction and grow best on acid soils. For some species, optimum growth is confined to a very narrow range, as is shown in figures 4 and 5. The graphs are based on results from the 'pH range trials' at Wareham and Kennington Extension where pH

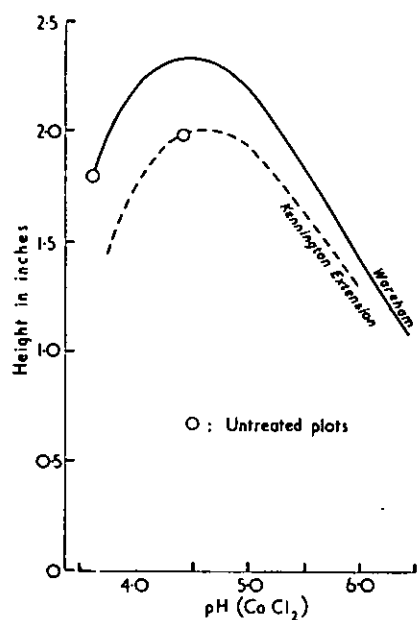


Fig. 4: pH values of soils and heights of Sitka spruce seedlings averaged over nine-year period - 1951-1959 - in pH trials at Wareham and Kennington Extension.

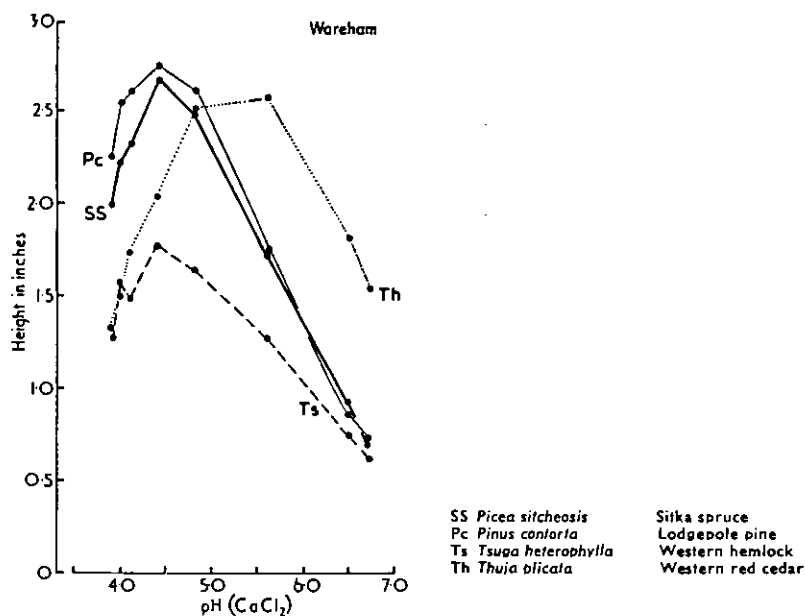


Fig. 5: pH values of soils and heights of four conifer species in Wareham pH trial 1957-1959.

was gradually raised by adding increasing amounts of calcium carbonate, and at Kennington Extension was also decreased by adding sulphur or aluminium sulphate. In figure 4, plotting seedling heights against pH values (measured in CaCl_2), the curves for both nurseries rise steeply to a well-defined maximum close to pH 4.5, above which growth declines steadily. Figure 5 shows, in addition to Sitka spruce, three other species, two of which (Lodgepole pine, *Pinus contorta* and Western hemlock, *Tsuga heterophylla*) match Sitka closely, with a third (*Thuja plicata*) having a well defined maximum more than one pH unit higher.

Maintaining soil reactions appropriate to individual crops, is one of the nursery forester's most important tasks. The loss of productivity of many of the Forestry Commission's older nurseries (often referred to in the past as 'conifer sickness') was brought about not only by overliming or applying calcareous seedcovers, but also by using low-grade basic slag. Such dangers are now clearly recognised and avoided.

Experiments have shown that the growth-inhibiting factor or factors leading to 'stunting' of conifers at such nurseries on high-pH soils as Amptill or Old Kennington, can be removed either with the help of acidifying agents or partial sterilants (formalin, chloropicrin and others). These methods are used in a few production nurseries, but nowadays nurseries on neutral or near-neutral soils are cropped mainly with broadleaved trees whilst the more sensitive conifers are confined to acid nurseries.

4.3.2 *Learning to use soluble fertilizers*

The small size of conifer seedlings tends to make observers underrate the amount of dry matter they produce and the quantities of nutrients they remove. Table 2 gives values for some common British agricultural crops and 12-year averages for Sitka spruce seedlings and transplants grown with soluble fertilizers on the very poor soil of Wareham and richer soil of Kennington. (The yields for agricultural crops are large but they can none the less be reliably obtained at Rothamsted [8]. As will be shown later, too little fertilizer was used at Wareham for satisfactory growth of Sitka spruce.)

In a so-called 'Maximum Productivity Trial' at Wareham, Sitka spruce seedlings and transplants were grown alongside Italian ryegrass in 1965. All crops received incremental dressings of N and more adequate supplies of P, K and Mg than had been applied to the above mentioned long-term experiments. The largest amount of dry matter produced was 10 500 lbs. for four cuts of ryegrass, 5100 lbs. per acre for seedlings (tops plus roots) and 4800 for transplants (tops plus roots). (*Coulter, Ben-zian [9]*).

Except for the two long-term rotation experiments, the detailed results of our manuring experiments up to the early sixties are given in Forestry Commission Bulletin 37. Therefore, only the main conclusions will be mentioned from the many tests on forms of fertilizer, and rates, methods and times of application.

One important feature distinguishing conifer seedlings from many agricultural crops is that they make most of their growth late in the season – in August and September. On light soils much N, K, Mg and even P can be lost in wet years before the crop is large enough to take up the nutrients. Sitka spruce develops deficiency symp-

Table 2 Amounts of different nutrients removed by some common British agricultural crops and by seedlings and transplants of Sitka spruce (*Picea sitchensis*)

	Tons per acre Dry matter	Pounds per acre				
		N	P	K	Mg	Ca
<i>Agricultural Crops</i>						
wheat (total crop)	5	120	20	150 ¹	25	40
potatoes (tubers only)	5	250	40	250	10	10
sugar beet (total crop)	5	180	25	250	25	30
red clover	4	250	50	180	20	100
grass	5	250	40	250	25	75
<i>Sitka Spruce (tops + roots)</i>						
seedlings Wareham	1.3	44	7	20	4	18
Kennington	1.6	69	11	43	4	22
transplants Wareham	1.8	63	10	37	5	22
Kennington	3.0	100	14	60	7	39

¹ Max. uptake, only half in harvested crop usually.

toms of diagnostic value for N, K and Mg, and visual observations can be of great help in following release of nutrients from fertilizers or their losses throughout the season.

Nitrogen

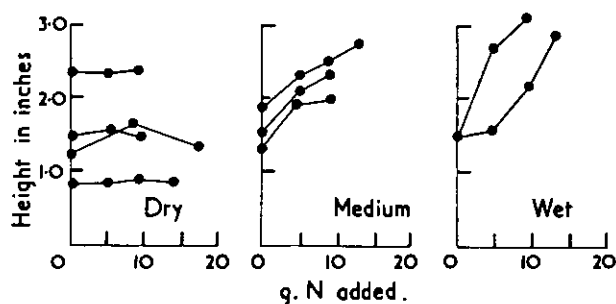
Responses to nitrogen differed greatly from year to year (figure 6). Soluble nitrogen fertilizers could be applied safely as repeated topdressings during the growing season. Risk of damage to the plant was slight, provided the foliage was dry. When used for only a few years, ammonium sulphate, 'Nitro-Chalk' and calcium nitrate gave closely parallel results on acid soils, though ammonium sulphate was much better on neutral or near-neutral soils. For continued use on acid soils 'Nitro-Chalk' was best.

Although to topdress repeatedly is laborious, this method has the advantage that amounts of fertilizer and timing can be easily modified to match them to the needs of different soils, crops and rainfall.

Phosphorus

Responses to phosphorus applied to seedbeds differed greatly between the 14 nurseries, ranging from none to about 200%. Figure 7 shows for six nurseries seedling height in relation to graded additions of P applied as single superphosphate. There is, however, some difficulty in the precise interpretation of the results. At Bagley near Oxford – and possibly at Wareham – calcium as well as phosphorus probably contributed to the increase in plant height. This difficulty in interpretation is a recurrent problem on very poor soils, as many of the common fertilizers supply nutrients other than those specifically being studied.

The three forms of phosphorus principally tested were: Bessemer basic slag, Gafsa rock phosphate and superphosphate (single). On moderately acid soils, basic slag and rock phosphate were inferior to superphosphate; on very acid soils they sometimes equalled superphosphate but neither was ever better than superphos-



Dry :	4 inches or less	1947, 1949, 1952
Medium :	5 to 8 inches	1951, 1953, 1955
Wet :	over 8 inches	1950, 1954

Fig.6: Summer rainfall (total for June, July and August) and responses of Sitka spruce seedlings to graded additions of topdressed nitrogen at Wareham.

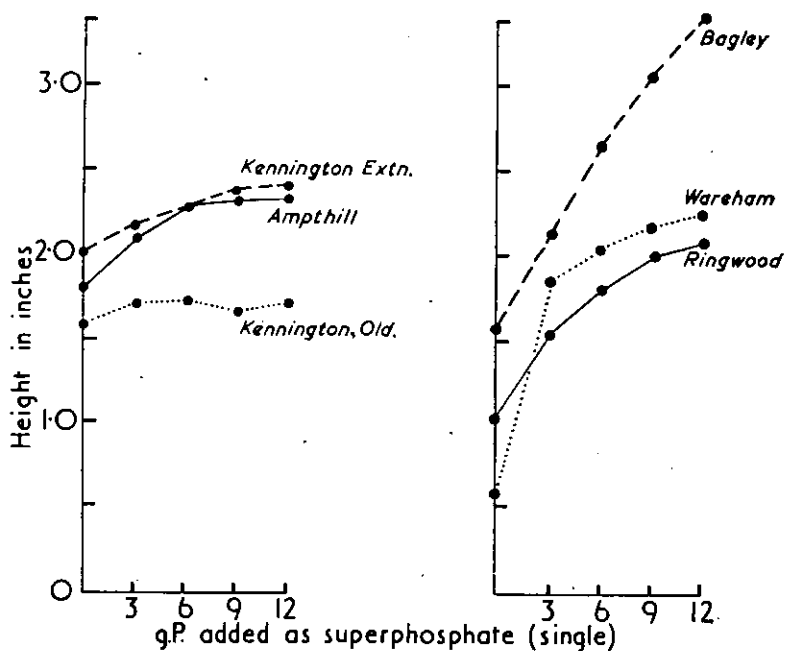


Fig.7: Phosphorus response curves for Sitka spruce seedlings at six nurseries.

phate, either for seedlings or transplants of Sitka spruce. This is a surprising result for two reasons. Firstly, there had been several instances where superphosphate had caused severe damage to newly planted trees in Forestry Commission experiments. Recent evidence [10] has provided the explanation: superphosphate may under some conditions cause scorch of *transplants* of certain conifers such as Norway spruce and some species of *Abies*. Such damage has not been observed on Sitka spruce transplants or on *seedlings* of any of the conifers tested.

The second reason why the good results from superphosphate on Wareham soil are surprising is that according to *Mattingly* [11] only 7% of the phosphate applied as superphosphate to plots at Wareham between 1955 and 1963 was retained by the surface horizon, whereas the figures for Gafsa rock phosphate and basic slag were 67 and 41% respectively. *Mattingly* says 'The average annual rainfall at Wareham (about 35 in.) seems enough to leach more than 90% of the applied water-soluble phosphate from the top 6 in. of soil'. However, most of this leaching undoubtedly occurred in the winter months, whereas in recent years heavier spring and early summer rainfall will have played a part. Thus, during the 18 years of experimentation reported in Bulletin 37 (1945 to 1962), the rainfall for either April or May exceeded 4 in. only three times, whereas in the short period between 1963 and 1966 it did so four times. There has been some evidence during the last few years of losses of phosphorus (from superphosphate) occurring early in the season in those sections of Wareham Nursery where leaching is especially severe.

Potassium

In the 14 nurseries in which K was tested on seedbeds, responses ranged from none to a little over 60%. Potassium salts can quickly be lost through leaching from sandy heathland soils, and the responses from potassium may have been underestimated by relying too much on applications made before sowing. *Bolton* and *Coulter* [12], in investigating the distribution of cations in the four major podsol horizons (of plots in the same experiment as that studied by *Mattingly*) found that 23% of the applied potassium had been taken up by the crop, 7% had remained in the top 23 in. of the profile and 70% of the applied potassium had leached from the profile.

Potassium chloride and sulphate gave similar results – with seedlings as well as transplants of Sitka spruce. This seemed surprising, as in 1939 *Němec* [13] had reported chloride damage to spruce transplants. The reason is that his work was done with Norway spruce, *Picea abies*, the spruce species grown widely on the continent. In some seasons, chloride causes a bright rusty scorch in Norway spruce whilst Sitka remains green. As with superphosphate, only the transplants proved 'salt-sensitive'.

Interactions between N, P and K

Factorial experiments allow the influence of one nutrient upon another to be studied. Table 3 shows, for two seedbed experiments on Sitka spruce, the great disparity between responses to each nutrient applied alone (column A) and in the presence of the other two (column B). Thus, although nitrogen by itself decreased

Table 3 Responses to nitrogen, phosphorus and potassium, each alone and in combination with the other two, at Bagley and Wareham

	Height in inches dry summers		wet summers	
	alone A	in presence of other nutrients B	alone A	in presence of other nutrients B
<i>Bagley</i>				
<i>Responses to</i>				
nitrogen	-0.24	0.00	-0.15	0.59
phosphorus	0.24	0.72	0.16	0.78
potassium	0.06	0.50	0.13	0.65
<i>Wareham</i>				
<i>Responses to</i>				
nitrogen	-0.38	-0.08	-0.13	0.83
phosphorus	0.69	1.33	0.47	1.55
potassium	-0.09	0.85	-0.20	0.88

growth considerably in dry, and even slightly in wet seasons, with P and K it did no harm in dry seasons and increased heights in wet ones. Phosphorus applied together with N and K, gave between twice and four times the increase obtained with phosphorus alone. Responses to potassium alone were small (positive at Bagley, negative at Wareham), but with N and P they were positive and large throughout.

Magnesium

Growth responses to magnesium were confined to wet seasons even at Wareham, but the characteristic yellow symptoms of magnesium deficiency developed consistently during the late autumn in several nurseries. The symptoms could be prevented by magnesium sulphate (applied as Epsom salts or kieserite) or dolomitic limestone, but soluble salts applied before sowing did not prevent deficiency symptoms from appearing after very wet summers.

4.3.3 Comparing compost and soluble fertilizers in many short-term experiments and in two long-term experiments on two contrasted soils

Short-term experiments

When our work began, composts (originally made in ways developed by *Rayner*) were used widely, often exclusively, in the Forestry Commission's nurseries. Among the questions that needed answering urgently were: Do composts act chiefly as sources of nutrients or do they have some unique qualities (such as encouraging mycorrhizal infection or of rendering plants more resistant to attack by pests and pathogens) which would make it risky to replace them by fertilizers? In practice, composts had been made from a wide range of variable raw materials, with little knowledge of their contents of nutrients and of possibly even harmful ingredients. Moreover, compost-making was very costly and laborious.

Our earliest experiments tested composts and other bulky manures – differing widely in their nutrient contents – in factorial combination with nitrogen, phos-

phorus and potassium applied as fertilizers. In some experiments the effects of the bulky organic manures were well related to their chemical composition, especially to their potassium contents.

After we had learned how to use soluble fertilizers, it became possible to compare in many seedbed experiments (most of them short-term) responses by Sitka spruce to soluble fertilizers with those to a 'standard' compost made from bracken (*Pteridium aquilinum*) and hopwaste, a by-product of the brewing industry (hops = *Humulus lupulus*). The compost supplied more total nutrients than the fertilizer – about three times as much N, slightly more P, and twice as much K. Figure 8 compares effects on plant height and figure 9 on plant number. In 110 comparisons made in five nurseries between 1947 and 1957, fertilizer was clearly superior to compost, with 80 points out of the 110 above, that is on the fertilizer side, of the 'equality' line. For plant number, differences were smaller, but again the distribution of points was 80 to 30 in favour of fertilizers.

Long-term experiments

In 1951, two long-term rotation experiments of about 350 plots each cropped with Sitka spruce seedlings or transplants, were started in nurseries at Wareham and Kennington (Three). (Their design and lay-out is described in *Rep. For. Res. For. Comm.* for 1952–1953, p.84–100.) The experiments compared continuous conifer cropping with a rotation in which one conifer crop in three was replaced by either bare fallow or a 'green' crop (rye, ryegrass or yellow lupins); they also compared annual applications of compost made from bracken and hopwaste with fertilizers consisting of 'Nitro-Chalk' (a granular mixture of ammonium nitrate and calcium carbonate), potassic superphosphate (a compound fertilizer consisting of superphosphate and potassium chloride) and kieserite $MgSO_4 \cdot H_2O$. The site chosen for the Wareham experiment – cleared from heather and pine scrub – was on a sloping site much more exposed than the other sections of this nursery; the soil there was poorer and leaching greater. The Kennington site was on good agricultural land which had been under arable cropping.

Table 4 Amounts of nutrients supplied by fertilizers in long-term experiments at Kennington (Three) and Wareham

N as 'Nitro-Chalk' applied either in two topdressings (Kennington 1954–1960, Wareham 1954–1958) or three topdressings (remaining periods)

P } as potassic superphosphate applied before sowing (all years)

K }
Mg as kieserite applied before sowing (all years)

	<i>Total average amounts applied per year in g. element per sq. yd.</i>				
	N seedbeds	N transplants	P	K	Mg
Kennington and Wareham					
1954–1957	9	6	8	9	3
1958–1961	11	8	9	9	3
1962–1965	14	9	9	9	3

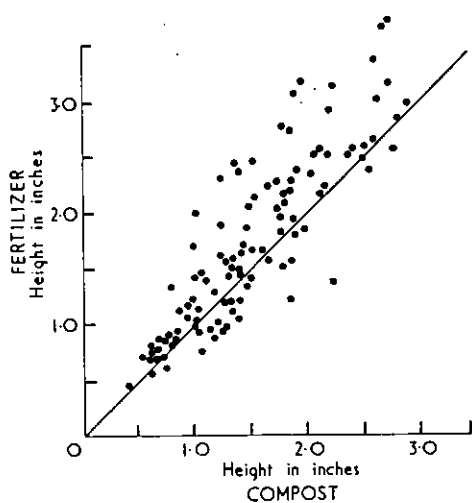


Fig.8: Comparison of compost and fertilizer (all nurseries, 1947-1957). Heights of Sitka spruce seedlings.

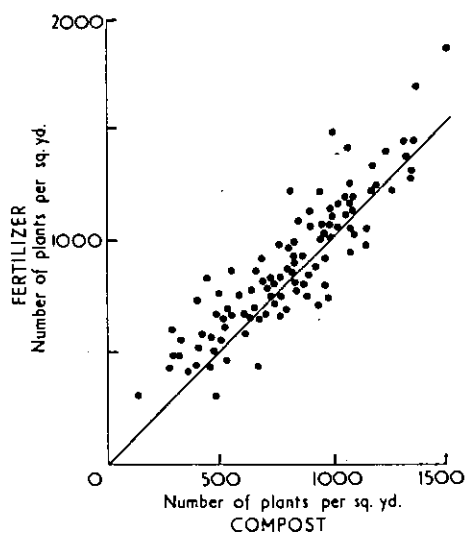


Fig.9: Comparison of compost and fertilizer (all nurseries, 1947-1957). Numbers of Sitka spruce seedlings.

These complex rotation experiments were supported at both nurseries by two ancillary experiments, one cropped annually with Sitka spruce seedlings, the other with Sitka spruce transplants. The treatments were: unmanured, fertilizer alone, compost alone, fertilizer plus compost. Table 4 shows forms and rates of fertilizer used, table 5, the composition of composts (made from 75% bracken and 25% hop-waste) and table 6 the amounts of N, P, K and Mg supplied by the composts.

Table 5 Analyses of composts used in long-term experiments at Kennington (Three) and Wareham

	% in fresh material Moisture	Org. matter	Ash	% in dry matter		P	K	Mg
				N total	N inorg.			
Kennington								
1954-1957	79	78	22	4.1	0.2	0.9	2.3	0.4
1958-1961	79	73	27	3.7	0.3	0.6	2.2	n.d.
1962-1965	79	77	23	3.8	0.4	0.6	2.1	n.d.
Mean	79	76	24	3.9	0.3	0.7	2.2	(0.4)
Wareham								
1954-1957	83	87	13	3.9	0.1	0.5	1.8	0.3
1958-1961	82	81	19	4.2	0.4	0.5	1.7	n.d.
1962-1965	83	90	10	4.4	0.4	0.4	2.1	n.d.
Mean	82	86	14	4.1	0.3	0.5	1.9	(0.3)

(n.d. = not determined.)

Table 6 Amounts of nutrients supplied by compost in long-term experiments at Kennington (Three) and Wareham

	Amounts applied per year to seedbeds and transplants					
	kg per sq. yd. of fresh product applied before sowing	g element per sq. yd.		P	K	Mg
		N total	N inorg.			
Kennington						
1954-1957	4.5	39.2	1.8	8.6	22.0	3.7
1958-1961	4.5	34.4	2.9	6.0	20.0	n.d.
1962-1965	4.5	35.7	3.6	5.6	20.2	n.d.
Mean	4.5	36.4	2.8	6.7	20.7	(3.7)
Wareham						
1954-1957	4.5	30.6	0.7	4.0	13.2	2.6
1958-1961	5.6	42.2	3.7	5.4	17.3	n.d.
1962-1965	6.8	52.2	4.3	5.1	24.5	n.d.
Mean	5.6	41.6	2.9	4.8	18.4	(2.6)

(n.d. = not determined.)

It took three years for all parts of the Rotation Experiment proper to be started and the results for the ancillary tests presented here are, therefore, also confined to the 12-year period 1954-1965.

The difficulties encountered in running these experiments and interpreting the results are only too familiar to experimenters who have attempted similar tests with other crops. Either the amounts of nutrient originally chosen are retained, when – if they were too small – plants suffer increasingly from nutrient shortages, or – if the amounts are increased – it may be difficult to separate the effects caused by such increases from changes with time brought about by other factors.

Another difficulty in testing bulky organic manures and fertilizers is to find a useful basis of comparison between the two types of material. The *fertilizers* we used consisted of 'Nitro-Chalk' applied as topdressings and potassic superphosphate plus kieserite, applied before sowing. Amounts of P were increased at both nurseries in 1955 and amounts of N at Wareham in 1959 and at Kennington in 1961. Deficiency symptoms at Wareham clearly showed that even three topdressings of N were not enough in wet summers, that much of the K was leached out before the crop (particularly seedlings) could use it, and that in some years the seedlings may also have suffered from shortage of Mg. Phosphorus shortage does not cause easily recognisable deficiency symptoms, but *Mattingly's* evidence indicates that in some seasons losses of P may well have been enough to have affected growth. Deficiency symptoms were never observed on fertilizer plots at Kennington.

Seedlings and transplants on fertilizer plots at Wareham (but not at Kennington) developed copper deficiency symptoms in many seasons (*Warren and Benjian [14]*).

The type of *compost* chosen was one which could be expected to supply fair amounts of N and P (from hops) and K (from bracken); the raw materials could be obtained in many parts of the country, and composts of somewhat similar composition were used in some production nurseries. The amount applied (4.5 kg per sq. yd. or approx. 20 t per acre) was not unlike that used in many production nurseries, although these nurseries would not have applied so much annually. At Kennington the same amount was applied throughout, but at Wareham the compost dressing was increased by half in 1960 to coincide with larger fertilizer supplies of N and P. Even these heavy compost dressings at Wareham of approx. 30 t per acre (which made it difficult to consolidate the beds), were undoubtedly too small for such a responsive site. Potassium supplies were ample at both nurseries and K deficiency symptoms were never observed on compost-treated plots. Nitrogen deficiency symptoms, however, developed on compost plots at Wareham in most years and were severe in wet seasons. No copper deficiency occurred on compost plots at Wareham, because the compost was made with hopwaste from a brewery with copper installation. Thus, judging by the appearance of the crop and experience gained from results of other experiments on nearby sites, fertilizer and compost have supplied adequate amounts of nutrients at Kennington. At Wareham, however, the compost supplied too little N and P, and the fertilizer in many seasons too little N, K, Mg and Cu, and possibly even P.

The results for the seedling experiments are summarized in tables 7 and 9, for transplants in table 10. In all tables the 12-year period has been split into three 4-year periods to bring out any trends with time.

Seedlings. Table 7 shows measurements on seedlings made in the nursery – height, plant number, and number of usables. At Kennington, seedlings on fertilizer plots were considerably larger than those on compost plots in all three periods. There was no benefit whatever from adding compost to the fertilizer. Even in the third period, height was not increased after continued annual applications of about 20 t

per acre of compost. Productivity did not decline on this site; fertilizer-grown seedlings in the third periods were similar to those in the first.

At Wareham the results were quite different. During the early period, fertilizer-grown seedlings were as superior to compost-grown plants as at Kennington, but during the middle and late period fertilizer-treated seedlings were no better than those grown with compost. Using compost and fertilizer together had increasingly greater advantages throughout the 12-year period; with this treatment productivity declined only a little.

Table 7 Nursery measurements of seedlings in long-term experiments on compost and fertilizer

	Kennington			Wareham		
	1954 -1957	1958 -1961	1962 -1965	1954 -1957	1958 -1961	1962 -1965
<i>Height in inches</i>						
unmanured	1.3	1.2	0.8	0.3	0.5	0.5
fertilizer	2.0	2.7	2.1	2.1	1.7	1.4
compost	1.4	1.9	1.6	1.5	1.6	1.4
both	1.6	2.6	2.1	2.4	2.3	2.1
<i>Number of plants per sq. yd.</i>						
unmanured	1020	1040	1240	1210	910	1290
fertilizer	950	1000	1230	1080	1000	1350
compost	810	830	1250	980	890	1280
both	800	890	1210	990	960	1240
<i>Number of usables (> 1.5 in.)</i>						
unmanured	291	310	90	0	13	6
fertilizer	474	804	908	739	518	490
compost	299	484	610	433	385	486
both	368	718	860	794	720	852

As mentioned previously, losses of nutrients by leaching are particularly large on the site of the Rotation Experiment. By contrast, in a different part of Wareham nursery where losses are less, productivity has been maintained on continuously cropped plots given soluble fertilizers similar to those used in the Rotation Experiment (table 8).

Table 8 Nursery measurements of seedlings grown on fertilizer-treated plots in Section E of Wareham Nursery where productivity has been maintained over long periods

	Height in inches	Number of plants per sq. yd.	Number of usables (> 1.5 in.)
1954-1957	2.29	1088	793
1958-1961	2.62	1004	856
1962-1965	2.35	1396	1002

Table 9 shows for whole seedlings (tops + roots), dry matter and N, P and K per cent. in crop. (At Wareham the unmanured plots could not be sampled, because the seedlings were too small.) At Kennington, omitting the unmanured plots, more dry

Table 9 Dry matter and nutrient concentrations of seedlings in long-term experiments on compost and fertilizer

	Kennington			Wareham		
	1954 -1957	1958 -1961	1962 -1965	1954 -1957	1958 -1961	1962 -1965
Dry matter mg per plant (tops + roots)						
unmanured	175	142	94	not sampled		
fertilizer	306	342	297	264	278	177
compost	282	316	246	204	279	218
both	306	360	344	326	386	304
Per cent. element in dry matter of total crop						
<i>Nitrogen</i>						
unmanured	1.9	1.8	1.7	not sampled		
fertilizer	1.9	1.8	2.1	1.5	1.6	1.4
compost	2.2	2.1	2.1	1.6	1.8	1.6
both	2.1	2.0	2.2	1.6	1.7	1.6
<i>Phosphorus</i>						
unmanured	0.31	0.26	0.26	not sampled		
fertilizer	0.32	0.31	0.29	0.24	0.24	0.24
compost	0.33	0.31	0.28	0.32	0.31	0.26
both	0.33	0.30	0.30	0.28	0.27	0.24
<i>Potassium</i>						
unmanured	0.8	0.6	0.8	not sampled		
fertilizer	1.2	1.2	1.2	0.8	0.6	0.6
compost	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.3
both	1.5	1.4	1.5	1.0	0.9	1.0

matter was produced by fertilizer, than by compost-grown seedlings, but nutrient concentrations differed little either between treatments or periods, and these figures provide no explanation for the poor performance of compost. At Wareham nutrient concentrations tended to be considerably less than at Kennington. Differences between treatments were small for N and P, but the K concentrations in compost-grown seedlings were twice those in fertilizer-grown seedlings.

Transplants. Table 10 gives heights, dry matter, and nutrient concentrations of transplants. For these older plants there was a slight benefit from continuous compost applications. Whereas initially fertilizer-grown plants were taller and heavier, compost-grown plants had a slight advantage in the middle and late period. Compost and fertilizer used together produced the best plants in most comparisons.

The nutrient concentrations in the crop (omitting unmanured plots) were very much more uniform than those in seedlings. There were no consistent differences between nurseries, except that P per cent. was a little more at Wareham, and none between treatments, except for somewhat greater K concentrations on plots that had received compost.

Seedlings and transplants. To sum up: For seedlings at Kennington fertilizer was consistently superior to compost. This is not very easy to understand, unless the compost failed to supply enough nitrogen during the whole of the growing season, without letting the N supply fall to the level when deficiency symptoms develop. For seedlings at Wareham neither compost nor fertilizer supplied sufficient nutrients,

Table 10 Height, dry matter and nutrient concentrations of transplants in long-term experiments on compost and fertilizer

	Kennington			Wareham		
	1954 -1957	1958 -1961	1962 -1965	1954 -1957	1958 -1961	1962 -1965
Height in inches						
unmanured	8.5	8.7	8.0	3.5	4.0	3.9
fertilizer	10.9	12.4	10.7	9.0	8.9	7.5
compost	10.6	13.3	11.2	8.2	9.5	8.2
both	11.0	14.2	11.7	10.0	9.5	8.5
Dry matter g per plant (tops + roots)						
unmanured	4.4	5.3	4.5	1.2	1.2	1.1
fertilizer	6.8	8.7	7.7	5.2	5.1	3.8
compost	6.4	9.8	7.9	4.7	5.9	4.8
both	6.7	11.1	9.0	6.1	6.0	4.9
Per cent. element in dry matter of total crop						
<i>Nitrogen</i>						
unmanured	1.3	1.2	1.4	1.2	1.5	1.6
fertilizer	1.4	1.4	1.7	1.3	1.5	1.8
compost	1.5	1.5	1.8	1.3	1.5	1.6
both	1.5	1.5	2.0	1.3	1.5	1.8
<i>Phosphorus</i>						
unmanured	0.22	0.21	0.21	0.07	0.13	0.14
fertilizer	0.21	0.21	0.22	0.22	0.24	0.26
compost	0.23	0.22	0.24	0.22	0.23	0.26
both	0.23	0.23	0.23	0.22	0.24	0.27
<i>Potassium</i>						
unmanured	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.6
fertilizer	0.9	0.8	1.0	0.8	0.8	1.0
compost	1.0	1.1	1.3	1.0	1.2	1.3
both	1.0	1.1	1.2	0.9	1.0	1.2

but the two materials differed in the type and timing of shortages. Seedlings grown with compost plus fertilizer received a steadier supply of N and P (though probably not quite enough), and sufficient K, Mg and Cu; there was very little loss of productivity on these plots. For transplants, compost gained slightly on fertilizers at both nurseries, and compost plus fertilizer gave the best results throughout. There may be several reasons for this. Transplants are more salt-sensitive than seedlings. Although damage is rarely observed on Sitka, there has been some evidence that chloride has a deleterious effect on its growth (*Benzian, 1965 [10]*). Transplants are also likely to have benefited from the nitrogen released early in the season from compost. With the help of the new slow-release fertilizers (discussed in the next section) we may approach more closely to the stage when it will become possible to say whether, under the conditions described, compost acts almost exclusively as a source of nutrients or whether it has some slight additional biological or physical effects. The evidence so far obtained indicates clearly that any such additional effects are small.

Reverting to the question posed at the beginning of this section, *Levisohn [15]* found no evidence that compost and fertilizer 'affected mycorrhiza-formation in consistently different directions'. As to pests or diseases, there were no indications of an

increase with either treatment after continuous cropping for 15 years. In one or two seasons there were widespread occurrences of wilting of transplants and browning of seedlings at Kennington; these troubles were almost completely confined to compost plots. (Although the precise cause could not be established, fungal attack was suspected.)

4.3.4 *Avoiding or Making Good Leaching Losses by Using Slow-Release Fertilizers and/or Repeated Topdressings*

From the beginning of our work we have sought materials that would release nutrients gradually and safely, matching the needs of the growing plants. Bulletin 37 gives results for such materials. To choose two examples: formalised casein (burton waste) proved a useful source of slow-release N and the mineral glauconite of slow-release K.

Interest in such products has recently increased and some slow-release fertilizers are now in full-scale production or have been made on a pilot scale. The products tested by us in recent experiments are: Isobutylidene diurea (IBDU) as a source of N, potassium metaphosphate as a source of P and K, and magnesium ammonium phosphate as a source of N, P and Mg.

Isobutylidene diurea

In a paper to this Society last year *Hamamoto* [16] described its properties and early experimental results. Our first test consisted of a small trial with Sitka seedlings at Wareham in 1965. IBDU of particle size 0.8 to 1.4 mm dug in in late March was compared at two amounts (9 and 18 g N per sq. yd.) with three summer topdressings of 'Nitro-Chalk' supplying similar total amounts of N. Early in the season the colour of the plants given IBDU was excellent but later they became slightly pale. However, at the end of the season seedlings were taller on IBDU than on 'Nitro-Chalk' plots.

	Height in inches
No nitrogen	0.4
'Nitro-Chalk'	
9 g N	1.4
18 g N	1.6
IBDU (0.8 to 1.4 mm)	
9 g N	1.6
18 g N	2.1
S.E.	±0.17

In 1966 two particle sizes of IBDU (0.8 to 1.4, and 1.5 to 2.4 mm) were compared at Wareham and Kennington Extension with formalised casein and 'Nitro-Chalk' (table 11). IBDU and formalized casein were applied before sowing; 'Nitro-Chalk' was topdressed on four occasions: at the beginning of June, July, August and Sep-

tember. All materials were tested at four rates of nitrogen: 6, 12, 18 and 24 g N per sq. yd., and both experiments had a basal dressing of potassium metaphosphate and kieserite.

Table 11 Comparison at two nurseries of four nitrogen forms applied to Sitka spruce seedlings, 1966

'Nitro-Chalk' applied in four equal topdressings

Formalized casein and IBDU: applied before sowing in early March.

low N = mean of 6 and 12 g N per sq. yd.

high N = mean of 18 and 24 g N per sq. yd.

	Height in inches Wareham		Kennington Extension	
No nitrogen	0.4		1.1	
	low N	high N	low N	high N
'Nitro-Chalk'	1.8	3.0	2.2	2.8
Formalized casein	1.6	2.7	2.3	2.9
IBDU (0.8-1.4 mm)	1.4	2.9	1.9	2.7
IBDU (1.5-2.4 mm)	2.0	2.8	2.0	2.6
S.E.	±0.11		±0.12	

Table 11 shows that preliminary results with IBDU are promising. The high rate of nitrogen gave for all N fertilizers a 2½-fold increase in seedling height at Kennington Extension and a 7-fold increase at Wareham, with only small differences between N forms.

At Wareham, colour differences of seedlings were large at the time when the final height assessments were made in the autumn. The 'Nitro-Chalk' plots were best, closely followed by coarse IBDU; the formalized casein plots and medium-fraction IBDU plots were much paler. At Kennington Extension the differences were smaller – with 'Nitro-Chalk' again best, followed by formalized casein, and then by the two fractions of IBDU.

The different nitrogen forms gave similar results for plant number, both in 1965 and 1966.

Because of exceptionally heavy rain in July 1965, and in April and August 1966 – especially at Wareham, conditions may have favoured IBDU and it will need further testing to find its value in drier years.

Potassium metaphosphate

A fertilizer supplying both P and K in slow-release form without deleterious accompanying anions would have clear advantages; potassium metaphosphate promised to be such a material. The product we tested was described by *Harris [17]* in a paper to this Society. Experiments with Sitka seedlings (started at Wareham in 1964 and at Kennington in 1966) and with Sitka and Norway spruce transplants (started at both nurseries in 1964) were of similar design, comparing potassium metaphosphate (particle size 0.5 to 2 mm) with (a) potassic superphosphate alone (b) potassic superphosphate supplemented with topdressings of prilled potassium nitrate and (c)

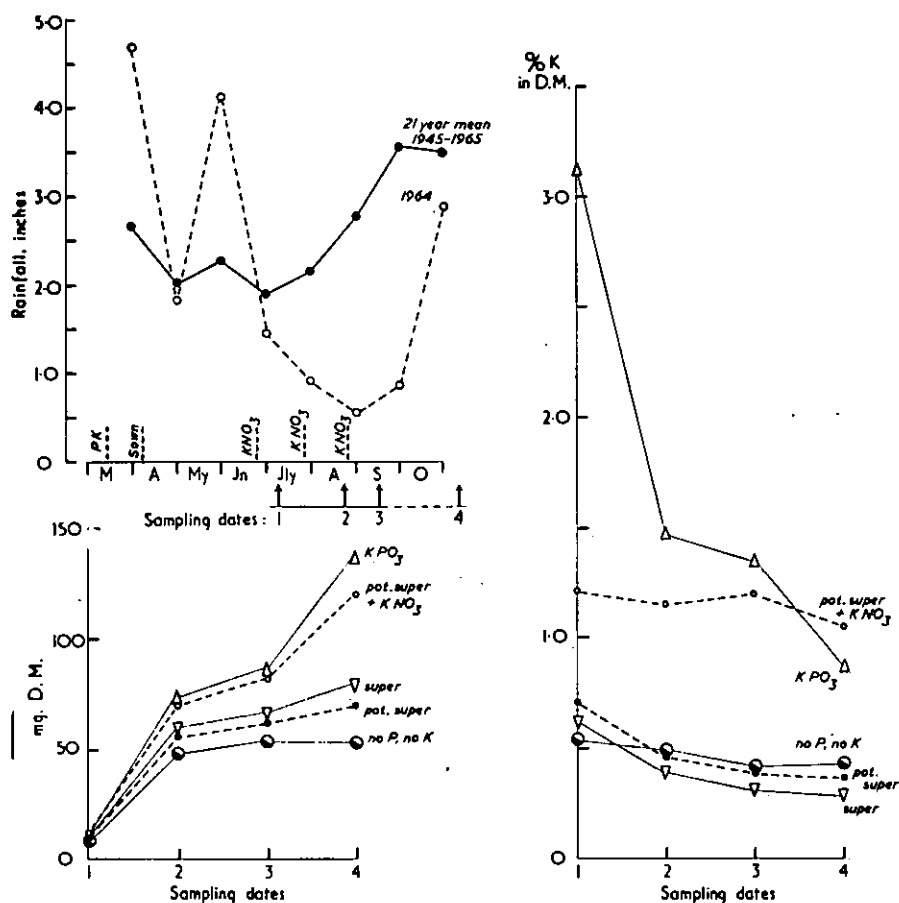


Fig.10: The effects of PK fertilizers on dry matter production and potassium concentrations of Sitka spruce seedlings at Wareham in 1964.

potassium dihydrogen phosphate which is soluble but free from chloride or sulphate ions. The experiment also included superphosphate plots without K. All plots had a basal dressing of N and Mg.

The Wareham seedlings (tops only) were sampled four times – three times during and once at the end of each growing season – to measure uptake of P, K, Ca and Mg. Preliminary end-of-season results for 1964 and 1965 have been published [18, 19]. Dry matter production and per cent K in crop for four sampling dates in 1964 and 1965 are shown in figures 10 and 11, and for the first two dates in 1966 in figure 12 (potassium dihydrogen phosphate has been omitted from these figures). The results are well related to rainfall, shown in the same diagrams.

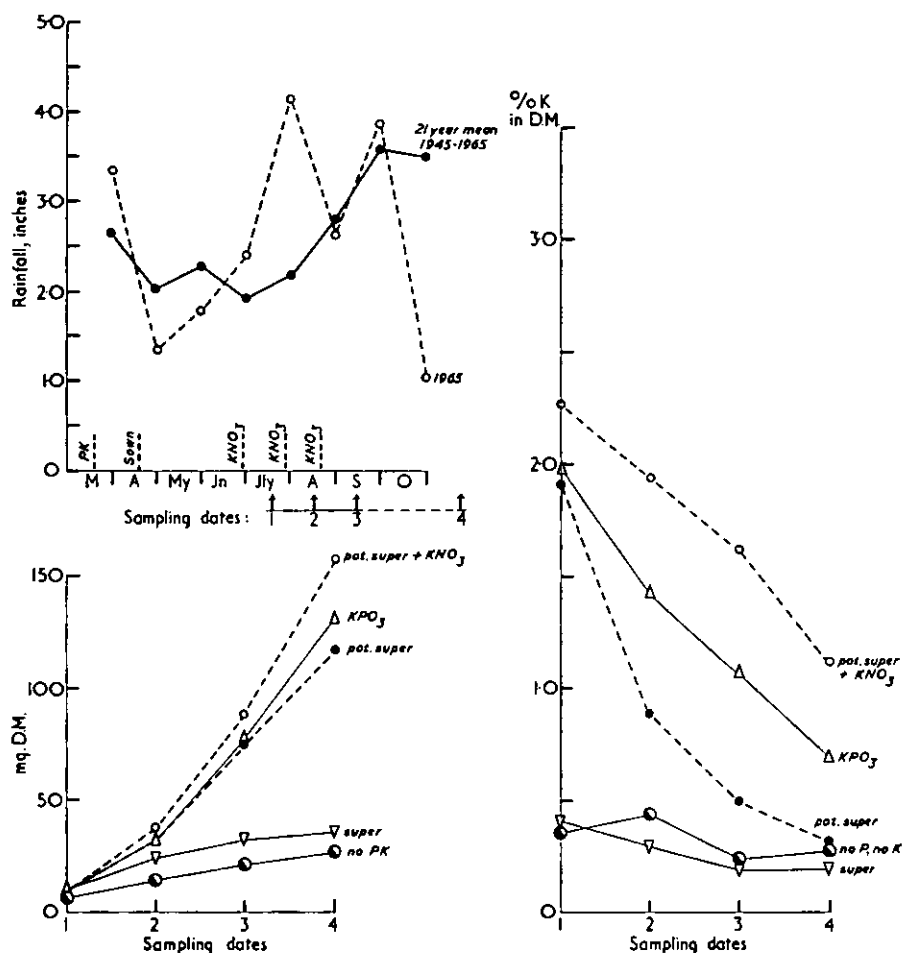


Fig. 11: The effects of PK fertilizers on dry matter production and potassium concentrations of Sitka spruce seedlings at Wareham in 1965.

In 1964 much K was lost during heavy rain in March and May; plants grown with potassic superphosphate produced only slightly more dry matter and had no larger K concentrations than those grown with superphosphate alone. Repeated topdressings with potassium nitrate maintained K concentrations. Potassium metaphosphate gave larger K concentrations in the early period but was close to potassic superphosphate supplemented by potassium nitrate (about 1 % K in dry matter) at the end of the period.

In 1965, after a much drier spring and early summer, potassic superphosphate by itself gave K concentrations close to those of potassium metaphosphate and of potassic super with KNO_3 early in the season, but dropped to very low values late in the season.

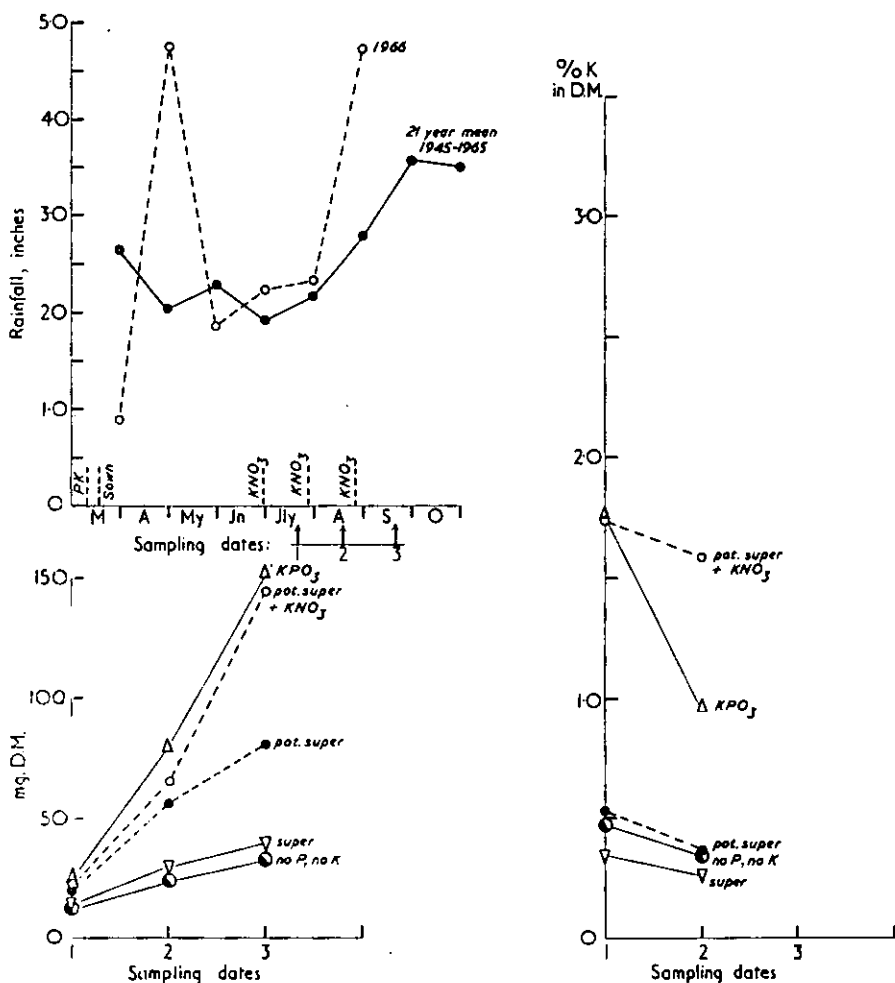


Fig. 12: The effects of PK fertilizers on dry matter production and potassium concentrations of Sitka spruce seedlings at Warcham in the early part of 1966.

In the early part of 1966 seedlings with potassium metaphosphate and with potassic superphosphate supplemented by potassium nitrate produced similar amounts of dry matter, but those with potassic super alone, much less. Exceptionally heavy April rainfall had caused much loss of soluble K, and on sampling date 2, seedlings with potassic superphosphate had K concentrations no larger than those with superphosphate only. Again, seedlings grown with potassium metaphosphate and potassic superphosphate plus potassium nitrate had larger K concentrations.

Treatment differences were small with transplants, except that in 1964 Norway spruce at Warcham developed scorch symptoms with potassic superphosphate but remained healthy with potassium metaphosphate.

Magnesium ammonium phosphate

The product used in our experiments was described by Bridger et al. [20].

It is very difficult to design experiments that will test adequately fertilizers which supply three essential nutrients, especially under conditions where the rate of release of each one of these nutrients matters and their interaction is important. A further difficulty lies in the nutrient ratios of magnesium ammonium phosphate: 8% N, 17.5% P and 14% Mg, whereas the amounts commonly applied in our experiments are 12 to 18 g N, 9 g P and 3 g Mg per sq. yd.

Magnesium ammonium phosphate was included in a few small trials. It was tested either (a) at three rates – principally as a source of nitrogen or (b) as a constituent of a 'slow-release' fertilizer in combination with potassium metaphosphate. In the experiments mentioned under (a) above, magnesium ammonium phosphate was given in amounts supplying 4.5, 9, 18 g N per sq. yd. (and hence, 8, 16, 32 g P and 4.5, 9, 18 g Mg. per sq. yd.), and compared with a standard soluble fertilizer consisting of three or four topdressings of 'Nitro-Chalk' (13½ g N per sq. yd. in 1964, 18 g N in 1966), superphosphate (9 g P) and kieserite (3 g Mg). Identical amounts of K were applied to plots with magnesium ammonium phosphate and those with standard soluble fertilizer. The transplant experiments were of similar design but had slightly smaller dressings of 'Nitro-Chalk'.

Seedlings (Sitka spruce). For comparable amounts of nitrogen, plants at Wareham in 1964 were much taller on magnesium ammonium phosphate plots than on soluble-fertilizer plots but only very slightly taller in 1966. The interpretation of these results is not easy, as responses to N cannot be separated from those to P, and possibly, Mg. Observations made during the growing season indicated that nitrogen was released early: the plants started to look severely N-deficient by midsummer.

Transplants (Sitka and Norway spruce). In 1964 Sitka and Norway spruce transplants were taller with rates 1 and 2 of magnesium ammonium phosphate than with standard soluble fertilizer; in 1966 they were similar. In both years and for both species plants with rate 3 of magnesium ammonium phosphate were consistently smaller than those with rate 1 or 2.

Magnesium ammonium phosphate was also tested as part of a 'slow-release' fertilizer mixture (with potassium metaphosphate), used in amounts supplying either 3 g P or 6 g P, and hence 1.5 g N and 2.5 g Mg, or 3 g N and 5 g Mg respectively. At these rates, it provided a 'starter' dose of nitrogen and sufficient magnesium in seasons when many plants with 3 g Mg as kieserite had developed characteristic magnesium deficiency symptoms.

Summary

1. In Britain, all young conifers needed by the Forestry Commission for afforestation are raised in the Commission's own nurseries, which in 1965 occupied 1700 acres.

2. The paper summarises briefly results of manurial experiments done jointly by Rothamsted and the Research Branch of the Forestry Commission since 1945.

3. The main experimental species, Sitka spruce *Picea sitchensis*, and other commonly planted conifers were found to be sensitive to soil reaction and grew best on acid soils.

4. Soluble fertilizers such as 'Nitro-Chalk,' superphosphate, potassium chloride and magnesium sulphate could be used safely for seedlings of all species tested, but superphosphate and potassium chloride occasionally damaged transplants of Norway spruce, *Picea abies*.

5. In short-term comparisons between soluble fertilizers and composts (with compost supplying considerably more N and K and slightly more P), fertilizer gave better results in 80 out of 110 experiments. In two long-term experiments – one on a heathland site (Wareham, Dorset) the other on farming land (Kennington nr. Oxford) compost and soluble fertilizer were tested singly and together. In *seedling* experiments at Kennington, fertilizer was not only consistently superior to compost but growth was not even improved further if compost and fertilizer were applied together. On the poor, severely leached Wareham soil, neither compost alone nor fertilizer alone supplied sufficient nutrients for seedlings towards the end of the 12-year period, but there was very little decline in productivity on plots with compost plus fertilizer. For *transplants*, fertilizer was better initially, but later composts had the advantage; compost plus fertilizer was best throughout.

6. Soluble fertilizer applied before sowing or transplanting may be rapidly lost by leaching from the light sandy soils where many of the Forestry Commission's young conifers are grown. Losses of N and K could be made good by repeated topdressings of 'Nitro-Chalk' and potassium nitrate.

7. For use in forest nurseries, the ideal fertilizer would release nutrients gradually to match the needs of the slow-growing conifer seedlings, and would not contain any soluble salts which might harm sensitive transplants. Three slow-release fertilizers were tested: Isobutylidene diurea (supplying N), potassium metaphosphate (supplying P and K) and magnesium ammonium phosphate (supplying N, P, Mg.). Early results with isobutylidene diurea in two wet seasons have been promising. Potassium metaphosphate had special merits for seedlings on the light podsolic soil of Wareham. The three-constituent material – magnesium ammonium phosphate – with its unusual proportions of N, P and Mg, was difficult to test, but appeared to release most of its nitrogen early in the season.

Outlook

Compared with agriculture, production costs for nursery seedbeds are high. Whereas, at current agricultural manuring levels, fertilizer cost may represent as much as a quarter of the production cost for cereals and a sixth for potatoes, the comparable value for Sitka spruce seedlings (based on current practice of production nurseries) is below 3 per cent.

Of slow-release fertilizers so far tested, potassium metaphosphate appears to be a useful material for sandy heathland soils. A mixture (on the basis of equal amounts of P) of potassium metaphosphate with magnesium ammonium phosphate would provide a 'starter dose' of N, and a supply of P, K and Mg throughout the growing season. If promising early results with IBDU are later confirmed, all major nutrients could be applied before sowing or transplanting, saving labour and avoiding risk of damage to the crop.

Acknowledgements

I thank *Fisons Fertilizers Limited*, *W. R. Grace and Co.*, *Mitsubishi Chemical Industries Limited*, *Scottish Agricultural Industries Ltd.*, and *Southwest Potash Corporation* for supplying special batches of fertilizer. I wish also to thank *H. A. Smith*, *R. G. Warren*, and *R. J. B. Williams* for chemical analyses.

Bibliography

1. FAO, Forestry and Forest Products Division. *Unasylva* 20 (1-2), No. 80-81 (1966).
2. *Beresford-Pearse H.* Suppl. to *Forestry*, 7-13 (1963).
3. *Benzian B.* Experiments on nutrition problems in forest nurseries. *Bull. For. Commn.*, Lond. No. 37 (in 2 volumes). London, H. M. Stationery Office. Vol. I, 251 p.; Vol. II, 265 p. (1965).
4. *Rayner M. C.* and *Neilson-Jones W.*: Problems in Tree Nutrition. *Faber and Faber* (1944).
5. *Hewitt E. J.*: Suppl. to *Forestry*, 49-59 (1966).

6. *Ingestad T.*: Macro element nutrition of pine, spruce, and birch seedlings in nutrient solutions. Meddn St. Skogsforsknst. 51, No. 7, 150 p (1962).
7. *Evers F. H.*: Z. Bot., 51, 62-111 (1963).
8. *Cooke G. W.*: Private communication.
9. *Coulter J. K.* and *Benzian B.*: Rep. Rothamsted exp. Stn., for 1965, 41-42 (1966).
10. *Benzian B.*: Suppl. to Forestry, 65-69 (1966).
11. *Mattingly G. E. G.*: Rep. For. Res. Lond. for 1964/65, 93-96 (1966).
12. *Bolton J.* and *Coulter J. K.* Rep. For. Res. Lond. for 1964/65, 90-92 (1966).
13. *Nemes A.*: Bodenk. u. Pfl. Ernähr., 13, 35-72 (1939).
14. *Benzian B.*, and *Warren R. G.*: Nature, Lond. 178, 864-865 (1956).
15. *Levisohn I.*: in 3 above, 228-235 (1965).
16. *Hamamoto M.*: Proc. Fertil. Soc., No 90, 1-64 (1966).
17. *Harris F. J.*: Proc. Fertil. Soc., No. 76, 1-36 (1963).
18. *Benzian B.*, *Bolton J.* and *Mattingly G. E. G.*: Rep. Rothamsted exp. Stn., for 1964, 55-57 (1965).
19. *Benzian B.*, *Bolton J.* and *Mattingly G. E. G.*: Rep. Rothamsted exp. Stn., for 1965, 56-57 (1966).
20. *Bridger G. L.*, *Salutsky M. L.* and *Starostka R. W.*: J. Agric. Fd. Chem., 10, 181-188 (1962).

Appendix

Appendix Table 1 Mechanical composition of some nursery soils (ploughed layer)

	Size distribution of mineral particles (limiting diameters in mm)			
	coarse sand 2-0.2%	fine sand 0.2-0.02%	silt 0.02-0.002%	clay < 0.002%
<i>Wareham, Dorset</i>	54	37	7	2
<i>Ringwood, Hants.</i>				
Section 7	43	45	7	5
<i>Kennington, nr. Oxford</i>				
Old, Section 3	65	17	6	12
Extension, Section C	71	14	4	11
Three (Rotation Expt.)	63	17	6	13
<i>Bagley, nr. Oxford</i>				
Section 4	68	19	7	6
<i>Ampthill, Beds.</i>				
Section 1	77	12	4	7
<i>Woburn, Beds.</i>				
Reference Plots (Stackyard)	44	36	9	11

Appendix Table 2 Chemical analyses of some nursery soils (- not determined)

	Sample No. (TE/A)	pH in 0.01 M CaCl ₂	% Org. C	Total element, p.p.m.			
				N	P	K	Ca
<i>Wareham, Dorset</i>							
Sections A, B, C	7581	3.2	2.6	1010	-	-	-
D, E, F	7583	3.3	3.6	1640	190	1300	320
J	7582	3.3	1.9	770	-	-	-
Rotation Expts. NW	7584	3.3	2.9	930	70	-	-
SE	7462	3.4	1.9	750	-	1000	200
<i>Ringwood, Hants.</i>							
Section 7 (north)	7574	4.9	0.7	700	520	3600	770
<i>Kennington, nr. Oxford</i>							
Old, Section 8	7569	6.2	1.5	1610	1300	5500	4100
Extension, Sections A, B, C	7576	5.2	1.8	1260	710	3500	1400
Three (Rotation Expt.)	7577	5.1	1.2	1120	530	4400	1100
<i>Bagley, nr. Oxford</i>							
Section 4	7580	3.1	3.7	1920	380	5200	350
<i>Ampthill, Beds.</i>							
Section 1	7573	5.5	1.2	940	720	2800	1600
<i>Woburn, Beds.</i>							
Reference Plots (Stackyard)	no No.	4.5	0.7	1000	860	6700	2200

Test on Three Nitrogen Fertilizers – ‘Nitro-Chalk’, Formalized Casein and Isobutylidene Diurea – Applied to Sitka Spruce (*Picea Sitchensis*) Seedlings in two English Nurseries

BLANCHE BENZIAN, B.Sc.
Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts./England

Most of the Forestry Commission's young conifers are grown in nurseries on light soils where nitrogen may be rapidly lost by leaching. To ensure a continuous supply of nitrogen, plants either have to be topdressed with soluble fertilizers several times during the growing season, or manured with fertilizers (dug in before sowing) which release nutrients gradually to match the needs of the growing crop.

Benzian [2] gave preliminary results (plant height only) from seedbed experiments on Sitka spruce, comparing two forms of slow-release fertilizer applied before sowing with four summer topdressings of a soluble fertilizer. The present paper adds dry matter weight of whole seedlings, top/root ratio, N % in whole seedlings and nitrogen residues left in the soil at the end of the season.

The fertilizers tested were:

‘Nitro-Chalk’ (21% N) – a granular mixture of ammonium nitrate and calcium carbonate. It is at present the standard nitrogen fertilizer for English research and production nurseries on acid soils.

Formalized casein (11% N) – a waste product from plastic manufacture (particle size 1–5 mm) which was a good source of slow-acting N in earlier experiments on conifers (*Benzian* [1]) and other crops.

Isobutylidene diurea (IBDU) (29.5% N) – a new prilled fertilizer (described by *Hamamoto* [4]), which is only slightly water soluble and whose rate of action is controlled by granule size. Two sizes were tested: medium (0.8–1.4 mm) and coarse 1.5–2.4 mm).

‘Nitro-Chalk’ was applied (at monthly intervals, in four equal summer topdressings; the other fertilizers were dug in before sowing. All fertilizers were tested at 6, 12, 18 and 24 g N per sq. yd. Both experiments had a basal dressing of potassium metaphosphate and kieserite applied before sowing.

The experiments were done in two of the Forestry Commission's Research Nurseries: Wareham (Dorset), on a sandy heathland soil and Kennington Extension (near Oxford) on moderately acid soil – used for farming until 1945. At Wareham, on a site which had been recently limed, the pH (in CaCl_2) was 5.0, at Kennington Extension 4.2.

1966 was much wetter than average; both nurseries had a wet April and Wareham also had a wet August. Responses to nitrogen were large at both nurseries but especially at Wareham, where the two largest rates of N gave a 7-fold increase.

Table 1 shows results for plants without nitrogen and with four rates of nitrogen, averaging fertilizer forms. (Results from different forms were sufficiently similar to

Table 1 Comparison at two nurseries of four rates of nitrogen fertilizer applied to Sitka spruce seedlings, 1966 (nitrogen forms averaged)

N treatments	Height in mm	Dry matter per plant (tops + roots) in mg	Top/root ratio	N % dry matter	Height in mm	Dry matter per plant (tops + roots) in mg	Top/root ratio	N % dry matter
	Wareham				Kennington Extension			
No nitrogen	10.2	39	1.4	1.00	29.0	133	2.5	1.12
6 g N per sq. yd.	34.8	196	2.1	0.91	48.8	263	2.6	1.28
12	52.1	312	2.5	1.04	59.4	352	3.4	1.49
18	70.9	372	3.1	1.09	68.8	379	3.6	1.68
24	72.9	427	3.1	1.28	71.1	380	3.6	1.77
S.E.	± 2.01	± 21.4	-	± 0.020	± 2.21	± 15.3	-	± 0.037
c.v. %	9.9	18.6	-	5.3	10.1	12.6	-	6.7

justify averaging.) At both nurseries height responses up to 18 g N per sq. yd. were large, but there was no further benefit from the 24 g dressing. Although Wareham seedlings without N were only about one-third the size of those at Kennington, with the two largest nitrogen dressings the Wareham seedlings were as tall as those on the much richer Kennington soil.

Dry weight of tops and roots and per cent N in the total crop were determined on samples of between 50 and 100 seedlings taken from each plot. Dry weight and height agreed well, except that at Wareham the largest dressing of N increased dry weight but not height. Top/root ratios were larger at Kennington than at Wareham; at both nurseries the ratios increased consistently with increasing nitrogen rates.

At Wareham, N in dry matter was about 1% for all treatments, except the largest dressing of N which was 1.3%. (There were, however, differences between forms that are mentioned below). At Kennington Extension, N concentrations increased from 1.1% N for no nitrogen plots to 1.8% with the largest rate.

Table 2 gives results for each nitrogen form, averaging the two small and the two large dressings. At Wareham, both IBDU samples (applied on a single occasion before sowing) gave good results resembling not only those from the single application of formalized casein but also those from 'Nitro-Chalk' – topdressed on four separate occasions. Seedlings grown with coarse IBDU or 'Nitro-Chalk' had N concentrations of about 1.4% at the large rate compared with about 1% at the small rate. Differences of this order were recently observed to improve frost resistance (*Benzian and Freeman [3]*).

At Kennington Extension the two IBDU samples did not quite equal formalized casein and 'Nitro-Chalk' in their effect on height and weight. 'Nitro-Chalk' produced plants with larger per cent N than the other fertilizers.

To find out whether any of the nitrogen fertilizers left residues in the soil at the end of the season, soil samples from all plots were used in an experiment in which perennial ryegrass with ample nutrients except N was grown in pots in a glasshouse. The results from two cuts of grass showed that the only nitrogen residues were from the large dressing of the coarse fraction of IBDU at Kennington Extension; this increased dry weight of grass by about 40%. None of the treatments left any residues in the Wareham soil (where as much as 9 in. of rain fell in October, just before the samples were taken).

Summary

Four nitrogen fertilizers were tested in experiments on Sitka spruce seedlings in two English forest nurseries. Two granule sizes of a new slow-release fertilizer, isobutylidene diurea, were compared with slow-acting formalized casein (all three fertilizers applied before sowing) and 'Nitro-Chalk', topdressed four times during the summer.

Responses to nitrogen were large at both nurseries. Dry weight of tops plus roots was closely correlated with seedling height, and top/root ratios increased consistently with increasing nitrogen rates. The two samples of isobutylidene diurea gave good results at both nurseries but at one of them the effects did not quite equal those from formalized casein and 'Nitro-Chalk'.

Results from a pot experiment (with perennial ryegrass as test crop) on soils taken from all nursery plots after the conifers were lifted, showed that no nitrogen residues remained, except at one nursery from large dressings of the coarse fraction of isobutylidene diurea.

Table 2 Comparison at two nurseries of four forms of nitrogen fertilizer applied to Sitka spruce seedlings, 1966
 low N = mean of 6 and 12 g N per sq. yd.
 high N = mean of 18 and 24 g N per sq. yd.

N treatments	Wareham				Kennington Extension			
	Height in mm	Dry matter per plant (tops + roots) in mg	Top/root ratio	N % dry matter	Height in mm	Dry matter per plant (tops + roots) in mg	Top/root ratio	N % dry matter
No nitrogen	10.2	39	1.4	1.00	29.0	133	2.5	1.12
'Nitro-Chalk'								
low N	46.5	234	2.1	1.10	56.9	282	3.1	1.60
high N	76.2	402	3.2	1.36	70.6	425	3.8	1.98
mean	61.2	318	2.7	1.23	63.8	354	3.5	1.79
Formalized casein								
low N	41.1	234	2.2	0.92	59.4	355	3.3	1.32
high N	67.6	369	2.9	1.02	74.7	382	3.6	1.58
mean	54.4	302	2.6	0.96	67.0	368	3.5	1.45
IBDU (0.8-1.4 mm)								
low N	35.0	213	2.4	0.86	48.3	295	2.9	1.24
high N	73.4	401	3.1	0.94	68.3	384	3.4	1.66
mean	54.1	307	2.8	0.90	58.4	340	3.2	1.45
IBDU (1.5-2.4 mm)								
low N	51.3	333	2.6	1.04	51.8	296	2.8	1.40
high N	70.6	426	3.1	1.42	66.5	326	3.5	1.66
mean	61.0	380	2.8	1.23	59.2	311	3.1	1.53
S.E. (low N)								
(high N)	± 2.84	± 30.3	—	± 0.029	± 3.12	± 21.6	—	± 0.052
S.E. (mean)	± 2.01	± 21.4	—	± 0.020	± 2.21	± 15.3	—	± 0.037

Acknowledgements

I thank members of the Statistics Department for some computations and members of the Chemistry Department for nitrogen analyses and for help with glasshouse experiments.

Bibliography

1. *Benzian B.*: Experiments on nutrition problems in forest nurseries. Bull. For. Commn. Lond. No.37 (in 2 volumes). London, H. M. Stationery Office (1965).
2. *Benzian B.*: Manuring young conifers: experiments in some English nurseries. Proc. Fert. Soc. No.94, 5-37 (1966).
3. *Benzian B.* and *Freeman S.C.R.*: Effect of 'late-season' topdressings of N and K applied to conifer seedlings and transplants on nutrient concentrations in the whole plant and on growth after transplanting. Rep. For. Res. London (1966).
4. *Hamamoto M.*: Proc. Fert. Soc. No.90, Isobutylidene diurea as a slow acting nitrogen fertilizer and the studies in this field in Japan, 1-77 (1966).

Peat as a Medium in the Raising of Forest Tree Seedlings

Prof. V. PUUSTIÄRVI, Satoturve Oy, Helsinki/Finland

The science of plant growth aims at producing large plants of top quality in as short a time as possible. This is not only desirable from the biological point of view but also from the economical. It is clear that the faster the plants grow the more vigorous they become. Provided the plants are of a good quality, the ones which are the more vigorous are those that have grown faster. What then are the practical conditions for fast growth?

This question has to take into consideration the plant and its culture medium. The optimal starting point depends on whether there is a seed or a seedling. The seed has within itself a certain amount of vital force – both energy and building material. To begin with it only needs water and oxygen. When it tries to grow quickly the seed must obtain water and oxygen as efficiently as possible. But before long it will have exhausted its own powers of sustenance and will have to seek fresh ones elsewhere. This means, therefore, that besides water and oxygen everything depends on the nutrients in the culture medium. This in itself will be perfectly sufficient to sustain it, and the demands of the plant on its culture medium are absolutely straight forward. Whether such demands can be met and controlled is another matter, and we therefore have to consider the composition of the culture medium much more carefully.

The primary consideration is whether there is sufficient water in the medium, and secondly, whether the impediments to water-absorption are as few as possible. In both these cases peat offers the ideal medium.

The pore space of garden peat usually varies from 90 to 96% of the volume. The volume should be proportionately divided between water and air. In practical terms this means that there must be a sufficient amount of air volume to meet the oxygen requirements of the roots. There is no precise figure of the air capacity needed. Observations show that air capacity of about 30% in peat culture should be enough. If so, the maximum capacity of water would be about 60% of the volume. It is not possible to reach such a water capacity in mineral soil.

The tension and the osmotic pressure of the soil water make it difficult for the plant to obtain water. As far as tension of the soil water is concerned, the water that is between the wilting point and the field capacity is regarded as available water for the plant. The amount of water at the wilting point varies in peat from 80 to 90% of the dry weight of peat or about 6–11% of the volume of the soil sample. The amount of water in field capacity in peat varies from 50 to 70% of the same volume. The available water is therefore about 40–60%. Most of this is such, that the tension of the soil water is under 2 atm.

Since the water soluble nutrients are under consideration, the water and nutrient economy in the culture medium are correlated. The higher the content of the water soluble nutrients is, the higher the osmotic pressure of the soil solution will be. This makes it more difficult for the plant to obtain water. Because it is possible to store a

large amount of water in peat, a large amount of water soluble nutrients can be stored in it, too, and still the osmotic pressure of the soil solution will not become too high. The high cation exchange capacity of peat makes it easier to manage the nutrient economy in peat culture.

On the basis of practical experience, we usually think that some plants grow better in clay, and others in sand. On the other hand, all plants thrive in a good culture medium. A poor culture medium sets certain restrictions on the choice of plants. It is also certain that different plants set different demands on the air and moisture conditions of the medium. Plants needing air evidently prefer sand, while those plants that need a lot of moisture, thrive in clay.

In good peat both air and moisture conditions are good. Peat can also be fertilized strongly. Therefore, without doubt, all plants will thrive in peat. It is also natural, that in the open peat is a so-called 'cold soil'. This naturally sets its own restrictions on using peat out of doors.

Forest plants do not in any particular way differ from garden plants. The growth and fertilization of these plants can be compared with all other plants. This is also true when speaking of peat and its fertilization.

Experiments have been made for many years with the plant growth of forest trees in fertilized peat. The results have been to such an extent positive, that the majority of the nurseries have started to use plain peat in seed sowing. The pricking of seeds is also done in peat.

It is clear that the seedlings of forest trees also set their own claims on the fertilization of their culture medium.

In fertilization the main interest was in finding the optimum nutrition balance in the needles. In the needles of the pine seedlings that grew well, the amount of potassium varied between 0.6–1.0%. It is notable that quite a strong potassium fertilization was used in the experiments. As the plants have a tendency to take unnecessary potassium, the potassium of the needles in this experiment may be unnecessarily high. The minimum content of potassium in the needles of the strongly flourishing plants seems to be at least 0.60%.

The nitrogen in the thriving needles was always at least 2%. Therefore this nitrogen amount was regarded as the minimum.

The phosphate in the needles of thriving needles was at least 0.18%. Sufficient phosphate fertilization was used in the experiments and therefore the minimum content was not certified.

When using the needle analysis to express the needles demand of fertilization it is important to notice the relations of the nutritions to each other quite apart from the absolute nutrition contents. By using the optimum nutrition contents the relations are as follows:

N	2.00%	N/K 3.5
K	0.60%	N/P 11
P	0.18%	

Whatever the individual nutrition contents may be, it is possible to get from them the minimum factors by using the above mentioned relations. If, for example, the relation N/K is larger than 3.5, potassium is in relation to nitrogen the minimum factor and vice versa. If the relation N/P is larger than 11, the plant has suffered from the deficiency of phosphate. N/K and N/P naturally direct the K/P relation.

For the storage fertilization of peat, the recommended dose naturally depends on the peat used. As an average fertilization the following was recommended:

Dolomitelime	6-8	kg/m ³
Nitrochalk	0.5	kg/m ³
Potassium sulphate	1.0	kg/m ³
Double superphosphate	0.6-0.8	kg/m ³

Copper and boron were usually the only trace-elements that were given. A full trace-element fertilization was given only for safety.

During the growing season an additional fertilization was given according to the soil analysis. Then attention was mainly paid to nitrogen and potassium. The nitrogen was held at about 150 and potassium at about 200 mg/l. The optimum relations of nitrogen and potassium is a many-sided problem. Nitrogen improves the growth of the needles, while potassium to a great extent improves the formation of roots. If needles are wanted, the nitrogen is kept higher than normal, in relation to potassium. If especially strong roots are wanted, the nitrogen is kept higher than normal, in relation to potassium. If especially strong roots are wanted at the expense of the needles, the N/K relation has more potassium than normal. If the plants are taken to a dry place, there should be more roots in the relation needles/roots. On the other hand, if the plant is taken to a damp site, it is important that the needles are extremely efficient to be able immediately to assimilate and in this way quickly obtain an increase of dry matter.

Diskussionsbeiträge zu Sitzung Nr. 3

Tagungsvorsitzender:
Professor Dr. P. J. VIRO,
Institut für Forstforschung, Helsinki (Finnland)

Koordinator:
Professor Dr. L. SCHMITT,
Präsident des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- u. Forschungsanstalten,
Darmstadt/Bundesrepublik Deutschland, Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats des IKI

Mr. C. P. van Goor (Wageningen):

Did you succeed in finding standards for analysis of soil samples or plant samples that make it possible to determine the need of fertilization and the level of response to fertilization in nurseries?

Miss B. Benzian (Rothamsted):

Soil samples for analysis were taken from all experimental sites before experiments were started and subsequently from many plots – not only to help with the solving of nutritional problems in forest nurseries, but also to extend the range of soils (mostly derived from experiments on land under farm crops) used in pot tests and laboratory investigations conducted by other members of the Chemistry Department at Rothamsted.

We do not think that there is a case in British forest nurseries for developing routine methods (calibrated against field experiments) to determine 'available' nutrients in soils, because fertilizers constitute less than 3% of seedbed production costs, even for the commonest species – Sitka spruce.

Plant samples for dry weight determination and chemical analyses were taken for between 40 and 50% of all experiments.

Prof. Dr. C. O. Tamm (Stockholm):

Have you tried the modern way of growth analysis in leaf area rate and net assimilation rate? I know that conifers are somewhat difficult to handle in this respect, but if anyone has material suitable for this type of work in forest nurseries, that would be you.

Miss B. Benzian (Rothamsted):

We have not done any leaf area measurements.

Prof. Dr. L. Schmitt (Darmstadt):

1. In Ihren Versuchen wurden anstelle der üblichen Kalium- und Phosphat-Düngemittel K-Metaphosphat und Magnesiumammoniumphosphat benutzt. Auch wir haben in der Landwirtschaft in früheren Versuchen solche Salze mit bestem Erfolg benutzt, aber die Düngerindustrien konnten sich wegen der hohen Herstellungskosten nicht zur Herstellung entschliessen. Wie liegen die Dinge in dieser Hinsicht in Grossbritannien?

2. Welche Erfahrungen haben Sie bisher gemacht zwischen KCl und K_2SO_4 ?

Miss B. Benzian (Rothamsted):

Magnesium ammonium phosphate of US manufacture is available commercially. Magnesium ammonium phosphate is also made (by a different process) on a pilot scale in Scotland, and this material is being used by the Forestry Commission in Britain in some production nurseries.

Potassium metaphosphate, too, has been made on a pilot scale in Scotland. I do not know what the prospects are for full-scale production.

Prof. Dr. K. Mengel (Hannover):

The leaching effect is of importance for nurseries as the root system is only extended in a thin layer of the soil. For fertilization of normal forests this effect will be of minor importance as the root layer is rather deep.

Miss B. Benzian (Rothamsted):

Many of the British Forestry Commission's nurseries are on very light sandy soils where nutrient retention is poor. Wareham Research Nursery for which leaching of soluble K has been described in my paper is an extreme example of such light textured soils. There has been no evidence of leaching of soluble K at the other research nursery – Kennington, on a soil with a greater clay content.

Dr. W. Binns (Farnham):

Potassium metaphosphate is potentially valuable for peatland forestry, where both P + K are needed. However, recent experience in Britain suggests that nitrogen deficiency is associated with this material on deep peat, while conventional materials (Gafsa phosphate and potassium chloride) do *not* produce nitrogen deficiency. The deficiency shows in colour and N concentration in the plants – Sitka spruce and Lodgepole pine (*Pinus contorta*). It seems possible that the calcium in the conventional phosphate fertilizer is necessary for mobilizing N on deep acid peat, and this has to be tested in factorial trials. It seems that it is not a question of calcium deficiency, as the Ca concentrations do not differ, and about the level normally found in trees on peat.

Prof. Dr. L. Schmitt (Darmstadt):

Hat Ihre Methode (betr. Dr. Ingestad) zur Bestimmung des Nährstoffbedürfnisses von Setzlingen und Jungpflanzen unter Umständen praktische Bedeutung, um mit Hilfe der Wasserkultur bei gleichbleibender Höhe der Nährstoffzufuhr das Optimum der Nährstoffe für die verschiedenen Pflanzen zu gewährleisten?

Prof. Dr. T. Ingestad (Stockholm):

The principles may be utilized in practice in different ways. Today complete fertilizers composed according to the principle are used in growing forest tree seedlings in peat in plastic greenhouses with excellent results. Since the composition of the fertilizer is exact in relation to what is taken up the application means possibilities of very rational fertilization schemes, completely settled in advance. At the same time an optimal nutrient regime can be held continuously in the peat without need of peat analysis.

The principles are, however, best utilized in hydroponics with a closed system where the nutrient solution is rotated all the time without exchange. In such a system the ion uptake can be measured continuously and additions of all nutrients can be automatized on basis of the measurement. Technical difficulties must, however, be solved before a practical application is recommended.

Mr. C. Fricker (Mulhouse):

Ich glaube unterstreichen zu müssen, dass es nicht belanglos ist, ob man irgendeinen Dünger, irgendwie, auf irgendeine Baumart und auf irgendeinem Standort im Plazierungsverfahren ausstreut. Man darf nicht glauben, dass die Methoden, die in Japan erfolgreich sind, unter anderen Verhältnissen auch Gültigkeit haben. Ich nehme an, dass man dort über hohe Niederschläge verfügt, und ich weiss, dass man oft weniglösliche Spezialdünger verwendet. Der Anstieg des osmotischen Druckes in der Bodenlösung hängt vom Dünger ab – die Stickstoffdünger und KCl haben einen besonders hohen Salzindex –, von der Art und Weise der Plazierung, von der Baumart (cf. Miss *Benzian*), von der Höhe des Sorptionskomplexes und nicht zuletzt von der Niederschlagshöhe in den Wochen nach der Ausbringung ...

Zusammenfassendes Referat des Koordinators und des Vorsitzenden von Sitzung Nr. 3

Vorgetragen von Herrn Professor Dr. L. SCHMITT

Im Mittelpunkt dieser Sitzung stand die Düngung von Setzlingen und Junghäumen. Hierbei wurde erneut besonders betont, dass die erfolgreiche Anpflanzung eines Waldes in ausschlaggebender Weise abhängt von der Qualität der Pflänzlinge. Für das rasche Wachstum der Setzlinge ist die ununterbrochene Versorgung der Jungpflanzen mit Humus und den einzelnen Nährstoffen, wie Stickstoff, Phosphaten, Kali und unter besonderen Verhältnissen auch mit Mikroelementen, notwendig. Um nun eine möglichst konstante und geregelte Nährstoffzufuhr zu gewährleisten, ist die Kenntnis vom *Nährstoffbedarf* der einzelnen Jungpflanzen von grossem Wert. Die von Dr. T. Ingestad, Stockholm, vorgetragene Methode vermag hierbei eine wertvolle Hilfe zu sein. Sie beruht auf dem Prinzip der Erhaltung des inneren Nährstoffgehaltes der Lösung, d. h. auf einer möglichst genauen Anpassung des Vorrates an Nährstoffen an deren ständige Aufnahme durch die Pflanzen. Die von ihnen verbrauchten Nährstoffe werden hierbei nicht durch die Veränderung der Lösung, sondern durch Zugabe der vollständigen Nährstoffserie ersetzt. Hierdurch wird eine Konstanz des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit herbeigeführt. Nach Ansicht ihres Schöpfers besteht berechtigte Hoffnung, dass seine Methode auch für die Praxis der Düngung von Setzlingen und jungen Forstpflanzen an Bedeutung gewinnt.

Nach den Mitteilungen von Miss B. Benjian, Rothamsted, werden in England alle jungen Nadelhölzer, die von der Forstwirtschaftskommission zur Aufforstung benötigt werden, in eigenen Pflanzgärten herangezogen. In zwei länger laufenden Versuchen auf Heideboden und Ackerboden wurden von ihr leicht lösliche Düngemittel geprüft. Diese eigneten sich für Sämlinge aller untersuchten Nadelholzarten. Nur bei den verpflanzten Setzlingen der norwegischen Fichte traten gelegentlich Schädigungen durch Superphosphat und Kaliumchlorid auf. Dagegen ergaben in den Saatbeeten Chlorkalium und Kaliumsulfat sowohl bei den Sämlingen als auch bei den verpflanzten Setzlingen praktisch keine Unterschiede.

Nach Ansicht der Referentin sollte zur Anwendung in Pflanzgärten der «ideale Dünger» seine Nährstoffe nur allmählich abgeben, um sich dem Bedarf der langsam wachsenden Setzlinge von Nadelhölzern anzupassen. Er sollte daher keine löslichen Salze enthalten, die an den empfindlichen Setzlingen Schaden anrichten könnten. Basierend auf dieser Ansicht, prüfte die Referentin schon drei langsam wirkende Düngerarten wie Kaliummetaphosphat, Magnesiumammoniumphosphat und Isobutyliden-Harnstoff. Wenn sich die ersten günstigen Versuchsergebnisse bestätigten, könnten in Zukunft alle Hauptnährstoffe vor der Saat oder vor dem Pflanzen gegeben werden, wodurch Arbeit gespart und Gefahren vermieden würden.

In Anbetracht der Tatsache, dass Torf die Fähigkeit besitzt, eine ausreichende Versorgung des Nährmediums mit Wasser zu gewährleisten und ein Minimum von Hindernissen darzustellen, wurde dieser in der Natur noch häufig vorkommende organische Stoff von Prof. Dr. V. *Puustjärvi*, Helsinki, als Mittel zum Ziehen von Waldsetzlingen eingehend geprüft. Mehrjährige Versuche über das Pflanzenwachstum auf gedüngtem Torf fielen derart positiv aus, dass in Finnland die meisten Forstbaumschulen beginnen, einfachen Torf für die Aussaat von Samen und für das Pickieren der Setzlinge zu verwenden.

Session No. 4

The results of fertilizer use

4. Arbeitssitzung

Ergebnisse der Düngieranwendung

Chairman:
Vorsitzender:

Prof. B. BRAAHE, Norwegian Forest
Research Institute, Vollebakk / Norway

Co-ordinator:
Koordinator:

Dr. T. WALSH, Director of the Agricultural
Institute, Dublin / Eire
Member of the Scientific Board of the
International Potash Institute

Die Auswirkungen der Düngung in verschiedenen Standorttypen auf Mineralböden

M. BONNEAU, Directeur de la Station de Recherches sur les sols forestiers et la fertilisation, Centre National de Recherches Forestières, Nancy/France

Der Begriff Standort entspricht der synthetischen Aktion der Klima- und Bodenfaktoren an einem bestimmten Ort. Das Muttergestein und der Bodentyp sind ausschlaggebend für die Fruchtbarkeit des Waldbodens. Es gibt infolgedessen eine sehr grosse Anzahl verschiedenartiger Standorte.

Um mit Genauigkeit für jeden dieser Standorte die für das Wachstum wirkungsvollste Düngungsart zu ermitteln, sind ausführliche Bodenuntersuchungen und Feldversuche unbedingt notwendig.

Eine Darstellung der Auswirkungen einer Düngungsmassnahme in verschiedenen Standorten kann nicht alle Einzelheiten berücksichtigen. Durch eine gewisse Vereinfachung ist eine Einteilung in einige wichtige, weitverbreitete Gruppen möglich.

1. Auswirkungen der Düngung auf das Wachstum der Forstbäume

1.1 Böden mit schlechtem Humus

1.1.1 Rohhumusböden

Schon seit langem ist bekannt, dass die Ernährung der Waldbäume zum grossen Teil von den aus Streu und Bodenhumus freigesetzten Elementen abhängig ist und dass diese stark gestört wird, sobald sich der frische Laub- und Nadelfall ungenügend mineralisiert und sich in der Folge eine Rohhumusauflage bildet. In diesem Falle wird besonders die Stickstoffernährung gestört, und die Düngung muss darauf ausgerichtet werden, künstlich eine progressive Mineralisierung des Stickstoffkapitals hervorzurufen und den Rohhumus in eine günstigere Form, Mull oder Moder, umzuwandeln.

Liegt ein stickstoffreicher Humus vor, so reicht im allgemeinen eine Kalkdüngung, die die Bodenazidität herabsetzt, aus, genügend Mineralstickstoff freizusetzen, um eine Wuchssteigerung zu sichern. Dies beweisen zahlreiche Düngungsversuche, welche seit Beginn dieses Jahrhunderts in Deutschland unternommen wurden. Die vor 40 Jahren im Hoch-Palatinat durchgeführten Vollumbrüche und Kalkungen haben die Holzleistung der Kiefernbestände um 25–40% erhöht (*Hochtanner et al. [30]*).

Was das norddeutsche Diluvium betrifft, ist *Krauss [39]* der Ansicht, dass für Standorte mit Sauerklee (*Oxalis acetosella*) und Pfeifengras (*Molinia coerulea*) und wenig zersetztem Humus eine Kalkung ausreicht, um einen guten Höhenzuwachs der Kiefernkulturen zu sichern. Auf sehr sauren Böden des Teplitzer Quarzporphyrs im Erzgebirge hat *Frei [16]* nach einer Zufuhr von kohlensaurem Kalk zu

einem 85jährigen Fichtenbestand im Jahre 1936 eine Mehrleistung von $0,8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{Jahr}$ beobachtet.

Die Ergebnisse einer Versuchsreihe in Baden, nach einem Bericht von *Mitscherlich* und *Wittich* [45], zeigen, dass mit kohlensaurem Kalk oft eine bessere Wirkung erzielt wird als mit Branntkalk.

Auf Standorten mit stickstoffarmem Rohhumus (nach den meisten Autoren Humustypen mit weniger als 2,2% N im Verhältnis zur organischen Substanz, d. h. ein C/N-Verhältnis > 26) genügt eine Kalkung nicht mehr, um eine ausreichende Freisetzung dieses Elementes zu bewirken, denn der Stickstoff wird sofort wieder in die Humusstoffe eingebaut. Eine Stickstoffdüngung ist in diesem Falle notwendig, entweder allein oder nach einer Kalkzufuhr.

Die skandinavischen Forscher sind von der Wichtigkeit einer Stickstoffdüngung in ihren Wäldern überzeugt, besonders was arme Flechtenstandorte betrifft. Bei diesen Bedingungen scheint eine Kalk- oder Phosphorzufuhr nicht notwendig zu sein. Der in Fichten- und Kiefernbeständen erzielte jährliche Mehrzuwachs schwankt zwischen $1 \text{ m}^3/\text{ha}$ (*Viro* [59]) und 5 m^3 (*Tamm* und *Carbonnier* [51]). Kalkammonsalpeter scheint der meistverwendete Dünger zu sein, mit Gaben von 100 kg Stickstoff/ha. Seine Wirkung hält nur 5–10 Jahre an. Ähnliche Resultate wurden in Douglasie-Beständen auf der Insel Vancouver (Kanada) erzielt, und dies auf steinigten, podsoligen Böden: Zufuhren von 20 g Stickstoff/pro Baum in Form von schwefelsaurem Ammoniak zu jungen, siebenjährigen Forstpflanzen haben eine Wachstumsteigerung von 23% gebracht. Höhere Düngergaben haben im Gegenteil einen teilweisen oder totalen Nadelfall verursacht (*Knight* [37]). Stickstoffgaben von $300 \text{ kg}/\text{ha}$ zu älteren Beständen haben den «site index» von 90 auf 122 erhöht (*Crossin et al.* [12]).

In Bayern, auf schwachpodsoligen Braunerden mit Rohhumus, in Fichtenaltbeständen (114 Jahre) steigerte sich der laufende jährliche Holzzuwachs um 33% durch eine Ausstreuerung von $200 \text{ kg N}/\text{ha}$ in Form von Ammonsulfatsalpeter. Eine zusätzliche Anwendung von Kalzium und Phosphor führte zu keiner weiteren Wachsförderung (*Zöttl* [64]).

In den meisten Fällen jedoch zieht man es vor, der Stickstoffzufuhr eine Anreicherung mit Kalzium und manchmal mit Phosphor vorzuschicken, was die Rohhumusumwandlung in Mull, ohne Stickstoffverlust, fördert. (*Thémilitz* [52].) In Deutschland gibt es zahlreiche Beispiele dieser Massnahmen. In 40- bis 120jährigen Fichtenbeständen in Baden auf podsoligen Böden, die sich auf Granit oder Sandstein des Buntsandsteins entwickelt haben, erhöht sich der Volumenzuwachs um 40–50% im Vergleich zu ungedüngten Flächen, durch eine Stickstoffzufuhr von $300 \text{ kg}/\text{ha}$ in Form von Kalkammonsalpeter (in mehreren Gaben) kombiniert mit einer Gabe von $3000 \text{ kg}/\text{ha}$ CaO in Form von Mergel oder Branntkalk, während durch alleinige Anwendung von Kalkdünger nur ein Gewinn von 20 bis 30% erzielt wird (*Mitscherlich* und *Wittich* [45]).

Auf Altmoränen in Württemberg konnte bei Fichten der 3. oder 4. Generation ein Gewinn von 2 bis $3 \text{ m}^3/\text{ha}$ des laufenden jährlichen Zuwachses erzielt werden, und zwar durch eine kombinierte Zufuhr von kohlensaurem Kalk ($1\text{--}2 \text{ t}/\text{ha}$), Thomas-mehl ($1 \text{ t}/\text{ha}$) und wiederholten Ausstreuerungen von Kalkammonsalpeter (insgesamt $240 \text{ kg N}/\text{ha}$). Auf mächtigen Rohhumusböden des mittleren Buntsandsteins konnte durch eine Düngung mit kohlensaurem Kalk und Thomasmehl der Höhenzuwachs der Fichtenkulturen um 34% gesteigert werden, während eine gleichzeitig

ausgebrachte Stickstoffdüngung zu einer Steigerung von 114% führte (*Hausser [24]*).

Seibt und Wittich [49] berichten, dass beim Versuch von Oerrel auf der pleistozänen Sandebene in Norddeutschland 45jährige Kiefern-, Fichten- und Lärchenbestände (wo das C/N-Verhältnis des Humus 26–28 erreichte) 1–2 Ertragsklassen gewannen, wenn ein Volldünger NPKCa zugeführt wurde. *Krauss [39]* ist der Ansicht, dass auf gleichem Muttergestein mit einem Humus, dessen organische Substanz weniger als 2,2 N enthält, eine kombinierte Anwendung von Kalzium und Stickstoff zu Kiefernauaufforstungen notwendig ist.

1.1.2 Die atlantischen Ranker

In Höhenlagen der französischen Gebirgskette Vogesen und Massif Central sind mächtige Humusaufgaben, Type Moder, mit engem C/N-Verhältnis (17–18) anzutreffen, wo jedoch junge Fichten nach der Pflanzung an ernstem Stickstoffmangel leiden. Durch eine Phosphat- und Kalziumdüngung kann in den ersten Jahren eine Verdoppelung des Wachstums erreicht werden, da die Anlieferung des mineralischen Stickstoffs (besonders des Nitratstickstoffes) angeregt wird, ohne dass eine Stickstoffdüngung unbedingt erforderlich ist. Es ist zu befürchten, dass diese Wuchssteigerung eine Abnahme der Kaliernährung durch Verdünnungseffekt verursacht, und es ist deshalb ratsam, gleichzeitig Kaliumsulfat zuzuführen (*Bonneau [7]*).

Derartige Humustypen sind in den gleichen Höhenzügen in niederen Höhenlagen anzutreffen, aber wir wissen noch nicht, ob dort eine Düngung nützlich ist.

1.2 Böden, in denen ein Nährstoff in zu geringer Menge vorhanden ist, um eine normale Ernährung zu gewährleisten

1.2.1 Böden mit Stickstoffmangel

Rohhumus enthält einen ziemlich grossen Vorrat an Gesamtstickstoff. Aber es gibt Standorte, wo selbst bei guter Mineralisierung der Stickstoffvorrat zu schwach ist, um die Bäume in ausreichender Weise mit mineralischem Stickstoff zu versorgen.

Dies ist zum Beispiel der Fall auf jungen Böden, die sich auf Stranddünen entwickelt haben. *Illy [34]* hat bei Versuchen an Kiefersämlingen (*Pinus pinaster*) auf Sanddünen der Gascogne in Frankreich eine Höhenwachstumssteigerung von 20% beobachten können, wenn eine Stickstoffdüngung angewandt wurde. Die anderen Nährelemente sind ohne Wirkung, wahrscheinlich wegen der Tiefenwurzelung der Kiefern und wegen des relativ hohen Silikatgehaltes des Sandes. *Wright [63]* berichtet ebenfalls von der Wirksamkeit des Stickstoffes, wenn dieser gleichzeitig mit Phosphor auf Dünen sand gegeben wurde.

Aus einem Bericht von Versuchen auf neuen vulkanischen Aschen in Neuseeland geht hervor, dass Sämlinge von *Pinus radiata* auf eine Stickstoffzufuhr reagieren (*Weston*, persönliche Mitteilung).

Ehemalig landwirtschaftlich genutzte Böden dürften in gewissem Masse zu dieser Kategorie gehören wegen ihres oft sehr niedrigen Humusgehaltes. In Ostfrankreich, auf sandigem Boden des oberen Buntsandsteins, konnte bei Douglasien durch Volldüngung NPK ein besseres Höhenwachstum (Steigerung um 25% im Ver-

gleich zur O-Parzelle) erzielt werden als durch eine alleinige Zufuhr von P und K (Steigerung um 12% im Vergleich zur O-Parzelle).

Durch die in vielen Gebieten jahrelang anhaltenden Streunutzungen sind erhebliche Stickstoffverluste eingetreten, und dies erklärt die deutliche Reaktion der Kulturen auf eine Stickstoffdüngung. Zum Beispiel erzielte Wittich [62], im Versuch von Boitzenhagen, der auf silikatreichen Sanden in Norddeutschland angelegt wurde, eine Zunahme der Massenerzeugung um 160% der jungen Fichten- und Kiefernkulturen. Die Ursache dieser Wirkung ist in der Hauptsache auf den Stickstoffdünger zurückzuführen, mit einer schwachen Beteiligung der Nährstoffe PKCa. Ein kürzlich veröffentlichter Bericht von Heinsdorf [29] erlaubt die Feststellung, dass Kiefernkulturen auf glazialen Sanden in Brandenburg auf eine Stickstoffzufuhr reagieren, wenn der Stickstoffvorrat pro Hektare unter 1500 kg liegt.

1.2.2 Böden mit Phosphormangel

Zahlreiche Düngungsversuche haben die fördernde Wirkung des Phosphors, besonders bei jungen Kulturen, gezeigt.

In englischen und schottischen Calluna-Heiden wird heute eine Phosphatdüngung zu jungen Fichtenkulturen (*Picea excelsa*, *Picea sitchensis*) laufend vorgenommen. Es handelt sich wirklich um einen Phosphor- und nicht um einen Kalziumeffekt, denn mit Superphosphat werden die gleichen Ergebnisse erzielt wie mit Thomasmehl (Edwards [15]). Die gleiche Erscheinung wurde in Belgien (Galoux [18]) und in Dänemark, in der Jütländer Heide (Holstener-Jørgensen [31, 32]), beobachtet. Im letzten Fall ist zu bemerken, dass die grösste Wachstumssteigerung durch eine Zusammenwirkung von N und P verwirklicht wurde.

In Neuseeland, im Staate Auckland, auf verarmten Tonböden, wird eine Phosphatdüngung zu älteren Beständen von *Pinus radiata* erfolgreich durchgeführt, aber es wurden nur geringe Mengen verabreicht (500 kg Superphosphat/ha) (Weston, persönliche Mitteilung).

In Australien, auf einem phosphorarmen Boden (weniger als 0,15% im Salzsäureauszug), hat eine Düngung mit 180 kg P_2O_5 /ha zu *Pinus radiata* 15 Jahre später zu einer beträchtlichen Steigerung des Volumenzuwachses geführt: 137 m³/ha gegenüber 45 m³ auf der O-Parzelle (Gentle et al. [19]).

In den U.S.A., besonders in den Südstaaten, wurde die Phosphatdüngung oft mit Erfolg angewandt. So hat eine Phosphatgabe auf sandigem Lehm mit pH 5 das Trockengewicht der *Pinus-taeda*-Sämlinge um 600% gesteigert (Allen, berichtet bei der Tagung des National Plant Food Institute 1964). Auf lehmigem Boden, mit weniger als 0,015% P_2O_5 (Truog-Extrakt) konnten (Hughes et al. [33]) durch eine Gabe von 50 kg/ha P_2O_5 zu einer Jungkultur von *Pinus caribaea*, um die Forstpflanzen flach ausgebracht, eine beträchtliche Steigerung des Höhenwachstums erzielen.

In Württemberg (Deutschland) wurden interessante Ergebnisse durch Anwendung von Thomasmehl auf Böden des oberen Buntsandsteins und des Keupers erhalten. So berichtet Hausser [24-27] von drei Versuchen, bei denen der Phosphatdünger ins Pflanzloch der Jungfichten gegeben wurde. 50 Jahre später war ein Volumenmehrzuwachs von 150 bis 200 m³/ha erreicht worden (was einer Mehrleistung von 150% gegenüber der ungedüngten Vergleichsfläche entspricht). Bei einer dieser Versuchsflächen war die Streu entfernt worden.

Die Anwendung von Phosphatdüngern dürfte in Westfrankreich zu beträchtlichen Ertragsleistungen führen. So hat eine Gabe von Thomasmehl zu Eukalyptus

auf tonigem Kreideflysch des Baskenlandes nur ein gutes Wachstum bewirkt. Auf ähnlichen Böden in einem früheren Eichenbestand erhielt *Maugé* (persönliche Mitteilung) eine Steigerung des Höhenwachstums um 100% der jungen *Picea excelsa*, *Picea sitchensis*, *Pinus stroben*, *pseudotsuga Douglasii* durch eine Gabe von 100 g gemahltem Rohphosphor ins Pflanzloch.

Zur Kultur von Seestrandkiefern (*Pinus pinaster*) auf den sandigen, hydromorphen Podsolböden der Landes de Gascogne ist eine vorherige Phosphatdüngung erforderlich. Die Steigerung des Höhenwachstums beträgt über 50%, und 10 Jahre später wurde noch keine Senkung festgestellt (*Guinaudeau et al.* [20]). Ähnliche Wirkungen wurden bei Korsikakiefern (*Pinus laricio corsicana*) auf tonigen, schlecht drainierten Böden beobachtet (*Bonneau* [6]). *Charlon* [11] berichtet ebenfalls von einer Höhenwuchssteigerung um 30%, und zwar bei Kulturen verschiedener Baumarten (*Abies grandis*, *Douglasie*, *Sitkafichte*), die in früheren Laubwaldbeständen angelegt wurden, entweder auf kieselsteinigem Ton (aus Entkalkung von Kreideablagerungen) oder auf Quarzsandstein des Silur («grès armoricain»).

Es ist deshalb ziemlich schwierig, den Erfolg einer Phosphatdüngung mit den genauen Standortverhältnissen zu verbinden. Ausser den Calluna-Heiden Englands und Dänemarks scheint eine Phosphatdüngung auf armen, schlecht drainierten Böden sowie auf Sandsteinböden von Interesse zu sein (*Nebe* [46]). *Van Goor* [57] ist der Ansicht, dass eine Gabe von Phosphatdünger zu Nadelhölzern notwendig ist, wenn der Boden weniger als 0,40% P_2O_5 (im heissen HNO_3 -Auszug) enthält, ausser auf Humuspodsol, früheren landwirtschaftlich genutzten Böden und Gleye, selbst wenn diese einen noch geringeren Phosphorgehalt aufweisen.

1.2.3 Böden mit Kalium- und Magnesiummangel

Ernste Kalium- und Magnesiummängel scheinen besonders in jungen Eisdiluvien aufzutreten. Aus Norddeutschland berichtet *Brüning* [9–10], dass das Wachstum junger Kiefernkulturen durch eine kombinierte Zufuhr von K und Mg verdoppelt wird, während sich N und P nur schwach auswirken. In einem vergleichbaren Gebiet in Nordwestdeutschland beobachtete *Krauss* [40] ebenfalls einen starken Effekt des N und K auf junge Kiefern, im Gegensatz zu P und Ca, die wirkungslos sind. *Heinsdorf* [29] fügt hinzu, dass eine Kalidüngung unbedingt erforderlich ist, wenn der Boden weniger als 600 mg Gesamtkalium (FH-Auszug) enthält.

Auch auf glazialen Sanden in Nordamerika, in den Adirondack Mountains (*Walker* [60]) und im südlichen Teil der Provinz Quebec (*Lafond* [41], *Linteau* [43]) wurde die Notwendigkeit einer Kali- und Magnesiumdüngung zu *Picea glauca* erkannt.

Im oberen Buntsandstein scheint ebenfalls Magnesiummangel vorzuliegen (*Hausser* [24]).

1.3 Böden für Pappelpflanzungen

Bis jetzt haben wir nur vom Einfluss der Düngung auf Nadelbäume gesprochen. Die Pappeln, durch ihre hohen Anforderungen, stellen einen besonderen Fall dar. Selbst in relativ gutversorgten Böden reagieren sie auf eine Düngung, und es ist noch schwieriger als bei den anderen Baumarten, eine Beziehung zwischen Düngedürftigkeit und den Verhältnissen in den Hauptstandorttypen festzusetzen.

In Nordfrankreich, auf landwirtschaftlichen Böden und sogar auf fruchtbarem Weideland, erzielte *Viard* [58] eine Steigerung des Durchmesserwachstums um 34% und einen geringeren Ausfallprozentsatz durch eine Volldüngung, die oberflächlich um die Bäume ausgebracht und 5 Jahre lang wiederholt wurde. Nur auf Moorböden, die reich an organischer Substanz sind, bleibt eine Düngungsmassnahme ohne Wirkung. In Kanada, in der Provinz Quebec, auf ehemaligen Gehöften als Versuchsflächen, erzielte *Aird* [2] gute Erfolge mit Volldüngern, die ins Pflanzloch gegeben wurden. Für verschiedene Standorte in Württemberg, auf Landwirtschafts- oder Waldböden, empfehlen *Hausser* und *Troeger* [28] eine Düngung mit Kalzium, Stickstoff und Phosphor.

In den Niederlanden hat *van der Meiden* die Auswirkungen der Düngungsmassnahmen auf Pappeln besonders bearbeitet. Er ist der Ansicht, dass bei $\text{pH} < 4,5$ eine Kalkung notwendig wird, dass der Phosphor unerlässlich für alle armen Böden und dass in allen Fällen eine Stickstoffdüngung, 4–5 Jahre hindurch wiederholt, nützlich ist. Eine K-Zufuhr ist besonders wichtig bei Flussalluvionen und auf sandigen Podsolböden, während sie bei Meeralluvionen unnötig ist.

1.4 Böden mit einem Nährstoff im Überschuss

Abgesehen von einigen Fällen, wo ein Spurenelement eine toxische Wirkung hervorrufen kann, wollen wir hier besonders von Kalkböden sprechen, die durch ihren hohen Karbonatgehalt (aktives Karbonat) das Wachstum der jungen azidophilen Nadelhölzer, *Douglasie* und Fichten, beträchtlich stören. Nach *Evers* [16] wäre die Hauptursache in der Stickstoffernährung, die sich ausschliesslich in Form von Nitratstickstoff vollzieht, zu suchen, denn dies stört den Proteinaufbau und hat eine übermässige Kalziumaufnahme zur Folge. Dieser Autor empfiehlt eine Stickstoffdüngung in Form von Ammoniaksalzen. Eine K- und Mg-Zufuhr ist ebenfalls ratsam, um ein besseres Verhältnis zwischen Ca und diesen Nährelementen herzustellen. Auf kalkreichen landwirtschaftlichen Böden mit niedrigem Humusgehalt besteht ausserdem die Möglichkeit, dass sich der schädlichen Wirkung der Nitrate noch ein Gesamtstickstoffmangel hinzufügt.

Doch nur wenige Feldversuche wurden auf diesem Standorttyp unternommen. Wir haben persönlich einen bestimmten Effekt erzielt, der jedoch nur kurz anhielt, und zwar mit Kali- oder Mg-Salpeter zu jungen Fichtenkulturen und kürzlich auch in einer Forstbaumschule durch eine Düngung mit Harnstoff, verbunden mit einer hohen Gabe an Kalisulfat. Eine alleinige Zufuhr von Kalisulfat verursachte keine Wirkung.

2. Besondere Auswirkungen der Düngungsmassnahmen

Wir haben nur von der Wirkung der Düngung auf das Höhenwachstum und die Massenerzeugung der Forstbäume und der Kulturen gesprochen. Einige besondere Aspekte der Wirkungsweise der Düngemittel verdienen eine kurze Ausführung.

In mehreren auf jungen Forstkulturen in Frankreich durchgeführten Düngungsversuchen konnten wir beobachten (*Illy* [34], *Charlon* [11], *Bonneau* [7]), dass die grössten Waldpflanzen der ungedüngten Parzellen die gleiche Höhe erreichten wie

die Forstpflanzen der gedüngten Fläche. Die Düngung wirkte sich besonders auf Bäume von kleiner oder mittlerer Höhe aus.

Die Düngungsbedürftigkeit kann sehr verschieden sein, je nachdem, ob es sich um Jungkulturen oder Bestände im Baumholzalter handelt: nach *Nebe [46]* reagieren Junghölzer besonders auf Phosphor, während ältere Bäume mehr auf Stickstoff reagieren. Dies kann durch die stimulierende Wirkung des Phosphors auf die Wurzelentwicklung, was schon oft beobachtet und bewiesen wurde, erklärt werden. Es wurde auch oft von einer hemmenden Wirkung des Stickstoffs berichtet, wenn dieser allein (*Guinaudeau et al. [19]*) oder in zu grossen Mengen (*Krauss [38]*) zu Jungpflanzen gegeben wurde.

Neben dem Einfluss der Düngung auf das Wachstum sind noch andere Aspekte von Interesse, z. B. eine Steigerung des Samenertrages, die von vielen Forschern beobachtet wurde. Aber wir wollen uns besonders mit der Auswirkung auf die Holzqualität befassen.

Die meisten Forscher haben festgestellt, dass die durch die Düngung erzielte Wachstumssteigerung von einer Abnahme der Holzdichte und einer Verkürzung der Fasern (Tracheiden) begleitet ist (*Posey [48]*, *William [61]*). Dieser Wirkungseffekt ist allerdings nicht allgemeingültig. Zum Beispiel beobachtete *Linnartz (Tagung des National Plant Food Institute 1964)*, dass junge *Pinus taeda*, die mit Stickstoff und Kalium gedüngt waren und deren Höhenwuchs, im Vergleich zu ungedüngten Bäumen, um 50% zunahm, längere Fasern und auch eine grössere Holzdichte aufwiesen. *Hausser [25]* berichtet, dass Kiefern im Baumholzalter, die mit kohlen-saurem Kalk, Thomasmehl und Volldüngern behandelt wurden, breitere Jahrringe entwickelten und gleichzeitig einen grösseren Spätholzanteil aufwiesen.

Auf diesem Gebiet können also interessante Versuche unternommen werden, um Düngungsmassnahmen auszuarbeiten, die die Ertragsleistung erhöhen, ohne die Holzqualität zu beeinträchtigen.

3. Schlussfolgerungen

Wir sind der Meinung, dass es unmöglich ist, die Auswirkung der Forstdüngung und den Standortbegriff auf befriedigende Weise miteinander zu verbinden. In den Versuchsberichten vieler Autoren sind die Bodenverhältnisse unzureichend erklärt, wodurch schon die ersten Schwierigkeiten entstehen. Obwohl in einigen wesentlichen, besonders unfruchtbaren Standorttypen die Reaktion der Forstbäume auf eine Düngung ziemlich erklärbar und vorauszusehen ist, wissen wir von unendlich vielen anderen Fällen, wo anscheinend gleiche Standorte eine völlig verschiedene Fruchtbarkeit aufweisen. Nur eingehende Untersuchungen des Bodens, des Ernährungszustandes der Bäume und Versuchsanlagen erlauben, die Auswirkungen der Düngung genau zu erfassen. Dies ist besonders der Fall bei mittelmässig fruchtbaren Standorten, bei gewissen anscheinend günstigen Mullböden, wo jedoch durch richtige Düngungsmassnahmen eine beträchtliche Ertragssteigerung erzielt werden kann (*Mitscherlich und Wittich [45]*).

Zusammenfassung

Manchmal ist es schwer, genaue Verhältnisse zwischen Standorttypen und Düngungsbedürftigkeit festzustellen; jedoch ist das möglich für einige Standorte, deren Charakteristiken stark ausgeprägt sind. Auf Rohhumusstandorten wirken Kalk- und Phosphatdünger auf die Holzleistung sehr stark; eine gleichzeitige Zufuhr von Stickstoff ist erforderlich, wenn die organische Substanz weniger als 2,2% N enthält. Die Kali- und Magnesiumdüngung ist unerlässlich auf pleistozänem Eisdiluvium, wie in Norddeutschland und in Nordostamerika. Phosphor scheint auf armen, wenig drainierten Böden und auf Calluna-Heiden besonders nützlich. Auf lang streugennützte Flächen hat die Düngung eine sehr starke Wirkung.

Bibliographie

1. Abetz P., Merkel O. und Schairer E.: Düngungsversuche in Fichtenbeständen Südbadens. Allg. F.- u. Jagdztg. 35, Nr. 10, 247-262 (1964).
2. Aird P. L.: Fertilization, weed control and the growth of poplar. For. Sci. 8, No. 4, 413-428 (1962).
3. Assman E.: Düngung und Melioration von Waldbeständen in ertragskundlicher Sicht. Allg. Forstzeitschr. 20, Nr. 16/17, 241-251 (1965).
4. Aughanbaugh J. und William Mitchell: Tree fertilization improve growth. Farmers Digest 27, No. 4, 23-24 (1963).
5. Baile H. und Fricker Cl.: Die Düngung der Waldbäume. B.L.V., München, Basel, Wien 1967.
6. Bonneau M.: Premiers résultats d'une expérience de fertilisation sur Pin Laricio de Corse en forêt de Moulière Ann. Eaux et For. et St. Rech. For. 20, No 3, 315-335 (1963).
7. Bonneau M.: Premiers résultats d'essais de fertilisation de l'Epicéa à haute altitude dans le Massif Central. Ann. Ec. For. 22, No 3, 357-393 (1965).
8. Brüning D.: Ein Beitrag zur Anwendung von Handelsdüngemitteln im Kiefernbaumholz. Forst. u. Holzw. 14, Nr. 24, 523-526 (1959).
9. Brüning D.: Einfluss einer mineralischen Düngung auf das Jugendwachstum von Kiefern und Roteichen. Forstarchiv 34, Nr. 2, 25-30 (1963).
10. Brüning D.: Ergebnisse der Aufnahmen 1960 und 1963 von Kiefern und Robinien auf der Düngungsversuchsfläche Scheeren. Arch. Forstw. 15, Nr. 2, 137-152 (1966).
11. Charlon J. C.: Forêt moderne et fertilisation. Société Nationale des Scories Thomas, Paris 1964.
12. Crossin E. C., Mallow I. A. und Ainscough C. L.: A progress report on forest nutrition studies in Vancouver Island. For. Chron. 43, No. 3, 265-285 (1966).
13. Duchaufour Ph. und Guinaudeau J.: Une expérience de chaulage sur humus brut. Ann. Ec. Eaux For. et St. Rech. For. 15, No 2, 335-364 (1957).
14. Duchaufour Ph. und Turpin P.: Essais de fertilisation sur humus brut contrôlés par l'analyse foliaire sur Pin Sylvestre et Epicéa. Ann. Ec. Eaux For. et St. Rech. For. 17, No 2, 205-233 (1960).
15. Edwards M. V.: Use of triple superphosphate for forest manuring. For. Comm. Rep. on For. Res. for the year end. March, 1958, 117-130 (1959).
16. Evers Fr. H.: Die Bedeutung des Stickstoffs. Form für Wachstum und Ernährung der Pflanzen, insbesondere der Waldbäume. Mitt. Ver. für Forstl. Standortkunde u. Forstpfl. zücht. Nr. 14, 19-37 (1964).
17. Frei S.: Ergebnisse eines Kalkungsversuchs in der Oberförsterei Bärenfels. Arch. Forstw. 10, Nr. 8, 853-871 (1961).
18. Galoux: La fertilisation minérale en sylviculture. Trav. St. Rech. de Groendal Série B, No 16, 1-62 (1959).
19. Gentle W., Humphreys F. R., Marcia und Lambert J.: An examination of a pinus radiata phosphate fertiliser trial fifteen years after treatment. For. Sci. 11, No. 3 (1965).
20. Guinaudeau J., Illy G., Mauge J. P. und Dumas F.: Essai de fertilisation minérale sur pin maritime à Mimizan Landes). Ann. Ec. Eaux For. et St. Rech. For. 20, No. 1 (1963).
21. Gussone H. A.: Faustzahlen für Düngung im Walde. B.L.V. München, Basel, Wien 1963.
22. Hassenkamp W.: 30 Jahre Bodenverbesserungsversuche. Forstarchiv 29, Nr. 8, 179-184 (1958).

23. *Hausser K.*: Ergebnisse von neueren Forstdüngungsversuchen auf Altmoränen und Deckenschotter im Württembergischen Oberschwaben. Allg. Forstzeitschr. 12, Nr.10, 131-136 (1957).
24. *Hausser K.*: Waldbauliche und betriebswirtschaftliche Erfolge der Forstdüngung, erläutert an Beispielen aus dem Buntsandsteingebiet des Württembergischen Schwarzwaldes. Allg. Forstzeitschr. 13, Nr.10, 125-130 (1958).
25. *Hausser K.*: Düngungsversuche zu Kiefern mit unerwarteten Auswirkungen. Allg. Forstzeitschr. 15, Nr.34, 497-501 (1960).
26. *Hausser K.*: Ergebnisse von Düngungsversuchen zu 50-70jährigen Fichtenbeständen auf oberem Buntsandstein des Württembergischen Schwarzwaldes. Allg. Forst- u. Jagdztg. 132, Nr.11, 269-291 (1961).
27. *Hausser K.*: Ein Düngungsversuch zu Fichten bei Streuflächen - Aufforstung der Gemeinde Klosterreichenbach auf oberem Buntsandstein. Die Phosphorsäure 24, Nr.5/6, 227-241 (1964).
28. *Hausser K. und Troeger R.*: Erste Ergebnisse der 1950 bis 1964 angelegten Pappelsortenvergleichs- und Düngungsversuche in Südwürttemberg. Allg. Forst. u. Jagdztg. 135, Nrn. 4 u. 5, 102-124, (1964).
29. *Heinsdorf D.*: Untersuchungen über die Wirkung mineralischer Düngung auf das Wachstum und den Ernährungszustand von Kiefernkulturen auf Sandböden im nordostdeutschen Tiefland. Arch. Forstw. 15, Nrn. 11-12, 1165-1193 (1966).
30. *Hochtanner G. und Seitscher O.*: Wuchsanleitung von Kiefernbeständen auf Meliorationsflächen nach den Bodenwöhre-Verfahren. Forstwiss. Cbl. 83, Nr. 1-2, 1623 (1964).
31. *Holstener-Jorgensen H.*: A fertilizing experiment in a plantation of Norway Spruce and Japanese Larch at Klosterheden. Forstl. Forsogsv. Danm. 28, No.2, 70-95 (1963).
32. *Holstener-Jorgensen H.*: A fertilizing experiment in a Norway Spruce planting in Gjellerup plantation. The Danish heath Soc. 8th district. Forst. Forsogsv. Danm. 30, No.2, 175-181 (1966).
33. *Hughes R. H. und Jackson J. E.*: Fertilization of young Slash Pine in a cultivated plantation. St. Pap. Sthcast. For. Exp. Stat., No.148, 1-14 (1962).
34. *Ily G.*: Premiers résultats de la fertilisation azotée en forêt de dune. Rev. for. franç., No d'oct., 734-743 (1964).
35. *Ingestadt T.*: Studies on manganese deficiency in a forest Stand. Medd. Skogsforskn Inst. Stockh. 48, No. 4, 3-20 (1958).
36. *Jentsch J.*: Gedanken zur Waldbodenmelioration. Arch. Forstw. 8, No.3, 217-269 (1959).
37. *Knight H.*: The effect of nitrogen fertilization on height growth of Douglas Fir. For. Chron. 39, No.4, 403-411 (1963).
38. *Krauss H. H.*: Beitrag zur Kenntnis der Wechselbeziehungen zwischen den Hauptnährstoffen Stickstoff, Phosphorsäure und Kali bei der Düngung von Forstpflanzen. Arch. Forstw. 8, Nr. 67, 592-649 (1959).
39. *Krauss H. H.*: Untersuchungen über die Melioration degradiert Sandböden im nordostdeutschen Tiefland. VI - Folgerungen aus den Meliorations- und Düngungsversuchen für die praktische Anwendung von Kalkung, Stickstoff und Kalidüngung. Arch. Forstw. 14, Nr. 8, 807-818 (1965).
40. *Krauss H. H.*: Untersuchungen über die Melioration degradiert Sandböden im nordostdeutschen Tiefland - Versuche mit mineralischer Düngung von Kiefernkulturen. Arch. Forstw. 14, Nr. 7, 731-768 (1965).
41. *Lafond A.*: Les déficiences en potassium et magnésium de quelques plantations. Laval Univ. For. Res. Found., No1 (1958).
42. *Lampadius F. und Häusler D.*: Therapie gegen Rauchschäden durch Düngung. Wiss. Zeitschr. Techn. Univ. Dresden 11, Nr. 6, 1. 417-424 (1962).
43. *Linteau A.*: Some experiments in forest soil fertilization in Canada. Laval University For. Res. Found. No.5 (1962).
44. *Mayer Krapoll H.*: Die Düngung im Walde. Thomasphosphatfabriken GmbH. Düsseldorf 1964.
45. *Mitscherlich G. und Wittich W.*: Düngungsversuche in älteren Beständen Badens. Allg. F. u. Jagdztg. 129, Nr. 8-9, 169-190 (1958).
46. *Nebe W.*: Über Düngungsversuche in Fichtenbeständen. Wiss. Zeitschr. Techn. Un. Dresden 14, Nr. 4, 1009-1018 (1965).
47. *Nebe W.*: Über die Düngerbedürftigkeit von Fichtenbeständen im Mittelgebirge. Arch. Forstw. 15, No.9, 929-952 (1966).

48. *Posay und Clayton E.*: The effects of fertilization upon wood properties of Loblolly Pine (*Pinus taeda*). Tech. Rep. Sch. Fr. N.C. State Coll. No.22 (1964).
49. *Seibt G. und Wittich W.*: Ergebnisse langfristiger Düngungsversuche im Gebiet des nordwestdeutschen Diluviums und ihre Folgerungen für die Praxis. Schr.-Reihe forstl. Fak. Univ. Göttingen u. Mitt. niedersächs. forstl. Vers.-Anst. Nr.27-28 (1965).
50. *Stier*: Die Förderung der Buchennaturverjüngung durch NH_3 -Begasung. Forst. u. Holzw. 13, Nr.16, 302-308 (1958).
51. *Tamm C. O. und Carbonnier C.H.*: Plant nutrients and forest yield. Särtr. ur Kungl. Skogs-och Lantbruksadad. Tidskrift, Nr.1-2, 95-124 (1961).
52. *Themlitz R.*: Zur Nährstoffwanderung in einem Heideboden und Auswirkung insbesondere einer Kalidüngung auf das Wachstum und den Nährstoffgehalt von Jungtrieben einer achtjährigen Kiefernkultur. Allg. Forst. u. Jagdzeitg. 136, Nr.4, 77-84 (1965).
53. *Themlitz R.*: Kalkdüngung auch bei Stickstoffdüngung im Walde? Allg. Forstzeitschr. 13, Nr.10, 142-143 (1958).
54. *Van der Meiden H. A.*: Die Wirkung der Phosphatdüngung auf Pappelpflanzungen. Die Phosphorsäure 21, Nr.1-2, 39-50 (1961).
55. *Van der Meiden H. A.*: Fumure potassique du peuplier. La Forêt Privée, N°40-41, 123-127 et 109-112 (1964/65).
56. *Van der Meiden H. A.*: Die Düngung der Pappel. Forstarchiv 33, Nr.4, 69-72 (1962).
57. *van Goor G. P.*: Fertilization of conifer plantations. Stichting Bosbouwproefst. «De Dorschkamp», No.56, 129-142 (1963).
58. *Viaut M.*: Contribution à l'étude de la fumure minérale du peuplier. Bull. du Serv. de culture et d'étude du peuplier et du saule, N°2, 1-38 (1965).
59. *Viro P. J.*: Estimation of the effect of forest fertilization Metsantut. Julk. 59, No.1-3, 1-42 (1965).
60. *Walker L. C. und Beacher R. L.*: Fertilization response with forest trees in N. America. Nat. Plant Food Inst. Washington D. C. (1963).
61. *Williams R. F. und Hamilton J. R.*: The effect of fertilization on four wood properties of Slash Pine. J. For. 59, N°9, 662-665 (1961).
62. *Wittich W.*: Auswertung eines forstlichen Düngungsversuchs auf einem Standort mit für weite Gebiete Deutschlands typischem Nährstoffhaushalt. Ruhrstickstoff AG, Bochum (1958).
63. *Wright T. W.*: Forest soils research in Scotland. For. Comm. rep. on. for. the year end. March 1959, 102-104 (1960).
64. *Zöttl H.*: Ernährungszustand und Wachsrum von Fichten-Altbeständen nach Ammoniakgas- und Stickstoffsalzdüngung. Forstwiss. Cbl. 82, Nr.3-4, 76-100 (1963).
65. *Zöttl H.*: Waldstandort und Düngung. Cbl. für ges. Forstw. 81, Nr.1, 1-24 (1964).

The Effects of Manuring on Organic Soils

Prof. Dr. L. HEIKURAINEN, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki,
Helsinki/Finland

1. Introduction

As generally known, swamps are usually poor in nutrients. Especially, the contents of potassium and phosphorus may be extremely low. Moreover, phosphorus often appears in a poorly soluble form. The supplies of nitrogen, on the other hand, are relatively large, even if nitrogen mobilisation is often slow.

In the poorest swamps deficiency in nutrients may even prevent afforestation. There are also peat lands on which tree growth starts at a satisfactory rate after drainage, but is later retarded due to lack of nutrients even to such an extent that seedling stands, which have begun development in a very promising way, are totally desolated. In certain peat-land areas post-drainage stand development is first almost normal; after decades, however, a gradual decrease in the growth is caused by deficiency in nutrients. In several kinds of peat lands, on the other hand, there seems to be sufficient nutrients available for a normal development of forests over the entire rotation.

It has been known for decades already that the fertility of swamps can be increased through application of mineral soil, wood ash, or artificial fertilizers to the peat. Because of the high expenses involved, however, the use of soil improvers of the first-mentioned kinds has not turned out as profitable, even if there are abundant examples of excellent growth which has been achieved by, for instance, ample addition of sand or clay to the soil. In addition, there are rarely sufficient quantities of wood ash available. Thus, manuring with wood ash has local significance only. The use of artificial fertilizers has increased year by year, and it has now reached the position of a normal measure in the utilization of swamps for forestry purposes over the entire area where this is practiced. On the other hand, it ought to be noted that scientific study of the problems involved in manuring of peat lands has by no means been completed by now.

Experiments on the use of artificial fertilizers were carried out in Germany already during the 19th century; in Sweden such activity was started in the first years of the present century (cf. *Malmström*, 1952). Unfortunately, these experiments have been forgotten and the results are not known. It is also known that experiments have been made with basic slag in Belgium, at least in 1907, and that basic slag has been used in Great Britain since 1925 for afforestation of barren swamps.

Better known than the old experiments with artificial fertilizers are those carried out in the Scandinavian countries using wood ash in manuring. The oldest experiment of this kind was established already in 1918 in Robertsfors in the Swedish province of Västerbotten. In 1926 another experiment was placed in the same area. In the former experiment, which is generally known as the experiment at Södra Hällmyren, 3.5 metric tons of wood ash was spread per hectare and in the latter, the expe-

riment at Norra Hällmyren, the quantity of wood ash applied was 12.5 metric tons. In both these cases swamp had been drained in 1910, but no afforestation had taken place. In the beginning the site in question has been an open swamp relatively rich in nitrogen. The effect of manuring was first extremely good in both of the experimental areas. The plots which received wood ash were immediately afforested. The tree species, however, is mainly birch. About 20 years after manuring, the growth of the tree stands has declined markedly in the area which received 3.5 t of fertilizer and the content of nutrients in the peat has also decreased to almost the same level as that in unfertilized parts of the same swamp. Later, in 1949, a part of this sample plot was again given wood ash (4 t/ha) and this measure has increased tree growth anew to a considerable degree.

In the area which received the larger quantity of ash, growth still continues a good – if even slightly weakened – rate, although 40 years have already passed since manuring. Particularly, the spruce growth which appears as undergrowth on the site shows symptoms of deficiency of potassium. Nutrient analyses and some other studies, too, point to the circumstance that the effect of wood-ash fertilization is of a very lasting nature. The unfertilized areas are still almost completely unforested.

The following table presents some stand characteristics as measured in 1963 in the experimental areas at Hällmyren (*Tamm*, 1965):

Table 1

Wood ash, kg/ha	Volume, m ³ /ha	Increment in 1953–1963 m ³ /ha/yr
3 300 (in 1918)	82.0	2.8
3 300 (in 1918) and 4 000 (in 1949)	65.8 (thinned)	6.0
12 500 (in 1926)	97.6	7.9

The oldest Finnish experiment to our knowledge on wood-ash fertilization was established in 1937 in the Kaakkosuo area at Vilppula. The results obtained from this experiment are quite similar to those from Hällmyren (*Huikari*, 1962). So, the volume of the stock growing on the fertilized plot was nearly 170 m³/ha in 1961, whereas that of the unfertilized area was almost nil. Several other experiments have shown that the effect of ash fertilization is good only in swamps which are rich in nitrogen.

The experiments carried out with lime may possibly also be regarded as belonging to the old experiments. For instance, those established by *Lukkala* in 1935 have given no positive reaction (cf. *Lukkala*, 1951). Similar results have also been obtained in several other countries (cf., e.g., *Thurmann-Moe*, 1956).

The experiments established by *Lukkala* in 1941 and 1946 on manuring with potassium and phosphorus form a certain phase of transition towards younger experiments. The results of these experiments were, as *Lukkala* (1951) says, promising. Now, in the middle of the 1960s, the number of experiments with commercial fertilizers is so great that presentation of all of them is impossible. In the following context primarily the experience obtained in Finland will be examined. However, studies conducted in Great Britain, Sweden and Norway will also be referred to in places.

2. The effect of the addition of various nutrients

In peat lands rich in nitrogen, pure phosphorus fertilization has usually resulted in a marked increase in growth; however, potassium-phosphorus fertilization has generally offered still better results. An experiment established in 1956–1957 in a pine seedling stand about 20 years old at Muhos, northern Finland, gave the following results (the archives of the Department of Peatland Forestry, Forest Research Institute in Finland):

Table 2

P ₂ O ₅	0	56	112	168	280 kg/ha
K ₂ O		Height growth in 1963, cm			
0	10.0	19.3	23.9	19.7	16.5
120	10.0	37.0	29.7	30.0	31.2
kg/ha					

In peat lands poor in nitrogen, pure nitrogen fertilization has given no results worth mentioning, but, together with applying of phosphorus and potassium, nitrogen fertilization has given a result of strongly improved growth. As an example, the results from an experiment established in 1956–1957 on a *fusum* pine swamp in the parish of Loppi, southern Finland, might be presented (*Huikari*, 1962):

Table 3

N	0	50	100	150	200 kg/ha
P ₂ O ₅		Height growth in 1959, cm			
0	5.2	7.7	8.2	9.8	9.5
198	11.6	17.0	23.9	34.2	23.0
kg/ha					

There is also reason enough, in this connection, to give an account of the results obtained in Kivisuo experimental area at Leivonmäki, central Finland (cf. *Huikari* and *Paarlabti*, 1966). The following numbers indicate the length in centimetres of planted pine seedlings (2 + 0) when five growing seasons have passed after planting. The numbers include all the combinations of other nutrients applied on each separate occasion.

Table 4

P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₁ = 66 kg/ha of P ₂ O ₅
49.7	93.1	95.1	94.8	
N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	N ₁ = 50 kg/ha of N
79.2	83.8	86.7	83.2	
K ₀	K ₁	K ₂	K ₃	K ₁ = 50 kg/ha of K ₂ O
70.8	85.9	87.5	88.6	

In his account of the results obtained, *Paarlabti* states that phosphorus fertilization has had the greatest effect. Phosphorus fertilization reaches almost its full effect already when applying the minimum quantity used in the experiment in question (66 kg/ha of P_2O_5) and larger quantities of phosphorus fertilizer do not improve the results to any significant degree. The effect of potassium and nitrogen fertilizations seem to be of about the same magnitude and they, too, reach almost their full effect at the smallest amounts of fertilizer applied. Thus, the smallest amounts of fertilizers applied in the experiments have been enough for at least five growing seasons. However, *Paarlabti* stresses the fact that the experiment now in question gives better results than if carried out on normal swamps when using small quantities of fertilizer, because there is no moss cover on the sample plots and the other ground vegetation is very scanty.

The results of the experiments just referred to, are of quite a similar nature as those obtained in, for instance, Great Britain and Sweden. Several experiments carried out in these countries have revealed a marked superiority of phosphorus to other fertilizers; this might be due to a particularly severe lack of phosphorus in the peat lands in the countries in question. Let us have the experiments on Sitka spruce reported on by *Jack* (1965) as an example of studies of this kind. The figures in the following table present the height growth in inches four years after the experiments were established.

Table 5

	P_0	P_1	P_2	
K_0	0.6	4.3	4.5	$P_1 = 2$ oz. per seedling of superphosphate
K_1	0.8	5.3	5.8	$K_1 = 1.5$ oz. per seedling of potassium chloride
K_2	0.9	5.4	6.0	
N_0	0.9	5.3	5.2	$N_1 = 0.75$ oz. per seedling of ammonium sulfate
N_1	0.7	4.8	5.2	
N_2	0.8	5.0	5.8	

Several experiments carried out in Sweden have revealed in a particularly pronounced way that potassium fertilization is required. So, *Tamm* (1956) has stated that the characteristic yellow colour frequently encountered in the needles of spruce growing on swamps is due to deficiency of potassium. Potassium fertilization removed the chlorosis, and so did PK-fertilization, while, on the contrary, phosphorus fertilization only increased the symptoms. The following experiment, which reveals a special need for potassium fertilization, is still worth mentioning (*Tamm*, 1965). The experiment is located in the province of Uppland, Sweden, and it was established in 1953. The tree stand is a birch-dominated mixed stand (cf. table 6).

In Finland, too, a particular need for potassium fertilization has been revealed by experiments carried out on fen-like peat lands rich in lime.

Addition of other plant nutrients and trace elements has usually given no positive reaction. Particularly in Great Britain there are relatively old experiments, according to which magnesium has resulted in a slight increase in growth when applied together with other plant nutrients. However, addition of copper, zinc, boron and

Table 6

Fertilization kg/ha	Volume in 1955 m ³ /ha	Increment, m ³ /ha/yr 1955-1959	1960-1964
None	81	1.8	1.3
100 P	66	1.4	1.1
100 K	68	3.6	3.4
100 P + 100 K	90	5.4	4.4

iron has remained without effect (*Zebetmayr*, 1954). However, there is a possibility that deficiency of, for instance, copper, zinc, and boron may occur later, at least in certain swamps and, especially if logging methods are used, according to which trees are removed from the forest prior to lopping. This possibility is pointed at, for example, by *Haveraaen's* (1964, 1966) studies in Norway.

3. The effect of different fertilizers

As the fertilizer-manufacturing industry produces fertilizers of several different kinds: strong and weak and, on the other hand, fertilizers of different solubility, attempts have been made to find out through investigations, the fertilizers which are suitable for forest fertilization as well as whether there are differences between various fertilizers from the viewpoint of their effect.

Probably the oldest studies dealing with this problem have been performed in Great Britain with different phosphorus fertilizers (e. g., *Edwards*, 1957, 1959). The experiments have indicated that the decisive factor is the quantity of the efficient compound. If strong and weak fertilizers are given in such quantities that the amounts of the efficient compound matter – in this case phosphorus or phosphorus acid – are equal, the effect is the same. There does not seem to be any great difference between fertilizers of differing solubility either. A phosphorus fertilizer of good solubility might produce better results in the course of the first years, but later the difference is levelled out.

Forest Research Institute in Finland has established large experiments for comparison of potassium, phosphorus and nitrogen fertilizers, and the results obtained during the first years agree with those mentioned in the foregoing.

As an example of the results obtained from an experimental series at Kivisuo might be presented. The fertilizers compared were ground mineral phosphate (33% P_2O_5), superphosphate (19% P_2O_5), Kotka phosphate (23% P_2O_5), and monoammonium phosphate (54% P_2O_5 , 12% N). All the fertilizers in question were applied in amounts equalling about 120 kg/ha of P_2O_5 . As basic fertilization potassium and nitrogen were applied both separately and jointly. In the following, however, only the experiment members which had received potassium and potassium-nitrogen fertilizers as basic fertilization are examined. The figures indicate the height in centimetres of seedlings planted in 1960 and measured in 1965. The fertilizers were applied in 1961 (cf. table 7).

In all cases the figures for the plots which had received phosphorus fertilizers were significantly greater than those for the control plots. Between the different phosphorus fertilizers, however, no significant differences were observed.

Table 7

	0	P _{af}	P _{hf}	P _{kf}	P _{sf} ¹
K	60	118	107	134	122
NK	54	117	104	98	103

¹ P_{af} = 222 kg/ha of mono-ammonium phosphate, P_{hf} = 400 kg/ha ground mineral phosphate, P_{kf} = 520 kg/ha of kotka phosphate, P_{sf} = 630 kg/ha of superphosphate.

The potassium fertilizer experiments might be represented here by the following experimental series, established by the Department of Peatland Forestry, Forest Research Institute in Finland. In the experiment potash salt (K_{so}) and potassium sulfate (K_{su}) were used. As basic fertilization, PN-fertilization was employed.

Table 8

K ₂ O, kg/ha	100	200	400
K _{so}	107	107	124
K _{su}	115	112	111

In this experiment, too, the various fertilizers used did not show up any significant differences. It deserves also mentioning that the experiment did not reveal any poisonous effect on the seedlings, even if such large quantities of potassium fertilizers were used.

As regards nitrogen fertilizers, it ought to be mentioned that Oulu saltpeter, Montana saltpeter, nitrogen liquid, uramon, and calcium nitrate have given, in the experiments reviewed by *Huikari*, almost exactly similar results during the first years after the experiment was established.

Experiments carried out by now, thus seem to point out quite strongly to the fact that the effect of fertilization, at least as far as phosphorus, potassium, and nitrogen are concerned, depends on the quantity of the efficient compounds and not so much on the kind of fertilizer used. In other words, the most favourable fertilizer would be the one, the price of which lowest after applying to the swamp. On the other hand, however, it ought to be noted that the experiments on various fertilizers are still too young to allow drawing of final conclusions.

4. Some other questions connected with manuring

In the 1960s *spot fertilization* has been generally employed in connection with forest cultivation on peat lands. *Huikari* (1962), for instance, stresses the fact that manuring adds to the succes of planting and sawing and accelerates the initial development of seedling stands. On the other hand, it has been possible to indicate that fertilization in connection with planting, may lead to increased seedling mortality even on peat lands. On mineral sites manuring carried out in connection with planting leade to an increase in the seedling mortality so frequently that *Viro* (1966), for instance, does not recommend fertilization in connection with forest cultivation.

The mortality-increasing effect of manuring is probably due to the circumstance that the soil water tension is increased through fertilization to the effect that the water absorption of the seedlings – which is also otherwise out of order immediately after planting due to for instance, damaged roots – is arrested. When the soil water tension reaches a sufficient magnitude, for instance during dry spells, the seedlings may be killed due to lack of water. In extreme cases even plasmolysis may take place.

An experiment carried out on behalf of my Institute (cf. *Heikurainen et al.*, 1966), which included a great deal of pine planting in connection of which a mixed fertilizer for peat lands ($N-P_2O_5-K_2O = 14-18-10$) was applied to varying portions, revealed in a very clear manner the mortality-increasing effect of manuring, as is shown by the following averages representing the entire material:

Table 9

Level of manuring, kg/ha			
0	500	1000	1500
Mortality, per cent.			
5.2	10.1	16.2	21.5

Statistically, the differences showed to be highly significant.

Study of the effect of various fertilizers and their quantity on the success of planting revealed that when extremely poor open swamps were in question, potassium and nitrogen increased seedling mortality and that this increase was greater, the larger the quantities of fertilizer applied. Phosphorus, on the other hand, seemed to decrease seedling mortality. It might be mentioned, in this connection, that phosphorus fertilization has proved to be inevitable for success in afforestation of very poor peat lands in Great Britain.

The experiments reported on in the foregoing, however, should not be interpreted in such a way that manuring in connection with planting or seeding has to be disapproved. Several experiments have shown that spot fertilization, for instance, when carried out in a correct way, increases the development of seedling stands to a considerable degree. The manuring must only be carried out applying sufficiently small quantities of fertilizer and using correct methods of spreading.

A question upon which an answer is specially wanted at the present stage of forest fertilization is that concerning the *duration of the effect of manuring*. The oldest ash-fertilization experiments existing may throw some light on this problem. The fertilization at Södra Hällmyren, which in force corresponded to about 67 kg of P_2O_5 and about 62 kg of K_2O per hectare, was able to keep up moderate tree growth for about 20 years. Evidently, fertilization using 120 kg of P_2O_5 and 100 kg of K_2O would be enough for keeping up increased tree growth for 20–30 years. From experiments carried out on mineral soils we know that the effect of nitrogen fertilization is only 5–6 years. In peat soil, too, the effect of nitrogen seems to be of a considerably smaller duration than that of mineral fertilizers. This has been established by, for instance, *Tamm* (1965).

The duration of spot fertilization is naturally smaller than that of broadcast fertilization. In the former, only a fragment of the amounts of fertilizer applied in the latter is used. Experiments carried out up to date have indicated that the effect of spot

fertilization employed according to the recommendation presented above hardly lasts for more than 5–7 years. The period of effectiveness can naturally be prolonged by increasing the amount of fertilizer used and the area of fertilization around the seedlings, but, in such a case the advantages of spot fertilization are lost and the methods of broadcast fertilization are approached.

The effect of the *time of manuring* has been studied at least in Finland. Experiments accounted of by *Paarlahi* (1967) have shown that fertilization carried out before the growing season affects tree growth one year earlier than manuring carried out later in the summer or the fall. In the strength of the effect, however, no differences have been observed. Thus, it seems all the same at which time fertilization is performed during the period of growing season.

The influence on the results of manuring of *various climatic conditions* have interested investigators, especially in countries reaching far to the north, such as Finland and Sweden. Up to date the results have pointed to the fact that the effect of fertilization should also be quite marked in the north and at great altitudes above sea level, sometimes even equalling that obtained in the south. Such presumptions have been presented by, for instance, *Huikari* (1967) in Finland, *Brantseg* (1967) in Norway, and the investigators of Svenska Cellulosa Aktiebolaget (*Hagner et al.*, 1966) in Sweden. In my opinion, however, the experiments have not existed long enough to allow drawing of conclusions, and, in addition, they have not been established for this very purpose, so that a reserved attitude should still be taken to the ideas presented.

Summary

Even if many questions within the scope of forest fertilization still remain unsolved, manuring of peat lands increases at a very rapid rate in Finland. Evidently, the area of drained and fertilized peat lands will be 3–4 mill hectares after only a few years. The increase in the annual increment in our forests due to manuring may be 6–8 mill m³. Such an optimism seems justified explicitly on peat lands, where optimum water economy can be created and a relatively cheap PK-fertilization is sufficient. In addition, the duration of manuring on peat lands is probably several times greater than on mineral soils.

Bibliography

1. *Brantseg A.*: Skogsgödsling på fastmark. Skogsgödsling, Nya vetenskapliga rön, p.3–22 (1967).
2. *Edwards M.V.*: Use of triple superphosphate for forest manuring. For. Comm., Rep. on For. Res. for 1958, 3, p.117–130 (1958).
3. *Edwards M.V.*: Effects of different forms and amounts of basic slag and mineral phosphate on the growth of Japanese Larch planted on blanket bog. For. Comm., Rep. on For. Res. for 1959, 3, p.1–10 (1959).
4. *Hagner S., Saraste J., Johansson B. and Åhgren A.*: Virkesframställning genom skogsgödsling. Summary: Timber production by forest fertilization. Sveriges Skogsvårdsförb. Tidsk., H.2 (1966).
5. *Haveraaen O.*: Koppermangel hos gran. Tidskr. f. Skogbruk nr.3, (1964).
6. *Haveraaen O.*: Bor er også et nødvendig mikronæringsstoff for gran og furu. Norsk Skogbruk nr.22 (1966).
7. *Heikurainen L., Päivänen J. and Seppälä K.*: Koetuloksia männyn kylvöstä ja istutuksesta ojitetuilla soilla. Summary: Some results of pine seeding and planting on drained peat soils. Silva Fennica 119 (1966).

8. *Huikari O.*: Förbättring av växtnäringstillståndet på skogsdikad torvmark. Växt-näringsnytt 2 (18), p. 16-22 (1962).
9. *Huikari O.*: Om gödsling av torvmarker för att öka skogens avkastning. Skogsgödsling, Nya vetenskapliga rön, p. 23-38 (1967).
10. *Huikari O. and Paarlatti K.*: Kivisuon metsänlannoituskokeet. 44 p. Helsinki 1966.
11. *Jack W. H.*: Experiments on tree growing on peat in Northern Ireland. Forestry, Vol. 38, No. 1 (1965).
12. *Lukkala O. L.*: Kokemuksia Jaakkoin suon koeojitusalueelta. Summary: Experiences from Jaakkoin suon experimental drainage area. Commun. Inst. Forest. Fenn. 39, 6 (1951).
13. *Malmström C.*: Svenska gödslingsförsök för belysande av de näringsekologiska villkoren för skogsväxt på torvmark. Commun. Inst. Forest. Fenn. 40, 17 (1952).
14. *Paarlatti K.*: Lannoitusajankohdan vaikutus rämemännikön kasvureaktioihin. Summary: Influence of the time of manuring on the growth reactions in a pine stand on peat. Comm. Inst. Forest. Fenn. 63, 4 (1967).
15. *Tamm C. O.*: Studier över skogens näringsförhållanden. IV. Effekten av kalium- och fosfortillförsel till ett oväxligt bestånd på dikad myr. Summary: Studies on forest nutrition. IV. The effects of supply of potassium and phosphorus to a poor stand on drained peat. Medd. Statens Skogsforskn. Inst. 46, 7 (1956).
16. *Tamm C. O.*: Some experiences from forest fertilization trials in Sweden. Silva Fennica 117 (1965).
17. *Thurman-Moe P.*: Eldre og nyere skogskultur- og gjödslingsförsök på Åsmyra. Norsk Skogbruk nr. 8-9 (1956).
18. *Viro P. J.*: Kangasmaan taimiston lannoitus. Summary: Manuring of young plantations. Comm. Inst. Forest. Fenn. 61, 4 (1966).
19. *Zehetmayr J. W. L.*: Experiments in tree planting on peat. For. Comm. Bull. 22, p. 1-94 (1954).

Kaliernährung und Wachstum von Kiefernkulturen und -beständen auf den verbreitetsten Standorten im nordostdeutschen Tiefland

Dr. H. H. KRAUSS, Leiter der Abteilung Forstdüngung und -melioration des Instituts für Forstwissenschaften Eberswalde, Berlin/Deutsche Demokratische Republik

1. Allgemeines

In den letzten Jahren wurden im nordostdeutschen Tiefland im Rahmen eines grösseren Forschungsprogramms des Instituts für Forstwissenschaften Eberswalde Untersuchungen über das Düngebedürfnis der wichtigsten Baumart dieses Gebiets, der Kiefer, durchgeführt. Hierzu legten wir auf den verbreitetsten anhydromorphen Böden (Braunerden, Lessivés und Podsolen) Nährstoffmangelversuche mit Kiefernkulturen und -beständen an. Die Versuche umfassten die Prüfung der Faktoren N, P, K, Mg und teilweise CaCO_3 . In Ergänzung dazu untersuchten wir auf grösserer Standortsbreite bei 50–60jährigen ungedüngten Kiefernbeständen Probleme der Ernährung und des Wachstums in Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung der Böden [14a.] Bei der Auswahl der Standorte konnten wir uns auf die Arbeiten der Standortkartierung stützen [11]. In Figur 1 wird anhand eines vereinfachten Schemas der im Untersuchungsgebiet vorkommenden Standortgruppen ein Überblick über die durch Versuche belegten Standorte gegeben. (Die flächenmässig weniger verbreiteten wechselfeuchten Standorte und die hydromorphen Standorte wurden nicht mit in das Untersuchungsprogramm einbezogen; auf ihre Wiedergabe in Figur 1 wird daher verzichtet).

Nach mehrjähriger Laufzeit der Untersuchungen ergaben die ersten Auswertungen von Boden-, Nadel- und Ertragsanalysen in Bestätigung der früher im Untersuchungsgebiet von Wittich [16] durchgeführten Arbeiten, dass der Stickstoff als verbreitetster wachstumsbegrenzender Faktor auftritt. Daneben spielt auf den von Natur aus schwächeren Standorten auch das Kalium eine bedeutsame Rolle. Demgegenüber wurde bisher bei den anhydromorphen und semihydromorphen Standorten in keinem Falle Phosphat- und Kalziummangel beobachtet. Auf bestimmten Standorten liess sich allerdings in Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Brüning [3] bei jungen Kulturen Magnesiummangel nachweisen. Es handelt sich dabei im allgemeinen um durch Ackerbau und anschliessende Oedlage herabgewirtschaftete Böden mit Grundwassereinfluss.

Die durch Stickstoff- und Kalidüngung erreichten Zuwachssteigerungen waren sehr bedeutend. Der Schaftvolumenzuwachs wurde bei mittellalten Kiefernkulturen auf bedürftigen Standorten im Mittel von 3 Jahren durch dreimalige N-Düngung auf fast das Dreifache, durch zweimalige K-Düngung auf nahezu das Zweifache gesteigert. Bei Beständen wurde unter ähnlichen Bedingungen 4 Jahre nach Versuchsbeginn bei N-Düngung ein Mehrzuwachs von 18 fm/ha gemessen, beim Kali stehen die Ergebnisse noch aus.

Trophie Wasserhaushalt		reich	kräftig	mittel	ziemlich arm arm	
anhydromorph	durchschnittlich (Trockenlagen)	R3	K3	M3	Z3	A3
	durchschnittlich mit wachstumsfördernden Schichten	R2	K2 (KBN)	M2 (KBN)	Z2 (KBN)	A2 (KBN)
				M2+	Z2+	A2+
semihydromorph	Grundwasser im Spätsommer in m Tiefe					A2++
	± 1,5	R1	K1	M1	Z1 (N)	A1 (N)
	± 0,8	NR2	NK2	NM2 (N)	NZ2 (N)	NA2 (N)
	± 0,4	NR1	NK1 (N)	NM1	NZ1	NA1 (N)

- (K) Kulturdüngungsversuche
 (B) Bestandesdüngungsversuche
 (N) Ernährungsuntersuchungen

1) Vereinfachtes Schema der Standortformengruppen nach D. Kopp 1966 (ohne Zustandsstufen, Wechselfeuchte und org. Naßstandorte)

Fig. 1: Düngebedürftigkeitsuntersuchungen auf Standorten im nordostdeutschen Tiefland.

In den folgenden Ausführungen sollen einige Ergebnisse unserer Untersuchungen über die Bedeutung des Kaliums für Ernährung und Wachstum der Kiefer in Abhängigkeit vom Standort aufgezeigt werden.

2. Kalidüngung und Mehrzuwachs

Bei Nährstoffmangelversuchen mit den zur Zeit der ersten Düngung (Frühjahr 1962) 5–7-jährigen Kiefernkulturen zeigte sich, dass die Mehraufnahme an gedüngtem Kalium auf den K-ärmsten Standorten am grössten war. Mit Zunahme der K-Versorgung der Böden ging jedoch der Einfluss der Kalidüngung zurück. So wurde zum Beispiel der prozentuale Kaliumgehalt der letztjährigen Nadeln durch dreimalige K-Düngung (insgesamt 200 kg K₂O/ha) bei NPMg-Grunddüngung auf gutversorgtem Standort von 0,48 auf 0,55% (= 110%), auf sehr gering versorgtem Standort aber von 0,24 auf 0,48% (= 200%) erhöht [8]. Der Mehrzuwachs reagierte entsprechend. Nach Messungen von Heinsdorf [9] (Figur 2) war bei Kulturen, deren einjährige Nadeln mit K% > 0,50 (= > 20 mg K/100 Nadelpaare)

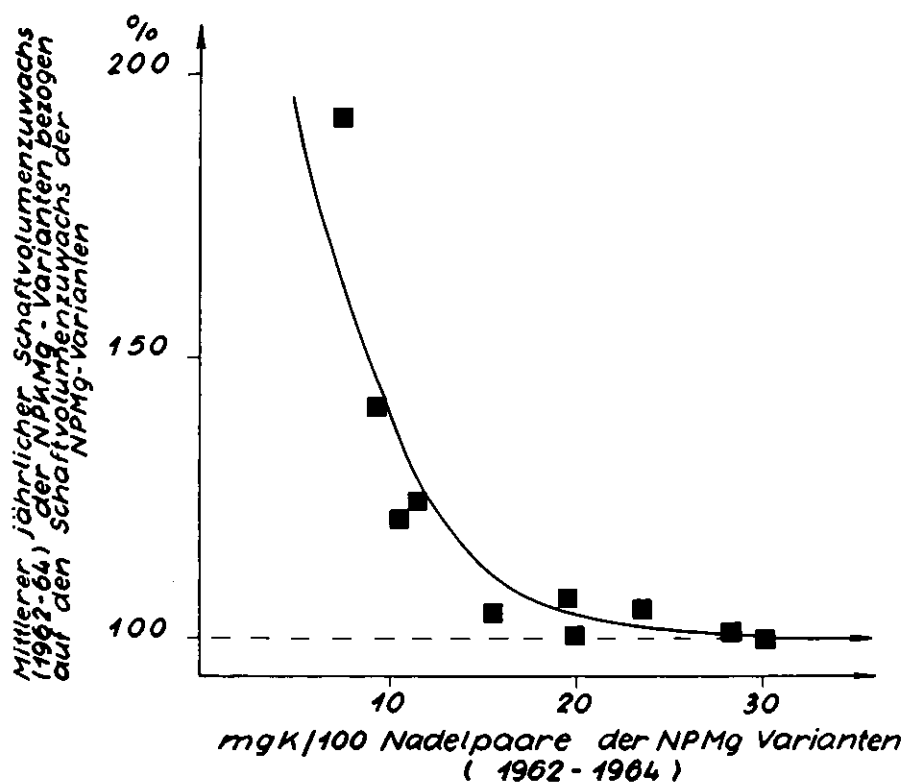


Fig. 2: Schaftvolumenmehrzuwachs nach K-Düngung und K-Ernährung von Kiefernkulturen.

kein signifikanter Mehrzuwachs festzustellen. Mittlerer bis geringer Mehrzuwachs ergab sich bei $K\%$ -Werten zwischen 0,35 bis 0,50 ($\approx 10-20$ mg K/100 Nadelpaare) und grosser Mehrzuwachs bei $K\% < 0,35\%$ ($\approx < 10$ mg K/100 Nadelpaare). Damit konnten bereits geläufige Vorstellungen über experimentell ermittelte Kalium-Grenzwerte [13, 6, 5, 14, 17, 3, 12] bestätigt und verfeinert werden.

Bei den entsprechenden Parallelversuchen mit 45-70jährigen Kiefernbeständen wurde der K-Gehalt der letztjährigen Nadeln nach bisher zweimaliger Düngung von je 140 kg K_2O/ha bei NPMg-Grunddüngung ebenfalls in Abhängigkeit vom Standort erhöht [10]. Da ausgesprochen K-arme Standorte mit geeigneten mittellalten Beständen guten Schlussgrads für unsere Versuchszwecke leider nicht gefunden werden konnten, verfügen wir zur Zeit nur über Düngeergebnisse von Kiefernbeständen mit mittlerer bis guter Kaliernährung. Hier stieg der K-Spiegel der Nadeln nach Düngung in Übereinstimmung mit den Kulturen bei Werten um 0,45% (ungedüngt) auf das 1,3-1,4fache an. Je besser die K-Ernährung der ungedüngten Bäume war, um so weniger nahm nach K-Düngung der K-Spiegel der Nadeln zu. Bei $K\%$ -Werten $> 0,60$ war schliesslich trotz sehr hoher K-Gaben eine Mehraufnahme nicht mehr festzustellen. Während bei N-Düngung auf den Standorten mit

schlechtem Bodenzustand grosser bis sehr grosser Mehrzuwachs beobachtet wurde, der sich in Durchmesser, Höhe, Volumen und Nadelmasse gleichsinnig widerspiegelte, trat bei Kalidüngung eine Zuwachssteigerung bisher noch nicht ein. Da sich K-Wirkungen vielfach sehr langsam entwickeln, kann Endgültiges noch nicht gesagt werden.

3. Bodenkaliump und Kaliumernährung

In Figur 3 sind die Zusammenhänge zwischen dem K-Gehalt des Bodens und dem K-Gehalt letztjähriger Nadeln von Kulturen und mittelalten Beständen dargestellt.

Bodenkalium: Bauschanalyse (HF-Aufschluss nach Behm [1] im mg/100 g Boden). Mittel von Proben der oberen 40–50-cm-Bodenschicht. *Nadelentnahme:* September bis November 1964 vom Terminaltrieb und 1. Wirtel.

Die Korrelation ist mit $B = 0,61 (+ + +)$ hochsignifikant. Kulturen und Bestände fügen sich gleichsinnig in den Punkteschwarm ein. Ihre Regressionen sind nach statistischer Prüfung als homogen anzusehen. Das bedeutet, Kulturen und Bestände weisen im Untersuchungsgebiet bei gleichen K-Gehalten der Böden etwa gleiche K-Konzentrationen in den Nadeln auf und stellen somit ähnliche Ansprüche an die K-Versorgung der Böden. Das ist nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, dass ältere Kulturen in Volumenzuwachs und absolutem Nährstoffbedarf mittelalten Beständen kaum nachstehen.

Der K-Gehalt der Nadeln schwankt bei den Versuchsbeständen zwischen 0,32 und 0,65%, wobei ein wesentlicher Anteil mit Werten $< 0,50\%$ K bereits im Mangelbereich liegt. Demgegenüber stellte Wehrmann [15] bei seinen Untersuchungen über die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen in Bayern nur in sehr vereinzelt Fällen Kiefern mit mangelhafter K-Ernährung fest.

Wie aus Figur 3 weiterhin zu entnehmen ist, liegt der durchschnittliche K-Gehalt der Oberböden der untersuchten Standorte etwa zwischen 500 und 1200 mg.

In Anlehnung an die von Heinsdorf [9] im gleichen Gebiet ermittelten Grenzwerte kann demzufolge angenommen werden, dass bei Böden mit K-Gehalten des Oberbodens $> \sim 800\text{--}900$ mg eine K-Düngung im allgemeinen wirkungslos bleiben wird. Hierunter fallen ausnahmslos die Böden der Standortsformengruppen K und besser.

Geringe bis mittlere K-Düngewirkungen werden zu erzielen sein bei den M-, Z- und dem besseren Teil der A-Standorte. Der Oberboden weist K-Gehalte auf zwischen 500–600 und 800–900 mg.

Bei Böden mit einem K-Spiegel $< 500\text{--}600$ mg dürfte mit grossen K-Wirkungen zu rechnen sein. Es handelt sich hierbei um die geringeren Böden der Standortsformengruppe A.

Auf Einzelfälle, bei denen zum Beispiel infolge Schwerverwitterbarkeit der Silikate zu geringe oder andererseits infolge besonders feiner Beschaffenheit der Bodentextur zu hohe K-Gehalte in den Nadeln beobachtet wurden, kann hier nicht eingegangen werden. Die soeben entwickelte, den Standortsformengruppen angepasste Klassifizierung nach der K-Düngebedürftigkeit der Böden ist für die praktische Düngung insofern von Bedeutung, als für jeden Forstwirtschaftsbetrieb Standortskarten mit einer entsprechenden Gliederung vorliegen. Es ist daher möglich, die in der Natur nach äusseren Merkmalen sehr schwer erkennbaren K-dünge-

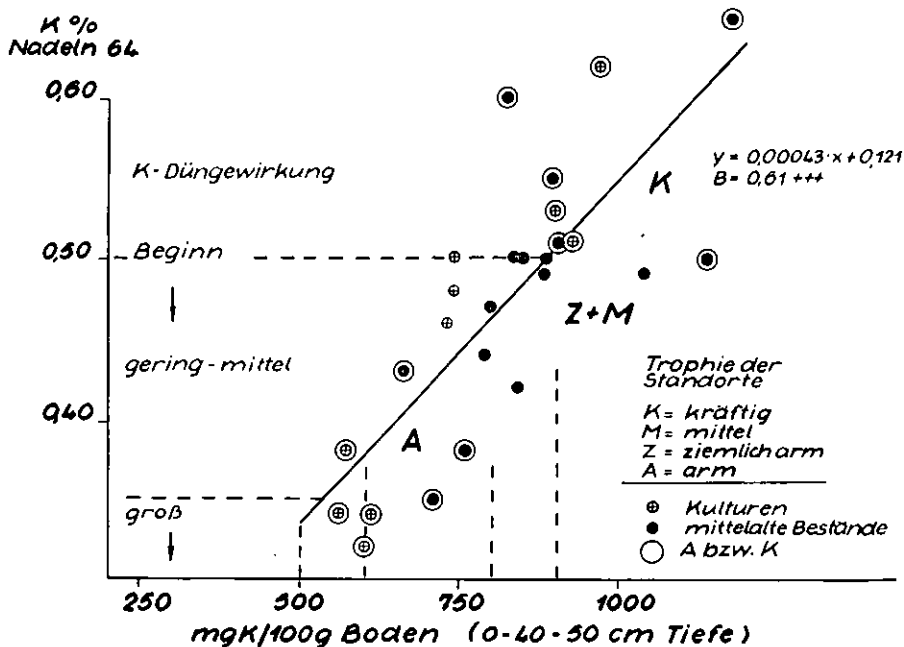


Fig.3: K % der Nadeln und mg K/100 g Boden bei 6-8-jährigen Kiefern-kulturen und 50-60-jährigen Kiefernbeständen auf anhydromorphen Standorten Nordostdeutschlands.

bedürftigen Standorte anhand der Standortskarte mit Aussicht auf Erfolg zu bestimmen.

Da die K-Konzentration der Nadeln stark vom Nadelwachstum abhängig ist, erhält man in der Regel bessere Korrelationen zwischen den Nährstoffwerten von Boden und Nadeln, wenn man die Nadelspiegelwerte als mg Nährstoff/100 Nadeln¹ angibt.

Zur Verdeutlichung sind die Beziehungen zwischen K%, mg K/100 Nadeln und 100-Nadel-Masse des bisher besprochenen Materials in Figur 4 angegeben. Die Zusammenhänge stellen sich in Form einer Parabel dar. Die armen Standorte (links unten) sind gekennzeichnet durch geringe K-Ernährung und durch 100-Nadel-Massen zwischen 2 und 3 g. Mit zunehmender Verbesserung der absoluten K-Gehalte (mg K) wird die 100-Nadel-Masse grösser. Die Vergrößerung ist allerdings nicht allein auf das Kali zurückzuführen, sondern muss als Folge einer allgemeinen Verbesserung der Wachstumsbedingungen der Standorte angesehen werden, wobei jedoch nach den bisherigen Versuchsunterlagen dem Stickstoff und dem Kalium vorrangige Bedeutung zukommen. Die abnehmende Vergrößerung der K%-Werte ist auf die verdünnende Wirkung des Nadelwachstums zurückzuführen.

Anhand der in Figur 4 dargestellten Beziehungen lassen sich die Grenzwerte der relativen K-Gehalte der Nadeln in absolute Werte (mg K/100 Nadeln) übertragen.

¹ Bei den 100-Nadel-Angaben handelt es sich stets um 100 Nadelpaare.

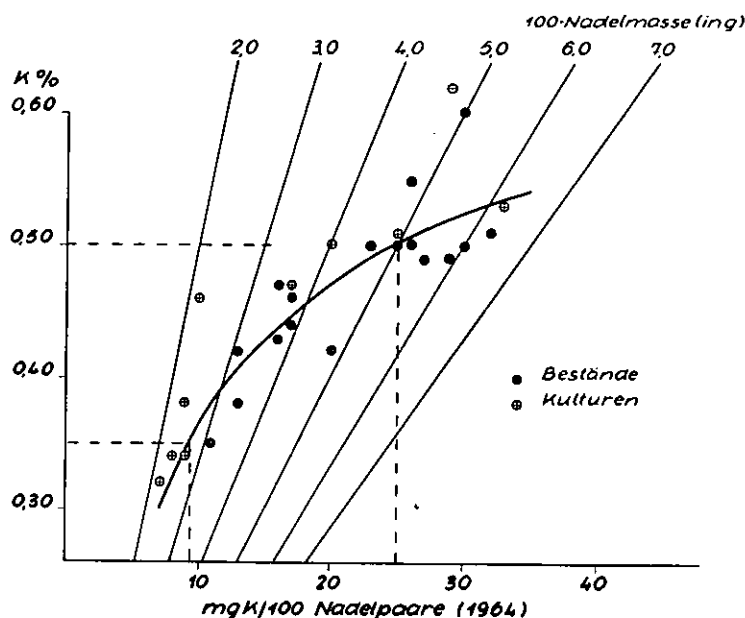


Fig. 4: K % der Nadeln und mg K/100 Nadelpaare bei mittelalten Kiefernkulturen und 50-60jährigen Kiefernbeständen auf anhydromorphen Standorten in Nordostdeutschland.

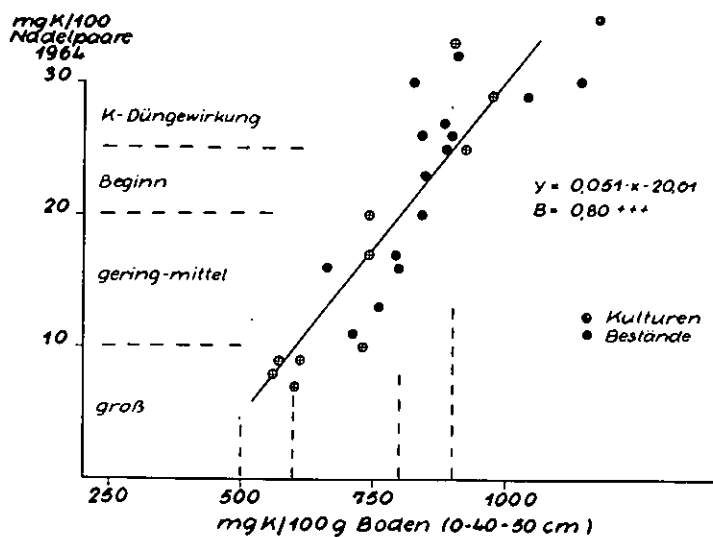


Fig. 5: mg K/100 Nadelpaare und mg K/100 g Boden bei mittelalten Kiefernkulturen und 50-60jährigen Kiefernbeständen auf anhydromorphen Standorten Nordostdeutschlands.

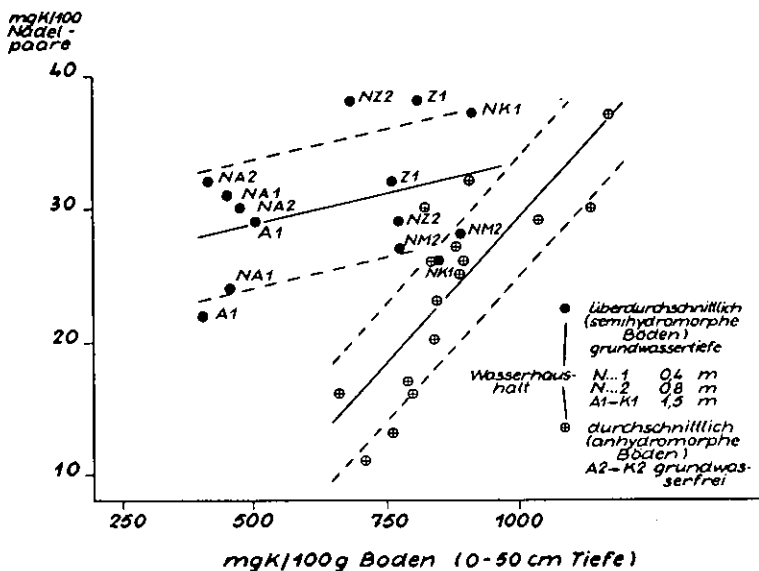


Fig. 6: mg K/100 Nadelpaare und mg K/100 g Boden (0-50 cm Tiefe) bei 50-60jährigen Kiefernbeständen auf anhydromorphen und semihydromorphen Standorten Nordostdeutschlands.

Unter Berücksichtigung der eingangs erwähnten Grenzwerte von *Heinsdorf* [9] dürfte K-Mangel bei etwa 20-25 mg K beginnen, während starker K-Mangel bei Werten $< \sim 10$ mg K anzunehmen ist.

In Figur 5 sind im Vergleich zu Figur 3 die Beziehungen zwischen den absoluten K-Werten von Nadeln und Boden dargestellt. Sie sind mit $B = 0,80$ (+ + +) beträchtlich straffer. Mit Vergrößerung des Bodenkalkiums um 100 mg nimmt nach der Regressionsgleichung das Kalium der Nadeln durchschnittlich um 5 mg zu. Da die absoluten Nährstoffwerte der Nadeln weitgehend von Wachstumseinflüssen (Verdünnung, Anreicherungen) bereinigt sind, lassen sich Zusammenhänge schärfer herausarbeiten. Sie eignen sich daher für viele Zwecke besser als prozentuale Nährstoffwerte.

Bezieht man die semihydromorphen Böden mit in die Betrachtung ein, so ergeben sich wichtige Einblicke mit bedeutsamen Konsequenzen für die praktische Düngung. Es zeigt sich nämlich (Figur 6), dass die Kiefern der semihydromorphen Böden bei gleichem Kaliumgehalt des Bodens eine signifikant bessere Kaliumernährung besitzen. Da der Regressionskoeffizient für die Wertepaare dieser Böden nicht gesichert ist, muss man annehmen, dass bei den semihydromorphen Böden sogar zwischen den Trophiestufen A bis K in der K-Ernährung keine grundsätzlichen Unterschiede bestehen. Der K-Gehalt des von den Kiefernwurzeln in allen Fällen erreichbaren Grundwassers reicht demzufolge aus, um selbst unter sehr K-

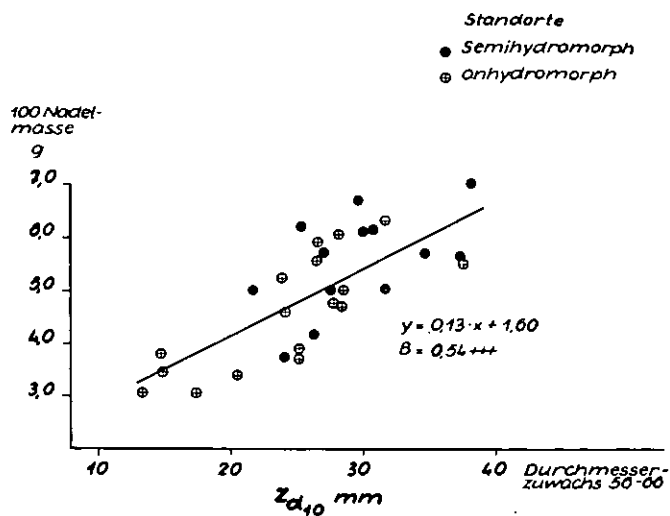


Fig. 7: 100-Nadel-Masse und Durchmesserzuwachs (10 Jahre in mm).

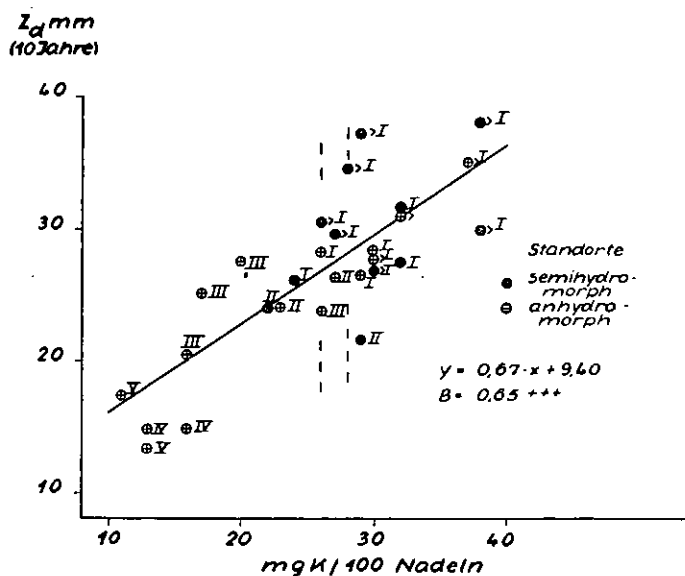


Fig. 8: Durchmesserzuwachs (mm) der letzten 10 Jahre und mg K/100 Nadeln.

armen Bedingungen der mineralischen Bodenkomponente (im Figurbeispiel Böden mit $< 500 \text{ mg K}/100 \text{ g Boden}$) eine völlig ausreichende K-Ernährung sicherzustellen. So liegt in 12 von 14 Fällen die K-Ernährung mit Werten zwischen 26 und 38 $\text{mg K}/100 \text{ Nadeln}$ ($= \text{K}\% > 0,50$) im absolut mangelfreien Bereich. Auch bei den 2 restlichen Fällen ist die K-Ernährung mit 22 bis 24 mg K noch keineswegs ungünstig.

4. Kaliumernährung und Zuwachs

Wie bereits erwähnt, bestehen im Untersuchungsgebiet deutliche Zusammenhänge zwischen der 100-Nadel-Masse und der K-Ernährung (Figur 4). So haben z. B. die Kiefern der K-Standorte infolge allgemein höherer Anteile an Silikaten in der Regel eine bessere K-Ernährung sowie grössere und schwerere Nadeln als die der schwachen Standorte. Da zwischen 100-Nadel-Masse und Baumzuwachs enge Beziehungen bestehen (Figur 7), ist ein ähnlich straffer Zusammenhang auch mit dem Zuwachs zu erwarten.

Figur 8 zeigt die Korrelation zwischen dem Durchmesserzuwachs der letzten 10 Jahre und dem absoluten K-Gehalt der Nadeln. Sie ist mit $B = 0,65 (+ + +)$ sehr gut statistisch gesichert und lässt erkennen, dass der Zuwachs der Kiefernbestände mit Verbesserung der K-Ernährung deutlich grösser wird. So verfügen, wie in Figur 8 eingezeichnet, die IV. und V. Kiefernbonitäten, die grossenteils auf den A-Standorten vorkommen (vergleiche Figur 3), über eine schwache und die I. Kiefernbonitäten, zu denen neben den K-Standorten nahezu alle semihydromorphen Standorte zählen, über eine sehr gute K-Ernährung.

Bei näherer Betrachtung der Figur 8 fällt jedoch eine weitere Gliederungsmöglichkeit des Punkteschwarms auf. Bei gleicher K-Ernährung ist nämlich ein deutliches Ansteigen der Bonitäten zu erkennen. Sie werden zum Beispiel im Bereich zwischen 26 und 28 mg K vom unteren nach dem oberen Rand des Punkteschwarms hin von III. über II. auf $> \text{I.}$ Bonität deutlich besser. Diese Ertragsverbesserung hängt mit der N-Ernährung zusammen, denn der N-Gehalt von 100 Nadeln steigt von 60–70 auf 100–110 mg an . In der Regression des Punkteschwarms ist also noch ein N-Einfluss enthalten.

Es wurde nun versucht, den Einfluss des Stickstoffs durch eine multiple Regressionsrechnung einzuschätzen. Dabei zeigte sich, dass die einfachen Regressionskoeffizienten $b_N = 0,22 (+ + +)$ und $b_K = 0,67 (+ + +)$ um ca. die Hälfte auf $b_{N,K} = 0,12 (+ + +)$ beziehungsweise $b_{K,N} = 0,37 (+ + +)$ absinken. Darin kommt der beidseitige Einfluss von Stickstoff und Kalium auf den Zuwachs zum Ausdruck. Man muss also bei Betrachtung der Figur 8 beachten, dass ein nennenswerter Anteil des Mehrzuwachses auf das Konto des Stickstoffes geht.

Aus der Gegenüberstellung der Regressionskoeffizienten lässt sich weiterhin ableiten, dass zur Erzeugung eines bestimmten Mehrzuwachses im Vergleich zum Kalium etwa die dreifache Menge an Stickstoff benötigt wird. Dieses Verhältnis stimmt annähernd mit unseren Ermittlungen über die Nährstoffspeicherung von Kulturen überein. Von Heinsdorf [7] wurden bei ungedüngten Kulturen N:K-Verhältnisse zwischen $\frac{2,1-3,6}{2,6}$ festgestellt. Derartige Hinweise sind für die bei der Düngung anzustrebende Relation N:K durchaus beachtenswert und geben zu folgender Überlegung Anlass:

Bei mittelalten Kiefernkulturen fanden wir $\frac{8,8-19,3}{15,4}$ % des gedüngten Stickstoffs und $\frac{6,0-11,3}{8,3}$ % des gedüngten Kalis in den Kiefernpflanzen wieder. *Wittich* [17]

hatte zuvor Werte ähnlicher Grössenordnung gefunden, sie lagen lediglich beim Kalium ein wenig höher. Man kann also annehmen, dass der NK-Dünger in den ersten Jahren nach der Düngung durchschnittlich im Verhältnis 1:0,5 verwertet wird. Unterstellt man nun für den Bedarf der Kiefer ein Verhältnis N:K = 2,6-3,0:1,0 und berücksichtigt die schlechtere Verwertung des Kaliums, so resultiert daraus ein N:K-Verhältnis der Düngung auf K-bedürftigen Standorten von etwa 1,0:0,6-0,7 beziehungsweise N:K₂O = 1,0:0,7-0,8.

Ein annähernd dieser Relation entsprechendes Verhältnis scheint aus Gründen der Ertragswirksamkeit und des finanziellen Aufwandes für die NK-Düngung im nordostdeutschen Tiefland sehr rationell. Es genügt nach unseren Erfahrungen mit Düngeversuchen durchaus, wenn auf drei N-Düngungen zu je 100 kg/ha drei K-Düngungen zu je 70-80 kg K₂O/ha entfallen. Die K-Ernährung wird hierdurch selbst unter äusserst mangelhaften Bedingungen sehr rasch und relativ nachhaltig auf ein ausreichend hohes Niveau angehoben. N:K-Verhältnisse von 1:1,5, wie sie verschiedentlich in der Landwirtschaft empfohlen werden [2], sind für die Kiefern-düngung zu weit. Aber auch in der Landwirtschaft setzen sich in letzter Zeit Bestrebungen zur Verengung des N:K-Verhältnisses mehr und mehr durch.

Insgesamt gesehen, kann für die Kieferndüngung im nordostdeutschen Tiefland gesagt werden, dass auf den weit verbreiteten, relativ kaliumarmen Böden der Standortformengruppen M und geringer neben der Stickstoff- die Kalidüngung unentbehrlich ist. Dabei erweist sich zur Düngung ein N:K-Verhältnis von 1:0,6-0,7 als völlig ausreichend zur Beseitigung von standörtlich gegebenem oder durch N-Düngung induziertem K-Mangel.

Zusammenfassung

Untersuchungen über Kaliumernährung und Wachstum von Kiefernkulturen und -beständen im nordostdeutschen Tiefland ergaben folgendes:

1. Auf der Grundlage mehrjähriger Ergebnisse von Mangeldüngungsversuchen auf den verbreitetsten anhydromorphen Böden mit Kiefernkulturen ergaben sich für das Kalium folgende Vorstellungen über Grenzwerte:

	Beginn	K-Düngewirkung gering-mittel	gross
K % letztjähriger Nadeln	0,50	0,50-0,35	< 0,35
mg K/100 Nadelpaare	20- 25	20- 10	< 10
mg K/100 g Boden ¹	800-900	800-600	< 500-600

¹ mgK = Tot K-Kalium der Tiefenstufe 0-40/50 cm, ermittelt im HF-Aufschluss nach *Behm* [1].

2. Bei anhydromorphen Böden bestehen zwischen Bodenkalkium und Kaliumernährung der Kiefer signifikante Beziehungen. Dabei sind die Zusammenhänge straffer, wenn statt K % der Nadeln mg/100 Nadelpaare (= K % $\times$ 100-Nadel-Masse) benutzt wird.

Mittelalte Kulturen und Bestände weisen bei gleichen K-Gehalten der Böden etwa gleiche K-Gehalte in den Nadeln auf.

K-Mangel beginnt bei den Standortsformengruppen M und Z (mittlere und ziemlich arme Standorte). Bei A-Standorten (arme Standorte) ist im allgemeinen mit grossem K-Mangel zu rechnen.

3. Der K-Gehalt semihydromorpher Böden zeigt nach den Ergebnissen unserer Untersuchungen keine signifikanten Beziehungen zur Kaliumernährung der aufstockenden Kiefern, denn selbst auf den kaliumärmsten dieser Böden ist die K-Ernährung mangelfrei. Semihydromorphe Böden scheiden daher vorerst für die Kalidüngung aus.

4. Bei allen untersuchten Standorten bestehen zwischen Kaliumernährung und (Durchmesser-) Zuwachs gesicherte Beziehungen.

Am Beispiel einer multiplen Regressionsanalyse wird gezeigt, dass neben dem Kalium besonders der Stickstoff als signifikanter zuwachswirksamer Faktor anzusehen ist.

Aus dem Verhältnis N:K der Regressionskoeffizienten = 1:3 wird in Anlehnung an wirkliche Entzüge (N:K = 1: 2,6) und unter Berücksichtigung der Verwertung des gedüngten Kaliums (= 8,3%) ein N:K-Verhältnis für die praktische Düngung von 1,0:0,6-0,7 (N:K₂O = 1:0,7-0,8) abgeleitet.

Bibliographie

1. Behm R.: Zur Bestimmung des Gesamtgehalts an K, Ca, P, Mg in Waldböden. Arch. Forstwes. 13, 963-976 (1964).
2. Bergmann W.: Auftreten, Erkennen und Verhüten von Nährstoffmangel bei Kulturpflanzen. S. 43, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin 1960.
3. Brüning D.: Forstdüngung. Neumann-Verlag, Leipzig 1959.
4. Brüning D.: Über die Wirkung von Pflanzennährstoffen auf das Wachstum von Kiefern im Jugendstadium. Allg. Forst- und Jagdztg. 132, 108-177 (1961).
5. Goor C. P. van: Kaligebrek als oorzaak van gelepuntziekte van groveden (Pinus sylvestris) en Corsicaanseden (Pinus nigra var. corsicana). Nederl. Bosb. T. 28, 21-31 (1956).
6. Heiberg S. O. und White D. P.: Potassium deficiency of reforested pine and spruce stands in Northern New York. Proc. Soil Sci. Soc. Americ. 15, 169-276 (1951).
7. Heinsdorf D.: Untersuchungen über den Ernährungszustand und die Düngebedürftigkeit von Kiefernkulturen auf Sandböden in Mittelbrandenburg. Diss. Eberswalde 1965.
8. Heinsdorf D.: Untersuchungen über die Wirkung mineralischer Düngung auf das Wachstum und den Ernährungszustand von Kiefernkulturen auf Sandböden im nordostdeutschen Tiefland. II. Der Einfluss der Düngung auf den Ernährungszustand der Kiefernkulturen. Arch. Forstwes. 16, 3-35 (1967).
9. Heinsdorf D.: Untersuchungen über die Wirkung mineralischer Düngung auf das Wachstum und den Ernährungszustand von Kiefernkulturen auf Sandböden im nordostdeutschen Tiefland. V. Versuch zur Ableitung von Grenzwerten anhand der Düngungsergebnisse. Arch. Forstwes. 16, 529-544 (1967).
10. Hippeli P.: Der Einfluss wiederholter NPKCaMg-Düngung auf die Ernährung mittelalter Kiefernbestände auf verbreiteten Standorten des nordostdeutschen Tieflands (vorläufige Mitteilung). Arch. Forstwes. 16, 1073-1086 (1967).
11. Kopp D.: Verfahren der Standortserkundung und Möglichkeiten der Auswertung für die zentrale und regionale Planung im Nordostdeutschen Tiefland. Sozialist. Forstwirtschaft. Beilage H. 7, 1-15 (1966).
12. Krauss H. H.: Untersuchungen über die Melioration degraderter Sandböden im nordostdeutschen Tiefland. IV. Kalkungs- und Hilfspflanzenanbauversuche - Ernährung und Wachstum meliorierter Kiefernkulturen. Arch. Forstwes. 14, H. 5, 499-532 (1965).
13. Siebting H.: Lehrbuch der Bodenkunde und Pflanzenernährung. Hannover 1949.
14. Tamm C. O.: The effects of nitrogen fertilization on tree growth and foliage composition in a forest stand. VI. Congrès Internat. de la Science du Sol, Paris 1956.
- 14a. Tölle H.: Untersuchungen über die NK-Ernährung und das Wachstum mittelalter Kiefernbestände im Tiefland. Tagungsber. DAL Berlin. Im Druck.
15. Wehrmann J.: Die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen in Bayern. Forstwiss. Centralbl. 78, 5/6, 129-149 (1959).
16. Wittich W.: Der Einfluss der Streunutzung auf den Boden. Forstwiss. Centralbl. 70, 65-92 (1951).
17. Wittich W.: Auswertung eines forstlichen Düngungsversuchs auf einem Standort mit für weite Gebiete Deutschlands typischem Nährstoffhaushalt. Bochum 1958, 1-48.

Potassium Deficiency and Response in Young Conifer Forests in Eastern North America¹

E. L. STONE, Charles Lathrop Pack Professor of Forest Soils, Cornell University, Ithaca, New York, and A. L. LEAF, Professor of Silviculture, College of Forestry, State University of New York, Syracuse, New York USA

Planted and self-sown young forests occupy a large area of former agricultural land in northeastern United States and southeastern Canada. A fraction of this area consists of very sandy soils on which potassium (K) deficiency, alone or in combination with magnesium (Mg) deficiency, is commonly a major limiting factor for tree growth. An appreciable literature on this topic has developed, and in this paper we summarize several aspects of our present understanding of K deficiency and response in these young conifer forests.

In 1943 Professor S. O. Heiberg, studying the poor growth of plantations on sandy soils of the Pack Forest, Warrensburg, New York, applied major nutrient carriers individually to stunted *Pinus resinosa*. The only consequential response was to K, and it was prompt, large and lasting [3]. Since that time numerous other experiments and observations have established the widespread occurrence of deficiency, especially in New York and Quebec [2, 13, 14, 16, 24-29, 31]. Figure 1 indicates most of the reported instances. The area subject to deficiency is widely distributed, however, and observations are limited both by the occurrence of forest stands suitable for study and by the relatively few investigators.

Effects of Potassium Deficiency

The effects of K deficiency include a lowered content of the element in foliage, bark and wood, shorter and discolored foliage, premature loss of foliage, and retarded growth in height and diameter [2, 3-10, 13-15, 17-20, 25, 27]. Deficiency in young trees delays root extension and height growth, and so prolongs the number of years in which small trees are susceptible to drought, growing season frosts, or shrub competition. Each of these three factors is a serious hazard on some sandy soils [13, 27] and capable of further delaying growth and reducing stocking. The marked effect of K status on older trees is exemplified by associations between foliar concentration² and growth in height (figure 2) or volume (figure 3) as well as by the response to added fertilizer (figures 5 and 6) as discussed later.

The K status of trees affects not only the growth and vigour of stands, but also other properties and interactions, including animal and insect damage. Thus, addition of K to K-deficient *Pinus strobus* increased growth, but also increased the number of trees attacked by the weevil (*Pissodes strobi*) by over 50% (from 55 to

¹ Cornell University, Department of Agronomy, Paper No. 784.

² Except as otherwise indicated, foliar concentration means dry weight percentage in first year foliage collected from a standard position in the upper crown between late September and November.

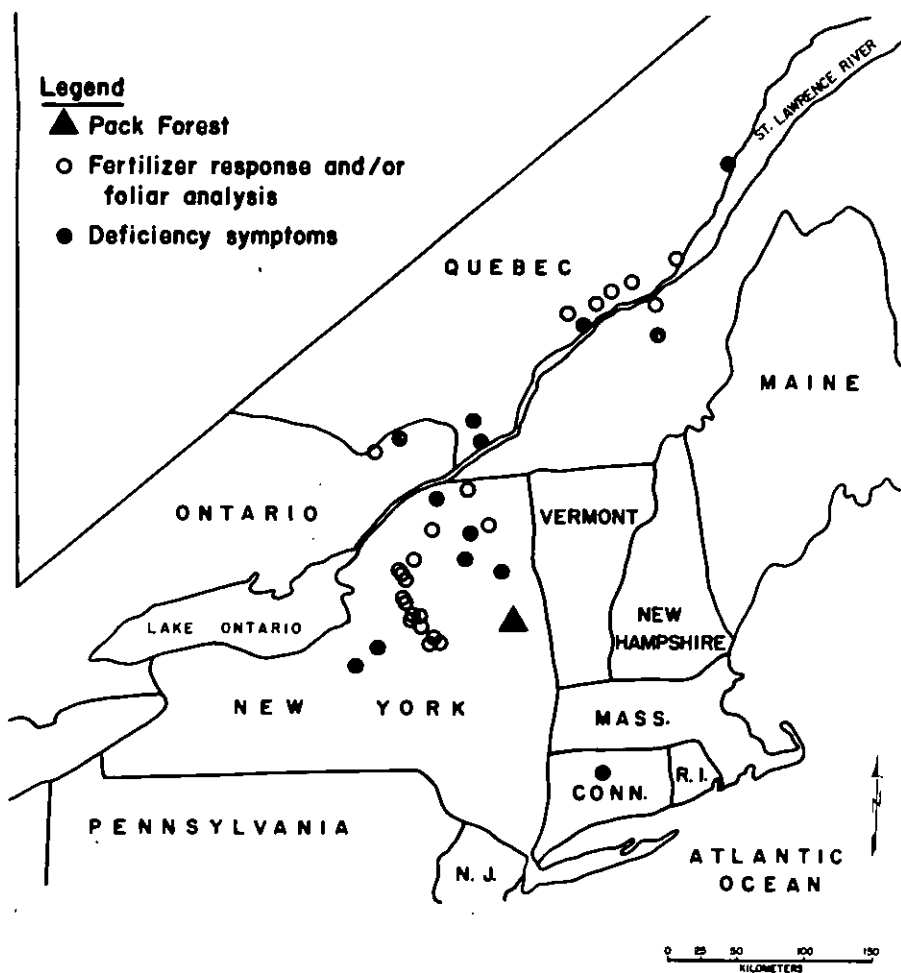


Fig. 1: Reported occurrences of K deficiency in natural or planted conifers (Sources: 2, 3, 13, 14, 16, 26, 27, 28, 30, and unpubl.).

80%), and the frequency of weevil damage per tree (from 1.4 to 1.8) [38]. Hares (*Lepus americanus*) browsed 88% of *Pinus resinosa* on K-treated plots, whereas only 3% of the surrounding untreated trees were damaged (3). On the other hand, needle loss from unknown causes in *P. resinosa* was found much less severe in K-treated trees than in adjacent controls [10]. Finally, K-status may also affect wood quality; hence the effects of K fertilization on density, fiber length, and early wood – late wood proportion, which affect pulping qualities, are currently under investigation.

Because of its evident effects on foliage color and density, K fertilization is required for commercial production of *Picea glauca* and *Abies balsamea*, and sometimes *Pinus sylvestris* also, as Christmas trees on the sandy soils described.

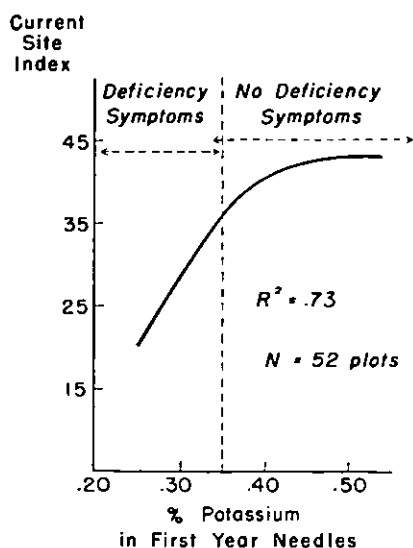


Fig. 2: Relationship of current height growth to K concentration in mature first year foliage; *Pinus resinosa* plantations in New York (from Stone *et al.* [25]).

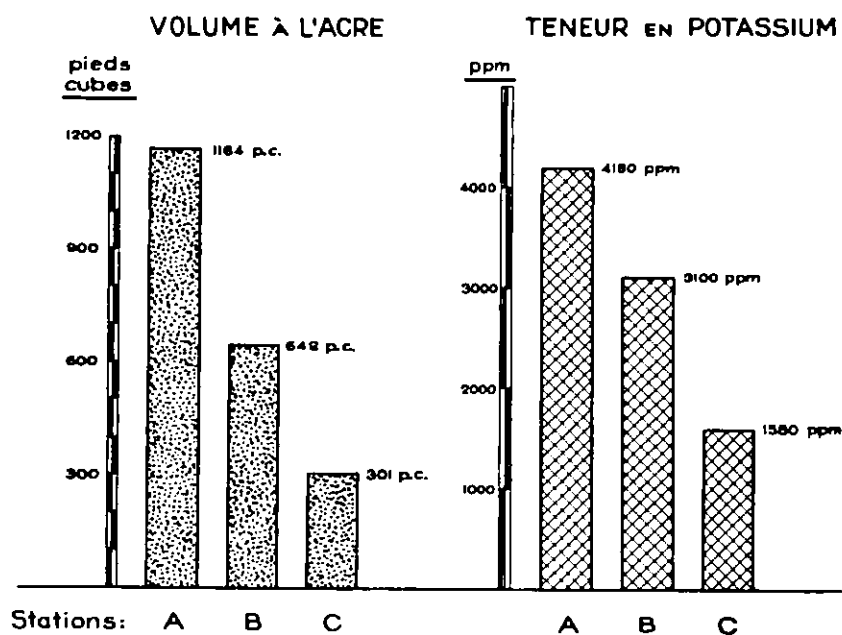


Fig. 3: Association of total volume and K concentration in first and second year foliage; *Picea glauca* in Quebec (from Lafond [13]).

Soils Subject to Deficiency

The soils on which K deficiency may occur are classified in several soil series but have many features in common. They are strongly acid podzols or brown podzolics (Spodosols) on coarse textured fluvioglacial outwash (e. g., Adams, Colton, Merrimack, Hinckley and Colosse catenas), or coarse till (e. g., Herman, Beckett, and Gloucester catenas), derived from acid crystalline rocks or sandstones. Characteristic profiles are described in soil survey reports (e. g., [21]) and discussed briefly by several authors [3, 13, 27]. Without exception, the affected soils were formerly either cultivated, cleared for pasture or, occasionally, only burned severely so that the original surface humus layer was destroyed. Small but significant areas have been affected by wind erosion and deposition. The entire sequence of cultivation and abandonment, or logging and burning, followed by planting or natural seeding of conifers, has taken place within a time span of from less than a century to not more than two centuries. Hence, historical records or the vegetation of adjacent less-disturbed soils give clear evidence of higher productivity in the past. Most investigators have assumed that deficient stands could be restored to a higher level of sustained productivity by overcoming the single or very few limiting factors (e. g., [10]). Hence, attention has been focused on indicative soil analyses and on distribution of K in the ecosystem, rather than on comprehensive fertilizer experiments.

Previous reports [3, 16, 26–27, 33] have presented results of mechanical and chemical analyses. In the North American classification the surface soil textures are sands, loamy sands, or sandy loams low in clay. The content of clay (less than 0.002 mm) in the sands and loamy sands seldom exceeds 4%; the silt (0.05–0.002 mm) varies from 1 to 25%. Generally, the underlying layers are even sandier, but stratified deposits may contain layers high in very fine sand (0.10–0.05 mm) or silt at depths from 1 to several meters. In occasional instances the sands may overlie gravels, clay [14, 26], glacial till, bedrock [27] or water tables [12] within rooting depth. Roots of large trees penetrate to depths of 4 to 5 meters in many sands; in others, however, mechanical impedance may restrict penetration to less than 2 meters. In one third of 41 plots of *Pinus resinosa* on sandy soils, current growth was at least one site quality class higher than the mean indicated by total height and age above breast height [25]. This increase is attributed to exploitation of greater soil volume or more favorable layers as the root system developed. Another result of substrate variability is that adjacent portions of a single plantation frequently differ markedly in growth rate, although the soil surface appears unchanged.

Formerly cultivated soils usually contain 3–6% organic matter in the surface horizon (0–18 cm) and 1–4 in the next 30 cm layer, excepting the wind-eroded areas [27]. In consequence the nitrogen supply appears generally adequate for pines; added nitrogen has given no response in *Pinus resinosa* at the Pack Forest [3, 10, 38], and LaFond [13] found none in pines in Quebec. Similarly, foliar analysis from 52 plots of *P. resinosa* in New York showed no significant association between current growth and leaf concentration of N [27]. The same was true for phosphorus. *Picea* and *Abies balsamea*, however, commonly respond to added nitrogen when acute K deficiency is overcome.

Total K content is relatively high (ca. 1.5 to 2.5%) in the several soil types derived from crystalline rocks [1, 34]. These large reserves probably account for the restric-

tion of K deficiency to only formerly cultivated or burned soils, even on the coarsest textured materials.

Total exchange capacity of sands and loamy sands ranges between 4 and 18 me/100 g in the surface horizon (0–18 cm) and is only moderately well correlated with loss on ignition ($r = 0.63$). Base saturation is seldom greater than 20% and generally less than 5%. The concentration of exchangeable potassium is likewise extremely low, usually between 0.02 and 0.06 me/100 g in the 0–18 cm depth and 0.01 to 0.02 in the next 30 cm. This content is somewhat correlated with loss on ignition ($r = 0.53$) or pH ($r = 0.59$) but more closely with exchange capacity ($r = 0.71$) [27].

The concentration of exchangeable K in the surface layer is not closely correlated with the occurrence or degree of deficiency. Even in paired comparisons within the same plantation, soil from the poorer plot may contain as much or more exchangeable K as that from the better [27]. Accordingly, attention has been given to other means of estimating plant-available K, and especially to extraction of various layers by the boiling $NHNO_3$ procedure of Wood and DeTurk [37] or modifications of it. In an intensive study of 5 plots on the Pack Forest, White and Leaf [34, 35] found a high correlation between K content in the upper 1.7 meters depth of soil extracted by 0.5 $NHNO_3$ and the total height of 30-year *P. resinosa* ($r = 0.95$), as well as with the content of K in the total stand ($r = 0.95$), in stemwood ($r = 0.89$), in live branches ($r = 0.96$), and in stembark ($r = 0.81$). No statistically significant relationships were found between this measure of soil K content or K content in the biomass and K concentration in current or older foliage. A more widespread survey by Taylor and Stone [27], however, indicated moderate correlations ($r = 0.53$) between current growth, on the one hand, and concentration of $NHNO_3$ -extractable K in either the surface horizon or the 0–18 plus 18–48 cm layers.

The latter findings accord with Reitemeier's [23] conclusion on the limitations of acid extraction procedures for soils with low potassium supplying capacity. Nevertheless, the large amounts of K (ca. 150 to 600 p. p. m.) removed by $NHNO_3$ from very fine sand or silty strata contrast with the much smaller amounts in the remainder of the profile [27, 34] and suggest that these strata probably contribute strongly to K nutrition over the long term.

Diagnosis of Deficiency, and Soil K-Leaf K Relationships

The symptoms of K deficiency in field-grown conifers are now generally known [3, 4, 13, 28]. In pines the symptoms are distinctive, and in the long needled species a 'halo effect' produced by apical discoloration of the older foliage is visible at a distance. Superimposition of moderate Mg deficiency seems to accentuate the appearance of K deficiency symptoms. Symptoms of both deficiencies are closely related to the foliar concentrations of the respective elements¹, as shown by figure 4, which summarizes a survey of *Pinus resinosa* plantations. The limits at which deficiency symptoms appear in *Pinus strobus* are less precisely defined, but seem to be about 0.40%. Hence, deficiency is readily diagnosed by either visual symptoms or foliar analysis.

¹As already noted through citations elsewhere, the earlier published [24] value of 0.12% Mg as critical for appearance of severe symptoms in *Pinus resinosa* is wrong. This is a result of interference by the high manganese content of such foliage in the analytical procedure then used. Figure 4 shows the appropriate value to be 0.04–0.05%.

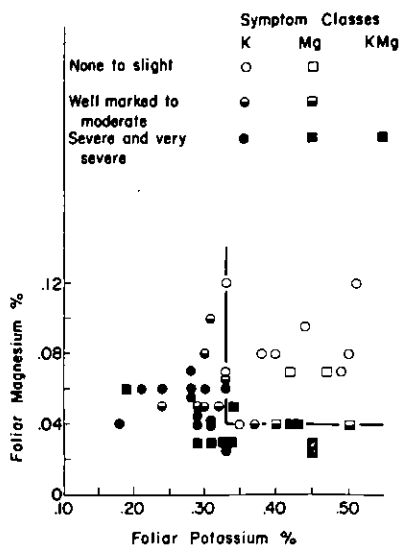


Fig.4: Association between foliar deficiency symptoms and K and Mg concentrations; *Pinus resinosa* in New York (from Taylor [27]).

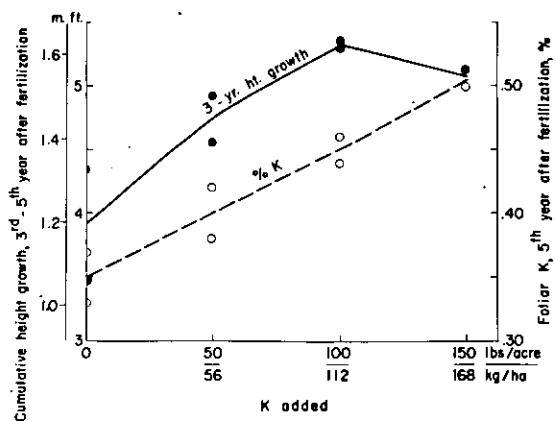


Fig.5: Response of a 26-year old *Pinus resinosa* plantation to K fertilization; Oneida County New York (from Taylor [27]).

In *Picea* spp. and *Abies balsamea*, by contrast, the foliar symptoms of K deficiency are less clearly separated from those of the combined K-Mg deficiency, or Mg deficiency alone, although the latter appears less common than in pines [13]. Foliar concentrations in *Picea abies* and *P. glauca* seem to vary over a wider range than in pines. Although limits within this range are not well defined, concentrations below 0.3% are associated with extreme deficiency, and concentrations of 0.5% or more seem needed for favorable growth [3, 26]. Visible K deficiency symptoms have been noted on *Abies balsamea* containing less than 0.45%, and favorable growth of fertilized trees is associated with concentrations of 0.7 to 0.9%.

As mentioned, K deficiency induces abnormally slow elongation of leader and branches in all conifers; these indications together with progressive discoloration and loss of the older foliage may be taken as presumptive evidence of K deficiency on these sandy soils.

Figure 2 shows that as a generality, growth rate is closely related to K content in mature first year foliage from the upper crown. The precision of growth predictions for individual stands is less satisfactory, however, probably due to changes in potassium content even during the fall sampling season [30], to year to year variation, as well as to interactions with other nutritional and climatic factors (e. g., [10]). Accordingly, the usefulness of other measures of plant K status has been explored. In a single paired comparison of deficient and non-deficient stands of *P. resinosa*, for example Madgwick [18] found the difference in current year foliar K concentration greatest when the lowermost live foliage was sampled. Similarly Swan [26] found substantially higher correlation between mean height growth and log. foliar potassium in *Picea glauca* when samples were taken from the lowermost 60 cm of live crown depth rather than the uppermost ($r = 0.92$ vs. 0.73). Again, the use of older needles for diagnosis has been considered, inasmuch as foliar concentration is greatest in first year needles and decreases in successive age classes; often the decrease is proportionately larger on deficient sites. Taylor [27], however, noted that within the population represented by figure 2 the linear correlation of current growth with foliar K concentration was slightly lower when second year foliage rather than first year foliage was analyzed ($r = 0.69$ vs. 0.76). Recently, Marion, Berglund and Leaf [20] have demonstrated a significant correlation ($r = 0.48$) between tree height and K concentration in the terminal buds of the upper branch whorls in *Pinus resinosa* on a K deficient site. They suggest that analysis of buds may be a sensitive indicator of internal nutrient status.

As might be expected, foliar K and growth are both significantly related to measures of available soil K but the correlations are too weak for practical use. Thus, in a study of *Pinus resinosa* plantations on sands, Taylor and Stone [27] found linear correlations from 0.56 to 0.65 between concentrations of foliar K on the one hand, and either exchangeable K in the surface horizon (0-18 cm), or $NHNO_3$ extractable K of either the surface or of the 0-18 plus 18-47 cm layers. Similar correlations between measures of height growth, and soil K concentration were lower.

These same data together with others from the Pack Forest, however, reveal that overt K deficiency in *Pinus resinosa* is not found in soils containing more than about 0.05 me/100 g exchangeable K (40 pp2m). This level is appreciably higher than suggested by Walker [28, 29], but about one-half the Wisconsin minimum for this species, 78 kg/ha, inferred from other lines of evidence [36]. Deficiency is widespread but by no means invariable on soils containing less than 0.05 me. Some,

though not all, of the non-deficient soils with less than this amount contain finer-textured strata within rooting depth; in the remainder the source of plant-available K is unknown. Hence analysis of the surface soil has a qualified but very useful role in forecasting probability of deficiency on yet unplanted areas. We have not established similar 'ceiling' values for deficiency in other species, but expect those for *Pinus sylvestris* and *Pinus rigida* to be similar or lower, whereas the limiting values for overt deficiency in *Picea* and *Abies* are probably in the vicinity of 0.1 me/100 g or more.

Response to Fertilization

The marked response of visibly deficient trees to K fertilization has been amply documented [2, 3-10, 24, 27, 31] and the pattern of changes in shoot length, foliage characteristics and stand behavior are known in some detail [3, 17, 18, 37]. Moreover, the feasibility of aerial application of K fertilizers on this area was well demonstrated 13 years ago [31]. Thus our present interest should be the nature of the response curve in relatively youthful plantations (i. e., 10 to 40 years) in need of treatment. Figure 2 suggests that response in *Pinus resinosa* might be approximately linear up to a foliar concentration of 0.35% and near maximum at 0.45%. Hence little if any additional response should result from applications larger than necessary to maintain a dormant season concentration of about 0.45% in the foliage over the time span considered.

Figure 5 illustrates precisely such an effect in a *Pinus resinosa* stand fertilized once with KCl at age 26. The measure of growth response is cumulative height growth during the third to fifth years after fertilization, eliminating an initial lag period. Foliar concentration (at the end of the fifth growing season) increases linearly with added K, whereas growth reaches a maximum at the 112 kg/ha application, where the mean foliar concentration is 0.45%, in agreement with figure 2. The slight decrease at the higher rate may not be real, but is associated with visual symptoms of Mg deficiency.

It is well to emphasize that increase in wood volume is proportionately greater than the gain in tree height. The indicated height increase in figure 5 represents a change in current site index (at age 20 above bh [22]) from 32 to a mean of 41.5 for the 112 and 168 kg treatments. Near the index age this corresponds to an increase in current annual volume increment (over bark) from 8.4 m³/ha (120 cu. ft./a) for the controls to 13.6 m (195 cu. ft.) [22].

Comprehensive analysis of numerous individual fertilizer plots on the Pack Forest has produced an almost identical response curve for a 10-year period, figure 6. Here 'expected growth' in the absence of added K was estimated from regression equations based on eight control plots, and compared with the actual growth achieved through fertilization. Again height growth is maximal at the 112 kg/ha rate and about 45% above the expected. Decrease beyond the maximum is by no means certain; evidence from still higher applications than shown indicates a 'plateau' in response.

The similarity in results from these two studies, on somewhat different soils about 110 km apart, indicates little justification for applications higher than about 112 kg/ha with this species. Yet such a conclusion is subject to two restrictions: First, we do not yet know to what extent the added growth after fertilization depends solely

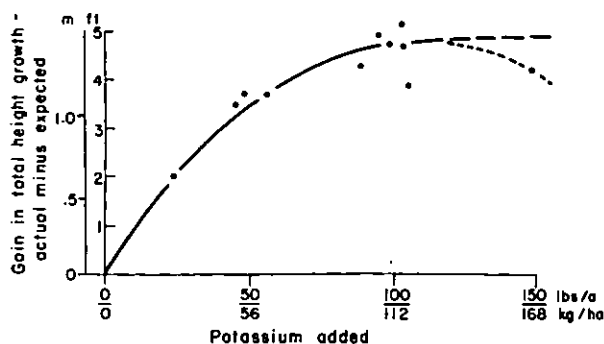


Fig. 6: Response of 12 to 23-year old *Pinus resinosa* plantations to K fertilization; Pack Forest, New York. The short-dash line indicates extension of the calculated regression; the long dash line assumes a plateau in response (from Heiberg, Madgwick and Leaf [10]).

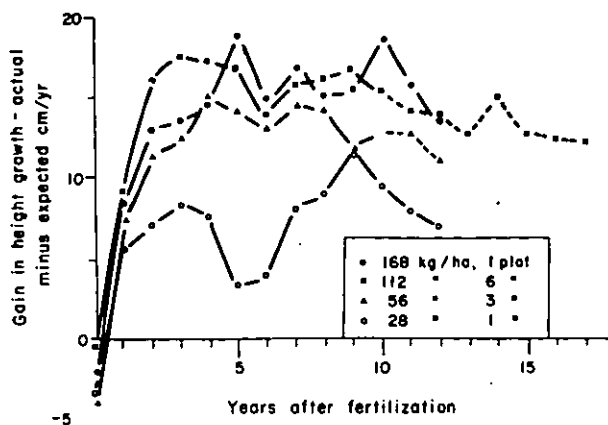


Fig. 7: Persistence of response of 12 to 23-year old *Pinus resinosa* plantations to single applications of K; Pack Forest, New York (dashed lines indicate fewer plots) (from Heiberg, Madgwick and Leaf [10]).

upon the added potassium, as opposed to fuller exploitation of native soil potassium by trees released from acute deficiency. If the latter were real, it would surely vary among soil profiles and types, altering the response curves. As indicated later, however (figure 8), a 112 kg/ha application is about equal to the difference in above-ground K content between very deficient and healthy stands of this age.

Second, although the treated plots of figures 5 and 6 are now growing well, with a current site index of about 40 ($= 12.2$ m, at 20 years above bh) [22] equivalent to Site II, faster growth (to S.I. 48) is found on the most favorable soils of the region. Both considerations suggest that *Pinus resinosa* plantations may occasionally respond to applications higher than 112 kg/ha.

On the other hand, observations of foliar concentration in *Pinus strobus* and, especially, *Picea abies*, *Picea glauca* and *Abies balsamea* (3, 5, and Stone, unpub.) suggest that these species probably will respond to appreciably higher rates of K fertilization, although on many soils nitrogen additions may be necessary for maximum growth [13, 26].

In contrast to the numerous studies with 10-40 year old stands, we have little quantitative information on the response of seedlings during their first 1 to 5 years in the field, nor of the effectiveness of K applications in overcoming the adverse effects of frost, drought, and competition from other vegetation.

Persistence of Response, and K in the Above-Ground Biomass

Heiberg and co-workers [6-10] have pointed out the remarkably persistent effects of single applications of K to *Pinus resinosa* on the Pack Forest site. Stands fertilized once with KC1 are still (1967) growing much faster than the controls after 24 years. Gagnon [2] likewise reports sustained response in this species at Valcartier, Quebec. The duration of response is exemplified by figure 7, from the work of Heiberg, Madgwick and Leaf [10]. Despite leaching, immobilization of K in long-lived tissue, and outward dissipation from the small (0.08 ha) plots, growth of the more heavily fertilized stands remained about 45% greater than the controls. Inasmuch as volume increases are proportionately greater than gains in height, as already mentioned, the economic implication of figures 5, 6 and 7 is evident.

The sustained response to a single application of K fertilizer is often taken as evidence for the effectiveness of mineral cycling in the ecosystem, or of cycling plus conservation and redistribution of the element within the tree itself. In fact, there is little independent evidence to affirm or to contradict this interpretation, nor to distinguish the relative contribution of *added* ('exogenous') and *native* K to the present total content.

Total tree analysis of several plots of *Pinus resinosa* on the Pack Forest site allows additional examination of this topic. Figure 8 summarizes data from four investigations [11, 17, 33, 38] representing plots of varied density, initial growth rate and treatment, as well as some differences in sampling technique. All trees are within a narrow age range, 26 to 32 years, however, and hence figure 8 describes potassium incorporation as a function of dry matter accumulation, rather than the reverse, and at only one period in the course of development. The curves of accumulation by a single stand over time might differ markedly from this in the proportion and composition of various components.

Surprisingly, foliage content increases curvilinearly over the entire range of dry matter, and comprises about one-half the above-ground total, except in the more deficient stands. This results from a linear increase in foliage weight and curvilinear increase in concentration over the entire range, with no indication of the anticipated 'plateau' in either curve. Stemwood makes up about half of the total above-ground dry matter in the most deficient stands, but the proportion increases to two thirds in the most productive. Mean potassium concentration in the wood varies little, if at all, however, and even in the most productive stands the total amounts to only 22-27 kg/ha. The sum of K in bark and branches substantially exceeds the content in

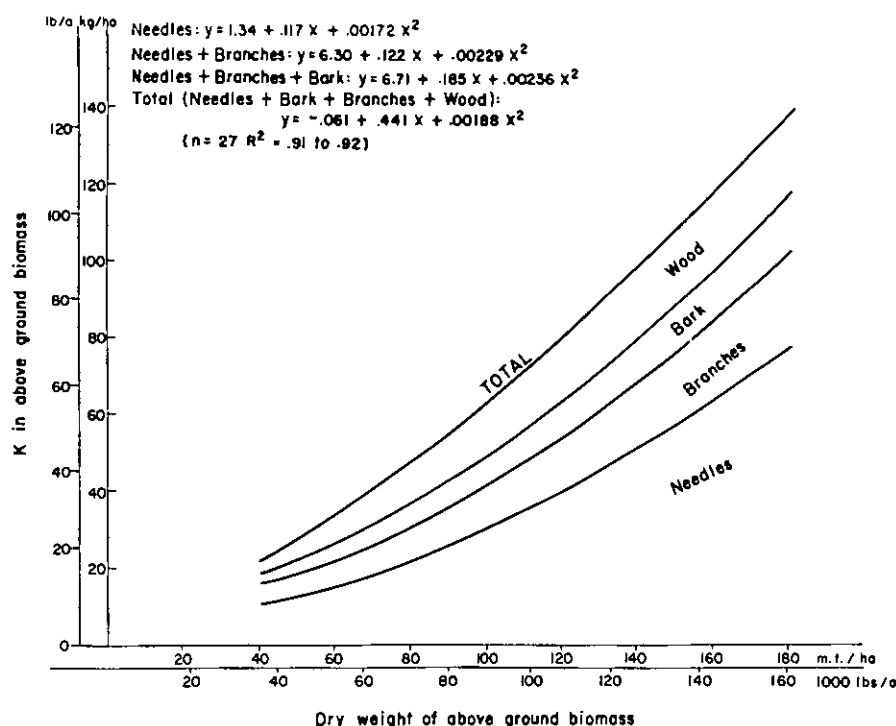


Fig. 8: Amount and distribution of K as related to above-ground dry matter accumulation by 27 to 32-year old *Pinus resinosa* plantations; Pack Forest, New York (compiled from 11,17,33,38).

wood and, in the most deficient stands, these together equal or even surpass the amount in the foliage. Thus, more than half of any small additions of K to such stands could be immobilized in the three long-lived components. Within the range of stand weights represented, figure 8 gives little evidence for 'luxury consumption' of K by either foliage or above-ground biomass.

Ignoring the unknown content in roots permits examination of figure 8 in terms of the maximum response to a 112 kg/ha application of K as shown by figures 5 and 6: This amount corresponds to nearly the entire difference represented in figure 8, and to a four-fold difference in dry matter accumulation. Thus high efficiencies in absorption of added K and in retention within the ecosystem could account for both the nature of the response curves (figures 5 and 6) and the duration of response. The long-term retention of added K cannot be estimated, but the efficiency of uptake is probably very high. This is indicated by the discernable effect of a K application as small as 28 kg/ha upon leaf content [3] and growth [10]. Moreover, studies in progress by Leaf and his co-workers indicate negligible leaching of K to the 60 cm depth, even when irrigation immediately followed an application of 448 kg/ha. This accords with a mean exchange capacity of 5 me/100 g or more throughout the upper 50 cm layer.

Bibliography

1. *Bizzell J. A.*: Chemical composition of New York soils. Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Bull. 519. (1930).
2. *Gagnon J. D.*: Effects of magnesium and potassium fertilization on a 20-year old red pine plantation. For. Chron. 41, 290-294 (1965).
3. *Heiberg S. O. and White D. P.*: Potassium deficiency of reforested pine and spruce stands in northern New York. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 15, 369-376 (1951).
4. *Heiberg S. O., Stone E. L. and White D. P.*: Potash and magnesium fertilization of young pine and spruce trees. State Univ. Coll. of For. at Syracuse Univ., unnumb. pamphl. 1954.
5. *Heiberg S. O. and Loewenstein H.*: Depletion and rehabilitation of a sandy outwash plain in northern New York, p. 172-180. Proc. First N. Amer. Forest Soils Conf., Michigan State Univ. 1958.
6. *Heiberg S. O., Leyton L. and Loewenstein H.*: Influence of potassium fertilizer level on red pine planted at various spacings on a potassium deficient site. For. Sci. 5, 142-153 (1959).
7. *Heiberg S. O. and Leaf A. L.*: Potassium fertilization of coniferous plantations in New York. Trans. 7th Intern. Congr. Soil Sci. 3, 376-383 (1960).
8. *Heiberg S. O. and Leaf A. L.*: Effects of forest debris on the amelioration of sandy soils. In: Recent Advances in Botany, Univ. Toronto Press, Canada 1961.
9. *Heiberg S. O. and Leaf A. L.*: Effects of forest debris and mineral fertilizers on the amelioration of sandy soils. Paper 23/21, Proc. 13th Congr. Intern. Union For. Res. Org., Vienna 1962.
10. *Heiberg S. O., Madgwick H. A. I. and Leaf A. L.*: Some long-time effects of fertilization on red pine plantations. For. Sci. 10, 17-23 (1964).
11. *Jurgenen M. F.*: Soil moisture-fertility interactions affecting the growth of red pine. M. S. thesis. State Univ. Coll. For. at Syracuse Univ. 1965.
12. *Jurgenen M. F. and Leaf A. L.*: Soil moisture-fertility interactions related to growth and nutrient uptake of red pine. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29, 294-299 (1965).
13. *Lafond A.*: Les déficiences en potassium et magnésium de quelques plantations. Laval Univ. For. Res. Found. Bull. 1 (1958).
14. *Lafond A.* (Editor): Forest Fertilization in Canada: A Symposium. Laval Univ. For. Res. Found. Bull. 5 (1962).
15. *Leaf A. L.*: Potassium, magnesium and sulfur deficiencies in forest trees: Reported symptoms, geographic location and conditions predisposing soils to these deficiencies. In: Forest Fertilization: Theory and Practice, p.88-122. Tennessee Valley Authority (1968).
16. *Limt H. A.*: Effect of slash mulch and slash burn on pine and spruce plantings. Conn. Agric. Exp. Sta. Bull. 548 (1951).
17. *Madgwick H. A. I.*: Studies in the growth and nutrition of *Pinus resinosa* Ait. Ph.D. thesis. State Univ. Coll. For. at Syracuse Univ. 1962.
18. *Madgwick H. A. I.*: The chemical composition of foliage as an index of nutritional status in red pine (*Pinus resinosa* Ait.). Plant and Soil 21, 70-80 (1964).
19. *Madgwick H. A. I.*: Variations in the chemical composition of red pine (*Pinus resinosa* Ait.) leaves: A comparison of well-grown and poorly-grown trees. Forestry 37, 87-94 (1964).
20. *Marion G. M., Berglund J. V. and Leaf A. L.*: Morphological and chemical analyses of red pine (*Pinus resinosa* Ait.) buds: Their relationships to tree growth on a K-deficient to non-deficient site continuum. Plant and Soil 28, 313-324 (1968).
21. *Pearson C. S. and Cline M. G.*: Soil Survey of Lewis County, New York. USDA, Soil Conservation Service (1960).
22. *Richards N. A., Morrow R. R. and Stone E. L.*: Influence of soil and site on red pine plantations in New York: I. Stand development and site index curves. Cornell Univ. Agric. Exp. Sta. Bull. 977 (1962).
23. *Reitemeier R. F.*: Soil potassium. Adv. in Agron. 3, 113-164 (1951).
24. *Stone E. L.*: Magnesium deficiency in some northeastern pines. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17, 297-300 (1953).
25. *Stone E. L., Taylor G., Richards N. and DeMent J.*: Soil and species adaptation: Red pine plantations in New York, p.181-184. Proc. First N. Amer. Forest Soils Conf., Michigan State Univ. 1958.
26. *Swan H. S. D.*: The mineral nutrition of the Grand'Mere plantations. Pulp and Paper Res. Inst. Canada, Tech. Rep. 276 (1962).

27. *Taylor G. C.*: The growth of red pine on sandy soils in the western Adirondacks with particular emphasis on potassium and magnesium deficiency. M. S. thesis, Cornell University, Ithaca, N. Y. 1958.
28. *Walker L. C.*: Foliar analysis as a method of indicating potassium-deficient soils for reforestation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19, 233-236 (1955).
29. *Walker L. C.*: Foliage symptoms as indicators of potassium-deficient soils. *For. Sci.* 2, 113-120 (1956).
30. *White D. P.*: Variation in the N, P, K contents of pine needles with season, crown position and sample treatment. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 18, 326-330 (1954).
31. *White D. P. and Leaf A. L.*: Forest Fertilization: A bibliography. N. Y. State Univ. Coll. Forestry Tech. Publ. 81 (1956).
32. *White D. P. and Wood R. S.*: Growth variations in a red pine plantation influenced by a deep-lying fine soil layer. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22, 174-177 (1958).
33. *White E. H.*: Uptake and distribution of nutrient elements in red pine plantation. M. S. thesis. State Univ. Coll. For. at Syracuse Univ. 1964.
34. *White E. H. and Leaf A. L.*: Soil and tissue K levels related to tree growth: I. HNO_3 extractable soil K. *Soil Sci.* 98, 395-402 (1964).
35. *White E. H. and Leaf A. L.*: Soil and tissue K levels related to tree growth: II. Tissue K as determined by total tree analysis techniques. *Soil Sci.* 99, 109-114 (1965).
36. *Wilde S. A.*: Soil standards for planting Wisconsin conifers. *J. For.* 64, 389-391 (1966).
37. *Wood L. K. and De Turk E.*: E. The absorption of potassium in non-replaceable form. *Proc. Soil. Sci. Soc. Amer.* 5, 152-161 (1941).
38. *Xydias G. K.*: Dry matter and nutrient element relations in *Pinus resinosa* Ait. plantations. M. S. thesis. State Univ. Coll. For. at Syracuse Univ. 1964.
39. *Xydias G. K. and Leaf A. L.*: Weevil infestation in relation to fertilization in white pine. *For. Sci.* 10, 428-431 (1964).

Einfluss der Blattdüngung von Fichtenpflanzen mit verschiedenen Nährelementen auf einige Inhaltsstoffe in den Nadeln

Dr. J. MATERNA, Forschungsanstalt für Forstwirtschaft und Jagdwesen Zbraslav n. Vlt./
Tschechoslowakei

Die Aufmerksamkeit bei der Düngung in der Forstwirtschaft richtet sich hauptsächlich auf die Ertragssteigerung der Waldbestände oder auf die Verbesserung der Bedingungen für die Aufforstung. Nur in kleinem Umfang wurden Versuche zur Steigerung der Fruktifikation oder der Widerstandsfähigkeit der Holzarten gegen schädliche abiotische oder biotische Einflüsse durchgeführt, wenn auch auf diesem Gebiet vielversprechende Ergebnisse erzielt wurden (*Zöttl [8], Brüning [1], Büttner [2], Materna [6]*). Bei allen Untersuchungen über den Einfluss der Ernährung auf Zuwachs, Fruchtbarkeit oder Widerstandsfähigkeit wurden vorwiegend die Zusammenhänge zwischen der Anwendung der Düngemittel und dem Endziel verfolgt; nur vereinzelt finden wir Informationen über die Beeinflussung der biologischen Vorgänge in den Holzarten nach der Düngung.

Die einzelnen Beobachtungen betreffen die Veränderungen im Chlorophyllgehalt (*Viro [7]*) in unterschiedlich ernährten Holzarten, Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Karotengehalt der Fichtennadeln (*Hoffman [3]*), Einfluss der Ernährung auf die Assimilation und den Chlorophyllgehalt der Fichte und Pappel (*Keller und Koch [4], Keller und Wehrmann [5]*).

Ziel unserer Arbeit ist, eine Information über den möglichen Umfang von Veränderungen im Gehalt verschiedener Inhaltsstoffe der Fichten und Kiefernadeln zu gewinnen, die durch den Einfluss der Düngung erzielt werden können. Sie ist ein Teil der Untersuchungen über die Anwendung der Düngung zur Steigerung der Widerstandsfähigkeit der erwähnten und anderer Holzarten gegen Schwefeldioxyd-einwirkung in Rauchschadengebieten.

Da bisher nur vereinzelte Untersuchungen in dieser Hinsicht bei Holzarten vorliegen und ähnliche Untersuchungen bei Obstgehölzen, Baumwolle u. a. reils unterschiedliche Resultate, hauptsächlich bei Anwendung von Mikronährstoffen, lieferten, haben wir nach einigen orientierenden Versuchen eine Untersuchung, in welcher neben den Hauptnährstoffen auch Spurenelemente angewandt wurden, durchgeführt, um den Einfluss dieser Ernährung auf den Gehalt an freien Glyziden, Stärke, Aminosäuren, Chlorophyll a und b und Vitamin C zu untersuchen. Der Gehalt dieser einzelnen Stoffe kann eine Rolle bei der Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung von Frost, wahrscheinlich auch gegen Schwefeldioxyd, pflanzliche und tierische Schädlinge spielen.

1. Methodik

Der Versuch wurde in einer Baumschule auf einer grösseren Fläche von zweijährigen Fichtenpflanzen angelegt. Die Ernährung der Fichtenpflanzen kann nach der Blattanalyse folgendermassen gewertet werden: ein deutlicher Stickstoffmangel, der sich durch einen niedrigen Stickstoffgehalt (1,1% N in der Trockensubstanz) in den Nadeln äussert; sonst bewegen sich die Gehalte von Kali, Phosphor, Magnesia in normalen Grenzen. Der Kalkgehalt ist erhöht. Die Spurenelemente Mangan, Zink, Kupfer sind in den Nadeln in genügenden Mengen enthalten. Die Ergebnisse der Blattanalyse stimmen mit der Bodenuntersuchung überein, im Boden wurde ein niedriger Humusgehalt, hoher Kalkgehalt und genügende Gehalte an anderen Elementen festgestellt.

Tabelle 1

	Aminosäuren mg/lg des Trocken- gewichtes	Chlorophyll a mg/lg des Frischgewichtes	Chlorophyll b	Vitamin C	Zeitpunkt der Probe- entnahme
KAS	47,1**	0,11	0,09**	1,62**	29.6.
K ₃ PO ₄	44,2*	0,10	0,06	1,55**	
KNO ₃	41,0	0,09	0,06	1,42	
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	44,3*	0,08	0,07	1,29	
H ₃ BO ₃	43,1	0,09	0,06	1,47	
(NH ₄) ₂ MoO ₄	42,1	0,09	0,07	1,36	
ZnSO ₄	45,4**	0,13	0,07	1,44	
Fe ₂ (SO ₄) ₃	43,5	0,09	0,06	1,28	
Kontrolle	42,5	0,07	0,05	1,35	
KAS	34,4**	0,36**	0,13**	1,10	17.8.
K ₃ PO ₄	30,2*	0,24	0,11	1,40	
KNO ₃	30,5**	0,24	0,10	1,18	
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	29,4	0,17	0,07	1,37	
H ₃ BO ₃	29,1	0,15**	0,08	1,20	
(NH ₄) ₂ MoO ₄	30,4**	0,22	0,11	1,24	
ZnSO ₄	30,3**	0,26	0,09	1,27	
Fe(SO ₄) ₃	30,4**	0,20	0,08	1,22	
Kontrolle	28,8	0,23	0,09	1,29	
KAS	39,6**	0,77**	0,21**	1,06	19.10.
K ₃ PO ₄	35,4**	0,57**	0,16*	1,19	
KNO ₃	35,3**	0,60**	0,16*	1,45**	
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	34,5*	0,38	0,10	1,24	
K ₂ BO ₃	35,0**	0,39	0,11	1,21	
(NH ₄) ₂ MoO ₄	35,0**	0,37	0,11	1,2	
ZnSO ₄	35,4**	0,39	0,11	1,16	
Fe ₂ (SO ₄) ₃	34,8**	0,36	0,11	1,02**	
Kontrolle	32,1	0,38	0,11	1,19	

Die Düngung erfolgte als Blattdüngung, da man damit unmittelbar die Assimilationsorgane beeinflussen kann. Die Bespritzung erfolgte während des ersten Versuchsjahres sechsmal, während des zweiten fünfmal. Die einzelnen Varianten wurden sechsmal wiederholt. Es wurden folgende wässrige Lösungen angewendet:

2%-Borsäure, 2%-Kupfersulfat, 2%-Zinksulfat, 2%-Eisen^{III} sulfat, 10%-Kalkammonsalpeter, 5%-Kaliumphosphat, 5%-Kaliumnitrat, 5%-Magnesiumnitrat, 1%-Manganchlorid, 0,5%-Ammonmolybdat.

Tabella 2

Blattdüngung	Glukose	Fruktose	Saccharose	Stärke	Zeitpunkt der Probe- entnahme
	in % der Trockensubstanz				
KAS	2,29**	1,98*	0,62	1,27	29.6.
K ₃ PO ₄	2,35**	2,02**	0,42	1,27	
KNO ₃	2,13	1,70	0,53	1,22	
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	2,07	1,81	0,57	1,24	
H ₃ BO ₃	2,07	1,82*	0,66	1,23	
(NH ₄) ₂ MoO ₄	2,08	1,74	0,79**	1,26	
ZnSO ₄	2,32**	1,62	0,58	1,21	
Fe ₂ (SO ₄) ₃	1,95	1,80	0,47	1,22	
Kontrolle	1,87	1,61	0,45	1,24	
KAS	2,39	2,36**	1,25	2,70	17.8.
K ₃ PO ₄	2,54*	2,30*	1,15	3,00	
KNO ₃	2,13	2,03	1,01	2,85	
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	2,27	1,85	1,07	2,92	
H ₃ BO ₃	2,04	1,85	1,48*	2,94	
(NH ₄) ₂ MoO ₄	1,99*	1,83	1,30	2,92	
ZnSO ₄	2,10	1,92	1,11	3,22*	
Fe ₂ (SO ₄) ₃	2,12	1,94	1,04	2,93	
Kontrolle	2,39	2,03	0,98	2,95	
KAS	2,59**	2,21**	3,41**	1,85	19.10
K ₃ PO ₄	3,69	2,84	2,51	1,92	
KNO ₃	3,67	2,74	2,38	1,86	
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	4,34	2,93	2,84	1,94	
H ₃ BO ₃	3,60	2,54	2,55	1,95	
(NH ₄) ₂ MoO ₄	3,69	2,57	2,32	1,92	
ZnSO ₄	3,92	2,54	2,35	2,01	
Fe ₂ (SO ₄) ₃	3,73	2,55	2,55	1,82	
Kontrolle	3,97	2,53	2,53	1,90	

Die Probeentnahme erfolgte dreimal im ersten Jahre, viermal im zweiten Jahre. Es wurden immer Nadeln des jüngsten Jahrganges entnommen. Die Bestimmung des Gehaltes an Glyziden, Aminosäuren, Chlorophyll a und b erfolgte nach papierchromatographischer Trennung. Die Stärke und das Vitamin C wurden kolorimetrisch bestimmt.

2. Ergebnisse

Die Blattdüngung mit ziemlich hohen Konzentrationen verschiedener Salze übte nur bei der Borsäure einen ungünstigen Einfluss auf die Nadeln aus. Nach der dritten Spritzung machte sich eine leichte Verbrennung der jüngsten Nadeln sichtbar. Zur gleichen Zeit konnte man eine deutliche Ergrünung der Fichtennadeln nach der

Anwendung von Kalkammonsalpeter beobachten. Keine anderen sichtbaren Veränderungen konnten festgestellt werden. Die Messung des Zuwachses im ersten Jahre des Versuches konnte keinen signifikanten Einfluss der Blattdüngung nachweisen, am Ende der zweiten Vegetationsperiode war ein zuwachssteigernder Einfluss von Ammonmolybdat, Eisen¹¹¹ sulfat und Kalkammonsalpeter nachweisbar.

In der Nadelzusammensetzung wurden trotz der ziemlich hohen angewendeten Konzentrationen nur kleine Veränderungen festgestellt. Im ersten Jahre stieg der Stickstoffgehalt nach Anwendung von Kalkammonsalpeter in den Nadeln um 17–20% an; dieser Anstieg hielt bis ins Frühjahr des nächsten Jahres an. Nach dem Austreiben war der Stickstoffgehalt der neuen Triebe wieder gleich der Kontrolle, und erst die weitere Düngung brachte einen Stickstoffanstieg um 40–50%, d. i. von 1,04–1,07 auf 1,6–1,8%. Andere Behandlungen übten keinen deutlicheren Einfluss auf den Gehalt der einzelnen Elemente aus. Bei der letzten Probeentnahme des zweiten Versuchsjahres war der Stickstoffgehalt nach der Anwendung von Kalium und Magnesiumnitrat, aber auch durch Kaliumphosphat erhöht. Der Phosphatgehalt wurde durch Behandlung mit Kaliumphosphat, der Kaliumgehalt nach Spritzung mit Kaliumnitrat und der Magnesiumgehalt nach Spritzung mit Magnesiumnitrat erhöht. In einem Falle erhöhte die Spritzung mit Eisen¹¹¹ sulfat den Kalium-, Kalk- und Phosphorgehalt und beeinflusste negativ den Magnesiumgehalt. In ähnlicher Weise wirkte auch Zinksulfat. Alle erwähnten Unterschiede waren statistisch signifikant.

Die Ergebnisse der Wirkung der Blattdüngung auf einige Inhaltsstoffe der Nadeln von drei Probeentnahmen im zweiten Versuchsjahr sind in den Tafeln 1 und 2 enthalten. Auf die Blattdüngung reagierten die Aminosäuren am deutlichsten, und das nicht nur dort, wo bei der Düngung eine stickstoffhaltige Verbindung angewendet wurde, sondern auch bei allen anderen Stoffen, hauptsächlich bei Verbindungen von Spurenelementen; da in diesem Falle der Stickstoffgehalt der Nadeln keinesfalls beeinflusst wurde, muss man die Erhöhung des Aminosäuregehaltes als eine nicht spezifische Reaktion der Pflanzen betrachten.

Wesentlich geringer sind die Veränderungen bei anderen Stoffen. Der Chlorophyllgehalt stieg immer dort an, wo sich auch der Stickstoffgehalt erhöhte. Im ersten Versuchsjahr war eine signifikante Depression des Chlorophyllgehaltes durch Einwirkung der Borsäure zu verzeichnen, was mit der Beschädigung der Nadeln durch diese Spritzung zusammenhing. Nur vereinzelt wurde der Vitamin-C-Gehalt beeinflusst.

Auch auf den Gehalt an freien Glyziden in den Nadeln wirkte sich hauptsächlich die Blattdüngung mit Kalkammonsalpeter aus. Der Anstieg des Gehaltes in den Nadeln der neuen Triebe im zweiten Versuchsjahr könnte mit dem Anstieg des Chlorophyllgehaltes und der daraus folgenden höheren Assimilation der mit KAS gedüngten Fichten zusammenhängen. Ein signifikanter Anstieg wurde jedoch auch durch Anwendung von Kaliumphosphat zu derselben Zeit verursacht, ohne dass der Chlorophyllgehalt erhöht wurde. Deutlich ist auch die Erhöhung des Saccharosegehaltes und die Senkung des Glukose- und Fruktosegehaltes in den Nadeln der Pflanzen, die mit KAS behandelt wurden, bei der letzten Probeentnahme.

Eine signifikante Beeinflussung des Stärkegehaltes konnte nur in einem Falle nach Zinksulfatanwendung beobachtet werden.

Die Ergebnisse dieses Versuches deuten darauf hin, dass die Fichtenpflanzen auch wesentlich höhere Konzentrationen verschiedener Salze, als bisher bei der

Blattdüngung angewendet wurden, ertragen. Die deutlichste Einwirkung übte die Anwendung von Kalkammonsalpeter aus, was wahrscheinlich damit zusammenhängt, dass die Versuchspflanzen unter einem deutlichen Stickstoffmangel litten.

Bibliographie

1. *Brüning D.*: Einfluss einer mineralischen Düngung auf einen mit «Dickungsschütte» befallenen Kiefernbestand. *Allg. Forstzeitschrift* 19, Nr. 28, 422–423 (1964).
2. *Büttner H.*: Der Einfluss von Düngestoffen auf Mortalität und Entwicklung forstlicher Schadinsekten über deren Wirtspflanze. *Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg*, Bd. 11 (1961).
3. *Hoffmann F.*: Die Bedeutung steigender N- und P-Gaben sowie unterschiedlicher Bodenart für Wachstum und Ernährung von Fichtensämlingen. *Albrecht-Thaer-Archiv* 8, Nr. 8/9, 675–698 (1964).
4. *Keller T. und Koch W.*: Der Einfluss der Mineralstoffernährung auf CO₂-Gaswechsel und Pigmentgehalt der Pappel. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw.* 38, Nr. 2, 257–318 (1962).
5. *Keller T. und Wehrmann J.*: CO₂-Assimilation, Wurzelatmung und Ertrag von Fichten und Kiefernensämlingen bei unterschiedlicher Mineralstoffernährung. *Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw.* 39, Nr. 4, 217–241 (1963).
6. *Materna J.*: Auswertung von Düngungsversuchen in rauchgeschädigten Fichtenbeständen. *Wiss. Ztschr. TU Dresden* 11, 589–593 (1962).
7. *Viro P. J.*: Estimation of the effect of forest fertilization. *Comm. Inst. Forest. Fenniae* 59, 5–42 (1965).
8. *Zöttl H. und Jung J.*: Ernährungszustand und Lophodermium-Befall von *Pinus silvestris*. *Naturwissenschaften* 51, 643 (1964).

Stand und Aussichten der Forstdüngung in Österreich

Dipl. Ing. Dr. R. KREISL, Österreichische Düngerberatungsstelle, Wien/Österreich

Schon vor Jahrzehnten hat man auch in Österreich erkannt, dass der Waldboden mit Hilfe der Düngung fruchtbarer gemacht werden kann. Dies gilt insbesondere dann, wenn seine natürliche Fruchtbarkeit durch Bewirtschaftungsfehler in der Vergangenheit beeinträchtigt oder sogar zerstört wurde. Die Natur vermag sich zwar in vielen Fällen selbst zu helfen und kann den kranken Waldboden in einer allerdings oft Generationen dauernden Zeit wieder in einen gesunden Waldboden zurückführen. Die steigende Nachfrage nach Holz nach dem Zweiten Weltkrieg erforderte jedoch eine raschere Besserung der Ertragsleistung des Waldes.

1. Ausgangslage

Die Streunutzung, die jahrhundertlang erfolgte, hat den Waldboden seines natürlichen Düngers beraubt. Fichtenreinkulturen, Plünderwirtschaft und Waldweide veränderten die Wälder in ihrem natürlichen Bestandesaufbau. Durch Kahlschlagwirtschaft und landwirtschaftliche Zwischennutzung wurde die Waldbodenstruktur zerstört.

Grosser Schaden für den Wald entstand aber zweifellos durch die laufende Speicherung der Streu und die Bindung der Nährstoffe infolge verhinderten Nährstoffkreislaufes. Die Ansammlung von Rohhumusmassen führte sodann zu schwerwiegenden Nachteilen: stark saure Reaktion, erhöhter Benetzungswiderstand und gestörter Wasserhaushalt.

Für österreichische Verhältnisse stand somit das Problem der Standortsverbesserung, insbesondere der Melioration von Rohhumusböden, im Vordergrund.

2. Entwicklung der Forstdüngung in Österreich

Die ersten Versuche forstlicher Düngung wurden schon Mitte des vorigen Jahrhunderts angestellt. Sie zeigten Erfolge, wurden jedoch nicht wissenschaftlich ausgewertet und sind deshalb nicht beweiskräftig. Nachteile sind nicht beobachtet worden.

Mit dem Beginn umfangreicher Düngungsmassnahmen lag der Schwerpunkt der forstlichen Düngung fast ausschliesslich bei der Kalkung mit dem Ziel einer Gesundungskalkung, einer Bodensanierung bei Rohhumusauflage. In der Zeit von 1952 bis 1956 wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft eine gross-angelegte Kalkdüngungsaktion im Forst durchgeführt und eine Reihe von Kalkdüngungsversuchen mit verschiedenen Kalkarten und Kalkmengen angelegt. Man hat mit der Kalkung Erfolge erzielt, jedoch auch manche Misserfolge verzeichnen

müssen, und zwar dort, wo die anderen Nährstoffe im Rohhumus nicht in genügender Menge vorhanden waren. Die hohen Kalkgaben (oft 10 t pro Hektar) erreichten ausserdem erst nach sehr langer Zeit (10 Jahre und mehr) den Mineralboden.

Mit besserer Kenntnis der Materie wurden in der folgenden Zeit bei Versuchen auch Stickstoff, Phosphorsäure, Kali und Magnesium auf Grund von sehr eingehenden Analysen von Boden und Nadeln als Mineraldünger eingesetzt, um eine harmonische Nährstoffversorgung zu erzielen.

Diese Versuche wurden meist nur nach der Alternative «gedüngt» oder «ungedüngt» angelegt. Vielfach wurden sie ohne Wiederholungen und ohne Anfangsinventuren durchgeführt. Dadurch ist eine Überprüfung der Wirkung auf die Ertragsleistung sehr erschwert.

3. Derzeitiger Stand

Heute können wir in der Walddüngung schon auf Erfahrungen aufbauen. Die Walddüngung wird in Österreich nun schon allgemein und im grossen Umfang durchgeführt, doch ist es schwer, konkrete Ziffern über den Umfang anzugeben, weil es ein Meldesystem für eine genaue Ermittlung nicht gibt.

3.1. Die Düngung als Starthilfe bei der Aufforstung

Ein durchschlagender Erfolg war der mineralischen Düngung als Starthilfe bei der Aufforstung beschieden.

Die Frage der Düngung von Waldpflanzen bei der Aufforstung ist für die österreichischen Verhältnisse zum grössten Teil geklärt. Zahlreiche Düngungsversuche in Aufforstungsflächen haben ergeben, dass Düngungen von Kulturen nur auf bestimmten Standorten erfolgversprechend sind. Als gutes Hilfsmittel zum Erkennen düngungsbedürftiger Standorte erwiesen sich die Bodenpflanzen. Mit ihrer Hilfe lassen sich oberflächliche Bodenverschlechterungen nach Streunutzung, Waldweide, Plünderwirtschaft, falscher Holzartwahl und dergleichen rasch beurteilen.

Auf sauren Böden zeigen Heidekraut (*Calluna vulgaris*), Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Preiselbeere (*Vaccinium vitis idaea*), Astmoos (*Hypnum*), Torfmoos (*Sphagnum*) und Drahtschmiele (*Deschampsia flexuosa*), auf Kalkböden Erika (*Erica carnea*), Schneerose (*Helleborus niger*) und Leberblümchen (*Anemone hepatica*) die Düngebedürftigkeit an.

Ebenso ist die Düngung zu Aufforstungen auf ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen, die verdichtet (Weiden) oder vernässt sind, erfolgreich.

Auf diesen *degradierten* Standorten wird die *Einzelpflanzdüngung* in Form der Kopf- oder Obenaufdüngung mit den in Österreich erzeugten *Volldüngern* (NPK 12:12:18) durchgeführt, wobei um die Pflanze herum im Pflanzjahr (Mitte Mai bis Ende Juni) 3 dkg Volldünger und im ersten Jahr nach der Pflanzung 6 dkg Volldünger deponiert werden.

Eine nochmalige Wiederholung der Düngung im zweiten Jahr (wiederum mit 6 dkg Volldünger) verstärkt die günstige Wirkung.

Beste Erfolge bringt die Kombination Mineraldüngung mit Gründüngung (*Lupinus perennis*, *Melilotus albus*, *Genista* usw.).

Sobald einmal die Forstpflanzen ein kräftiges Wachstum zeigen und ihr Fortkommen gesichert erscheint, ist eine weitere Düngung der Kultur unrentabel.

Die Rentabilität einer Kulturdüngung ist auch dann in Frage gestellt, wenn die gedüngten Pflanzen (dort wo es die Verhältnisse erfordern) nicht vor Wild, Weidevieh und Verunkrautung geschützt werden können.

Auf Flächen, die bessere Vegetation zeigen, wie *Oxalis acetosella*, *Atropa belladonna*, *Rubus idaeus*, *Impatiens nolitangere*, *Asperula odorata* usw. reagieren die Forstpflanzen auf die Düngung fast nicht, da das Nährstoffangebot auf diesen Standorten von Natur aus reichlich ist.

Auf diesen guten Standorten kann somit von der Kulturdüngung meist nur ein geringer Nutzeffekt erwartet werden.

Die Düngung von Forstkulturen ist in die Praxis schon stark eingedrungen. Es wird jedenfalls jährlich auf einer Fläche von mehreren tausend Hektar gedüngt.

3.2 Die Umwandlung von Rohhumus in milden Humus

Eine weitere Einsatzmöglichkeit für mineralische Düngemittel ergibt sich auf Waldböden mit gestörtem Nährstoffkreislauf. Ziel der Melioration ist die Umwandlung von Rohhumus in milden Humus, wobei neben einer Verbesserung der physikalischen und chemischen Eigenschaften vor allem die biologische Aktivierung der oberen Bodenschichten angestrebt wird.

Zahlreiche Versuche haben gezeigt, dass eine Umsetzung mit kohlensaurem Kalk allein meist zu lange dauert. Mit Ätzkalk war wohl eine raschere und wesentlich durchgreifendere Wirkung zu erzielen, doch erwies es sich günstiger, neben Kalk auch Stickstoff, Phosphor, Kali und Magnesium zu verwenden.

Die verschiedenen Stickstoffformen wirken sich bei der Rohhumusumwandlung alle positiv aus. Sehr gut geeignet ist Harnstoff, der vom Rohhumus rasch und in intensiver Weise gespalten und eingebaut wird. Dadurch wird der Rohhumus aufgewertet.

Wird die Umwandlung mit Harnstoff eingeleitet, dürfen Kalk und Thomasmehl erst etwa drei Wochen später ausgebracht werden, bis der Harnstoff weitgehend aufgelöst ist. Durch die vorausgegangene Stickstoffdüngung werden die pH-Werte rascher bis in tiefere Schichten geändert bzw. verbessert. Dabei wird auch der Benetzungswiderstand der Auflagen gemindert und dadurch die Umsetzung von Kalk und Thomasmehl begünstigt. Ausserdem werden dabei Stickstoffverluste durch das Zusammentreffen von Kalk mit Stickstoff in Form von Ammoniak praktisch vermieden.

Besonders gut gelingt die Rohhumusumwandlung, wenn die Mineraldüngung mit technischen und biologischen Massnahmen kombiniert wird.

Am günstigsten erweist sich eine grossflächige Bodenbearbeitung, mit einer Fräse oder einer kleinen Schubraupe, insbesondere dort, wo mächtige Auflagen vorhanden sind.

Der Rohhumus wird dabei abgezogen und gelockert, die freien Stellen werden gedüngt und bearbeitet. Diese gedüngten und bearbeiteten Streifen dienen im Altbestand für den Unterbau standortsgemässer Schatthölzer (z.B. Buche, Tanne usw.).

3.3 Die Düngung als Voraussetzung für die erfolgreiche Umwandlung der sekundären Kiefernwälder in Mischbestände

Als grosses Einsatzgebiet für mineralische Dünger gelten auch die sekundären Kiefernwälder (*Pinus silvestris*) in Österreich. Weite Landstriche tragen nur schlechtwüchsige Kiefernbestände mit Fichten im Unterstand. Diese Bestände sind nicht naturgewollt!

Die «sekundären Kiefernwälder» sind das Ergebnis einer allmählichen Rückentwicklung des Buchen-Tannen-Fichten-Mischwaldes. Die Hauptursache liegt in der Bodendegradation als Folge von Streunutzung, Kahlschlag, Nadelholzreinbestand und starker Windeinwirkung.

Diese «sekundären Kiefernwälder» liefern derzeit nur geringe Erträge.

Aufgabe des Waldbaues ist es nun, eine geeignete und wirtschaftliche Mischbestockung wiederherzustellen. Demnach sollen die künftigen Bestände aus 60% Fichte, 20% Buche, Tanne, Linde, Ahorn, Douglasie und höchstens 20% Kiefer (*Pinus silvestris*) aufgebaut sein.

Diese Mischbestände versprechen den doppelten Ertrag der heutigen Kiefernbestände.

Beim Bestandesumbau werden Freiflächen, Lücken über 10 m im Durchmesser und vorgelichtete Flächen mit Fichte, kleinere Lücken und zwischenständige Fichtengruppen mit Tanne und Buche und Steilrandzonen mit Douglasie oder grösseren Buchen oder Linden aufgeforstet.

Die dort am meisten vertretenen Waldtypen sind nach Hufnagl:

- der *Heidekraut-Typ* mit *Calluna vulgaris* als Leitpflanze, der höchst ungünstige Humusformen aufweist;
- der *Heidelbeer-Trockentyp* (*Vaccinium myrtillus*), der Trockentorfbildung zeigt;
- der *Astmoos-Heidelbeer-Drabtschmiele-Typ* (*Sphagnum*, *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*), bei dem es sich um saure Vernässung handelt.

Die Bodenflora zeigt recht gut an, wie es um den Humus bestellt ist. Alle diese Typen weisen Bodenerkrankungen oder Nährstoffarmut im Boden nach.

Menge und Art der Düngemittel wurde auf Grund von Boden- und Nadelanalysen bemessen.

Die auf sekundären Kiefernstandorten angelegten Düngungsversuche brachten folgende Ergebnisse:

Besonders wirksam ist die Düngung auf oberflächlich trockenen Böden mit einer sogenannten Hauterkrankung (Rohhumusauflage), weil dort neben dem Nährstoffhaushalt auch der Wasserhaushalt durch die Düngung wesentlich verbessert wird. – Auf vernässten Böden mit starker Rohhumusauflage sind hohe Düngermengen erforderlich. – Die Fichte spricht auf die Düngung rascher an als die Tiefwurzler. – Die Kalkung allein bringt bei starker Streunutzung im Kieferngebiet keine befriedigenden Düngungserfolge. Die harmonische Düngung ist der einseitigen Düngung vorzuziehen. – Wo es die Lichtverhältnisse gestatten, muss auf nährstoffarmen, trockenen, sauren oder dichten Böden die Mineraldüngung mit Gründüngung (Anbau von blauer Dauerlupine) kombiniert werden. Mit der Gründüngung wird auch das Bioklima günstig beeinflusst und das Bodenleben verbessert.

3.4 Die Düngung von Beständen (Mittel- und Althölzer)

Auf Grund wissenschaftlicher Erkenntnisse ist schon seit Jahrzehnten bekannt, dass durch Düngung auch in der Forstwirtschaft wirtschaftlich bedeutende Ertragssteigerungen erreicht werden können. Doch hat die Forstdüngung mit dem Ziel einer höheren Massenleistung in Österreich erst bei wenigen Forstbetrieben Eingang gefunden, vielleicht deshalb, weil noch beweiskräftige Rentabilitätsberechnungen fehlen.

Um für die sehr verschiedenartigen Waldstandorte in Österreich über die Düngung von Mittel- und Althölzern Erfahrungen zu sammeln und für die Praxis wertvolle Empfehlungen aussprechen zu können, hat die *Österreichische Düngerberatungsstelle* in Zusammenarbeit mit der *Forstlichen Bundesversuchsanstalt Schönbrunn* vor 5 Jahren 10 Düngungsexaktversuche (8 Versuche zu Fichte und 2 zu Weisskiefer) angelegt. Die Flächen wurden so ausgewählt, dass sie jeweils für grössere Waldgebiete repräsentativ sind. Die Versuche sollen beweisen, dass eine gezielte, standortsgerechte Düngung in Fichten und Kiefernbeständen höheren Alters (60–80 Jahre) wirtschaftlich ist. Die Versuche sind erfolgversprechend; ihre Ergebnisse werden so bald wie möglich der Praxis zugänglich gemacht werden.

4. Die Aussichten der Forstdüngung in Österreich

Die Aussichten der Forstdüngung in Österreich sind als sehr günstig zu bezeichnen. So wird die Düngung als Starthilfe bei der Aufforstung, zur Umwandlung sekundärer Kiefernwälder, zur Sanierung von Rohhumus-Standorten schon allgemein angewendet und ist aus dem modernen Waldbau nicht mehr wegzudenken.

Auch die Bestandesdüngung mit dem Ziel einer höheren Massenleistung wird in der Praxis Eingang finden, wenn durch die Versuchsergebnisse im eigenen Land der Beweis geliefert werden kann, dass die Düngung mehr einbringt als alle anderen Rationalisierungsmassnahmen im Forstbetrieb und dass jedes längere Zuwarten in der Forstdüngung einen Verzicht auf leicht erzielbare Einnahmen bedeutet.

35 Jahre K_{Mg}-Kieferndüngungsversuche Templin

Dr. D. BRÜNING, Dipl.-Ldw. H.-D. TRILMICH und Dipl.-Ldw. E. UEBEL, Kali-Forschungsinstitut Sondershausen, Abteilung Land- und Forstwirtschaft, Stendal (Deutsche Demokratische Republik)

1. Einleitung

Unter mehreren in der Nähe des Dorfes Hammelspring, Kreis Templin, gelegenen Forstdüngungsversuchen befinden sich auch die Kieferndüngungsversuche Werderhof, Leckow-Hauptversuch und Leckow II. Diese Flächen wurden 1929 bzw. 1934 begründet und die Versuche im Kulturstadium der Kiefern angelegt. 1954 erfolgte im Alter 20 bzw. 25 Jahre die erste ertragskundliche Aufnahme [1]. Die Auswertung ergab u. a., dass die Düngung 10 bis 15 Jahre lang eine Wuchsbeschleunigung erzielt hatte. Während die grösseren Grundflächen von «Gedüngt» auch nach dieser Zeit einen grösseren Grundflächenzuwachs als auf «Ungedüngt» erbrachten, ging aus dem Vergleich der Entwicklung der mittleren Durchmesserzuwüchse und der durchschnittlichen Jahrestriebblängen hervor, dass ein allmähliches Abklingen der Zuwachsmehrleistung eingetreten war.

Um eine weitere Wuchsbeschleunigung zu erreichen, erhielten die Düngungsteilstücke deshalb in der Zeit von 1957 bis 1960 eine Nachdüngung. Im Zuge dieser Massnahme wurde der Versuch Leckow II um die Versuchsfrage erweitert, wie oft die Düngung, die in der Jugend eine eindeutige Wachstumsüberlegenheit gegenüber «Ungedüngt» bewirkt hatte, im Stangenholz zu wiederholen ist. Zu erwähnen ist hierzu, dass in einer Testuntersuchung schon 3 Jahre nach Beginn der Nachdüngung – in der Hauptsache an Bohrspänen ermittelt – eine Zuwachssteigerung durch die Düngung des Kiefern-Stangenholzes zu erkennen war [2].

Bei der letzten ertragskundlichen Aufnahme 1964 waren seit der Startdüngung mehr als 30 Jahre und seit der ersten Nachdüngung 7 Jahre vergangen. Über die neuesten Ergebnisse der Versuche soll nachfolgend berichtet werden.

2. Standort

Ab 1954 erfolgten auf den Düngungsversuchsflächen eingehende Standortsaufnahmen [5, 7, 6]. Das geologische Substrat des Bodens bilden demnach fluvioglaziale Ablagerungen, die als Schmelzwassersande im Vorland der Endmoräne des Pommerischen Stadiums der Weichselvereisung bezeichnet werden.

Das Bodenmaterial besteht bei einer vertikal und horizontal recht einheitlichen Ablagerung im wesentlichen aus mässig silikathaltigem, gleichkörnigem Mittelsand mit Feinsand. Die Silikatzahl beträgt 10–16%.

Die mechanische Bodenanalyse ergab im Durchschnitt: 2% Grobsand, 54% Mittelsand, 41% Feinsand und 3% < 0,06 mm.

Im Untergrund der Versuchsfläche Leckow-Hauptversuch und von grösseren Teilen auch der Parzellen 4, 6 und 7 des Versuches Leckow II befindet sich ein

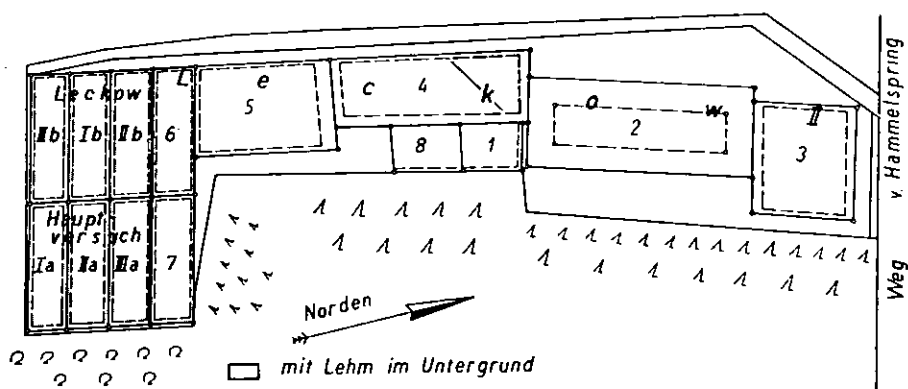


Fig. 1: Lageplan der Versuchsfelder Leckow-Hauptversuch und Leckow II.

Staublehmband, dessen Untersuchung zu folgenden Werten führte: 3% Grobsand, 12% Mittelsand, 29% Feinsand, 17% Staub, 14% Schluff und 25% Ton.

Das Grundwasser stand im allgemeinen bei 2,80 m, in den letzten Jahren allerdings schon bei 1,50 bis 2 m an. Im Rahmen der angegebenen Schwankungen weist es auf dem b-Block des Hauptversuches den höchsten Stand auf. Da das Grundwasser in der Regel über die lehmigen Schichten reicht und das Eindringen der Wurzeln in das nährstoffreichere Bodenmaterial verhindert, sind standortsbedingte Wachstumsunterschiede nur dort zu erwarten, wo diese Schichten über dem Grundwasserspiegel liegen. Auf einem Drittel der Parzelle 4 des Versuches Leckow II sind derartige stärkere Lehmänder im Untergrund vorhanden. Auf den Teilstücken des Hauptversuches und nach den letzten Bohrergebnissen auch auf den angrenzenden Parzellen 6 und 7 des Versuches Leckow II (s. Lageplan. Fig. 1) wurden Lehm oder Schlick unterhalb 1,80 bis 2 m gefunden. Das Standortgutachten für die Versuchsfeld Leckow II von *Milde* [7] schließt mit der Bemerkung, dass abgesehen von dem Lehmvorkommen im Untergrund von Teilstück 4 und den an den Hauptversuch angrenzenden Parzellen 6 und 7 «eine standörtlich einheitlichere Fläche kaum erwartet werden» kann. Auf den übrigen Parzellen des Versuches Leckow II und auf der Versuchsreihe Werderhof konnten wachstumsfördernde Bänder von Schlick oder Lehm im Untergrund nicht nachgewiesen werden.

Der Bodentyp für die genannten Versuche ist eine podsolige Braunerde mit Ap-Horizont.

Der degradierte, überdurchschnittlich wasserversorgte, mässig nährstoffhaltige Standort wird der Standortsform «Finowtaler Sand-Braunpodsol, grundwasser- und teilweise schlick- oder lehmbeeinflusst» und damit einer der grossflächig verbreitetsten Bodenformen des nordostdeutschen Tieflandes zugerechnet. Im HF-Aufschluss wurden 20–45 mg P, 800–900 mg K, 120–200 mg Ca und 40–100 mg Mg/100 g Boden gefunden. Die Bodenproben wurden Weiserprofilen auf den ungedüngten Teilstücken entnommen. Die Untersuchungen auf pflanzenverfügbare Nährstoffe ergaben eine mässige Phosphorsäureversorgung und eine ausgespro-

chene Kaliarmut sowie einen niedrigen Magnesiumgehalt. Während im A- und B-Horizont nicht mehr als im Höchstfall 2 mg K_2O und 1 mg Mg in 100 g Boden nach der Egnér- bzw. Schachtschabel-Methode ermittelt wurden, enthielt der teilweise vorhandene Lehm des Untergrundes zwar nur 4–6 mg K_2O , jedoch 11,0–16,8 mg Mg.

Die S-Werte schwanken bei Sättigungswerten von 10–28% zwischen 0,5 und 2,3 mval%. Der Humusgehalt liegt meist zwischen 1,5 und 1,7%. Eine Humusform ist nicht ansprechbar. In der Vegetation herrscht Silbergras (*Corynephorus canescens*) vor.

Im Durchschnitt vierjähriger Untersuchungen an ungedüngten Kiefernkulturen des beschriebenen Standortes ergaben sich in Prozenten der Trockenmasse letztjähriger Nadeln an Nährelementen für

N	P	K	Ca	Mg
1,46	0,16	0,36	0,26	0,10

Für Magnesium wurden auf den entsprechenden Mangelparzellen häufig noch niedrigere Werte, und zwar von 0,04 bis 0,06 i. % TM gefunden.

Weitere Einzelheiten hinsichtlich des Standortes sind früheren Veröffentlichungen zu entnehmen [1, 2, 3, 4].

3. Bestandesbegründung

Die 0,49 ha grosse Versuchsreihe Werderhof wurde 1929 durch Saat und die davon 1,5 km entfernt liegende 1,98 ha grosse Versuchsfläche Leckow (Leckow-Hauptversuch und Leckow II) 1934 durch Pflanzung einjähriger Kiefernssämlinge einwandfreier Qualität begründet. Die im An- und Aufwuchsstadium auf der ungedüngten Parzelle Werderhof entstandenen Fehlstellen wurden 1934 mit kräftigen zweijährig verschulten Kiefern nachgebessert. Von den übrigen Teilstücken dieses Versuches und von den Flächen Leckow ist über Nachbesserungen nichts bekannt.

Aus der Bestandesgeschichte wird hier wiederholt, dass es sich um Acker- oder Ödlandaufforstungen handelt. Ein Teil der jetzigen Leckow-Hauptversuchsfläche wurde von 1924 bis 1933 als Sportplatz benutzt.

4. Versuchsanlagen

Auf diesem K- und Mg-armen Standort wurden die Versuche in der Hauptsache nur unter Verwendung von Kalimagnesia (Patentkali) angelegt, da dieses Düngemittel sowohl Kali (26–30% K_2O als K_2SO_4) als auch Magnesium (9% MgO als $MgSO_4$) enthält. An anderer Stelle [2] wurde schon darauf hingewiesen, dass es unserem heutigen Wissen hinsichtlich einer harmonischen Pflanzenernährung widerspricht, wenn nicht auch die anderen Nährstoffe gegeben wurden, die auf diesem Standort zu verabfolgen sicherlich notwendig gewesen wäre.

4.1 Versuchsfläche Werderhof (W)

Der Versuch umfasst 3 Teilstücke. Mit Ausnahme von einem in der Mitte der Versuchsfläche ungedüngt verbliebenen kleineren Teilstück (Parz. II) wurde auf die Kiefernkultur breitwürfig Kalimagnesia gestreut (Parz. I und III, vgl. Lageplan in [1], S. 51). Eine Nachdüngung fand hier wie auch bei den anderen Versuchen im angehenden Stangenholzalter statt.

Der Düngungsplan lautet:

I = 1650 m ²	II = 381 m ²	III = 1439 m ²
1933 und 1937 je 2 dt/ha Kalimagnesia	Ungedüngt	1933 und 1937 je 2 dt/ha Kalimagnesia
1957 bis 1960 je 4 dt/ha Kalimagnesia		1957 bis 1960 je 4 dt/ha Kalimagnesia

Die ermittelten Daten der gleichbehandelten Parzellen I und III werden in der anschliessenden Besprechung der Ergebnisse zusammengefasst und als Befunde eines Teilstückes ausgewertet.

4.2 Versuchsfläche Leckow

Der dreigliedrige *Hauptversuch* (H) wurde in zweifacher Wiederholung (a- und b-Block) mit folgenden Düngungsvarianten auf durchschnittlich 800 m² grossen Teilstücken durchgeführt:

I ¹	II	III
1934 und 1935 je 2 dt/ha Thomasphosphat und 2 dt/ha Kalimagnesia	Ungedüngt	1934 und 1935 je 2 dt/ha Kalimagnesia
1957 bis 1960 je 4 dt/ha Thomasphosphat und 4 dt/ha Kalimagnesia		1957 bis 1960 je 4 dt/ha Kalimagnesia

¹ Die Ergebnisse des Versuchsgliedes I (PKMg) konnten zur Klärung der in dieser Arbeit untersuchten Frage nicht beitragen. Sie sind an anderer Stelle veröffentlicht und werden hier nicht weiter besprochen [4].

Die von der damaligen Schonung Leckow nach Einrichtung des Hauptversuches verbleibenden 1,5 ha wurden mit Ausnahme eines in der Mitte an der Ostseite der Kultur gelegenen Streifens von annähernd 1000 m² (Fläche im Bereich der Parzellen 1 und 8; vgl. Lageplan, Fig. 1) noch im Pflanzjahr 1934 bei trockener Witterung breitwürfig als Kopfdüngung mit 3 dt/ha Kalimagnesia gedüngt. Beiderseits der Nordgrenze des ungedüngten Bestandes wurden für die ertragskundliche Erstaufnahme 1954 die Parzellen Ungedüngt (Parz. 1) und Gedüngt (Parz. 2) ausgewiesen und als Versuch *Leckow II* (L II) bezeichnet.

Für die Einschätzung der durch die KMg-Düngung erreichten Wachstumssteigerung gegenüber Ungedüngt standen somit 3 Versuchsflächen bzw. ein *Streulageversuch* mit 4 Blöcken (W, Ha, Hb und L II) zur Verfügung.

Nachdem die Auswertung der ersten Versuchsergebnisse gezeigt hatte, dass eine Weiterführung des Versuches empfehlenswert war, wurden 1956/57 auch noch die verbliebenen ungedüngten und gedüngten Teile des Bestandes Leckow II durch Einrichtung weiterer 6 Teilstücke (Parz. 3–8) mit in den Versuch einbezogen. Im Anschluss an den ersten Hiebseingriff erhielten einige dieser Parzellen eine Nachdüngung mit Kalimagnesia. Seitdem besteht der Versuch Leckow II auch als *KMg-Steigerungsversuch*. In dieser Form umfasst er einschliesslich der ungedüngten Teilstücke folgende 8 Parzellen (Tabelle 1):

Tabelle 1 KMg-Steigerungsversuch: Düngungsplan

Variante	Parz. Nr.	Flächen- grösse in m ²	Kalimagnesia-Düngung in dt/ha						Start-und Nach- düngung insgesamt
			Start- düngung 1934	Nachdüngung				1957/60 ins- gesamt	
				Herbst 1957	Früh- jahr 1958	Früh- jahr 1959	Früh- jahr 1960		
(KMg) ₀	1 8	892	—	—	—	—	—	—	—
(KMg) ₁	7	830	3	—	—	—	—	—	3
(KMg) ₂	6	831	3	3	3	—	—	6	9
(KMg) ₃	4	2141	3	3	3	3	—	9	12
(KMg) ₄	2	3033	3	3	3	3	3	12	15
	3	1735							
	5	1891							
(KMg) ₁ = 90 kg/ha K ₂ O und 30 kg/ha MgO (KMg) ₃ = 360 kg/ha K ₂ O und 120 kg/ha MgO (KMg) ₂ = 270 kg/ha K ₂ O und 90 kg/ha MgO (KMg) ₄ = 450 kg/ha K ₂ O und 150 kg/ha MgO									

Die ermittelten Daten der ungedüngten Parzellen 1 und 8 werden in der Besprechung der Ergebnisse zusammengefasst und als Befunde eines Teilstückes ausgewertet.

Die Variante (KMg)₃ wurde dreifach wiederholt, weil bei der angegebenen gleichen Düngung der Einfluss von Durchforstungsfragen geprüft werden soll. Hierüber kann erst zu späterer Zeit berichtet werden.

5. Bemerkungen zur Untersuchungsmethode

Die ertragskundlichen Versuchsaufnahmen erfolgten gemeinsam mit einigen Herren der Abteilung Ertragskunde des Instituts für Forstwissenschaften Eberswalde. Besonders Herrn Dr. E. Knapp sei für ertragskundliche Beratungen und für die Durchsicht des Manuskriptes verbindlichst gedankt.

Nach der ersten Aufnahme 1954 wurden 1956/57 ein Lässerungshieb und 1960 sowie 1964 eine mässige Niederdurchforstung (B-Grad) durchgeführt. Die Methodik der ertragskundlichen Aufnahmen ist in der Buchveröffentlichung «Forstdüngung» [1] ausführlich beschrieben. In Tabelle 3 sind die berechneten Durchschnittsergebnisse des Streulageversuches angegeben. Die Blockanordnung wurde in der Reihenfolge W, L II, Ha und Hb nach zunehmender Leistung des Standortes

vorgenommen. Für die Auswertung ist zu bedenken, dass zwischen einigen Blöcken im Begründungsjahr, in der Art der Kultur, in der Höhe der Düngergaben und in den Streutermeninen geringfügige Differenzen bestehen. Diese Unterschiede können jedoch im Hinblick auf das Alter der Bestände und die Tatsache, dass eine progressive Düngerwirkung seit einer Reihe von Jahren nicht mehr sicher nachzuweisen war, kaum so schwerwiegend sein, um einen Vergleich grundsätzlich abzulehnen.

Bei den ab 1956/57 neu in den KMG-Steigerungsversuch Leckow II einbezogenen Parzellen ergab sich gelegentlich der Erstaufnahme ein unterschiedliches Ertragsniveau zwischen den Parzellen 4, 6, 7 und den übrigen Flächen auf Grund der im Abschnitt 2 aufgeführten Standortsunterschiede. Eine Korrektur des Zuwachses war notwendig, um die Ergebnisse der einzelnen Teilstücke miteinander vergleichen zu können. Das diesbezügliche Berechnungsverfahren wird im Abschnitt 7 angegeben.

Hier ist nur noch zu ergänzen, dass alle Massenangaben in Vorratsfestmetern Schaftholz erfolgen. Mit der Berechnung der Derbholzmasse wäre die Variante Ungedüngt benachteiligt worden, weil bis zur Aufnahme 1964 immer noch Teile dieses Versuchsgliedes die Derbholzgrenze nicht überschritten hatten.

6. Entwicklung der Bestände bis zur Erstaufnahme

Unmittelbar nach der ersten Düngung der Kiefernkulturen mit Kalimagnesia setzte ein freudiges Wachstum ein. Dagegen kümmerten die ungedüngten Pflänzchen und zeigten an den kleineren Nadeln typische Mangelsymptome: gelbspitzige Nadeln ohne deutlichen Übergang zum dunkelgrünen Nadelgrund bei Kalimangel und goldfarbige Nadelspitzen mit scharfer Abgrenzung zur grünen Nadelbasis bei Magnesiummangel. Die Nadeln wurden vorzeitig abgeworfen. Im An- und Aufwuchsstadium traten erhebliche Ausfälle auf.

Während der Kriegsjahre wurde aus dem Teilstück Werderhof I eine unbedeutende Menge von «Bohnenstangen» entnommen; 1946 oder 1947 erfolgte auf der gleichen Parzelle nochmals ein schwacher Hiebseingriff (einige Latten zur Zaunherstellung). Nähere Angaben über die Entnahme liegen nicht vor. Auf allen anderen Teilstücken der 3 Versuche wurden bis zur Erstaufnahme 1954 keinerlei Eingriffe vorgenommen, und bei der Erstaufnahme selbst wurde nur totes Material entfernt. Dabei wurden – 20 bzw. 25 Jahre nach Bestandesbegründung – auf Ungedüngt neben einer erheblichen Wachstumsunterlegenheit eine geringere Grundflächen- und Stammzahlhaltung durch die Lückigkeit der Bestockungen festgestellt. Die gedüngten Parzellen hingegen hatten bis zur Erstaufnahme im Mittel etwas höhere Stammzahlen aufzuweisen (Tabelle 2). Bei der letzten ertragskundlichen Aufnahme 1964 waren infolge der weiteren Entwicklung der Bestände und der Hiebseingriffe die beiden Varianten auf den jeweiligen Blöcken des Streulageversuches nunmehr annähernd stammzahlgleich (Tabelle 3).

Was den KMG-Steigerungsversuch betrifft, war die Stammzahlhaltung bei Versuchsbeginn nicht ganz einheitlich. Insbesondere auf Parzelle 4 lag die Stammzahl mit 698/0,1 ha ausgesprochen niedrig. Auf dieser Fläche hatten sich bis zur Erstaufnahme – fast über die gesamte Parzelle verteilt – mehrere Kiefern zu Protzen entwickelt, die mit ihren starken, weitreichenden Ästen die benachbarten Kiefern mehr

Tabelle 2 Streulageversuch: Durchschnittliche Stammzahlen 1954

Versuch	Variante	N/O, 1 ha
W	O	945
W	KMg	978
L II	O	746
L II	KMg	1080
H	O	1130
H	KMg	1254

Tabelle 3 Streulageversuch: Ertragskundliche Werte
(flächenbezogene Angaben/0,1 ha)

Dün- gung	Ver- such	Verbleibender Bestand 31. Dezember 1964					Aussch. Bestand	dGZ	GWL	I. Z.
		N	D cm	H m	G m ²	ShM Vfm	1957, 1960 und 1964 ShM/Vfm	1964 ShM Vfm	1964 ShM Vfm	1957 bis 1964 ShM Vfm
O	W	248	9,2	10,4	1,648	9,121	1,461	0,294	10,582	0,585
KMg	W	233	11,4	12,6	2,284	14,095	5,846	0,554	19,941	0,900
O	L II	320	7,8	7,8	1,493	7,078	2,245	0,291	9,323	0,486
KMg	L II	317	10,4	11,7	2,713	15,723	6,791	0,704	22,514	0,963
O	Ha	328	9,2	10,4	2,184	12,024	5,893	0,560	17,917	0,696
KMg	Ha	310	10,7	12,5	2,807	17,108	9,121	0,820	26,229	0,924
O	Hb	319	10,2	12,3	2,627	15,853	6,760	0,707	22,613	0,901
KMg	Hb	328	11,4	13,3	3,372	21,610	12,362	1,062	33,972	1,285
Durchschnittliche Mehrleistung in % von Ung.			1,9++	2,3+	0,806+	6,115++	4,440++	0,322++	10,555++	0,351++
			20,9	22,5	40,5	55,5	108,6	69,5	69,8	52,6

+ = P < 5%. ++ = P < 1%.

oder weniger geschwächt und unterdrückt hatten. Bei den Eingriffen war es nur noch vereinzelt möglich, die Protzen zu entnehmen. Durch den Einfluss der Protzen war der Anteil der ausscheidenden abgestorbenen und absterbenden Kiefern verhältnismässig gross.

7. Ergebnis des Streulageversuches

Die ertragskundliche Situation nach dem letzten Hiebseingriff im Herbst 1964 zeigt Tabelle 3. Bei annähernd gleichen Stammzahlen innerhalb der einzelnen Blöcke übertrafen die Durchmesser des Grundflächenmittelstammes auf den KMg-Parzellen W und L II die von Ungedüngt um 2,2 und 2,6 cm. Auf den Ha- bzw. Hb-Blöcken betrug die Differenz 1,5 bzw. 1,2 cm zugunsten der Düngung. Bei der Grundflächenmittelhöhe wurden durch die KMg-Gabe Unterschiede von 2,2 m (W), 3,9 m (L II), 2,1 m (Ha) und 1,0 m (Hb) erreicht. Im Mittel lagen Durchmesser und Höhe der KMg-Variante etwa um 20% höher als auf Ungedüngt.

Für die flächenbezogenen Leistungen ergaben sich ähnliche Tendenzen wie bei den Mittelstammwerten. Die Grundfläche hatte als eine quadratische Funktion des Durchmessers bei vorliegender etwa gleicher Stammzahlhaltung im Durchschnitt einen um 40% höheren Wert durch die Düngung gegenüber den Bezugspartzellen. Trotz des erheblich grösseren Durchforstungsertrages auf der Düngungsvariante stockte auf ihr Ende 1964 im Durchschnitt eine um mehr als 50% höhere Schaftholzmasse als auf Ungedüngt. Die Düngerwirkung ist naturgemäss bei diesem Bestandeswert grösser als bei der Grundfläche, da er als ein Produkt der beiden positiv beeinflussten Faktoren Grundfläche und Höhe erscheint.

In welchem Umfang die Düngung im Kulturstadium und als Nachdüngung im Stangenholzalter von insgesamt 450 bis 600 kg/ha K_2O und 150 bis 200 kg/ha MgO die Massenleistung bis zum Alter 32 bzw. 36 Jahre förderte, ist aus dem Vergleich der Gesamtwuchseleistung 1964 an Schaftholzmasse sehr deutlich zu erkennen. Die erhebliche Mehrleistung durch Verabfolgung von magnesiumhaltigen Kalidüngemitteln beruht, wie bei anderen Versuchen des gleichen Standortes nachgewiesen wurde (3), nicht nur auf der Wirkung des Nährstoffes Kali sondern zu wesentlichen Teilen auch auf der des Nährstoffes Magnesium.

Die Mehrproduktion an Schaftholzmasse betrug bis 1964 pro Jahr/0,1 ha auf den mit KMg gedüngten Flächen im Durchschnitt 0,322 Vfm. Bei etwa gleichgrosser absoluter Leistungsdifferenz zwischen den Blöcken ohne und mit Lehm im Untergrund ($W + L II = 0,336$ bzw. $Ha + Hb = 0,307$ Vfm/0,1 ha) ergibt sich ein erheblicher Unterschied für den prozentualen Mehrzuwachs zwischen den Flächen ohne und mit Lehm ($W + L II = 114,9\%$ bzw. $Ha + Hb = 48,5\%$). Es ist nicht anzunehmen, dass diese Mehrleistung allein unter dem Einfluss der Startdüngung gebildet wurde. Vielmehr dürfte die grössere produzierende Masse von Gedüngt in Verbindung mit der in den Jahren 1957 bis 1960 erfolgten Nachdüngung wesentlich an dem Gesamterfolg von nahezu 70% Mehrzuwachs beteiligt sein.

Der laufende Zuwachs lag in dem Zeitraum von 1957 bis 1964 für den Streulageversuch auf der Variante KMg im Mittel um 0,351 Vfm/0,1 ha Schaftholzmasse höher als auf Ungedüngt. Eine Aufteilung dieser Leistung auf den Einfluss der Kulturdüngung und auf den der Nachdüngung des Stangesholzes ist bei der vorhandenen Versuchsanlage leider nicht möglich. Da jedoch der laufende Zuwachs auch in den letzten Jahren der Beobachtungszeit auf der Düngungsvariante um mehr als 50% höher als auf Ungedüngt lag, kann angenommen werden, dass die KMg -Düngung – und zwar die Start- und Nachdüngung – die Leistungsfähigkeit des Standortes nachhaltig verbesserte.

8. Ergebnis des KMg -Steigerungsversuches

Für die Beurteilung der Düngerwirkung unterschiedlicher KMg -Gaben im Stangenholzalter ist der laufende jährliche Schaftholzmassenzuwachs als geeignetster Massstab anzusehen.

Bis zum Zeitpunkt der Erstaufnahme war ein Eingriff nicht erfolgt. Die Stärke des ersten Pflegehiebes 1956 betrug bei allen Düngungsflächen L II einheitlich 21 bzw. 22% der Masse des Gesamtbestandes (Vornutzungsprozent), so dass durch diese Massnahme keine unterschiedliche Beeinflussung des Zuwachses in der anschliessenden Periode zu erwarten war. Lediglich auf Parzelle 3 wurden nur 6% der

Masse genutzt. Auf diesem Teilstück wird nur abgängiges Material entfernt, eine eigentliche Durchforstung demnach nicht durchgeführt (vgl. Abschnitt 4).

Wie bereits erwähnt, musste eine Korrektur der laufenden Zuwachswerte zur Eliminierung der unterschiedlichen Standortverhältnisse vorgenommen werden. Dabei wurde die dGZ-Leistung 1956 als Ausdruck des standörtlich bedingten natürlichen Ertragsniveaus angesehen und die prozentuale Abweichung der Parzellen ohne Lehm zu denen mit Lehm als Massstab für die Korrektur verwandt. Lediglich für Teilstück 4 wurde auf Grund der abweichenden Jugendentwicklung das Ertragsniveau nicht nach der dGZ-Leistung 1956 bestimmt, sondern anhand des im Standortgutachten ausgewiesenen lehmbeeinflussten Anteiles ($\frac{1}{3}$ der Parzelle) berechnet. Bei der Ermittlung des Ertragsniveaus wurde in diesem Fall zu $\frac{1}{3}$ der mittlere dGZ-Wert der lehmbeeinflussten Teilstücke 6 und 7 und zu $\frac{2}{3}$ der mittlere dGZ-Wert der lehmunbeeinflussten Parzellen 2, 3 und 5 zugrunde gelegt. Die Korrektur nach diesem Verfahren erschien trotz ihrer Fragwürdigkeit insofern gerechtfertigt, als in der vorgefundenen dGZ-Leistung 1956 auf Grund der stammzahlärmeren Jugendentwicklung nicht das standortsbedingte Ertragsniveau zum Ausdruck kommt.

Die Berechnung der Korrektur der Massenzuwüchse geht aus Tabelle 4 hervor.

Tabelle 4 K Mg-Steigerungsversuch: Jährlicher Schaftholzmassenzuwachs in Vfm/0,1 ha

Variante	Parzelle	dGZ 1956	Ertragsniveau	I. Z. 1956-1964	I. Z. korrigiert
(KMg) ₁	7+	0,726	0,751	0,946	0,946
(KMg) ₂	6+	0,776		1,053	1,053
(KMg) ₃	4++	0,543	0,683+++	1,010	1,096
(KMg) ₄	2	0,663	0,649	0,963	1,094
	3	0,653		1,142	1,270
	5	0,631		0,963	1,094

+ Lehmbeeinflusst.

++ $\frac{1}{3}$ Lehmbeeinflusst.

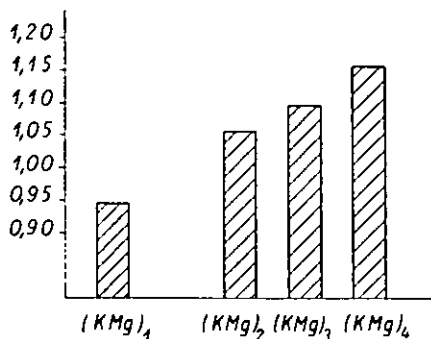
+++ Nach Standortgutachten eingeschätztes Ertragsniveau.

Wie Figur 2 zeigt, lag der laufende jährliche Zuwachs 1956 bis 1964 auf der nicht nachgedüngten Variante (KMg)₁ klar unter dem der Versuchsglieder (KMg)₂, (KMg)₃ und (KMg)₄. Damit hat das Ergebnis der einleitend erwähnten Testuntersuchung, wonach bereits nach 3 Jahren vorwiegend durch Untersuchung von Bohrspänen eine Zuwachssteigerung durch die Düngung des Kiefern-Stangenholzes zu erkennen war, 7 Jahre nach Beginn der Nachdüngung auf Grund ertragskundlicher Vollaufnahmen eine Bestätigung erfahren.

Innerhalb der Nachdüngungsvarianten zeichnete sich eine weitere Differenzierung ab. Mit zunehmender K Mg-Gabe vergrößerte sich der erreichte Mehrzuwachs. Allerdings muss aus vorgenannten Gründen die Leistung von Parzelle 4 mit Vorbehalt beurteilt werden. Hingegen hat der Wert von Variante (KMg)₄ ein besonderes Gewicht, weiler das Mittel von 3 Teilstücken darstellt, wenn auch Parzelle 3 nicht unwesentlich über der Leistung der beiden anderen gleichgedüngten Teilstücke 2 und 5 liegt. Aus dem Vergleich des Teilstückes (KMg)₂ mit (KMg)₄ ergibt

I. Z. 1956-64

Vfm / 0,1 ha



Nachdüngung: ohne 2x 3x 4x

Parzelle: 7 6 4 2,3,5

Fig. 2: KMg-Steigerungsversuch; Einfluss gesteigerter KMg-Gaben auf den jährlichen Schaft-holzmassenzuwachs 1956-1964.

sich, dass die höhere KMg-Gabe von 360 kg/ha K_2O und 120 kg/ha MgO auch den grösseren Zuwachs erbrachte und dass eine Nachdüngung mit 180 kg/ha K_2O und 60 kg/ha MgO auf diesem Standort für einen optimalen Ertrag nicht ausreichte.

Es ist naheliegend, den laufenden Mehrzuwachs (1956 bis 1964) des KMg-Steigerungsversuches von 0,148 Vfm/0,1 ha (ohne Parz. 3) bzw. 0,207 Vfm/0,1 ha (mit Parz. 3) auf (KMg)₄ mit dem laufenden Mehrzuwachs (1957 bis 1964) des Streulageversuches von 0,351 Vfm/0,1 ha zu vergleichen. Wie geschildert, beinhalten die Mehrleistungen der Parzellen des KMg-Steigerungsversuches nur die Wirkung der Nachdüngung und die des Streulageversuches die Wirkung von Start- und Nachdüngung. Bei allen Vorbehalten, die bei diesem Vergleich zu machen wären, dürften doch die Ergebnisse beider Versuche darauf hinweisen, dass auch im Streulageversuch die Nachdüngung im Stangenholz nicht unwesentlich am Gesamterfolg der KMg-Gabe gegenüber Ungedüngt beteiligt gewesen ist.

Bibliographie

1. Brünig D.: Forstdüngung – Ergebnisse älterer und jüngerer Versuche. 210 S., Neumann Verlag, Radebeul 1959.
2. Brünig D.: Vorläufige Ergebnisse einer Düngung im Kiefern-Stangenholz. Allgem. Forstzeitschr. 17, Nr. 34, 512-514 (1962).
3. Brünig D.: Einfluss einer mineralischen Düngung auf das Jugendwachstum von Kiefern und Roteichen. Forstarchiv 34, Nr. 2, 25-30 (1963).
4. Brünig D.: Forstdüngungsversuche – ein Führer durch die Versuchsflächen im Raum Templin, Stendal und Aue (Erzgeb.). Stendal 1966.
5. Butzke H.: Standortsgutachten der Düngungsversuchsflächen bei Hammelspring, Kreis Templin. Unveröffentlicht 1954.
6. Gürtler Chr., Kopp D. und Schultz K.: Standortsgutachten für Düngungsversuchsflächen im StFB Templin. 6 S., unveröffentlicht 1964.
7. Milde J.: Standortskundliches Gutachten «Leckow II». Unveröffentlicht 1961.

Über die Wirkung einer Kalium- und Stickstoffdüngung auf Wachstum und Ernährungszustand gelbspitziger Kiefernkulturen in Süddeutschland

Dr. W. ZECH, Institut für Bodenkunde und Standortslehre der Forstlichen Forschungsanstalt an der Universität München/Bundesrepublik Deutschland
(Direktor: Prof. Dr. W. Laatsch)

In Süddeutschland sind gelbspitzige Koniferen auf bestimmten Standorten häufig zu beobachten, und zwar auf Rendzinen bzw. Pararendzinen in den Nördlichen Kalkalpen, im Jura und im ehemaligen Überschwemmungsbereich vieler Flüsse; weiterhin auf Hochmooren, auf sauren und nährstoffarmen Sanden und schliesslich auf Böden mit hoher Kaliumfixierung. Auf diesen Standorten treten, besonders bis zum Schluss der Kulturen, in Kiefernauflorungen chlorotische Erscheinungen auf, wobei die Chlorose vor allem die Nadelspitzen befällt, so dass man mit Recht von einer Gelbspitzigkeit der Nadeln spricht (vgl. auch Farbfotos Nrn. 1, 2, 5, 6, 8). In manchen Fällen zeigen die Kiefern auf kalkhaltigen Böden Chlorosen, die nicht als Gelbspitzigkeit zu bezeichnen sind, da die jüngsten Assimilationsorgane von ihrer Spitze bis zum Nadelgrunde gleichmässig vergilbt, die älteren Nadeln jedoch fahlgrün oder grün sind. Nachdem diese Art der Chlorose bei Kiefern nach den bisherigen Erfahrungen nur auf kalkhaltigen Böden zu finden ist, nennen wir sie *Kalkchlorose* (vgl. auch Farbfotos Nrn. 3, 4, 7). Sie sind nach unseren Untersuchungen bei Kiefern durch unzureichende Eisenversorgung bedingt, während bei Fichten oft Manganmangel hinzukommt (*Kreutzer [9]; Zech [14]*). Die Gelbspitzigkeit wurde in der Literatur als *Kalium- und/oder Magnesiummangel-symptom* beschrieben (vgl. *Möller [11]; Brüning [3]; van Goor [4, 5]* und andere). Für Kaliummangel ist ein allmählicher, gleitender Übergang zwischen gelber Nadelspitze und grüner Nadelbasis charakteristisch. Magnesiummangel zeichnet sich nach *Brüning [3]* dagegen durch eine scharfe Grenze zwischen der goldgelben Nadelspitze und der grünen Nadelbasis aus. Nach meinen Beobachtungen erkennt man Kaliummangel auch an der deutlichen Gelbfärbung der Nadelkanten, eine Erscheinung, die im Prinzip schon von Laubbäumen (vgl. *Walker [12]*) und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen (vgl. *Bear et al. [2]; Wallace [13]*) bekannt ist, da in diesen Fällen die Ränder der Assimilationsorgane bevorzugt Mangelsymptome aufweisen. Die Gelbspitzigkeit der Kiefern tritt im Spätsommer und Herbst auf und ist in den Wintermonaten am deutlichsten. Die Erkrankung klingt bei Beginn der neuen Vegetationsperiode ab, die Kiefern treiben grün aus.

Ist die Chlorose durch Kaliummangel bedingt, dann erkranken bevorzugt die älteren Nadeljahrgänge; allerdings vergilben im Laufe der Zeit auch die Spitzen halbjähriger Nadeln, und zwar besonders ausgeprägt an den basalen Assimilationsorganen der rezenten Triebe. Häufig ist das Wachstum der Bäume bei Kaliummangel schlechter, ihre Nadeln kürzer, die Zahl der Nadeljahrgänge geringer.

Auf Böden mit kalkhaltigem Muttergestein konnte Magnesiummangel bei Kiefern nicht festgestellt werden (dies ist verständlich, da neben Kalziumkarbonat häufig Dolomit vorkommt), sondern nur auf sauren, diluvialen Sanden.

Die symptomatische Unterscheidung zwischen Kalium- und Magnesiummangel ist bisweilen schwierig. Jedoch erlaubt die Nadelanalyse eine sichere Differenzierung. In Fig. 1 sind die Kalium- und Magnesiumkonzentrationen von mir analysierter, halbjähriger Kiefernadeln dargestellt. Man kann aus dieser Abbildung entnehmen, dass die Gelbspitzigkeit von Kiefernadeln durch unzureichende Kaliumversorgung verursacht ist, wenn die Kaliumspiegelwerte unter 0,3% liegen. Sichtbarer Magnesiummangel tritt bei Mg-Konzentrationen um 0,03% oder darunter auf. Diese Resultate stimmen mit den nadelanalytischen Grenzwerten überein, die *van Goor* [4] in Holland und *Ingestad* [7] in Schweden für Kalium- bzw. Magnesiummangel bei *Pinus silvestris* feststellten. Einen Zusammenhang zwischen Gelbspitzigkeit und Provenienz der Kiefern, wie ihn *van Goor* [5] aufgezeigt hat, konnten wir in Süddeutschland nicht finden.

Die durch Kaliummangel verursachte Chlorose der Nadeln verschwindet, wenn man die Bäume mit Kaliumsalzen düngt oder wässrige Kaliumsalzlösungen auf die Nadeln sprüht.

Auf ein und demselben Standort (Versuchsfläche *Rosenheim*) fanden wir überaus enge Beziehungen zwischen den Kaliumgehalten halbjähriger Nadeln und der Wachstumsleistung (Baumhöhe) von 8 einzelnen Kiefern (Fig. 2).

Nahezu lineare, hochsignifikante Beziehungen ($r = 0,862$) zwischen den Kaliumkonzentrationen halbjähriger Nadeln und dem mittleren Höhenzuwachs (= Triebhöhe) erhielten wir auch bei der Untersuchung von Kiefern auf 15 verschiedenen Standorten in Süddeutschland (vgl. *Zech* [14]). Die Böden dieser Probestellen sind – abgesehen von Standort 12, der einen Hochmoorstandort repräsentiert – aus kalkreichen, fluviatilen Sedimenten entstanden. Sie unterscheiden sich vor allem im Karbonatgehalt und in der Entkalkungstiefe. Die von diesen 15 Standorten durchgeführten Bodenanalysen machten wahrscheinlich, dass die Hauptursache für Gelbspitzigkeit von Kiefernadeln auf den untersuchten Probestellen in der *absoluten Kaliumarmut* der Feinerde dieser Böden zu suchen ist, denn die Beziehungen zwischen den Mengen an Gesamtkalium (HF-Auflösung) in der Feinerde in kg/ha und 40 cm Tiefe (= Hauptwurzelhorizont) und den Kaliumkonzentrationen in halbjährigen Kiefernadeln sind mit einem Bestimmtheitsmass von $B = 0,894$ überaus straff (Fig. 3).

Nimmt man für das Auftreten von Kaliummangelsymptomen einen nadelanalytischen Grenzwert von 0,3% K an, so kann in Kiefernkulturen auf entsprechenden Standorten mit sichtbaren Kaliummangelsymptomen gerechnet werden, wenn in der Feinerde weniger als rund 5000 kg Gesamtkalium/ha/40 cm vorhanden sind.

Unsere Kenntnisse über die Mangelsymptome der Koniferen sind noch ziemlich lückenhaft. Jedoch wissen wir mit Sicherheit, dass die Gelbspitzigkeit der Kiefernadeln nicht auf Stickstoff- oder Phosphormangel zurückgeführt werden kann, denn starker Stickstoffmangel ist an sehr kleinen, gleichmässig gelbgrün bis grünlichgelb gefärbten Nadeln erkennbar. Phosphormangel erzeugt dunkelgrüne bis grau- oder violettgrüne Nadeln; starker P-Mangel ruft korkenzieherartige Verdrehungen des Stammes hervor (nach Beobachtungen finnischer Forstwissenschaftler).

Aus diesen Zusammenhängen ersehen wir, dass bereits das Studium der Mangelsymptome – auch ohne Durchführung aufwendiger diagnostischer Methoden, wie

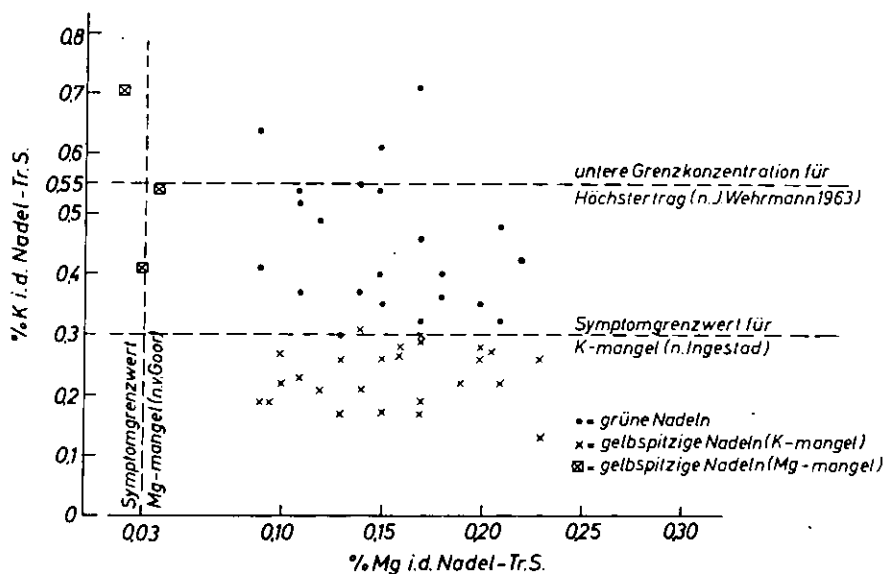


Fig.1 Kalium- und Magnesiumkonzentrationen in halbjährigen Kiefernadeln

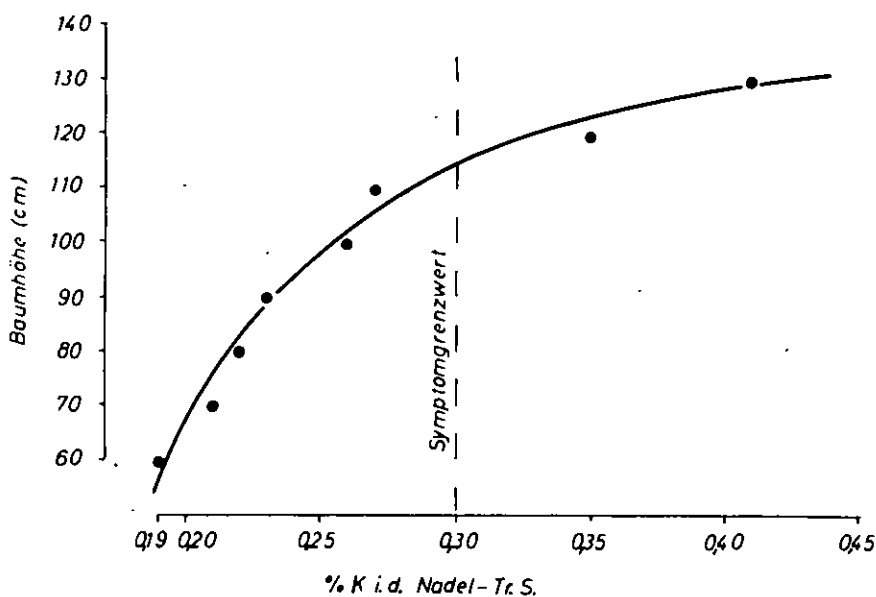


Fig.2 Beziehungen zwischen den Kaliumgehalten in halbjährigen Kiefernadeln und der Wachstumsleistung.

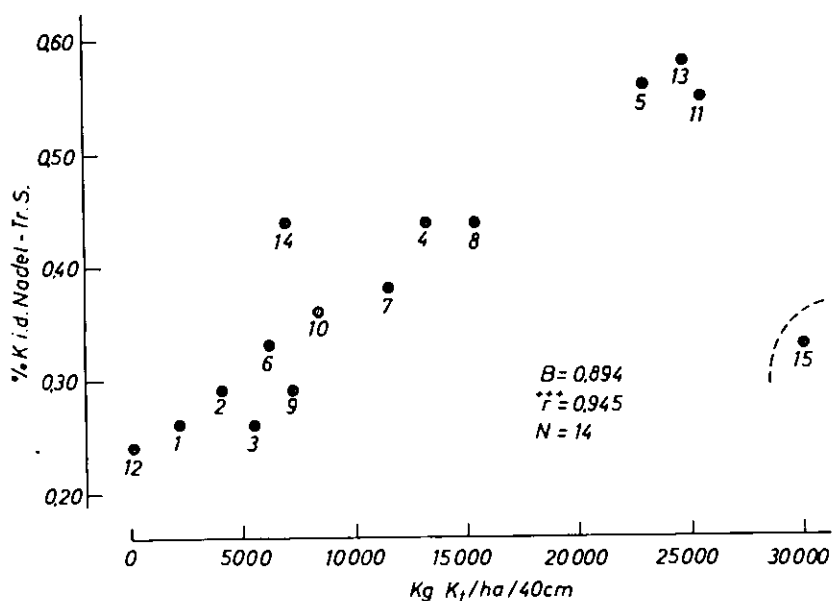


Fig. 3 Beziehungen zwischen Gesamtkalium der Feinerde (kg/ha/40 cm) und den Kaliumkonzentrationen in der Trockensubstanz halbjähriger Kiefernadeln. Auf Probeffläche 15 fixiert der Boden beträchtliche Mengen an Kalium, so dass trotz hoher Kaliumvorräte in der Feinerde die K-Konzentrationen in den Nadeln niedrig sind.

der Nadelanalysen – eine gewisse Aussage über den Ernährungszustand und damit über die Düngebedürftigkeit von Kiefernkulturen erlaubt. Gesicherte Aussagen erfordern aber die Kombination der verschiedensten Methoden, also neben dem Studium der Mangelsymptome die Durchführung von Blatt- und Bodenanalysen, sowie die Anlage von Düngungsversuchen.

Im Frühjahr 1965 legten wir auf typischen Kaliummangelstandorten Kalium- und Stickstoff-Düngungsversuche an. Über die Versuche in stark gelbspitzigen Kiefernkulturen bei *Burghausen* und *Rosenheim* soll im folgenden berichtet werden. Tabelle 1 unterrichtet über einige Eigenschaften der Probefflächen.

Die Bodenanalyse (vgl. Tabelle 1) ergab Hinweise über die Ursachen des Kaliummangels der Kiefern auf den Versuchsflächen *Burghausen* und *Rosenheim*. In *Burghausen* betrug der Vorrat an Gesamtkalium in der Feinerde rund 30 000 kg/ha/40 cm; in *Rosenheim* dagegen nur 180 kg Gesamtkalium/ha/40 cm. Dieser Hochmoorstandort ist also extrem kaliumarm. Die Parabraunerde von *Burghausen* enthielt zwar sechsmal soviel Kalium wie ein Boden aus kalkreichen, fluviatilen Sedimenten (*Zeich* [14]), auf dem noch gerade Kaliummangel erwartet werden kann. Da sie die Kiefern trotzdem nicht ausreichend mit Kalium versorgt, wird hier deutlich, dass die von mir beschriebene Beziehung zwischen Gesamtkaliumgehalt des Bodens und K-Gehalt der Nadeln für bestimmte tonhaltige Mineralböden keine Gültigkeit hat. Das ist dann der Fall, wenn der K-Versorgungsgrad durch das Gleichgewicht zwischen Kaliumnachlieferung aus den Silikaten und der Kaliumfixierung zwischen

Tabelle 1 Beschreibung der Probeflächen Burghausen und Rosenheim

Begründung der Kultur	Burghausen 1963	Rosenheim 1963
Bodenbearbeitung oder frühere Nutzung	ehemalige Streuwiese	20 cm tief gefräst
Düngung bei Kulturbegründung	–	40 dz kohlen-sauren Kalk/ha und 60 g Hyper-phos/Baum
Bodenform	typische Parabraunerde auf Niederterrasse	abgetorfte Hochmoor
pH (KCl) der oberen 10 cm	4,7	3,1
kg K der Feinerde/ha/40 cm	30 200	180
kg N der Feinerde/ha/40 cm	3 600	10 200
kg P der Feinerde/ha/40 cm	1 700	300

den Schichtpaketen aufweitbarer Tonmineralien bestimmt wird. Ich vermutete, dass der Boden von *Burghausen* Kalium in nicht austauschbarer und daher schwer pflanzenverfügbarer Form festlegen kann. Die Bestimmung der Kaliumfixierung (Methode *Jackson* [8]) brachte die Bestätigung. Schon im nassen Zustand fixierten die Proben beachtliche Kaliummengen, z. B. in den oberen 10 cm des Bodenprofils 36,6 mg K/100 g Boden.

Die nadelanalytische Untersuchung einer Mischprobe aus gelben und grünen Kiefern bestätigt den vermuteten Kaliummangel (Tabelle 2).

Tabelle 2 Nadelanalysen (Herbst 1964)

	% N	% P	% K	% Ca	% Mg
Burghausen	1,86	0,20	0,33	0,50	0,17
Rosenheim	1,55	0,17	0,24	0,38	0,13

Gedüngt wurde mit schwefelsaurem Kalium und Ammonsulfat, da uns die Frage interessierte, ob durch eine verbesserte N-Versorgung eventuell auch die Kaliumaufnahme gefördert wird. Zunächst möchte ich noch kurz erklären, weshalb wir auf sauren Standorten physiologisch saure Düngemittel verwendeten. Die Düngungsversuche *Burghausen* und *Rosenheim* wurden im Rahmen einer umfangreichen Untersuchung über die Ernährungsverhältnisse von Koniferen auf Kalkstandorten zu Vergleichszwecken angelegt. Auf kalkhaltigen Böden verabreicht man in der Regel physiologisch saure Düngemittel. Um nun in allen Düngungsversuchen die gleiche Behandlungsart anzuwenden, erhielten auch die sauren Vergleichsstandorte von *Burghausen* und *Rosenheim* Kalium- und Ammoniumsulfat. Das Experiment umfasst auf allen Probeflächen die Versuchsglieder «Null», «K», «N» und «NK» in vierfacher Wiederholung. Auf jeder Parzelle, die etwa 50 m² gross sind, wachsen 40–50 Kiefern. Die Bäume wurden einzeln gedüngt, und zwar mit folgenden Düngermengen:

Rosenheim:	5.4.1965	30 g schwefelsaures Kalium
	8.6.1965	30 g schwefelsaures Kalium
	12.6.1965	60 g Ammonsulfat
Burghausen:	14.4.1965	50 g schwefelsaures Kalium
	18.6.1965	50 g schwefelsaures Kalium
	18.6.1965	50 g Ammonsulfat

In *Burghausen* verabreichten wir höhere K-Gaben als in *Rosenheim*, da wir dort auf Grund unserer Laboruntersuchungen über die Fixierungskapazität dieses Bodens mit einer beträchtlichen Fixierung des gedüngten Kaliums rechneten, wie sie z. B. auch *Laatsch* [10] vor kurzem in *Pinus-halepensis*-Aufforstungen auf kalkreichen Mergelböden in Spanien beschrieb. Die ertragskundliche Aufnahme erfolgte im Oktober 1966.

Ergebnisse

Auf den K- und NK-Parzellen traten im Herbst 1965 und 1966 keine Kaliummangelsymptome auf. Gelbspitzigkeit entwickelte sich jedoch auf den Nullflächen, besonders in *Rosenheim*. Dort verschärfte ausserdem die Stickstoffdüngung das Kaliummangelsymptom, so dass im weiteren Verlauf die Kiefern auf den N-Flächen stark nekrotisch wurden (Verdünnungseffekt) und z. T. abstarben. Dagegen führte die reine Stickstoffdüngung in *Burghausen* zu einem schwachen Ergrünen der Kiefern. Typisch war auf beiden Standorten die überaus deutliche Wirkung der NK-Düngung. Die Nadeln wurden dunkelgrün, die Nadelmasse nahm mehr zu als auf den übrigen Parzellen.

Nun bestimmen die assimilierende Nadelmasse und die Assimilationsintensität der einzelnen Nadeln nach *Assmann* [1] den Zuwachs der Bäume. Einen starken Anstieg der Nettoassimilation von Kiefernzweigen nach einer Kaliumdüngung, durch die sich die Kaliumkonzentrationen in den Nadeln von 0,17 auf 0,64% K erhöht hatten, bewiesen gemeinsame Untersuchungen mit Herrn Dr. Koch vom Forstbotanischen Institut der Universität München. Die Veränderung der Nadelmasse lässt sich durch die Bestimmung des Gewichts von 100 Nadelpaaren feststellen. Dieses 100-Nadel-Gewicht kann als Zeigergrösse für das Pflanzenwachstum verwendet werden, da auf den untersuchten 15 Standorten zwischen dem mittleren Höhenzuwachs 1964 und dem Trockengewicht von 100 Nadelpaaren eine sehr enge Korrelation mit einem Bestimmtheitsmass von $B = 0,835$ vorliegt (Fig. 8).

In Fig. 5 sind die Mittelwerte und die mittleren quadratischen Abweichungen der 100-Nadel-Gewichte von Kiefern der Düngungsflächen *Rosenheim* und *Burghausen* dargestellt. In *Rosenheim* erkennt man bereits im Jahr der Düngung einen deutlichen Kaliumeffekt, der 1966 noch stärker wird. Stickstoff allein ist völlig wirkungslos. N und K zusammen ergeben die besten Resultate. Die ungedüngten Bäume leiden nach diesen Ergebnissen sowohl unter Kalium- als auch Stickstoffmangel. Da Kalium der Hauptminimumfaktor ist, kann die ausschliessliche N-Düngung auf diesem Hochmoorstandort nicht zur Wirkung kommen. Die Kiefern in *Burghausen* reagierten 1965 schwach, 1966 jedoch deutlich auf Kalium und Stickstoff.

Wenden wir uns jetzt dem Einfluss der Düngung auf den Höhenzuwachs der Kiefern zu. In Fig. 6 sind die absoluten und in Fig. 7 die relativen Baumhöhen dargestellt. Während das Gewicht von 100 Nadelpaaren bereits im Jahr der Düngung,

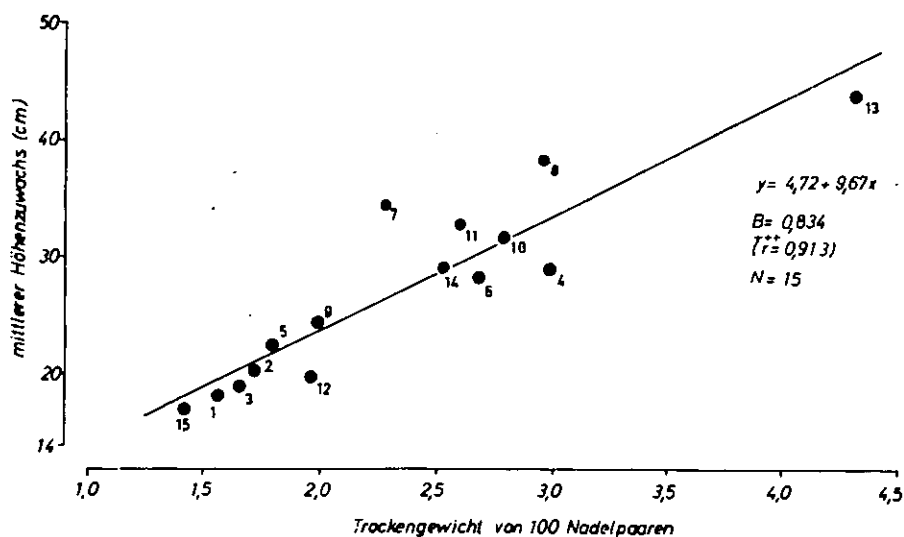


Fig.4 Beziehungen zwischen mittlerem Höhenzuwachs (1964) und Trockengewicht von 100 Nadelpaaren bei Kiefern (12 = Düngungsfläche Rosenheim, 15 = Düngungsfläche Burghausen).

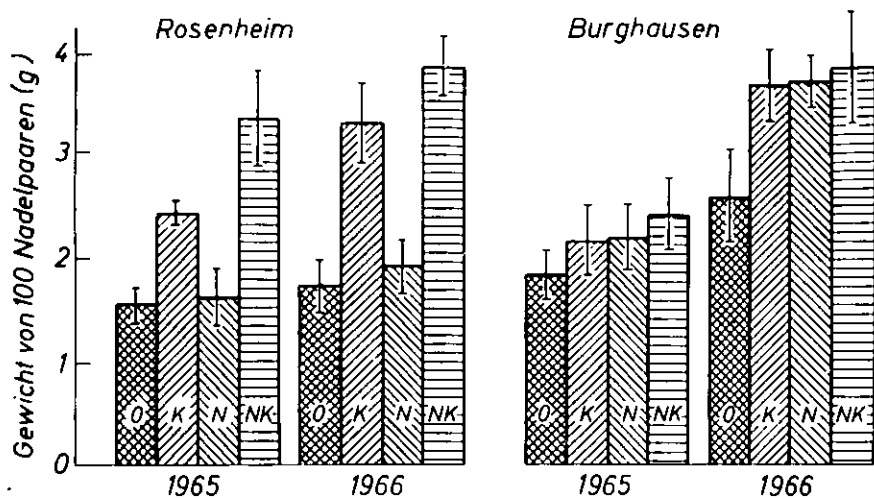


Fig.5 Mittelwerte und mittlere quadratische Abweichungen der 100-Nadel-Gewichte von Kiefern der Düngungsversuche Rosenheim und Burghausen.

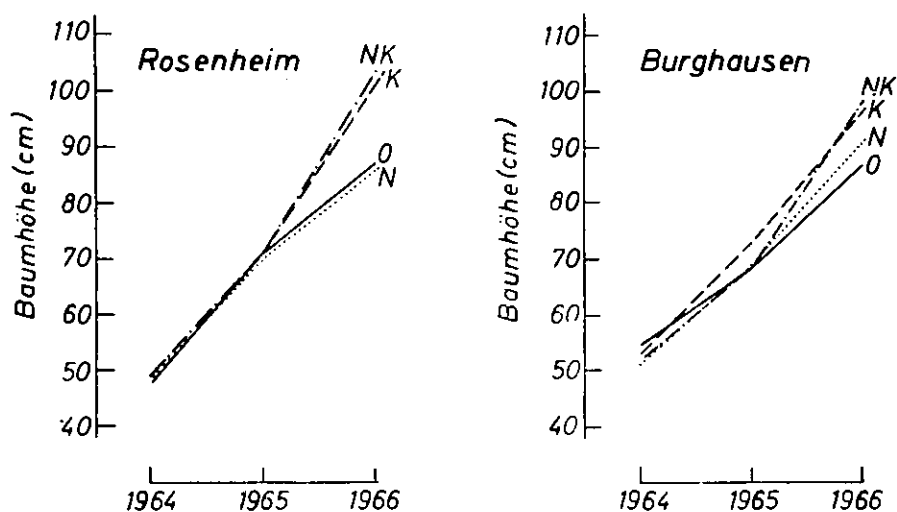


Fig. 6 Höhenwachstum der Kiefern auf den Versuchsflächen *Rosenheim* und *Burghausen*. Dargestellt sind die Mittelwerte der Baumhöhen von 120 Einzelmessungen der Düngungsvarianten O, K, N und NK.

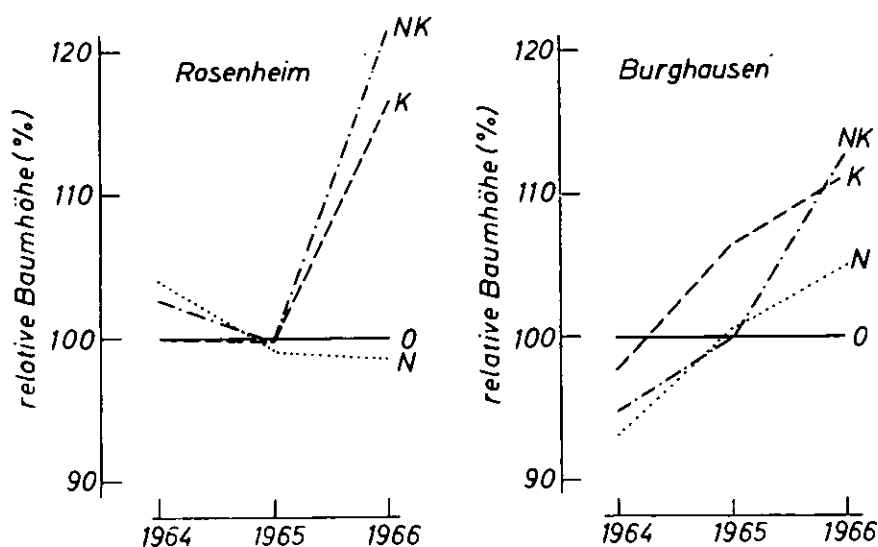


Fig. 7 Relatives Höhenwachstum der Kiefern auf den Flächen *Rosenheim* und *Burghausen*. Die mittlere Höhe der Nullflächen ist für jedes Jahr mit 100% als Bezugsbasis eingezeichnet.

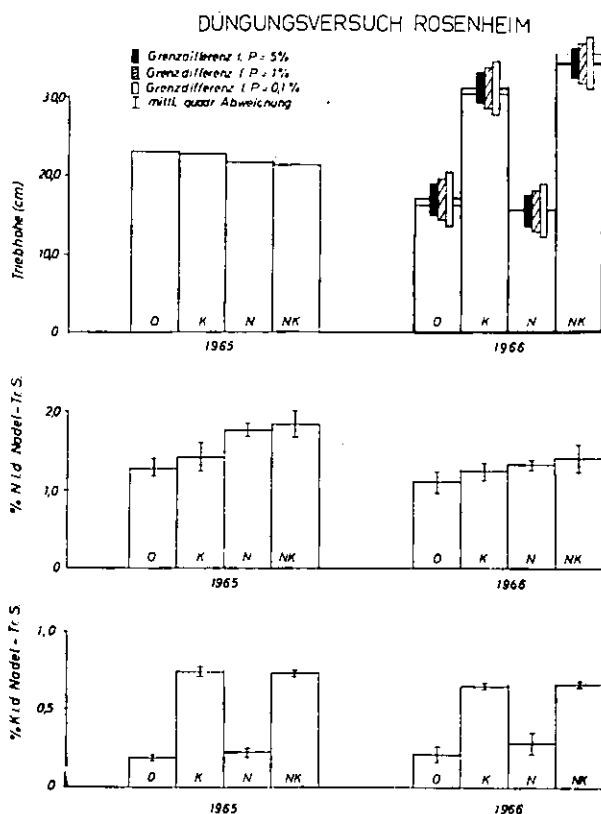


Fig. 8 Düngungsversuch *Rosenheim*. Ergebnisse der Covarianzanalyse. Erläuterung im Text.

also 1965, auf das unterschiedliche Nährstoffangebot reagiert – vgl. Fig. 5 – ist eine Steigerung des Höhenzuwachses 1965 in *Rosenheim* noch nicht festzustellen (Fig. 6 und 7).

In *Burghausen* lassen sich geringe Zuwachssteigerungen durch K, N und NK bereits im Jahr der Düngung beobachten.

1966 ist ein deutlicher Kaliumeffekt in *Rosenheim* nachzuweisen. In *Burghausen* setzt sich die schon 1965 erkennbare wachstumssteigende Wirkung von Kalium und Stickstoff auch im Jahre 1966 fort.

Eine exakte Interpretation von Düngungsversuchen erfordert die Anwendung von speziellen Auswertungsprogrammen und entsprechender statistischer Auswertungsverfahren. Mit Hilfe multivariater Methoden ist es z. B. möglich, die Unterschiede in den Ausgangshöhen von 1964, die den laufenden Höhenzuwachs und damit das Düngungsergebnis stark beeinflussen, auszuschalten. In Fig. 8 und 9 sind die Ergebnisse einer Covarianzanalyse dargestellt, und zwar sind im oberen Teil der Zeichnungen die Mittelwerte der Höhen der Leittriebe von 1965 und 1966

DÜNGUNGSVERSUCH BURGHAUSEN

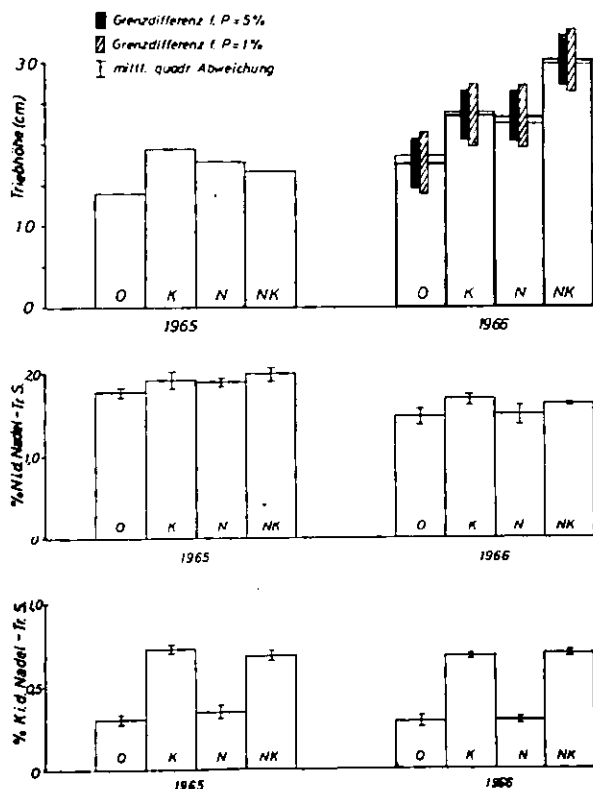


Fig. 9 Düngungsversuch *Burghausen*. Ergebnisse der Covarianzanalyse. Erläuterung im Text

graphisch aufgetragen. Ausgewertet wurden pro Parzelle 30 Bäume; bei vierfacher Wiederholung der einzelnen Versuchsglieder O, K, N und NK ergibt das für jede Düngungsvariante 120 Messdaten. Dick ausgezogen erscheinen in diesen beiden Abbildungen die Triebhöhen 1966, und zwar nach Bereinigung der Messwerte vom covariaten Einfluss der Ausgangshöhe 1964. Zum Vergleich sind die tatsächlichen Messwerte dünn ausgezogen.

Der Ernährungszustand der Kiefern auf den Versuchspartzen wurde durch Nadelanalysen festgestellt, wobei wir pro Fläche 15 Bäume beernteten und die Nadeln zu einer Mischprobe vereinigten. Die Mittelwerte der Nährelementkonzentrationen in den Nadeln der vier Wiederholungen unserer Düngungsvarianten (O, K, N und NK) sind in Tabelle 3 aufgeführt.

In den Fig. 8 und 9 sind in der Mitte und unten die Mittelwerte und die mittleren quadratischen Abweichungen der N- bzw. K-Konzentrationen in den Nadeln der 4 Wiederholungen der Düngungsvarianten (O, K, N, NK) dargestellt. Man erkennt aus Fig. 8, dass in *Rosenheim* die Trieblänge der Kiefern durch die Düngung

Tabelle 3 Nadelanalytische Ergebnisse der Düngungsversuche *Rosenheim* und *Burghausen* (Herbst 1966). Dargestellt sind die Mittelwerte der vier Wiederholungen der Düngungsvarianten O, K, N und NK

<i>Rosenheim</i>	100-Nadel-Gewicht	% N	% P	% K	% Ca	% Mg
O	1,720	1,10	0,12	0,21	0,26	0,14
K	3,299	1,24	0,13	0,65	0,31	0,11
N	1,914	1,31	0,12	0,28	0,24	0,13
NK	3,832	1,39	0,13	0,66	0,32	0,12
<i>Burghausen</i>						
O	2,576	1,50	0,15	0,29	0,37	0,19
K	3,669	1,71	0,17	0,69	0,38	0,18
N	3,696	1,53	0,12	0,30	0,32	0,17
NK	3,928	1,64	0,15	0,71	0,38	0,17

im Jahr 1965 noch nicht beeinflusst wird. Durch die Stickstoffdüngung erhöhen sich 1965 die Stickstoffspiegelwerte von 1,29 auf 1,74%. Die Kaliumdüngung ruft einen Anstieg des K-Spiegels von 0,19 auf 0,74% hervor. Im zweiten Jahr nach der Düngung erkennen wir höchst signifikante Unterschiede in der Leittrieblänge zwischen den mit Kalium gedüngten Flächen und den Null- bzw. den N-Flächen. Stickstoff allein bringt keine Zuwachsteigerung. Die Nadeln wurden zwar länger, blieben aber sehr dünn. Die Wirkung des Kaliums erhöhte sich durch die zusätzliche Verabreichung von Stickstoff, jedoch sind die Unterschiede zwischen K- und NK-Parzelle statistisch nicht gesichert. Man erkennt also einen deutlichen *Kaliumeffekt*: das Längenwachstum der Triebe läuft 1966 parallel mit der Erhöhung der K-Konzentrationen in den Nadeln von 0,2 auf 0,65% (Fig. 8). Diese Wirksamkeit der Kaliumdüngung war bereits 1965 auf Grund der Veränderungen der Nadelgewichte (Fig. 5) vorauszusehen. Die reine Stickstoffdüngung führt praktisch zu keiner Verbesserung der K-Versorgung (Nullflächen: 0,21% K; N-Flächen: 0,28% K).

Auch in *Burghausen* (Fig. 9) erhöhten sich wie in *Rosenheim* die Kaliumkonzentrationen in den Kiefernadeln durch die K- und NK-Düngung wesentlich, und zwar 1966 von 0,3% K in den Kiefern der Nullflächen auf rund 0,7% in den Bäumen der K- bzw. NK-Parzellen. Dem stehen nur geringe Veränderungen der N-Spiegelwerte durch die N-Düngung gegenüber. Bemerkenswert ist, dass die K-Düngung zu einem Anstieg der N-Konzentrationen in den Nadeln führt (1966: Nullflächen 1,50% N, K-Parzellen 1,71% N), während die alleinige Verabreichung von Stickstoff keine Veränderungen der N-Gehalte hervorruft (1966: 1,53% N). Diese Erscheinung lässt sich wahrscheinlich folgendermassen erklären: Der Boden besitzt die Fähigkeit zur Fixierung von Kaliumionen, worauf ich früher schon hinwies; vermutlich wird er auch Ammoniumionen fixieren. Düngt man nun Kaliumsalze, so können Ammoniumionen aus den Schichtgittern der Illite verdrängt und besser pflanzenverfügbar werden. Dass umgekehrt die Düngung von Ammonsulfat auf Grund eines analogen Mechanismus keine Erhöhung der K-Spiegelwerte in den Kiefernadeln zur Folge hat, liegt vielleicht an der unterschiedlichen Düngermenge, da halb soviel N verabreicht wurde wie K. Jedoch könnten auch folgende Zusammenhänge eine Rolle spielen: Auf den Nullflächen ist der K-Mangel weit stärker als der N-Mangel. Die Kohlehydratsynthese und damit die Zuckerversorgung der Wurzeln und ihrer Mykorrhizapilze wird also in erster Linie durch den

K-Mangel niedrig gehalten. Die K-Düngung muss deshalb viel mehr als die N-Düngung zur Vergrößerung der Nährstoffaufnahme beitragen.

Auf den mit Kalium und Stickstoff gedüngten Parzellen deutet sich bereits im Jahr der Düngung eine Zuwachssteigerung an. 1966 weisen die Kiefern der K- und N-Parzellen einen deutlichen Mehrzuwachs auf. Hochsignifikant ist der Mehrzuwachs auf den NK-Flächen.

Die bisherigen Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine kombinierte Kalium- und Stickstoffdüngung in den von mir untersuchten gelbspitzigen Kiefernkulturen am wirkungsvollsten ist.

Dagegen empfiehlt *van Goor* [6] bei gelbspitzigen Schwarzkiefern (*Pinus nigra austriaca*) eine kombinierte Kalium- und Magnesiumdüngung, obwohl die Stickstoffkonzentrationen in den Nadeln weit unter dem Optimum liegen. Dieses Ergebnis ist leicht zu verstehen, denn auf den holländischen Standorten – es handelt sich um Sandböden – ist neben Kalium vor allem Magnesium im Minimum, was auf meinen Probeflächen nicht der Fall ist.

Die endgültige Auswertung sämtlicher von mir in Süddeutschland angelegten Versuche ist für 1968 vorgesehen, nachdem auf einigen Standorten, z.B. auf den kalkreichen Schotterböden, bisher eine statistisch gesicherte Zuwachssteigerung durch Kalium und Stickstoff nicht nachweisbar war. Da jedoch die K- und besonders die NK-Düngung auch auf diesen Versuchsflächen zum Ergrünen der Kiefernkulturen führte und ausserdem das Nadelgewicht zunahm, wird die Zuwachssteigerung möglicherweise erst im 3. oder 4. Jahr nach der Düngung statistisch zu sichern sein.

Bibliographie

1. *Assmann E.*: Waldertragskunde, München 1961
2. *Bear F. E. et al.*: Hunger signs in crops. A symposium. American Society of Agronomy and National Fertilizer Association, Washington 1949.
3. *Brüning D.*: Forstdüngung, Radebeul 1959.
4. *Goor C. P. van*: Kaligebrek als oorzaak van gelepuntziekte van groveden (*P. silvestris*) en corsicaanse den (*P. nigra* var. *Corsicana*) Ned. Bosb. Tijdschr. 28 (2) 21–31 (1956).
5. *Goor C. P. van*: Kaligebrekssymptomen bij groveden. "Kali", Nr. 50 (1961).
6. *Goor C. P. van*: Is naast kali-ook stikstofbemesting in *Pinus* culturen met gelepuntziekte noodzakelijk? Ber. Bosbouwproefstation Wageningen, Nr. 30 (1962).
7. *Ingestad T.*: Studies on the nutrition of forest tree seedlings. III. Mineral nutrition of pine. *Physiol. Plant*, Copenhagen 13, (3), 513–533 (1960).
8. *Jackson M. L.*: Soil chemical analysis. Prentice Hall, Ingle Wood Cliffs, New York 1958.
9. *Kreutzer K.*: Manuskript aus dem Institut für Bodenkunde und Standortlehre der Forstlichen Forschungsanstalt an der Universität München.
10. *Laatsch W.*: Beziehungen zwischen Ernährungszustand und Wuchsleistung einiger *Pinus*-*halepensis*-Aufforstungen in Spanien. *Anales de edafologia y agrobiologia* XXV, Nr. 3–4, 205–229 (1966).
11. *Möller A.*: Karenzerscheinungen bei der Kiefer. *Zeitschrift für Forst- und Jagdw.* 36, 745–756 (1904).
12. *Walker L. C.*: Foliage symptoms as indicators of potassium deficient soils. *For. Sci.* 2, 113–120 (1956).
13. *Wallace T.*: The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. H. M. Stationery office, London 1961.
14. *Zeeb W.*: Kalkhaltige Böden als Nährsubstrat für Koniferen (Ökologische Studien in Süddeutschland) Manuskript, 1967.

Farbbild 1

Starker Kaliummangel bei Pinus silvestris

Starker Kaliummangel (%-Werte in den Nadeln kleiner als 0,2) führt bei Kiefern bereits im Sommer zu Chlorosen und Nekrosen, die im Herbst und Winter alle Nadeln erfassen. Im darauffolgenden Frühjahr sehen die Bäumchen wie von Schütte befallen aus. Nur wenige mm der Nadelbasis bleiben grün. Abgestorbene Nadelspitzen lassen häufig Pilzbefall erkennen. Verfolgt man den Verlauf der Symptome, so lässt sich der Kaliummangel mit sekundärem Pilzbefall deutlich vom reinen Schüttesymptom unterscheiden. Bei K-Mangel sind stets zuerst die Nadelspitzen chlorotisch, wobei zwischen den gelben Nadelspitzen und der grünen Nadelbasis ein allmählicher Übergang typisch ist. Die Chlorose kann in eine Nekrose übergehen, erst anschließend siedeln sich Pilze auf der abgestorbenen Nadelspitze an.

Bei reiner Pilzinfektion, d. h. ohne gleichzeitigen K-Mangel, werden die grünen Nadeln in ihrer Gesamtheit gelb- bis kupferfleckig.

Rosenheim, Probestfläche 12, April 1965

Farbbild 2

Kaliummangel an Picea abies (Pflanzgartensymptom)

K-Mangel der Fichte bei sehr guter P-Versorgung. Typisch ist die Gelb- und Rotspitzigkeit (nach Frost) apikaler Nadeln. Proximale und ältere Nadeln sind grün. Die Chlorose tritt im Herbst auf.

Nadelanalyse (halbjährige Nadeln des obersten Wirtels):

N = 1,6 %; P = 0,27 %; K = 0,15 %; Ca = 0,32 %; Mg = 0,12 %; Fe = 45 ppm; Mn = 145 ppm.

Probestfläche 12, November 1964



Farbbild 1



Farbbild 2

Farbbild 3

Eisenmangel bei Pinus silvestris

Während die älteren Nadeln grün oder fahlgrün sind, weisen die diesjährigen Nadeln eine gleichmässige Gelbfärbung auf. Man vergleiche die gesund erscheinenden Exemplare rechts und links im Bild! Am 2. Juli 1964 analysierte ich in jungen Nadeln von 20 grünen und 20 gelben Kiefern folgende Nährionengehalte:

<i>grüne Kiefern:</i>	N = 1,29 %; P = 0,12 %; K = 0,53 %; Ca = 0,21 %; Mg = 0,11 %; Fe = 24 ppm; Mn = 30 ppm;
<i>gelbe Kiefern:</i>	N = 1,85 %; P = 0,18 %; K = 0,79 %; Ca = 0,25 %; Mg = 0,13 %; Fe = 25 ppm; Mn = 36 ppm.

Auffallend sind die höheren N-, P-, K-, Ca-, Mg- und Mn-Gehalte chlorotischer Pflanzen. Die Fe-Konzentrationen sind praktisch gleich. Sie können manchmal in gelben Kiefern sogar höher sein als in grünen, liegen im Mittel, zu Beginn der Vegetationsperiode, jedoch unter 20 ppm.

Probefläche 5, Juni 1964

Farbbild 4

Manganmangel an Picea abies

Auf kalkreichen Böden vergilben im Sommer, vor allem aber im Herbst und Winter, häufig die halbjährigen Nadeln. Sie werden gleichmässig gelb, die älteren Nadeln bleiben hellgrün bis grün. Das Besprühen mit Mangansulfatlösung führt in vielen Fällen zum Ergrünen. Gelbe Nadeln enthalten häufig weniger als 20 ppm Mn.

Tölz, März 1965



Farbbild 3



Farbbild 4

Farbbild 5

Kaliummangel an Picea abies (Moorsymptom)

K-Mangel bei schlechter P-Versorgung. Die älteren Nadeln sind gelbspitzig oder weisslich-fahl mit grünen Flecken, während die jüngsten Nadeln hellgrün sind, ohne gelbe Spitzen.

Munsell-Skalawerte für die grünen Nadeln im Bild oben: 5 GY 5/6; für die weisslich-fleckigen Nadeln im Bild unten: 5 Y 8/6. (Grüne rezente Nadeln: N = 1,4 %; P = 0,11 %; K = 0,12 %; Ca = 0,33 %; Mg = 0,12 %; Mn = 144 ppm; Fe = 40 ppm.)

Ältere chlorotische Nadeln: N = 1,2 %; P = 0,08 %; K = 0,11 %; Ca = 0,84 %; Mg = 0,17 %; Mn = 137 ppm; Fe = 33,5 ppm.)

Traubing, April 1964

Farbbild 6

Kaliummangel bei Abies alba

Die älteren Nadeln sind gelbspitzig mit gleitendem Übergang zur grünen Nadelbasis. Die jüngsten Nadeln sind grün. Diese Mangelsymptome werden, wie bei anderen Koniferen, besonders im Herbst deutlich. Nadelanalyse (Nadeln des obersten Wirtels einer 1 m hohen Tanne):

N = 1,24 %; P = 0,12 %; K = 0,20 %; Ca = 1,06 %; Mg = 0,32 %; Fe = 31 ppm; Mn = 114 ppm.

Grafrath, Oktober 1965



Farbbild 5



Farbbild 6

Farbbild 7

Eisenmangel an Abies alba

Wie bei Kiefer und Fichte ist die gleichmässige Gelbfärbung der jüngsten Nadeln typisch. Ältere Nadeln sind hellgrün bis grün.

Die Nadeln treiben bereits chlorotisch aus; im Laufe der Vegetationsperiode werden sie z. T. grün. Nach der Düngung mit Eisenchelat verschwindet die Chlorose. Der besondere Habitus der Pflanze dürfte durch Frosteinwirkung entstanden sein.

Nadelanalyse:

Chlorotische Tannen:	N = 2,14 %; P = 0,21 %; K = 0,88 %; Ca = 0,24 %; Mg = 0,10 %; Fe = 20 ppm; Mn = 98 ppm.
Grüne Tannen:	N = 1,37 %; P = 0,17 %; K = 0,61 %; Mg = 0,09 %; Ca = 0,22 %; Fe = 31 ppm; Mn = 94 ppm.

Grafrath, 13. Juli 1965

Farbbild 8

Kaliummangel der Lärche

Die Nadeln der Kurztriebe entwickeln zuerst Spitzenchlorose. Der Übergang zur grünen Nadelbasis ist gleitend. Nekrosen treten ebenfalls von der Nadelspitze her auf.

Probefläche 15, August 1965



Farbbild 7



Farbbild 8

zer river, British Columbia, and 3, inland, from inland British Columbia to inland Oregon.

South coastal provenances are now specified for all contorta pine plantings. In general these grow vigorously in the early years, but after about 10 years there are definite signs of a slowing down in growth on many of the poorer sites. Such areas will probably require further applications of phosphate, and there is experimental evidence that, on western peats at least, improved growth due to second applications of phosphate may lead to potassium deficiency.

In one area of peat on the west coast early growth of south coastal contorta has also been limited by copper deficiency. While growth responds to applied copper have been obtained in experiments on other western peat areas, this is the only instance so far in which lack of copper appears to have restricted growth to any important extent.

Contorta pine from Lulu Island is characterised by profuse and continuous flowering from about the fourth year after planing. This is associated with light crowns and slow growth. It is now accepted that such crops, left untouched, will not produce an economic return. It has been estimated from the quantity of seed purchased that crops of this origin cover about 50 000–80 000 acres (20 000–32 000 ha) and therefore form a management problem of some magnitude. A decision must be made between early clearance and replanting, involving a writing-off of the investment to date, or fertilizing in the hope that the crops may be brought to the pulpwood stage before being cleared. Experiments carried out on representative crops have shown good responses only to phosphate, this response being well maintained into the third year. Forest establishment costs on the kinds of land involved average about £ 45 per acre, and most of the crops are about 10–15 years old. Treatment with fertilizer costs about £ 3. 10. 0. per acre, so that the extra investment required to convert a definite loss into possible profit is relatively small.

Contorta pine of inland provenances appears to be inherently slow growing under Irish conditions and unable to respond to treatment. Such crops are being cleared and replaced as opportunity arises.

2.2 *Sitka spruce*

While contorta pine has been the usual species selected for poorer sites it has rarely been planted pure. It has been normal practice to include a proportion, up to 20%, of Sitka spruce and occasionally this species has been planted pure. It has been the hope that a final crop of spruce will be obtainable, the pine acting as a nurse crop and providing intermediate returns. Almost invariably Sitka spruce on the poorer western peat and Old Red Sandstone soils grows well for about four years and then growth slows down to a few inches per year. In experiments on western peat such checked spruce has responded to applications of nitrogen, phosphorus and potassium, but the main response has been to phosphorus. In one experiment 50 lb. of phosphorus alone per acre (56 kg per ha) increased the annual height growth of 9-year old Sitka spruce from 2 inches to 4, 5 inches in the first year and to 12 inches in the second year after application, whereas the effect of 200 lb. of nitrogen per acre (224 kg per ha), averaged over treatments with and without phosphorus and potassium was a growth increase of 0.5 inch in the first year and 1.5 inches in the second year. In the same experiment 95 lb. of potassium (106 kg per ha) had no significant

effect until the second year after application when it gave an average growth increase of 2.2 inches. In the third year (1967) however, potassium deficiency symptoms have developed in plots with phosphorus and without potassium so that the effect of the latter may be expected to increase.

In the experiment referred to above the uptake of nitrogen in the year after fertilization, as reflected in needle analysis, was improved more by ground rock phosphate alone than by sulphate of ammonia alone, presumably due to increased microbial activity. Whether this will apply to the Old Red Sandstone soils where the peat cover has been removed is doubtful. Trials of nitrogen fixing shrubs such as broom (*Sarothamnus scoparius* Wimm.) and lupin (*Lupinus arboreus* Sims.) have shown promise on these soils but it is too early to say whether they will be ultimately successful. It may also be possible in conjunction with phosphorus applications to make use of the furze (*Ulex galii* Planch.) which is a common component of the vegetation on Old Red Sandstone soils.

Following on the early results from experiments a programme of second fertilizing of checked crops, mainly Sitka spruce/contorta pine mixtures, was begun in 1966 when about 2000 acres (800 ha) throughout the country was treated with about 400 tons of ground rock phosphate. A further 2000 acres is being treated in 1967. A series of random assessment plots has been established in which growth response will be related to soil and foliage analysis before treatment.

2.3 *Norway spruce and Scots pine*

A type of site widely represented in recent plantations in the east midlands consists of lowlying peat of reed-swamp (*Phragmites*) origin. Because of the danger of late frosts these have generally been planted with Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as a nurse. Many of these crops now show definite signs of potassium deficiency, in both species, which it has been possible to correct or reduce by applications of potassium. Data on growth responses are not yet sufficient to draw conclusions but early experimental results indicate that responses may not be as prompt or as spectacular as responses to phosphorus on western peats. This may be due to the different tree species involved, or it may be connected with the strong ground vegetation encountered on the midland sites. Vegetation control, for which techniques are readily available, may be necessary in order to get maximum benefit from the fertilizer.

2.4 *Method of application*

Up to the present all fertilizers used in the Republic of Ireland have been spread by hand. Second fertilization of checked crops costs from £ 1 to £ 3 per acre, excluding cost of fertilizer, depending on site and crop conditions. Subsequent applications will probably cost more. While the use of fixed-wing aircraft might be possible on the Old Red Sandstone hills where landing strips might be available on the intervening agricultural land, this would not be possible on the more extensive western peats. Application of fertilizer at 3 cwt. per acre to 1000 acres was recently achieved by helicopter in Scotland at a cost (excluding fertilizer) of about £ 2.18.0 per acre (1).

3. Future prospects

3.1 Establishment

It is now widely accepted that second and perhaps further applications of fertilizer will be required over large areas of plantations. This prompts the suggestion that increased rates of application at the time of planting may reduce the need for some of the costlier treatments during the early crop stage. Experimental applications of up to 8 ounces (227 grams) of ground rock phosphate per plant have resulted in improved growth over the first six years and it is probable that even better results would have been obtained if the fertilizer had been broadcast rather than concentrated around the base of the plant in the usual way. Whether large quantities can be applied without substantial losses from the site is still in doubt. *Dickson* [2] working on blanket peat in Northern Ireland applied basic slag at rates of 2.5, 10 and 30 cwt. per acre shortly before ploughing prior to planting in 1962. Analysis of peat, trees and vegetation in 1966 accounted for 80%, 85% and 40% respectively of the quantities of fertilizer applied. *Dickson* suggests that the heavy loss at the highest rate of application was due to washing away of the fertilizer in the initial flush of water during ploughing. However the retention of 85% of an application of 10 cwt. per acre is encouraging.

3.2 Normal crops

Despite the large area of recent plantations on the infertile sites which have been dealt with above, most of the forests of the Republic of Ireland have been and will continue to be planted on normal forest sites, i.e. sites where fertilizing would not now be envisaged. A survey carried out in 1960 as part of the census of woodlands indicated that of the important species Sitka spruce, Norway spruce, Scots pine and Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) approximately 88%, 36%, 40% and 74% respectively of crops of these species fell into Quality Class III or lower of the British Forestry Commission yield tables [5]. While several factors are probably active in limiting the growth of these crops, it is likely that nutrient deficiency is an important one, and there may be considerable scope for the planned manipulation of yields by the judicious use of fertilizers in order to prevent foreseen scarcities of timber for industrial use, and also to achieve an overall increase in production. Research on the fertilization of normal crops has just begun.

Bibliography

1. *Davies E.J.M.*: Aerial fertilization at Kilmory Forest, Forest. Scottish Forestry 21, No.2 99-104 (1967).
2. *Dickson D. A.*: The mineral nutrition of trees on deep peat. Agricultural Record 25, 19-30 (Spring 1968).
3. *Henderson W.*: In Departmental Committee on Irish Forestry, Appendix 26, P. 302. H.M.S.O. Dublin 1908.
4. *O'Carroll N.*: The progress of peatland afforestation in the Republic of Ireland. Irish Forestry 19, No. 1, 93-101 (1962).
5. *O'Muirgheasa N.*: Inventory, in Forest Research Review 1957-1964. Stationery Office, Dublin.

Experiences Obtained from Fertilization of Norway Spruce in Denmark

Dr. H. HOLSTENER-JØRGENSEN, State Forest Research Institute, Springforbi/Denmark

1. Introduction

Fertilizing experiments in forest are no new field of research in Denmark. The earliest experiments were established in the last quarter of the previous century, and since then new series of fertilizing experiments have been commenced at intervals of about 25 years. The latest 'wave' set in about 1950, and still seems to have a long life ahead of it.

Up to 1960 the Danish Forest Experiment Station took no active part in this type of research. These experiments were, on the whole, carried out by the Royal Veterinary and Agricultural College of Denmark, while the Forest Experiment Station awaited developments.

In this paper I will try to answer the following questions:

- What results were obtained from the earlier and more recent fertilizing experiments made without the co-operation of the Danish Forest Experiment Station?
- What results were obtained from the Forest Experiment Station's own experiments?
- What general lines have been laid down for the continued experimental work?

2. Geology, soils and tree-species

The Danish forests and plantations grow on two different geological deposits. The so-called 'old' forest areas are usually to be found in areas with glacier deposits from the last glaciation. The main tree-species are beech, oak and Norway spruce. The two former are native, whereas Norway spruce was introduced at about the middle of the previous century. Beech covers the biggest area, but Norway spruce is indisputably the most profitable tree-species from a financial point of view.

The other geological region represents land not covered by the ice sheet of the last glaciation. In this area we find, partly fluvioglacial sand deposits, partly older, often sandy and gravelly, moraine deposits, which are called hill islands.

Around the year 1800 this area was mainly heather-grown, forming vast moors. After 1800 a cultivation was commenced, which was precipitated after 1864. Partly, land was brought under the plow, partly, rather large plantations were established. As the soil in the area is heavily podsolized, Norway spruce was adopted as the main tree-species of the plantations.

The site index is generally low in this area, and there have been and still are considerable difficulties connected with the cultivation, because the plantation stagnates a

few years after the establishment. The height increment falls to a minimum during a period which may last from a few years to more than 10 years.

Owing to these cultivation difficulties, a relatively great number of fertilizing experiments have during the years been carried out in this special region.

3. The results of earlier fertilizing experiments

Considerations of time forbid me to go into details about the earliest fertilizing experiments in Danish forests and plantations. *Møller* [8] has published an excellent review of literature, which may be referred to in support of the following brief survey.

As mentioned, the Danish investigations may be arranged in periods or, if you like, in 'waves'. A schematic presentation, characterized by a number of personal names, looks as follows:

abt. 1900: *P. E. Müller, J. Helms, L. Smith.*

abt. 1925: *F. Weis.*

abt. 1950: *C. M. Møller, E. Øksbjerg, G. West-Nielsen, A. Hviid*, and others.

None of the persons mentioned have been actually attached to the Danish Forest Experiment Station, although some of their papers have been published by the Forest Experiment Station. They have either belonged to the staff of the Royal Veterinary and Agricultural College (*Müller, Helms, Weis, Møller, Øksbjerg*) or they have been practising foresters (*Smith, West-Nielsen, Hviid*).

The publications available are mainly concerned with experimental cultivation of heathland. As already mentioned, this is first and foremost due to the fact that such experiments were badly needed at the time when great difficulties were met with in the cultivation of the Jutland heathland. However, another reason is no doubt that technically cultivation experiments are more easily conducted.

A summing-up of the results obtained up to and including 1957, in which year the first results of *Møller's* experiments were published (*Møller and Schaffalitzky de Muckadell* [9]) shows:

- A response to the fertilization is usually only obtainable on the poorest soils.
- Leaving out of account the necessity of applying K and P when growing leguminous plants for green manure, a response is only obtained from N-fertilization. A calcium response is generally interpreted as an indirect N-response.

4. Results of the experiments carried out by the Danish Forest Experiment Station

The Experiment Station's reticence as far as the establishment of fertilizing experiments is concerned has been dictated by a wish of avoiding to do the same thing twice over. To be in the picture, however, the Experiment Station has carried through some pot experiments and has made chemical leaf and needle analyses.

In the 1950s a few experiments were established. One of these was in the Sdr. Omme plantation (*Olsen, Rafn and Scheurer* [11]). This experiment showed

response to N and P. As the experiment was not designed factorially, it could give no information as to interactions.

In 1960 an experiment was established on Klosterheden (*Holstener-Jørgensen* [2]). This experiment showed a clear difference between the two tree-species in the experimental area, Norway spruce and Japanese larch, which grew in a mixed stand, and which, therefore, must by considered to have had equal possibilities of utilizing the nutrient resources of the soil.

Norway spruce responded positively to N-fertilization and to P-fertilization. Larch responded negatively to N-fertilization, but positively to P-fertilization.

For both tree-species there was a positive interaction between N and P.

There was a tendency towards negative responses to K-fertilization. This tendency was interpreted as an induced Mg-deficiency. If we pay consideration only to the nature of the response (its negativity), we find that the tendency is a significant response (on the 5%-level).

To follow up the results of this experiment, 10 experiments in Norway spruce plantations and mixed Norway spruce plantations were established in the spring of 1963. The experiments were geographically evenly distributed over the sandy soils of Jutland. The purpose was within the shortest possible time to obtain information as to which nutrients were lacking in this area. As a matter of course, we thought first and foremost of obtaining confirmation of our presumption that P-deficiency is common.

The experiments were factorially arranged experiments with N, P and K, but otherwise simple and of a two-year duration. As factorially arranged experiments they could provide information about the frequency of interactions.

The first results of these experiments have been published. They are concerned with observations of deficiency symptoms, since K- and Mg-deficiency symptoms occurred in some of the experiments (*Holstener-Jørgensen* [3] and [4]). Furthermore, the results of the measurements in two experiments have been published (*Holstener-Jørgensen* [5] and [6]). As far as the other experiments are concerned, the measurements have been completed (autumn 1964) and the material has been provisionally worked up.

That we have chosen to publish each experiment separately is due to the fact that the results of each experiment prove to differ somewhat from those of the others.

Summing up the impressions obtained from the results of the experiments concerning Norway spruce, we find that, of the ten simultaneously established experiments, 9 show responses to fertilization. The lack of response in the one experimental area may be due to there being no nutrient deficiency in this area. It is more probable, however, that the experiment must be classed as a failure. Because in this area troubles were experienced both with damage caused by game (apparently independent of the fertilization) and injury to the top shoots by frost.

In a comprehensive survey, the somewhat earlier factorially arranged experiment on Klosterheden should reasonably be included. Since it is the question of a 'preliminary' investigation, it has, moreover, been considered reasonable to go as far as to 20% probability.

Table 1 gives a survey based on the mentioned principles.

Until 1957 it was generally agreed that – as mentioned earlier – the only nutrient lacking in the sandy soils of Jutland was N. Thus, it was apparently rather a simple matter. Table 1 shows that the circumstances are much more complicated.

Table 1 Responses obtained in 11 fertilizing experiments with Norway spruce (20 % probability)

Nature of the response Factor	+	—	Total
N	8	0	8
P	7	0	7
K	7	2	9
Interaction	7	0	7

In the following I propose to comment briefly on each of the factors mentioned in Table 1.

4.1 Nitrogen

N-deficiency is a well-known phenomenon at the planting stage in Jutland moorland plantations, and there is nothing surprising in its recurring in the most recent experiments. The N-deficiency may be a pure planting phenomenon, which means to say that it is not possible to decide from a series of investigations like the one mentioned whether N-deficiency will also occur in middle-aged and old Norway spruce stands in the area.

4.2 Phosphorus

The realization that P-deficiency occurs in the area is relatively new. When the experiments of 1963 were established, we presumed that P-deficiency might be a regional phenomenon. This presumption proved wrong.

Furthermore it is worth while noticing that with the doses applied (P = 1000 kg superphosphate/ha, N = 600 kg calcium nitrate/ha) the P-response is often considerably heavier than the N-response. In 6 experiments showing both N- and P-response, the P-response is the most prominent in 4 cases.

It is hardly conceivable that the P-deficiency is purely a planting phenomenon, but on the other hand we dare not conclude without further proof that P-deficiency occurs just as frequently in middle-aged and old Norway spruce stands as in the experimental plantings carried out. At a later stage in the research programme, which comprises fertilizing experiments in old Norway spruce stands on sandy soils, 6 experiments established so far showed the P-content of the needles to be so low that we have decided to include P in our research plans.

4.3 Potassium

It is characteristic of the K-responses that they are relatively weak. It is moreover characteristic that the most reliable way of ascertaining the response appears to be deficiency-symptom counts (*Holstener-Jørgensen* [3] and [4]).

We have tried to use the deficiency-symptom counts as the basis for an assessment of the magnitude of the response in terms of growth rate. We have thought, for instance, that deficiency-symptom counts might form the basis for fixing the dosages.

It is beyond doubt that in certain cases there is a connexion between the occurrence of K-deficiency symptoms in a factorially arranged fertilizing experiment and the lengths of the top shoots. Fig. 1, which is based on results from an experiment in

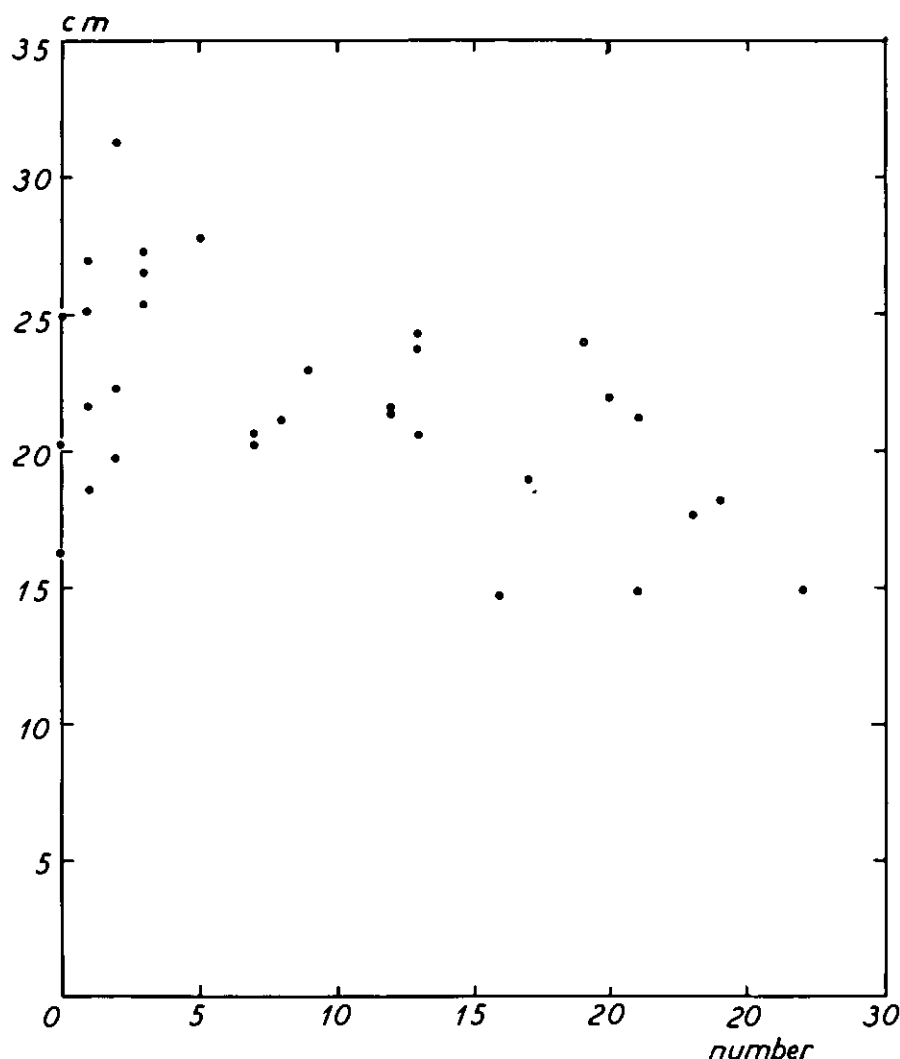


Fig. 1 The average lengths of top shoots (cm) plotted against the number of plants with K-deficiency symptoms among 30 inspected and measured plants in each plot.

the Bevtoft plantation in South Jutland, illustrates this (*Holstener-Jørgensen and Bartholin [7]*).

In the figure the average top-shoot lengths for the individual plots in 1964 have been plotted against the incidence of K-deficiency symptoms in the individual plots.

In this case it has been possible to represent the relations in a comparatively simple way, because in this experiment there are responses only to K-fertilization and to interactions between N and K.

In the other cases in which K-deficiency symptoms have been recorded (*Holstener-Jørgensen [3]*), such a relationship cannot be demonstrated definitively, and at the

present stage we must lay down that apparently the diagnostic value of the K-deficiency symptoms is limited to showing that K-fertilization is desirable where such symptoms occur.

We have wondered why the responses are so relatively weak. It must be assumed that we are somewhere on the steep slope of the yield curve (see, i.a., *Swan* [14] Fig. 3, p. 505), as indisputably there are still K-deficiency symptoms in the plots that have been K-fertilized.

There may be several explanations why the responses are relatively small. I will briefly mention some of them:

- One explanation might be that the yield curve in itself is rather 'flat'. If that is the case - the author has no special knowledge on this point - relatively weak responses must be expected.
- The importance of K for the nutrient economy in plants has till this day still not been clarified (*Scheffer and Welte* [12], *Steenbjerg* [13]). Therefore, there is no reason to touch on that aspect of the matter in our compilation. A single circumstance leaps to the eye, however. K is reported to be of importance for the drought-sensibility and water-economy of the plants (*Scheffer and Welte* [12]). Both 1963 and 1964 were good years of growth from the point of view of water supply, and if there exists an interaction between K and water, it is possible that the relatively good water supply has compensated for the K-deficiency, so that the responses were smaller than would have been the case in a dry year.
- Another possible explanation may be based on recently published results of experiments in England (*Benzian* [1]). They show that though no Cl-damage can be demonstrated after Cl-fertilization, it is nevertheless possible to measure a considerable reduction of the increment in Norway spruce. Trusting that when no Cl-damage could be seen, there was no adverse effect, we have everywhere in our experimental series used the cheaper KCl-fertilizer instead of the more expensive K_2SO_4 -fertilizer. The English investigations seem to show that the reason why the K-responses we have found are so small may be that the K-responses recorded are the resultant of positive K-responses and negative Cl-responses. We are preparing to examine this point more closely in newly established experiments.
- In several experimental areas, the deficiency-symptom counts have shown that K-fertilization induced Mg-deficiency symptoms (*Holstener-Jørgensen* [3] and [4]). Theoretically, the explanation of the low K-responses may be that they are the resultant of a negative interaction between the K-fertilization and insufficient Mg-reserves in the soil.

In short, a number of circumstances can be enumerated which may have contributed to making the K-responses relatively low, and we cannot disregard the possibility that more of them may have worked together.

4.4 Interactions

As to these it should only be emphasized here that in our opinion the frequent occurrence of interactions stresses the fact that it is hardly to be expected that the nutrient problems of the Danish moorland forestry can be solved by using a single miraculous remedy. If fertilization should be adopted in practice, it will in many cases be necessary to supply several different nutrients.

5. Conclusions

In the previous an attempt has been made at giving a sort of progress-report on the present stage of the research in Denmark.

Many aspects have not been touched upon at all. This holds good of problems such as needle analyses, soil analyses, etc., and it especially holds good of the economic aspect of the matter, that is, the question whether we can see from the available results of experiments that it is economically justifiable to use fertilizers, and in what cases economical advantages may be obtained by fertilization.

So far, we are in possession of results from an experiment with middle-aged Norway spruce which seem to prove that N-fertilization has been economically justifiable in that case (*Møller and Lundberg [10]*).

However, one swallow does not make a summer, and therefore, partly on its own, partly in co-operation with the Danish Heath Society, the Danish Forest Experiment Station has established a series of fertilizing experiments in old Norway spruce all over the country. Furthermore the Heath Society has commenced a series of experiments in old Norway spruce on sandy soils in Jutland. Within a few years a rather important number of experiments will be in progress in these series, but some years will still pass before the first results of the experiments are available, and until then we cannot start any actual consultative work in this field.

Bibliography

1. *Benzian B.*: Risk of damage from certain fertilizer salts to transplants of Norway spruce and the use of slow-release fertilizers. *Forestry Supplement*, 65-69 (1966).
2. *Holstener-Jørgensen H.*: Et godningsforsøg i en kultur med rødgran og japansk lærk paa Klosterheden. *Forstl. Forsøgsv. Danm.* 28, 67-95 (1963).
3. *Holstener-Jørgensen H.*: Kalium- og magnesiummangelsymptomer i godningsforsøg i jyske rødgrankulturer. *Forstl. Forsøgsv. Danm.* 29, 1-23 (1964).
4. *Holstener-Jørgensen H.*: Kalium- og magnesiummangelsymptomer i et godningsforsøg i en rødgrankultur i Bevtoft plantage, Haderslev Statsskovdistrikt. *Dansk Skovforen. Tidsskr.* 50, 337-345 (1965).
5. *Holstener-Jørgensen H.*: Et kvalitativt godningsforsøg i en kultur med rødgran og bjergfyr i Gludsted plantage. *Forstl. Forsøgsv. Danm.* 29, 283-297 (1965).
6. *Holstener-Jørgensen H.*: Et godningsforsøg i en rødgrankultur i Gjellerup plantage-Hedeselskabets 8. Distrikt. *Forstl. Forsøgsv. Danm.* 30, 173-181 (1966).
7. *Holstener-Jørgensen H.* and *Bartholin T.S.*: Et godningsforsøg i en rødgrankultur i Bevtoft plantage - Haderslev statsskovdistrikt. *Forstl. Forsøgsv. Danm.*, in print (1967).
8. *Møller C.M.*: Godningsforsøg i skov. *Dansk Skovforen. Tidsskr.* 39, 165-216 and 396-402 (1954).
9. *Møller C.M.* and *Schaffalitzky de Muckadell M.*: Skovbrugsafdelingens godningsforsøg i rødgran. *Dansk Skovforen. Tidsskr.* 42, 391-453 (1957).
10. *Møller C.M.* and *Lundberg J.*: Et godningsforsøg med urea i midaldrende hedeplan. *Hedeselsk. Tidsskr.* 87, 73-101 (1966).
11. *Olsen H.C., Rafn J.* and *Scheurer E.*: Revision af et godningsforsøg i en stagnerende rødgrankultur i faengelsvaesens plantage ved Sdr. Omme. *Forstl. Forsøgsv. Danm.* 26, 325-338 (1960).
12. *Scheffer F.* and *Wette E.*: *Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde. II: Pflanzenernährung.* 1-240 Ferdinand Enke, Stuttgart, 1955.
13. *Steenbjerg F.*: Planternes ernæring. 1-550 Ver.-Landbohøjskole, København (1965).
14. *Swan H.S.D.*: Reviewing the scientific use of fertilizers in forestry. *J. For.* 63, 501-508 (1965).

Etwas über Startdüngung für die Aufforstung von Mooren in Norwegen

B. MESHECHOK, Norwegisches Forstwissenschaftliches Institut Vollebakk/Norwegen

1. Einleitung

In Norwegen gibt es ungefähr 2 Millionen Hektar Moor unter der Nadelwaldgrenze. Die Moore sind schon seit langem als eventuelle Reserven für die Landwirtschaft und besonders für die Forstwirtschaft betrachtet worden, da sie ja meist in den Wäldern liegen. Aber die ersten Versuche, Moor in ertragreichen Wald zu verwandeln, schlugen meist fehl, weil man meinte, das Ziel lediglich durch Entwässerung erreichen zu können.

Mittlerweile wurde durch einzelne Versuche in verschiedenen Ländern klar, dass das ganze Problem neu beurteilt werden musste, sobald man Moordüngung für forstliche Zwecke akzeptierte. Die allgemeine Intensivierung der norwegischen Forstwirtschaft in den letzten Jahrzehnten trug auch dazu bei, Interesse für Mooraufforstung zu wecken, und darum wurde es besonders wichtig, das Problem der Moordüngung zu untersuchen.

Eine systematische Forschung wurde vom Norwegischen Forstversuchswesen im Jahre 1954 begonnen. Bei der Planung der Versuche ging man von folgendem aus:

- Die Forschungsergebnisse sollten so schnell wie möglich eine wissenschaftliche Grundlage für die praktische Arbeit schaffen.
- Da 80% der Mooregebiete in Norwegen unbewaldet sind, ist es am wichtigsten, mit Düngung bei Aufforstung der unbewaldeten Moore zu experimentieren.
- Hochmoore mit oligotrophem Torf werden wahrscheinlich bei der Aufforstung die grössten Schwierigkeiten bieten. Darum muss diesen von Anfang an mindestens ebenso grosse Aufmerksamkeit geschenkt werden wie den Niedermooren mit eutrophem Torf.
- Da die Wirkung der Moordüngung von vielen anderen Faktoren abhängig ist (Pflanzmethoden, Entwässerungsgrad usw.), die nicht ausreichend erforscht sind, müssen diese Faktoren gleichzeitig mit der Düngung untersucht werden.
- Bei den Düngungsversuchen muss mit Kunstdünger gearbeitet werden (Handelsdünger), da nur diese Art der Düngung in praktischem Ausmass gebraucht werden kann.

Um das Problem zu erforschen, wurden in den Jahren 1954 bis 1966 160 Versuchsflächen angelegt. Die Versuche befassten sich mit folgenden Fragen:

- Welche Wirkung haben die einzelnen Düngstoffe auf das Wachstum der gepflanzten Bäume?
- Welche Dosen von P, K und N sind optimal bei einer allseitigen Startdüngung?
- Wie wirken P, K und N alleine (ohne andere Düngstoffe) bei Fleck- und Breitdüngung?

- Welche Dosen von fertiggemischtem PKN- und PK-Dünger («Volldünger», «Kalisuper») sind optimal für die Aufforstung von Mooren?
- Ist wiederholte Nitrogendüngung auf Hochmooren notwendig?
- Welche Rolle spielt Kalkdüngung für die Aufforstung auf Mooren, besonders Hochmooren?
- Wie wirkt Phosphor als Beigabe ins «Pflanzloch» beim Pflanzen, und in welcher Form sollte er verwandt werden?
- Wie wirken die verschiedenen Pflanzmethoden auf den Düngungseffekt?
- Wie wirkt die Düngung auf die Waldpflanzen bei verschiedenen Entwässerungsgraden der Moore?

Nachfolgend wird etwas über die Methodik angegeben und die Forschungsergebnisse, die bisher gewonnen wurden, werden besprochen.

2. Methodisches

2.1 Vorbereitende Untersuchungen, Entwässerung und Kontrolle des Grundwasserstandes

Als vorbereitende Arbeit für die Anlage der Versuche wurde eine Nivellierung der Moore durchgeführt sowie Untersuchungen über die Torf-Stratigraphie und den Inhalt von Nährstoffen in der potenziellen Wurzelzone (0–40 cm).

Bei der Planung des Grabensystems wurde in der Regel die Querrichtung verwendet. Die Grabentiefe betrug meist weniger als 1 m und der Grabenabstand von 20 bis 30 m. Nur auf den Flächen, wo gleichzeitig die Wirkung von verschiedenem Grundwasserstand untersucht wurde, variierte der Abstand zwischen den Gräben von 10 bis 45 m.

Auf allen Versuchsflächen wurden die Observationen über die Bewegung des Grundwasserspiegels in der Erde durchgeführt. Der Abstand von der Mooroberfläche bis zum Wasserspiegel in den Brunnen wurde von Juni bis September gemessen (dreimal jeden Monat). Das Mittel von 12 Messungen in der Feldmitte zwischen zwei Gräben nennt man hier «Entwässerungsnorm» für das Jahr.

2.2 Anlage der Versuche

Da die Aufgabe der Beantwortung vieler Fragen über die Wirkung der Düngung in den ersten, entscheidenden Jahren der Aufforstung auf dem Moor galt, wurden einige Flächen als kurzfristige Versuche mit Fleckdüngung angelegt. Die gedüngten Flecken waren Kreisflächen mit einem Radius von 30 cm (ca. 0,3 m²) für jede Pflanze.

In den meisten Versuchen bekam die Hälfte der Pflanzen in jedem Glied Zusatzdüngung mit Rohphosphat, welches dem «Pflanzloch» gleich beim Pflanzen beigelegt wurde (20–40 g Rohphosphat auf etwa 5–6 dm² verteilt). Die kurzfristigen Versuche wurden in der Regel nach fünf Jahren abgeschlossen.

In den langfristigen Versuchen werden die Parzellen in einer Grösse angewendet, die es ermöglichen, die Versuche durch längere Zeit hindurch zu verfolgen. Bei den langfristigen Versuchen wurde meist Breitdüngung verwandt, oder Fleckdüngung mit Breitverteilung der bestimmten Düngerdosis einige Jahre später. In besonderen Vergleichsversuchen wurden beide der genannten Methoden verwandt. Sowohl bei

Fleckdüngung wie bei Breitdüngung wurde der Dünger auf der Mooroberfläche verteilt, ohne in den Boden eingearbeitet zu werden. Die Versuche wurden entweder als Blockversuche (in der Regel mit 4 Blöcken) oder als Lateinische Quadrate angelegt.

2.3 Düngstoffe

Die Wirkung verschiedener Düngstoffe wurde in «Minusversuchen» untersucht. Als Grundlage wurde allseitige Startdüngung verwandt (später «Ast» genannt). «Ast» für Niedermoore war folgendermassen zusammengesetzt:

N	= Kalksalpeter	300 kg pro ha
Mn	= Mangansulfat	50 kg pro ha
Ca	= Kalksteinmehl	500 kg pro ha
Mg	= Magnesiumsulfat	400 kg pro ha
K	= Klorkalium	250 kg pro ha
P	= Thomasphosphat	600 kg pro ha
Cu	= Kupfersulfat	30 kg pro ha
B	= Borax	30 kg pro ha

Für Hochmoore wurden die Dosen nur für Kalksalpeter gesteigert (von 300 bis 400 kg/ha) und für Kalksteinmehl (von 500–1000 kg/ha).

Gleichzeitig wurde die Wirkung von P, K und N ohne Zusatz anderer Stoffe, die in «Ast» verwandt wurden, untersucht. Hier wurde benutzt:

P	= 600 kg Thomasphosphat pro ha	= 40 kg P
K	= 250 kg Kaliumsulfat pro ha	= 100 kg K
N	= 300 kg Kalksalpeter pro ha	= 46,5 kg N

Als fertiggemischten PKN-Dünger benutzte man «Volldünger A» (5,5% P, 15% K, 12,5% N) und klorfreien «Volldünger B» (5,0% P, 17,5% K, 11,5% N), heides Produkte von Norsk Hydro. Als fertiggemischter PK-Dünger wurde «Kalisuper» (5,7% P, 12,9% K) benutzt. Als Rohphosphat wurde in den meisten Fällen «Hyperphosphat Reno» (13% P) verwandt.

2.4 Pflanzmethoden

Die Pflanzmethoden, die in den verschiedenen Versuchen angewandt wurden, einschliesslich spezieller Vergleichsversuche, sind auf Fig. 1 schematisch dargestellt. Bei unebener Mooroberfläche, besonders bei Bulten-Schlenken-Komplex, wurden zwei bis vier Methoden gleichzeitig verwandt, um jeder Pflanze die bestmöglichen Wachstumsbedingungen zu schaffen.

2.5 Baumarten

Als Pflanzen verwandte man: *Picea abies*, *Pinus silvestris* und *Pinus contorta* v. *latifolia*. In besonderen Baumartenversuchen wurde ausserdem benutzt: *Picea engelmannii*, *Picea sitchensis*, *Picea mariana*, *Picea omorika*, *Larix sibirica*, *Larix leptolepis* und *Populus trichocarpa*. Diese letzteren Versuche sollen hier nicht weiter besprochen werden.

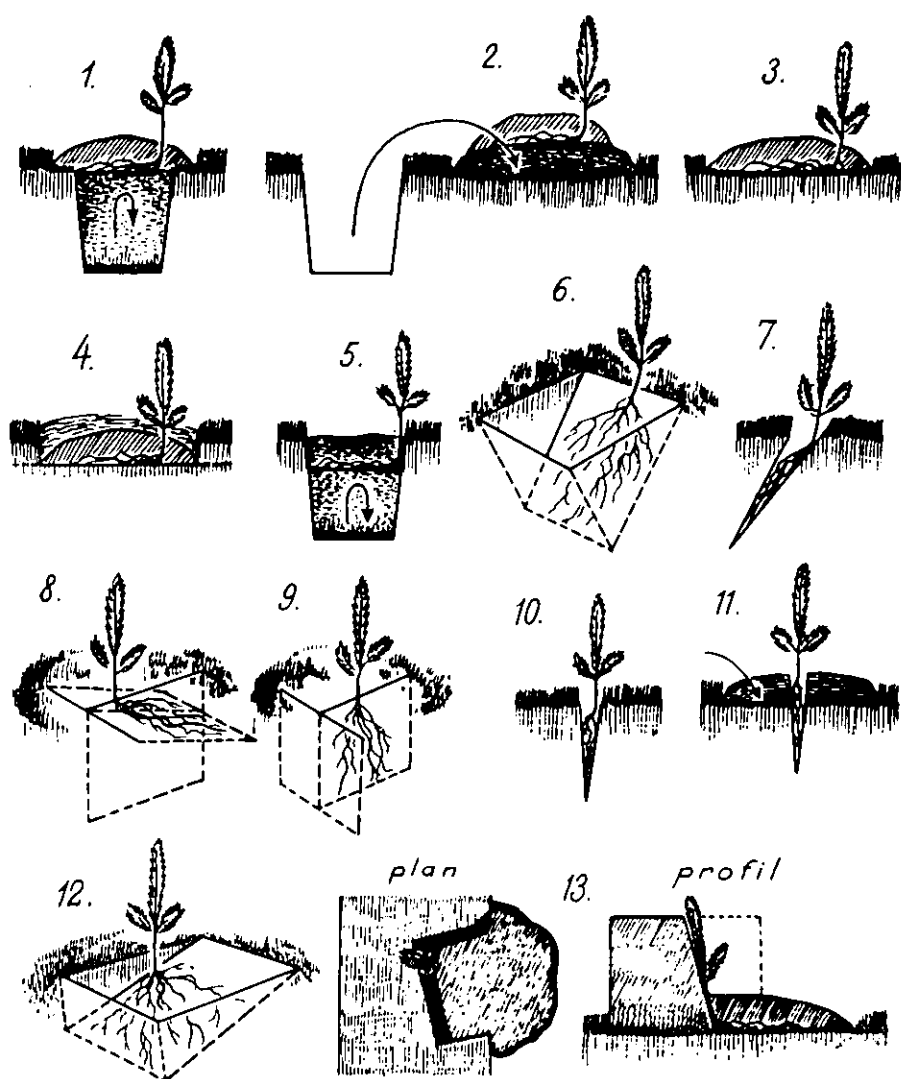


Fig.1

2.6 Revision der Versuche und Behandlung des Materials

Bei der Revisionsarbeit wurde die Länge der jährlichen Spitzentriebe gemessen. Die Pflanzenhöhe wurde nicht jedes Jahr gemessen. Beschädigte Pflanzen, d.h. Pflanzen, die den Spitzentrieb des letzten Jahres verloren hatten (z. B. wegen Sommerfrost oder Äsung), wurden gesondert registriert und behandelt.

Die Revisionsresultate wurden einer Varianzanalyse unterworfen.

3. Versuchsergebnisse

Die Versuche haben bis heute folgende Ergebnisse gebracht:

3.1 Die Wirkung der einzelnen Düngstoffe auf die gepflanzten Bäume in den «Minusversuchen»

Es zeigte sich, dass der wichtigste Nährstoff P ist, der allen Mooren zugeführt werden muss. K nimmt den zweiten Platz ein, aber K-Mangel zeigt sich auf den meisten Mooren nicht mit einem Male, sondern erst nach ein bis fünf Jahren. Bei der Fichte zeigen sich die Symptome von Kaliummangel zeitiger und stärker als bei der Kiefer. N-Anlieferung war nützlich beim Start auf allen Hochmooren, auf Übergangsmooren und auf den ärmsten der Niedermoore. Für die letztgenannten galt dies besonders in höheren Lagen. Düngung mit Ca, Mg, und von Spurenelementen mit Mn, Cu und B, zeigte keinerlei positive Wirkung in der Startperiode, weder auf Hochmooren noch auf Niedermooren.

3.2 Dosen von PKN in «Ast»

Die Dosierung der drei Hauptelemente (P, K und N), die in «Ast» in den verschiedenen Versuchen verwandt wurden ($P = 42 \text{ kg}$, $K = 102 \text{ kg}$ und $N = 40\text{--}60 \text{ kg/ha}$) scheint sehr nah an der optimalen zu liegen. Eine Steigerung der P- und K-Dosis in «Ast» auf das Doppelte und Dreifache und der N-Dosis auf das Doppelte in verschiedenen Kombinationen ergab keine signifikante Verbesserung des Pflanzenwuchses. Aber einige Versuche geben trotz allem Grund zur Annahme, dass eine geringe Steigerung der Phosphor-Dosis (auf $1\frac{1}{2} P$, d.h. etwa 63 kg/ha) und eine Minderung der Kalium-Dosis (auf $\frac{1}{2} K$, d.h. etwa 50 kg/ha) beim Pflanzen von Kiefern auf Hochmooren angemessen wäre. Dies muss noch geklärt werden.

3.3 Die Wirkung von P, K und N, zugeführt ohne andere Nährstoffe und die Bedeutung von Fleck- und Breitdüngung

Es zeigte sich, dass auf soligenem Torf eine Beigabe von nur P und K genügte, sogar auf Mooren in höheren Lagen (600 m ü. d. M.), wenn der Gehalt von N in der Wurzelzone der Torfschicht 2% des Trockensubstanzinhaltes überstieg. Bei N-Gehalt unter 2% ergibt eine Beigabe von Nitrogen zusätzlich zu PK eine Steigerung der Wuchsintensität.

Die Wirkung der Düngung auf den Pflanzenwuchs war im höchsten Grade abhängig von der Düngungsmethode. Es erwies sich, dass Fleckdüngung sofort nach dem Pflanzen und Breitverteilung der Restmenge der Düngerdosis drei Jahre später

am wirksamsten war. Diese Düngungsmethode ergab viel besseren Pflanzenwuchs als Breitverteilung der ganzen Düngerdosis sofort nach dem Pflanzen.

3.4 Dosen von fertiggemischtem PKN- und PK-Dünger («Volldünger» und «Kalisuper») für Startdüngung

Bei der Verwendung von «Volldünger A» in Mengen von 300 bis zu 1800 kg/ha zeigte es sich, dass 900 kg/ha als optimale Dosis betrachtet werden kann. Ziemlich gutes Wachstum erzielte man auch mit 600 kg/ha. Grössere Dosen (1200 kg/ha und mehr) ergaben in der Regel keine signifikante Verbesserung des Wachstums, aber es wurde andererseits auch keine toxische Wirkung dieser Dosen beobachtet.

«Volldünger B», welcher Kalium in Sulfatform enthält, im Vergleich zum chlorhaltigen «Volldünger A», erzeugte die gleiche Wirkung auf den Pflanzenwuchs.

Ein Versuch mit Kalisuper auf soligenem Torfboden in Mengen von 600 bis zu 1500 kg/ha ergab keinen signifikanten Unterschied in bezug auf den Pflanzenwuchs. Eine Dosis von 600 bis 900 kg/ha kann als optimal angesehen werden.

Von den angeführten Düngerdosen wurden beim Pflanzen (Pflanzenabstand $1,5 \times 2$ m) und bei der Fleckdüngung ein Zehntel verwendet. Der Rest wurde drei Jahre später zugeführt.

Die Anlieferung von 600 kg «Volldünger» pro Hektar durch Breitverteilung sofort nach dem Pflanzen erwies sich auf Hochmooren als ausreichend für fünf Jahre. Nach dieser Zeit beobachtete man Nährstoffmangelsymptome. Breitverteilung von 400 kg «Volldünger» pro Hektar sofort nach dem Pflanzen und von 600 kg/ha nach fünf Jahren ergab das beste Wachstum und in den nachfolgenden acht Jahren (bis jetzt) wurde keine Zuwachsminderung beobachtet.

Es kann darum als am rationellsten angesehen werden, bei der Aufforstung von Hochmooren in drei Etappen zu düngen: Fleckdüngung mit 30 g «Volldünger» pro Fleck ($0,3 \text{ m}^2$) sofort nach dem Pflanzen, Breitverteilung von 400 kg/ha drei bis vier Jahre danach und Breitdüngung mit 500 bis 600 kg/ha «Volldünger» acht bis zehn Jahre nach dem Pflanzen. Beigabe von 20 bis 40 g Rohphosphat in das «Pflanzenloch» als Zusatz zu dieser Oberflächendüngung muss als notwendig angesehen werden, um den bestmöglichen Pflanzenwuchs auf allen Mooren zu erreichen.

3.5 Wirkung wiederholter Dosen von N auf ombrogenem Torfboden

Auf Hochmooren wurde eine signifikante und bedeutende Steigerung des Pflanzenzuwachses bei regelmässigen Wiederholungen der N-Düngung beobachtet (30 kg N pro Hektar jedes 4. Jahr). Es ist deutlich, dass die Umwandlungsprozesse im Sphagnumtorf in der Startperiode noch nicht so entwickelt waren, dass sie den Anspruch der Pflanzen auf zugängliches N zufriedenstellen konnten. Gleichzeitig könnte es sein, dass das Auswaschen von beigegebenem N hier stärker ist und schneller vor sich geht in Torf mit niedrigem Huminositätsgrad.

3.6 Die Kalkdüngung auf dem Moor, besonders auf Hochmooren

Es zeigte sich, dass eine Beigabe von Kalksteinmehl meist überflüssig, und beim Gebrauch von grösseren Dosen (von 4 t/ha) sogar schädlich für das Waldwachstum in der Startperiode war.

Diese negative Wirkung hat wahrscheinlich sekundären Charakter, was noch untersucht werden muss. Viel weist daraufhin, dass die Ursache in einer Veränderung der Nährstoffzugänglichkeit, durch Verminderung der Azidität des Bodens, liegt.

3.7 Die Wirkung von P, dem «Pflanzloch» als Rohphosphat und Thomasphosphat beigegeben

Phosphordünger als Rohphosphat dem «Pflanzloch» beim Pflanzen beigegeben als Zusatz zu der Düngung, die der Mooroberfläche zugeführt wurde, wurde für die Hälfte der Pflanzen in den meisten Versuchen angewendet und hat in allen Fällen das Pflanzenwachstum beträchtlich verbessert. Oft hat Rohphosphat, dem «Pflanzloch» alleine ohne Oberflächendüngung zugeführt, ausreichendes Wachstum in den ersten Jahren ergeben. Der Gebrauch von Thomasphosphat (10½, 18 und 36 g) auf dieselbe Art ergab ebenfalls positiven, aber viel schwächeren Effekt. Eine Verbesserung des Pflanzenwachstums wurde auch beim Gebrauch von Rohphosphat in Verbindung mit Fleckdüngung auf der Oberfläche (mit entsprechender Steigerung der Menge) auf 200 g pro 0,3 m² beobachtet.

Da der Effekt der Beigabe von Rohphosphat zum «Pflanzloch» und bei der Fleckdüngung auf der Oberfläche ungefähr gleich gross war, während der Düngerverbrauch bei dem ersten Versuch fünfmal kleiner war als bei dem zweiten, muss das erste vorgezogen werden. Es sollte überall bei Aufforstung von Mooren verwendet werden zusätzlich zur Oberflächendüngung. Aber Verwendung von Rohphosphat auch bei Breiddüngung muss wahrscheinlich weiter versucht werden. Sehr viel weist darauf hin, dass es überflüssig werden wird, Rohphosphat in Superphosphat für Moordüngung in der Forstwirtschaft zu verwandeln.

3.8 Düngungseffekt bei Verwendung verschiedener Pflanzmethoden

Die Wirkung der Düngung bei Aufforstung auf Mooren war in der Startperiode stark abhängig von den in Anspruch genommenen Pflanzmethoden. Das Pflanzen in der durch den Pflanzpflug gebildeten Balken (Methode Nr. 13) erwies sich als ganz überlegen. Ausser bedeutend stärkerem Wachstum bei den gepflanzten Bäumen wurde hier auch eine starke Verminderung der Frostschäden bei Fichten beobachtet. Die Untersuchungen zeigten, dass die nackte dunkle Torferde in den Pflugfurchen und den Balken die Tageswärme viel besser absorbiert als die Erde, die mit einer Bodenvegetation bedeckt ist, besonders, wenn die Vegetation aus einem Moosteppich besteht. Diese Wärme im nackten Boden wird auch viel leichter in der Nacht an die Luft abgegeben. Auf diese Weise werden Balken und Pflugfurchen zu Wärmeakkumulatoren für die Tageswärme und Erwärmungsquellen für die Luft in der Nacht, da sie selbst stärker abkühlen, als der Boden unter dem Moosteppich. Auf diese Art erzeugt das Pflügen ein milderes Mikroklima für das Wachstum und wehrt Frostschäden von den Pflanzen ab. In vielen Fällen war diese Pflanzmethode die Bedingung überhaupt für Leben und Wachstum der gepflanzten Fichten.

Beim Pflanzen auf ungepflügten Streifen zwischen den Gräben wurde festgestellt, dass beim Flachwurzelpflanzen der Dünger entweder auf kleine künstliche Erhöhungen oder direkt auf den Moosteppich (Methode Nr. 2 und 3 auf Fig. 1) am besten wirkt.

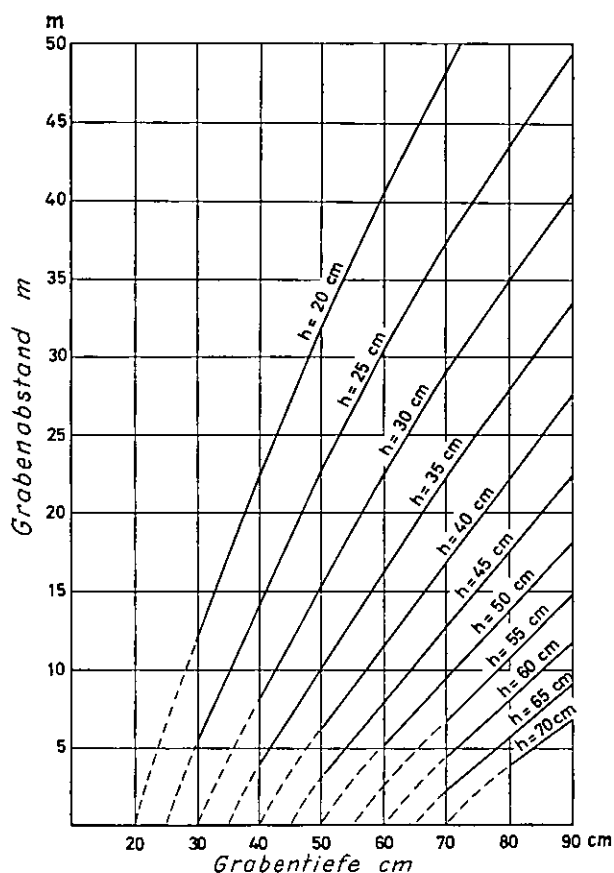


Fig. 2 Tafel zur Auswahl des Grabenabstandes und der Grabentiefe für Niedermooere. Die Entwässerungsnormen (h) bei Niederschlagsmengen von Juni bis September = 300 mm.

3.9 Die Wirkung der Moordüngung auf das Waldwachstum bei verschiedenen Entwässerungsnormen

Die Versuche mit verschiedenem Grabenabstand (von 10 bis einschliesslich 45 m) bestätigen, dass der Entwässerungsgrad die grösste Bedeutung für den Düngungseffekt hat, und die Differenzen zwischen den Pflanzenhöhen bei verschiedenem Grabenabstand wachsen mit dem Alter. Es wurde keine Zuwachsminderung, selbst bei stärkster Entwässerung, beobachtet. Auf allen Parzellenbreiten gab es die grössten Pflanzenhöhen in der Nähe der Gräben. Eine Entwässerungsnorm von 30 cm kann als minimal für die normale Ausnutzung der Nährstoffe im Boden und normales Wachstum des Waldes in der Startperiode betrachtet werden.

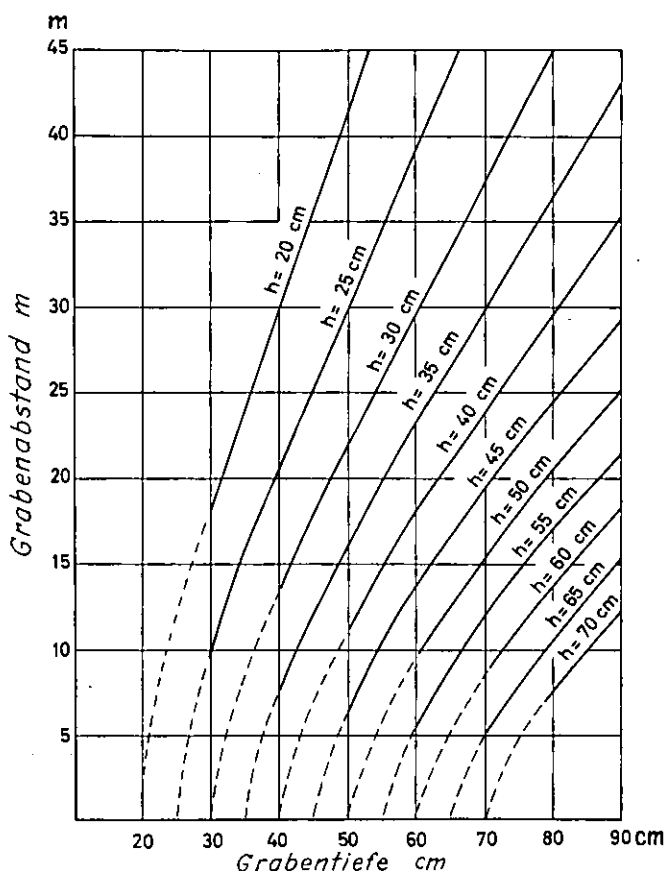


Fig.3 Tafel zur Auswahl des Grabenabstandes und der Grabentiefe für Hochmoore. Die Entwässerungsnormen (h) bei Niederschlagsmengen von Juni bis September = 300 mm.

Die Untersuchungen zeigten, dass die gewünschte Entwässerungsnorm (h) durch verschiedene Kombinationen von Grabenabstand und Grabentiefe erreicht werden kann. Diese werden für Niedermoore und Hochmoore beziehungsweise auf den Fig. 2 und 3 gezeigt. In den Fig. 2 und 3 ist effektiver Grabenabstand aufgeführt, gemessen in der Richtung des Oberflächengefälles des Moores.

Die Figuren gelten für eine Niederschlagsmenge von 300 mm im Zeitraum Juni bis einschliesslich September. Für Orte mit anderem Normalniederschlag kann der Grabenabstand, den man auf Fig. 2 oder 3 wählt (E_{300}), zu E_N nach der Formel:

$$E_N = E_{300} \cdot \frac{300}{N}$$

korrigiert werden, wo N = normaler Niederschlag in Millimeter für die gleiche Zeit für den in Frage kommenden Ort.

Forest Fertilization in Sweden

Docent H. HOLMEN, Royal College of Forestry/Stockholm

Forest fertilization on a practical scale is only a few years old in Sweden. However, many efforts have been made in the past to increase tree growth by various kinds of soil amelioration. Such efforts have become increasingly common during the past 60–70 years and mineral as well as organic soils have been treated. The oldest known attempts at soil amelioration took place on abandoned cultivated peatlands. There is, for instance, in the central part of the country, a peatland area to which a layer of sand 10–30 cm thick was applied about 150 years ago. The treated plot now carries a mixed stand of pine and spruce, which is vigorous in comparison with that on the untreated plot nearby.

It was typical of many of the experiments laid out at the beginning of the 20th century that very little attention was paid to studying the effects of various plant nutrients and different rates of application. The substances used were wood-ash, bone dust, peat and sand. Commercial fertilizers were also used for some experiments, viz. basic slag, potassium salts, chile nitrate, etc.

The first scientific fertilization experiments carried out by the Forest Research Institute of Sweden were performed during the 1920s. These early and simple experiments, in which ammonium nitrate in water solution was used, made it evident that nitrogen is often a limiting element in Swedish mineral forest soils. This result was later fully verified and has been very valuable to later experimental work. At the same time, experiments were carried out with wood-ash on peatlands, which made it clear that especially the phosphorus and potassium of the ash had a very favourable effect on tree growth on peat. This result, too, has been of fundamental importance to the experiments and practical work now in progress.

1. Natural conditions

1.1 Mineral soils

Sweden was entirely covered by the last inland ice and for this reason, its soils are fairly young, having been exposed for a short time only to weathering and leaching. Thus the losses of bound or adsorbed elements have been relatively small. Furthermore the composition of the rocks is generally rather favourable as regards the plant nutrients. The supply of potassium, phosphorus, magnesium, sulphur, calcium and the micro nutrients is usually sufficient for the trees which are normally grown.

Glacial tills are the most common forest soils and comprise a variety of types with regard to mechanical composition and capacity for supplying water and nutrients. The fine-textured soils are considered best in respect of plant nutrients, but because of a periodically bad water regime (stagnant water), they may be unsatisfactory.

However, many of these tills are excellent forest sites. The coarse-textured tills may be poor in accessible plant nutrients, but their water regime is usually good, except when they are very shallow, being then too dry for forest vegetation.

The alluvial sediments also comprise several types, from clayey to sandy and gravelly soils. Most of the clay areas are cultivated and only small parts are forest land. The sandy and gravelly sediments are often forest land. In regions with coarse-grained, strongly permeable soils, trees sometimes suffer from water deficiency and there may be a lack of some nutrient elements (e. g. magnesium).

1.2 *Organic soils*

There are slightly more than five million hectares of mires and about two million hectares of paludal forest land in Sweden. Mire is (according to the Forest Survey) defined as barren peatland or wooded peatland where the annual increment is less than 1 m³/ha. Paludal forest land consists of peatland, the tree stands of which have more than 1 m³/ha annual increment.

The peatlands are very variable in vegetation, as well as in plant nutrient and water characteristics. Therefore, it is a very important task to sum up these properties and to classify the peatlands as to their possible development after draining. Several such classifications have been proposed. For this purpose, assembled ecological experience, both from plant sociology and from soil and water analysis has been of great value in distinguishing the peatlands suitable for afforestation.

Phosphorus and potassium are typical deficiency elements in Swedish peat soils and an addition of these elements is almost always necessary to obtain growth stimulation of a tree stand on peat. The peat soils' content of phosphorus and potassium is low throughout; most analysis figures lie between 0.05–0.10 per cent P and 0.02–0.08 per cent K in the layer 0–20 cm. The percentages decrease very rapidly at greater depths, especially those for potassium. The primary stores of these elements will therefore not suffice to maintain perpetual forest growth.

The percentages and stores of nitrogen in peat are high, often more than one per cent of the dry weight and 1000 kilograms and more per hectare in the layer 0–20 cm. However, available nitrogen is sometimes very low (ombrogenous bogs, etc.). Nitrogen must be added when such peatland types are to be afforested.

2. *Climatic conditions*

Sweden is situated between 55° and 69° N. lat. and has a vertical extension from 0 to 2000 meters above sea level. The climate varies considerably within that area. In the colder climate of the north and at higher altitudes, forest growth diminishes, and at an altitude of about 800 metres at the southern and 400 metres at the northern end of the mountain range, it ceases. The best forest sites are in the climatically-favoured parts of South and Middle Sweden. This is a direct consequence not only of the climate but also of a better nutrient status, brought about by more rapid turn-over of the organic matter of the soil and by a greater addition of nutrients from the atmosphere, especially of nitrogen. However, excellent forest stands also occur in North Sweden and at high altitudes, when the plant nutrient and water conditions are good.

Precipitation is usually not a limiting factor for growth in Sweden, except in some small areas in the south-east on sandy-gravelly soils where the water supply is sometimes too low for the demands of the trees. This deficit may arise especially after fertilization, when the tree crowns have become larger and thus have an increased demand for water.

3. Other factors

For the most part only nitrogen fertilizers are used at present in Sweden for forest fertilization on mineral soil. So far, fertilization has been most common in mature stands about ten years before felling. However, there seem to be no experimental results to support the view that any one stage of tree development is biologically more suitable for fertilization than any other. Rather, the experiments have shown that all ages of tree, from small seedlings to overmature stands, respond to proper nutrient application, although there may be a decreasing effect in very old stands.

Stands with an annual increment varying from 1 or 2 m³/ha to about 20 m³/ha are now represented in the field experiments. The greatest relative growth response usually appears in low-production stands. On very good sites, the relative response is small or insignificant. Swedish instructions have therefore set the provisional limit for fertilization at stands with an annual increment of 10–12 m³/ha.

The vigour of the stands is also regarded as a factor of importance to the response after fertilization.

4. Fertilization experiments, some results

4.1 Mineral soils

From a very small beginning some 15–20 years ago, the fertilization experiments now in progress at the Royal College of Forestry cover a wide variety of types. They comprise mineral as well as organic soils, old stands, and young stands, pine, spruce, broadleaved and mixed stands, good sites and poor sites, low and higher altitudes, southern and northern sites, various forest types, peatland types, nurseries, etc.

Two of the main objects are to establish what elements must be added, and the quantity of elements necessary for different sites.

It has been found that for forest growth on mineral soils, nitrogen is of the utmost importance. There is a pronounced lack of available nitrogen, especially in old forests.

There are also examples of cases in which phosphorus and potassium have increased the growth obtained for an annual nitrogen application. In the present experiments, liming has not yet given any growth stimulation.

A nitrogen dosage of about 100 kg N per ha has been common and has sometimes been repeated a few years after the first application. On medium sites, growth has increased by 40–60 per cent., occasionally more, after such treatment. Growth also seems to be proportional to the quantity of nitrogen applied, up to about 200 kg N per ha. Above that figure, observations are still very few, though several experimental series with very high (400–600 kg N per ha) dosages have begun recently. Some preliminary results based on foliar analysis make it evident that the response (meas-

ured as foliar nitrogen content) of originally very vigorous stands ($20 \text{ m}^3/\text{ha}$ annually) is not directly proportional to the nitrogen quantity supplied.

Studies of the utilisation of nutrients added show a maximum recovery of 58 per cent of nitrogen in a young spruce stand, but only 15–20 per cent in an old spruce stand and still lower figures for old pine stands. The reason for the low recovery in pine is probably the short life of the needles, i.e. about three years as compared with about six years for spruce. The very low degree of utilisation by the trees must not be interpreted as meaning that the rest of the nitrogen is totally lost from the site; a considerable quantity is also taken up by other plants and by micro-organisms or is adsorbed to soil colloids.

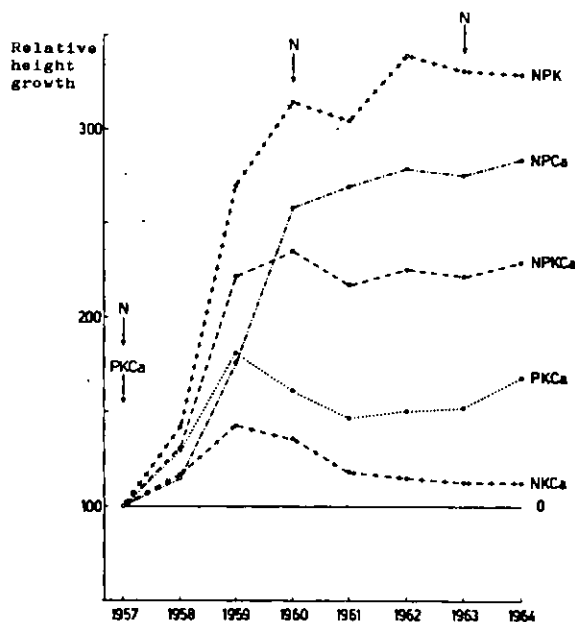
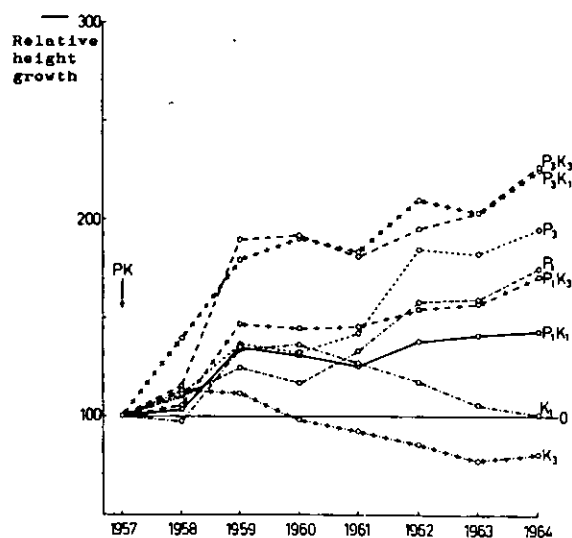
An investigation into the significance of the time of application of the fertilizers has given some interesting results. Two young stands, one spruce and one pine, recieved on four occasions (November, March – on snow – May, late June) 100 kg of nitrogen per ha. Nitrate and ammonium nitrogen were used. It was found that for the spruce stand on abandoned farmland with a clayey soil very poor in humus there was during the first growing season after application no response to the nitrogen added on snow. Thus, from soil analyses at the beginning of the growing season (May) it was obvious that nothing of the nitrogen added was left in the soil profile down to a depth of 80 cm . Neither did the foliage of the trees show any increased nitrogen content. For the young pine stand, however, about ten per cent of the nitrate and 30–40 per cent of the ammonium nitrogen was left in the profile and there was also an increase in the foliar content of nitrogen after winter fertilization. All the other times of application gave a positive response, i.e. the autumn broadcasting, when the fertilizers were subject to a long leaching period before they could be taken up by the trees in the following spring.

4.2 Organic soils

Experiments on peat soils have shown that the natural tree growth increases very much after fertilization. However, most of the plots are rather recent and thus have not yet yielded many results.

The best-known peatland experimental area in Sweden is Hällmyren in the northern part of the country. Here, in 1926, wood-ash was added to a plot on barren peatland, in a quantity corresponding to about 100 kg P and 200 kg K per ha. The mean annual increment (mostly of birch) since this treatment has been about $5 \text{ m}^3/\text{ha}$, i.e. about double the average for all the forests in that province. This experiment is also very useful because it gives some information about the duration of the effects of a fertilizer application. Thus the phosphorus supply has been sufficient for 40 years but the first symptoms of potassium deficiency became visible about 30 years after fertilization. With the support of these and other investigations it is now possible to recommend a dosage of fertilizers corresponding to 45 kg P ($100 \text{ kg P}_2\text{O}_5$) and 115 kg K ($140 \text{ kg K}_2\text{O}$) per ha on peatland. Sometimes also about 50 kg N per ha has to be added. When these dosages are used it is estimated that P and K will suffice for about 20 years.

On a peatland in Middle Sweden, fertilized with 100 kg P and 100 kg K per ha in 1953, increment increased from about 1.5 to $5.0 \text{ m}^3/\text{ha}$ during a ten-year period. The stand is still vigorous.



N = 100 kg nitrogen (N) per ha

P_1 = 25 kg phosphorus (P) per ha

P_3 = 75 kg phosphorus (P) per ha

P and K without an index (to the right) corresponds to P_3K_3

K_1 = 42 kg potassium (K) per ha

K_3 = 125 kg potassium (K) per ha

Ca = 5000 kg ground limestone per ha

Fig. 1 Relative height growth of a young pine stand on a drained and fertilized peatland in South Sweden. Control plots = 100

In 1958 a very poor peatland with young pines in South Sweden was fertilized with nitrogen, phosphorus and potassium, and limed. Nitrogen was added in 1961 and 1964. Figure 1 shows the tree height development after fertilization. It is evident that for a low-humified peat composed of *Scirpus* and *Sphagnum* species it is necessary also to apply nitrogen to obtain a good growth response.

Some of the experiments laid out recently are to investigate whether there is a nitrogen effect on well-decomposed peat high in nitrogen. In these experiments the effects of micro-nutrients will be studied, too.

5. Average consumption of plant nutrients

The major part of forest fertilization in Sweden today is concerned with mineral soils, and for the five-year period 1962–1966, nitrogen fertilizers have been used almost exclusively; amongst these urea has been totally dominant. Thus, more than 99 per cent of the nitrogen used was added as urea last year (1966). Urea has an advantage over other nitrogen fertilizers in that it has a high nitrogen content, thus being cheaper per unit of nitrogen as regards transport application costs. But it is not firmly established that the effect of urea is the same as that of other nitrogen fertilizers, at least not for dry soils poor in humus.

For peatlands, too, nitrogen is used, but only to a smaller extent. As mentioned above, phosphorus and potassium are the limiting elements and should therefore be regarded as absolutely essential on most peat soils. For this reason, mostly compound PK fertilizers have been used.

The average quantities of nitrogen, phosphorus and potassium applied to stands on mineral soils and peatlands during the statistical period 1962–1966 are shown in Table 1.

Table 1 The average consumption of nitrogen, phosphorus and potassium for forest fertilization in Sweden during the period 1962–1966.

Stands on	Year	Plant nutrients, kg per ha		
		N	P	K
Mineral soils	1962	61.0	1.4	1.2
	1963	63.6	0.8	1.3
	1964	66.9	0.7	1.0
	1965	91.2	0.1	0.1
	1966	111.5	—	—
Peatlands	1962	59.4 ¹	37.4	47.4
	1963	58.2 ¹	41.3	55.5
	1964	55.1 ¹	40.0	51.2
	1965	55.8 ¹	36.6	46.6
	1966	53.4 ¹	39.2	55.7

¹ Estimated for the area which was fertilized with nitrogen.

It is characteristic that the rate of nitrogen application has increased markedly during these five years. Thus in 1966 it was almost double that in 1962, 112 as against

61 kg per ha. It is also evident that phosphorus and potassium applications to mineral soils have continuously decreased.

The increasing rates of nitrogen application may be a direct consequence of the research and experimental data obtained in recent years. Probably this rate will grow still higher, since the growth response seem to be linear, at least up to 150–200 kg of nitrogen per ha. But it is not known if a demand for other elements will arise, e.g. phosphorus, magnesium, micro-elements, and on some soils potassium, too, if nitrogen is regularly applied.

For peatlands the phosphorus and nitrogen application may be regarded as sufficient and in accordance with prevailing recommendations. But the potassium dosage has been far below these, 55 as against 115 kg K per ha.

Supported by the experimental data now available, there have been attempts to estimate the order of magnitude of the total area which may be regarded as suitable for forest fertilization in Sweden. In this context there was an attempt to divide the area fertilized according to different developmental stages of the stands or other differentiating criteria. The following may be mentioned: a) stands which will be subject to final cutting in a few years; b) stands during the thinning stage; c) pine heaths; d) equalising uneven age class composition; e) fertilization in connection with regeneration; f) peatlands.

On this basis it was estimated that the potential area of forests on mineral soils to be fertilized amounts to about four million hectares. The corresponding peatland area amounts to two-two and a half million hectares.

Forest Fertilization Trials on Japanese Conifers in Yamanashi Prefecture

Dr.A. ANDO, Yamanashi Forest Experiment Station, Fuji-yoshida/Japan

1. Introduction

Since 1953, the fertilization trials for conifer plantations have been carried on at the Yamanashi Forest Experiment Station. As shown in Fig. 1, Yamanashi Prefecture is situated inland, in the so-called Central Mountain District of Honshu Island and it is mostly occupied by high and rugged mountains, including Mt. Fuji. The average altitude of the whole area reaches 980 m above sea level, the inclination being 28 degrees, the mean annual temperature 8 °C, and the annual precipitation about 1600 mm. Regarding vegetation, temperate forests cover most of this Prefecture.

Experimental plots No. 1 to No. 9 were established in young plantations less than 5-year-old during 1953 to 1959. In plots No. 10 to No. 19, all stands were more than 10-year-old, including two plots aged about 40 years. In plots Nos. 20, 21, and 22, attempts were made to find the relationship between fertilization and some such operations of forestry practice, as prevention from disease, seed collection, and planting methods. The location, features of the stand, and its environmental condition in each plot are shown in Table 1.

2. Method of experiment

2.1 Forest fertilizer used

2.1.1 'Ball' and 'Pearl' fertilizers

These solid fertilizers are a mixture of chemical fertilizers with peat. Their ingredients are 6% nitrogen, 4% phosphorus, and 3% potassium; the weight of each 'Ball' is about 15 grams, and diameter of 'Pearl' fertilizer is 6 to 12 mm.

2.1.2 'Compound' fertilizers

'Compound' fertilizer contains more available nutrient elements than 'Ball' or 'Pearl'. Commercial names and ingredients of 'Compound' fertilizers used here are: Super Kasei, 24:16:11; Sumitomo No.1, 15:8:8; Nissan Seiboku, 18:8:8.

2.2 Method of application of fertilizer

The dosage was modified according to age, species, project of experimental aims, etc. For the convenience of comparison between the plots on the effect of fertilization, the dosages are presented as total nitrogen per tree or per hectare.

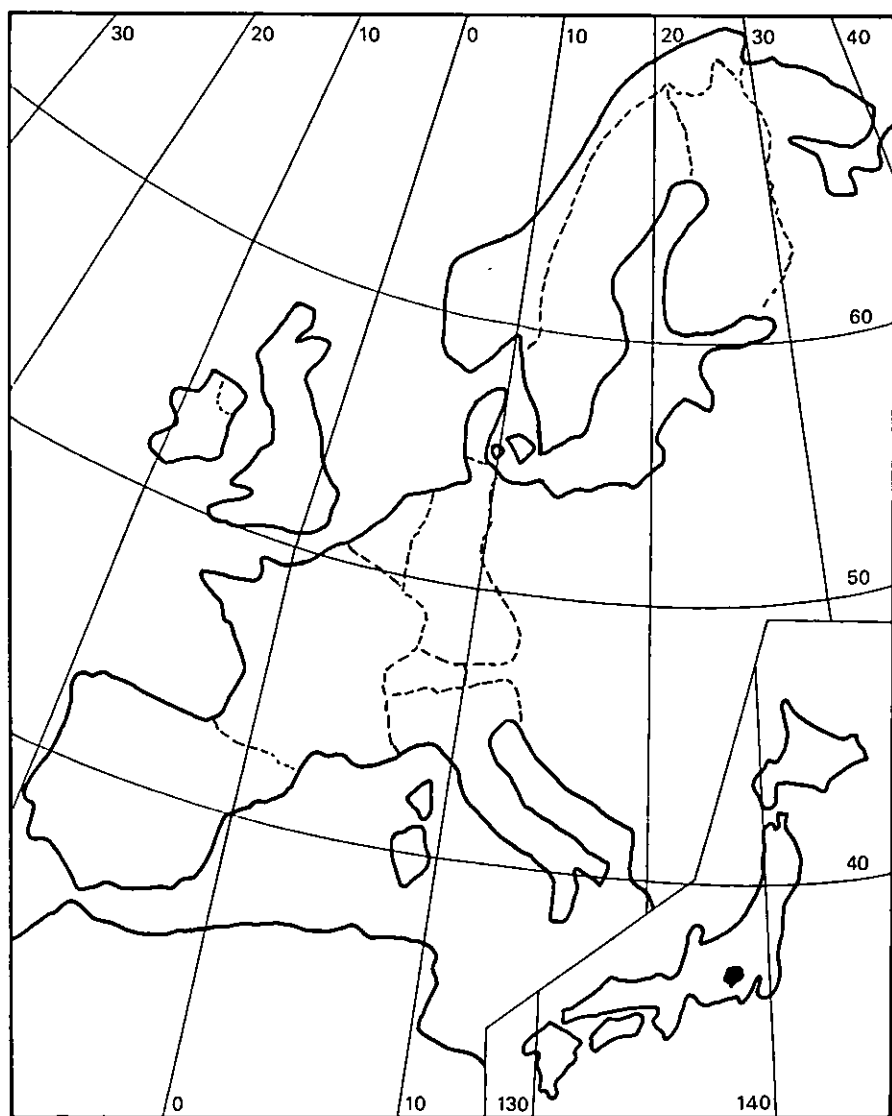


Fig. 1. Location of Yamanashi Prefecture shown black, in comparison to European countries in their latitude and longitude.

Table 1. Experimental plots of forest fertilization established at Yamanashi Forest Experiment Station.

Plot No.	Location	Established	Area (a)	Tree species	Forest age	Number of trees per ha	Soil type	Elevation (m)	Exposure	Inclination	Mother material
1	Hatsukari	1953	8	<i>Cham.</i>	0	3000	B _C	500	S 60 °E	25°	Volcanic ash
2	Takane	1953	13	<i>Larix</i>	1	3000	B _{IF}	1290	S 20 °W	10°	Volcanic ash
3	Ootsuki	1954	11	<i>Cryp.</i>	0	3000	B _C , B _D	1140	S 80 °E	5°	Granite
4	Ooizumi	1954	18	<i>Larix</i>	1	3000	B _{LD}	1620	S 30 °E	5°	Volcanic ash
5	Tomizawa	1955	12	<i>Cryp.</i>	5	3000	B _D	430	N 10 °E	25°	Shale
6	Tomizawa	1955	12	<i>Cryp.</i>	5	3000	B _D	340	N 20 °E	30°	Shale
7	Yoshida	1959	20	<i>Pinus</i>	0	3000	B _D	1280	N 10 °E	5°	Volcanic ash
8	Yoshida	1959	20	<i>Larix</i>	0	3000	B _D	1360	N 20 °E	5°	Volcanic ash
9	Mitomi	1959	20	<i>Larix</i>	0	3000	B _D	1030	S 15 °W	35°	Granite
10	Tomizawa	1961	10	<i>Cryp.</i>	11	2400	B _D	350	N 30 °W	15°	Shale
11	Tomizawa	1961	10	<i>Cryp.</i>	11	2400	B _D	350	N 40 °W	25°	Shale
12	Tomizawa	1962	7	<i>Cryp.</i>	14	2400	B _D	300	N 40 °E	35°	Conglomerate
13	Tomizawa	1962	7	<i>Cryp.</i>	14	2400	B _{D-d}	300	N 60 °E	30°	Conglomerate
14	Tomizawa	1962	7	<i>Cham.</i>	14	2400	B _E	300	N 30 °W	35°	Shale
15	Tomizawa	1962	7	<i>Cham.</i>	14	2400	B _D	300	N 20 °W	30°	Shale
16	Tomizawa	1962	7	<i>Cham.</i>	39	1350	B _D	300	N 80 °E	35°	Conglomerate
17	Narusawa	1963	24	<i>Larix</i>	8	1430	B _D	1210	N 30 °E	5°	Volcanic ash
18	Narusawa	1963	24	<i>Larix</i>	17	1100	B _D	1450	N 45 °W	10°	Volcanic ash
19	Narusawa	1963	32	<i>Larix</i>	40	900	B _D	1210	N 30 °E	5°	Volcanic ash
20	Yoshida	1960	16	<i>Larix</i>	8	2000	B _D	900	N 40 °E	5°	Volcanic ash
21	Narusawa	1963	25	<i>Larix</i>	150	400	Im	2400	N 40 °W	20°	Volcanic grave
22	Uenohara	1965	8	<i>Cryp.</i>	0	3000	B _D	410	N 10 °E	40°	Slate

Plot No.	Fertilization	Dosage in each fertilized plot
1- 4	Once	3, 5, 8 g N
5- 6	Twice at 5 years intervals	12, 24, 36 g N
7- 9	Successively 3 years	36, 72 g N
10-11	Once	50, 100, 150 kg per ha, 21, 42, 63 g per tree
12-15	Once	100 kg per ha, 42 g per tree
16	Once	100 kg per ha, 74 g per tree
17	Successively 3 years	80 kg per ha, 56 g per tree
18	Successively 3 years	100 kg per ha, 88 g per tree
19	Successively 3 years	120 kg per ha, 133 g per tree

'Ball' and 'Pearl' fertilizers are placed in holes around the seedling. The distance and depth of the holes in the case of young plantations, are about 20 to 30 cm and 10 to 20 cm, respectively. 'Compound' fertilizers are scattered on the surface of forest land.

2.3 Arrangement of fertilized plots and measurement

For young plantations, the plots were arranged in a random block with two or three repetitions, excepting Nos. 1, 2, 3, and 4 which were arranged by the Latin square method. For the closed stands, plots Nos. 10 to 19, a special consideration was given to the arrangement of the fertilized plots, i.e., the less in initial tree height, the more fertilizer was used. The plot having higher trees was used as the control.

In young plantations, the height and diameter at the soil surface were taken every year. In the stands, height of 5 trees with mean diameters, and diameter of each tree were measured. For the use of stem analysis, 8 sample trees were taken from plots Nos. 10 and 11. In plots Nos. 17, 18, and 19, the girth of the stem at 0.2, 1.2, 3.2, 5.2, 7.2, 9.2 m etc. above ground level were measured.

The data were statistically tested and levels of significance are indicated by asterisks, as follows: *** for 1%; **, 5%; *, 10%; respectively. For the convenience of comparison between the plots, the effect of fertilizer was presented by an index.

$$I = F / C \times 100$$

where I means the index of fertilizer effect, F and C represent the increment of fertilized plot and control, respectively.

3. Results and discussion

3.1 Trials in young plantations

3.1.1 Plots Nos. 1, 2, 3, 4

As shown in Table 2, in Hatsukari it seemed that *Chamaecyparis obtusa* responded slightly to the 'Ball' fertilizer, but the differences were not statistically significant.

In Takane, no relationship between the fertilization and the growth of *Larix leptolepis* was observed. The poor physical properties of the wet black soil of the plot might be pointed out as a possible reason, for it was clearly observed that poor drainage in the subsoil notably limited the development of the root system.

Table 2. Height growth response of planted seedlings to varying application of 'Ball' and 'Pearl' fertilizers.

No.	Location	Tree species	Soil type	Fertilized plot	Height	Final (cm)	Increment (cm)
					Initial (cm)		
1	Hatsukari	<i>Chamaecyparis</i>	B _C	Control	39	151	112
				45 g Ball	40	148	108
				90 g Ball	38	168	130
				135 g Ball	42	165	123
2	Takane	<i>Larix</i>	B1 _F	Control	54	94	40
				45 g Ball	60	92	32
				90 g Ball	59	100	41
				90 g Pearl	54	84	30
				135 g Ball	58	107	49
3	Ootsuki	<i>Cryptomeria</i>	B _C	Control	26	91	65
				45 g Ball	30	110	80*
				90 g Ball	28	108	80*
				135 g Ball	33	132	99***
			B _D	Control	30	172	142
				45 g Ball	31	171	140
				90 g Ball	32	162	130
				135 g Ball	33	180	147

In Ootsuki, the height increment of *Cryptomeria japonica* exceeded the control by about 20% and 50%, with the fertilization of 5 and 8 g N per tree, respectively. This response was observed only in B_C soil, a weakly dried brown forest soil, but not in B_D soil, a moderately moist brown forest soil. It was considered that the fertilization may affect more noticeably the trees which had been grown on a site insufficient in soil fertility than those on a sufficiently fertile one. Generally speaking, B_C soil is to some extent poor in nutrients, as well as in moisture contents, as compared to B_D soil.

In Ooizumi, 4 growing seasons following fertilization, tree height in every fertilized plot exceeded the control by about 20% to 25% at the 10% level of significance.

The height, diameter, and volume of average trees in each plot at the 7th year are shown diagrammatically in Fig. 2. At that time, the differences between the fertilized plots and the control became narrower than those in the 4th year, but the fertilized plots still had a considerably larger height and volume following the application of 90 and 135 g 'Ball' fertilizer, which contains 5 and 8 g N. Considering the result obtained in plot No. 2, even on the black soil, *Larix leptolepis* would respond to the fertilization if drainage is good.

3.1.2 Plots Nos. 5, 6

In Ishiai, a 5-year-old *Cryptomeria japonica* plantation was treated with varying amounts of 'Ball' fertilizer, twice at a 5 year interval, in 1955 and 1960. Fig. 3 shows the increment curve for a decade after first fertilization. It can be seen that the 'Ball' fertilizer affects the height growth almost in proportion to the amount of fertilizer applied. The increment curves of fertilized plots showed a curve, which rises as ferti-

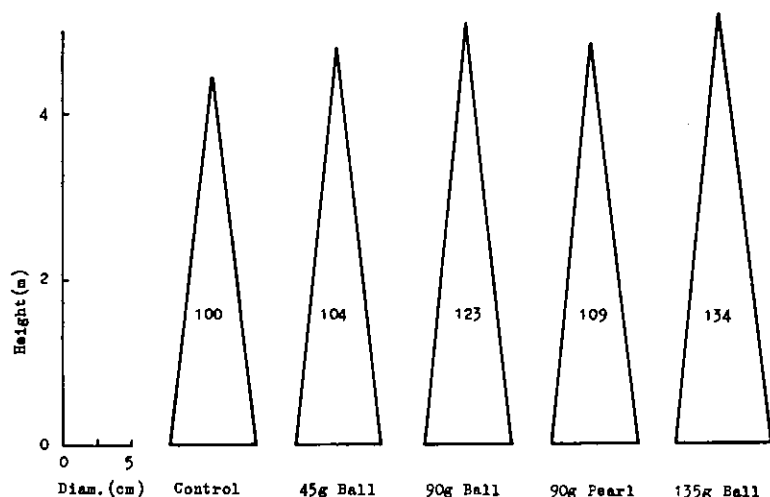


Fig. 2. Diagrammatic illustration of *Larix leptolepis* stands, 7 years after treatment with 'Ball' and 'Pearl' fertilizers.

Note: Numerals in triangles show volume ratio based on control.

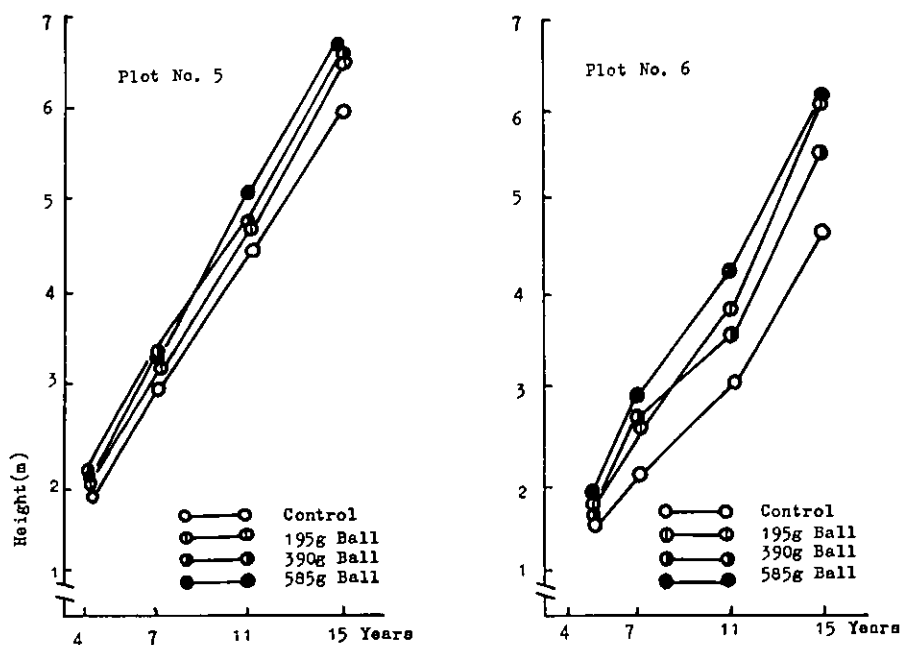


Fig. 3. Increment curve of *Cryptomeria japonica* following treatments with varying amounts of Ball fertilizer.

lization, then falls off, and increases again at the second fertilization. From the trend of the increment curves, the effect of 'Ball' fertilizer, dosed on about 10 g N per tree, seemed to last for two or three years.

A less marked response to the fertilizer was shown by plot No. 5 than by No. 6. As shown in Fig. 3, the initial height of the trees in plot No. 6 was lower than in No. 5. In addition, the field survey indicated that the depth of A layer in No. 6 was shallower than in No. 5. To sum up the results, it may be concluded that to some extent, the poorer the soil conditions, the greater response to the fertilizer would be observed.

At the third year after the first fertilization, the indices of fertilizer effect were as follows:

Plots No.	5 g N	11 g N	16 g N per tree
5	106	115*	117**
6	162	175	206**

At the 5th year, these indices became slightly smaller, and the second fertilization was made with the dosage of 7, 13, 20 g N per tree. Indices in volume averaged over plots Nos. 5 and 6, showed 160 at the 5th year and 140 at the 10th year, in 24 g N per plot, 200 and 170 in 36 g N per plot. In any case, it is noticeable that the increases were doubled in volume at the 5th year, and about 170% at the 10th year following this treatment.

3.1.3 Plots Nos. 7, 8, 9

'Ball' and 'Compound' fertilizers were applied to the plantations of *Pinus densiflora* and *Larix leptolepis*, with successive fertilizations. Results are shown in Table 3.

Table 3. Height growth response of planted seedlings to 'Ball' and 'Compound' fertilizers after 4 growing seasons (cm).

No.	Location	Tree species	'Ball' fertilizer			'Compound' fertilizer		
			Control	36 g N	72 g N	Control	36 g N	72 g N
7	Yoshida	<i>Pinus</i>	131	130	125	131	136	120
8	Yoshida	<i>Larix</i>	130	162	157	130	155	161
9	Mitomi	<i>Larix</i>	112	148	173*	112	150	141

There was no response to any fertilizer in *Pinus densiflora* of plot No. 7. In order to elucidate the reason, the root system was observed. Fine roots, less than 2 mm in diameter, was much scarcer than in the other species studied; e.g., only one third of *Cryptomeria japonica* of the same age in dry weight. In addition, the root system of *Pinus densiflora* is distributed very narrowly in horizontal direction, and extends further downwards. Thus, for these reasons, further research is required for the beneficial fertilization of this species.

It can be seen from Table 3 that both 'Ball' and 'Compound' fertilizers affected the height growth of *Larix leptolepis*. Analysis of the growth in each year after fer-

tilization shows that the growth was poor in the first year, although better in the second and third years in plot No. 8. It was considered that the fertilizers could not be resolved into available form because of the low temperature due to the high altitude of this plot, which is situated at 1360 m above sea level. As for the annual growth in plot No. 9, hardly any fertilization effect could be detected in the third year. The author concluded that a possible cause could be the extremely heavy rainfall, i. e. 475 mm, three times of an average year in June, might have washed away much of the fertilizer from a steep slope having a 35° inclination (Table 1).

3.2 *Trials in forest stands*

3.2.1 Plots Nos. 10, 11

In Tomizawa, an attempt was made to apply the 'Compound' fertilizers to the planted stands of 11-year-old *Cryptomeria japonica*. Results obtained are presented in Figs. 4 and 5.

In plot No. 10 where the initial tree height differed to some extent, it was recognized that the tree height in fertilized plots approached the height in the control after 4 years from fertilization. In plot No. 11 where there was not so much difference in initial height as in plot No. 10, the tree height in every fertilized plot surpassed the control.

The problem of finding out the part of the stem which is the most responsive to fertilization was investigated by use of the data of stem analyses. An excessive diameter growth was recognized at the upper half of the stem in both plots with 100 kg and 150 kg N, but not in plot 50 kg N per ha.

As for the process of growth, the most prominent increment was observed in the first year and it became less marked later.

3.2.2 Plots No. 12, 13, 14, 15

Trials of 'Compound' fertilizers were established on the stands of 14-year-old of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* in various soil types, viz. B_D (moderate moist brown forest soil) and B_{D-d} (dry subtype of B_D) in *Cryptomeria*, and B_E (slightly wet b. f. s.) and B_D in *Chamaecyparis*, respectively.

As shown in Fig. 6, it may be said that the effect of the fertilization was noticeable, with the exception of the plot of *Cryptomeria* in B_D soil, where the initial tree height differed remarkably.

It also can be seen from the increment curve that the effect seems to last for two or three years. This fact coincided with the results obtained in paragraphs 3.1.2 and 3.2.1.

In this trial, moreover, the result that the response to the fertilizer is more marked in poor soils than in rich ones was found. Generally speaking, B_D soil has more moisture as well as more soil nutrients than in B_{D-d} soil, and B_E soil than B_D soil. This tendency coincided, too, with the results obtained in paragraphs 3.1.1 and 3.1.2. In consequence, it may be concluded that within certain limits the effective responses would be given by fertilization on soils rather poor in moisture and nutrient status.

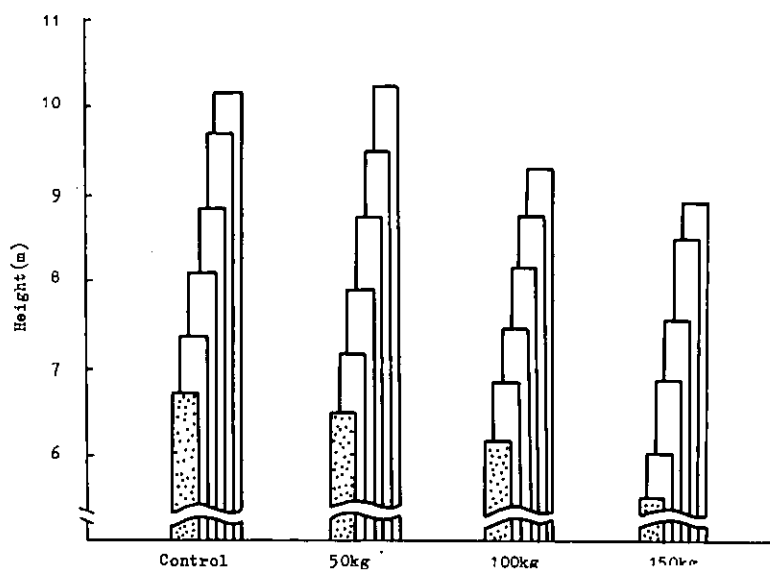


Fig. 4. Height increment of *Cryptomeria japonica* following treatments with varying amounts of «Compound» fertilizer, Plot No.10.

Note: Dotted column shows initial height of tree.

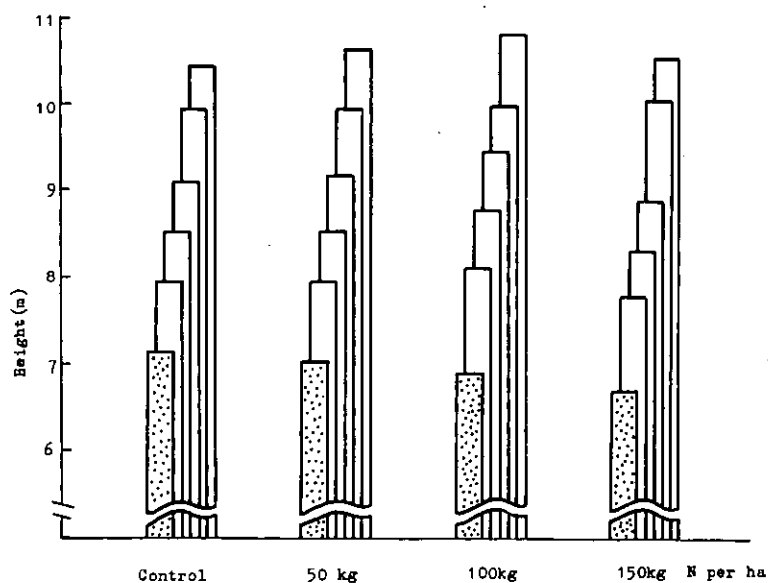


Fig. 5. Height increment of *Cryptomeria japonica* following treatments with varying amounts of «Compound» fertilizer, Plot No.11.

Note: Dotted column shows initial height of tree.

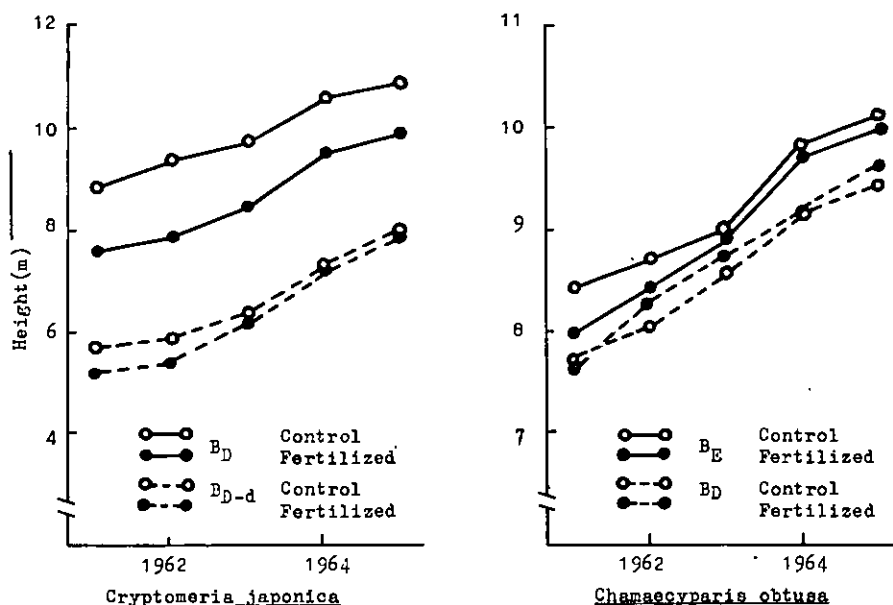


Fig. 6. Increment curve of *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* with and without fertilizer in various soil types.

3.2.3 Plot No. 16

Planted stands of *Chamaecyparis obtusa* aged 39 years were treated by the 'Compound' fertilizer. Averaged diameters in centimeters before and after treatment are as follows:

Plot	1961	1966
Control	21.7	23.9
Fertilized	21.5	22.9

It may be said that there was no response as far as the diameter growth at breast height was concerned.

3.2.4 Plots Nos. 17, 18, 19

On the northern slopes of Mt. Fuji, *Larix leptolepis* stands aged 8, 17, and 40 years were treated with the urea and 'Compound' fertilizers.

In 8-year-old stands of plot No. 17, the tree height at the third year after fertilization more or less exceeded the control, as shown in Table 4. 'Compound' fertilizer increased the growth by about 10% in height, and about 20% in diameter. The urea, however, did not show similar results.

In 17- and 40-year-old stands, there were not perceptible increases in either height or diameter growth. From the measurements of the girths at various heights on the stems, it was observed that 'Compound' fertilizer did not affect the growth in diameter at the breast height, but at the uppermost of the clear length. This trend was also observed in *Cryptomeria japonica* stands as mentioned in paragraph 3.2.1.

Table 4. Height and diameter growth response of *Larix leptolepis* stands of 8-, 17-, and 40-year-old to urea and 'Compound' fertilizers after 3 growing seasons.

No.	Fertilized plot	Height (m)			Diameter (cm)		
		Initial	Final	Increment	Initial	Final	Increment
17	Control	6.34	8.18	1.84	8.8	12.2	3.4
	Urea	6.22	8.16	1.94	8.4	11.8	3.4
	Compound	5.96	7.94	1.98	8.3	12.2	3.9***
18	Control	8.20	10.08	1.88	12.6	14.3	1.7
	Urea	7.90	9.98	2.08	12.4	14.1	1.7
	Compound	8.20	10.10	1.90	11.8	13.4	1.6
19	Control	—	18.2	—	23.6	25.2	1.6
	Urea	—	18.0	—	22.3	23.3	1.0
	Compound	—	17.0	—	22.0	23.5	1.5

3.3 Trials relating to forestry practice

3.3.1 Plot No.20

In some cases, especially on soils of volcanic origin, the young plantations of *Larix leptolepis* suffer from the needle cast, which was caused by *Mycosphaerella larici-leptolepis*. In order to study the possibility of fertilization to prevent this disease, an attempt was made to apply 'Ball' fertilizer to an 8-year-old stand.

The growth of the tree was considerably enhanced by the dosage of 13 g N per tree, but the percentages of infected leaves between the plots with and without fertilizer were not significantly different.

3.3.2 Plot No.21

The seed of *Larix leptolepis* cannot be obtained every year, but at an interval of several years. As far as the Central Mountain District of Japan is concerned, we last harvested seed in 1956 which was cited as a particularly rich year. For this reason, the fertilization trials were carried on the parent stands located in the vicinity of the timber line on Mt. Fuji. The plot is made of the naturally regenerated trees. The dosage was: N, 0.5 kg; P_2O_5 , 1.0 kg; K_2O , 1.0 kg per tree. The fertilizers were given in spring and autumn, and ammonium sulphate, superphosphate, and potassium chloride were used.

Fertilization by phosphorus in autumn gave a promising result, with new shoots in the following year considerably elongated and the number of the flowers borne, both male and female, were remarkably increased by about 20% more than the control.

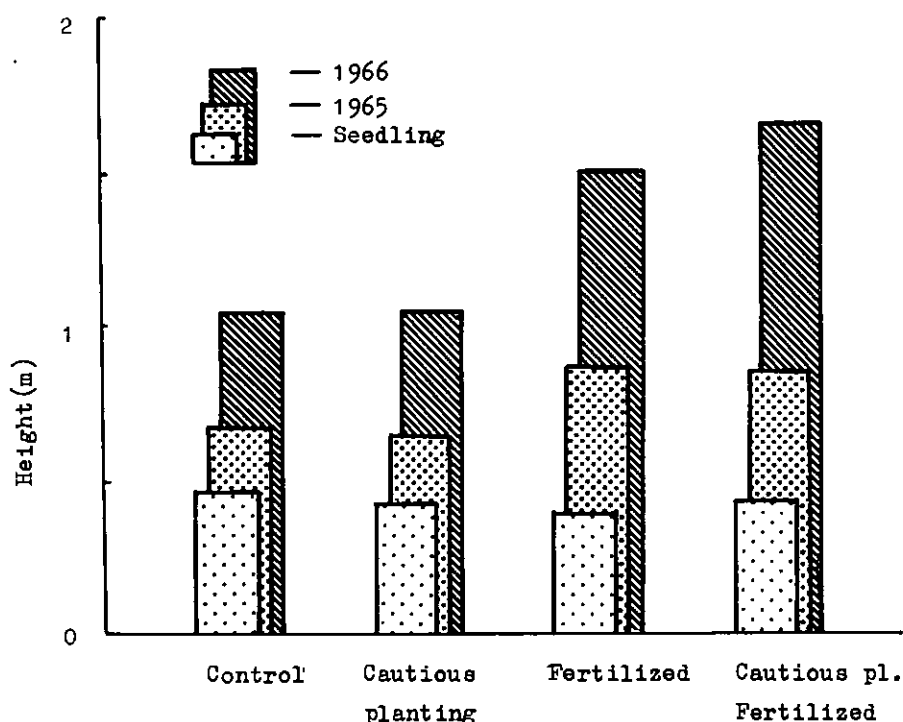


Fig. 7. Height increment of *Cryptomeria japonica* seedlings following treatments with 'Compound' fertilizer in relation to planting method.

3.3.3 Plot No. 22

In Japan, the practice of forest fertilization was originated by the owners of private forests, especially by small forest holdings. When the large forest holdings carried out large-scale fertilizations, undesirable results were reported, and the reason of this result is considered to be careless planting.

In order to study the interaction between fertilization and planting, at first, a plot of cautious planting was taken, where a planting hole was arranged as large as 70 cm in diameter and approximately 40 cm in depth, in which *Cryptomeria japonica* seedlings were planted very cautiously. In this plot, seedlings were planted in only half of the area as compared with the usual way with the same labor.

As shown in Fig. 7, it may be clearly seen that the height of the seedlings in both plots, regular and cautious planting with fertilizer, exceeded notably that in the control (1% level). Between the two fertilized plots, there was a difference at the 10% level, but between the control and cautious planting plot without fertilization, no significant difference was observed. It can be concluded from these results that the effect of fertilization would be accelerated by the cautious planting.

Bibliography

1. Ando A.: On the effects of fertilization on the nutrient contents in Sugi (*Cryptomeria japonica*) yearling seedlings. Bull. Tokyo Univ. Forests, 43, 91-100 (1952).
2. Ando A. and Kozima T.: Forest fertilizer trials, varying applications of forest solid fertilizer. Bull. Yamanashi For. Exp. Sta. 8, 1-43 (1959).
3. Ando A. and Yamane T.: Height growth response of Japanese red pine (*Pinus densiflora*) and Japanese larch (*Larix leptolepis*) plantations to solid fertilizer applications. Bull. Yamanashi For. Exp. Sta. 11, 35-40 (1962).
4. Kobayashi F. and Endo A.: Studies on the methods of planting (1). Bull. Yamanashi For. Exp. Sta. 13, 21-28 (1965).
5. Kozima T.: Studies on root system of some important Japanese conifers with special reference to soil condition. Bull. Yamanashi For. Exp. Sta. 12, 31-61 (1964).
6. Shibamoto T.: Forest land fertilization in Japan. Fac. Agr., Tokyo Univ. p. 18, Tokyo (1962).
7. Tsutsumi T.: Studies on nutrition and fertilization of some important Japanese conifers. Bull. Gov. For. Exp. Sta. 137, 1-158 (1962).
8. Tsutsumi T.: Researches on the needle cast of larch. VI. Some studies on the relationship between the severity of the needle cast on Japanese larch and the nutritional condition of the host. Bull. Gov. For. Exp. Sta. 178, 95-115 (1965).

Forest Fertilization Experiments in Finland

Lic. K. PAARLAIHTI, Forest Research Institute, Helsinki/Finland

The thought of fertilizing forest land was probably presented for the first time in Finland in 1897, when the teacher of the Forest School at Evo, Bernhard Eriksson, stated that forest manuring is one of the tasks of forest research (Viro, 1958). The earliest forest fertilization experiments were established by Chief Forester *Arvid Borg* in 1909–1912 in the domains of the forest school. In these experiments about 1500 kg of limestone was applied per hectare in connection with afforestation. In the 1920's Prof. *J. Valmari* recommended fertilizing of forest lands, for instance, on the basis of the fact that the price of one kilogram of sawn timber is approximately equal to that of one kilogram of milled oats (*Metsänhoito*, 1961). Thus, forest fertilization should be practiced as one of the sensible means of soil management. In 1926 the Forest Research Institute in Finland established its first experiment applying sand to a peat-covered site at Jaakkoinen, Vilppula, which had been drained for forestry purposes. In the course of the following years experiments with application of sand, clay, and lime were established in several places and, finally, in the late 1930's, the first experiments on the effect of woodash. In the 1930's soil improvement experiments were also carried out on sand and gravel soils in Paimio by *Paavo Saarinen*, Counselor of Economics. These experiments revealed that the fertility of such sites can be improved in the best way by improving their water economy, which, in the experiments in question, was done by covering the ground with a peat layer about 20 cm in thickness and applying lime to this peat cover.

The first experiments with ordinary fertilizers applied to peat soils were established in 1930 when spot fertilization with phosphorus and potassium was carried out in connection with planting (*Lukkala*, 1955). The following ordinary fertilization experiments were started in our country in 1940/41.

Even if the experiments mentioned in the foregoing are quite valuable because of their age and pioneer nature, they have to be considered orientative only. An extensive and systematic fertilization-experimental activity, which utilizes methods afforded by mathematical statistics, was started on behalf of the Forest Research Institute in the early 1950's. These experiments aim at determination of the need of fertilization on different sites in various parts of the country and they were started somewhat earlier on peat lands than on mineral soils. The experimental activity has been enlarged annually, and in the degree that general information on forest fertilization has been gained, special problems have also ensued, the study of which has required its own experiments. Such special experiments are, for example, those on the suitability of different fertilizers to forest fertilization, manuring in connection with forest cultivation, reciprocal action between drainage and fertilization, determination of the most favourable time of fertilization, the demands on fertilization of different tree species, etc.

Numerical presentation of the extent of all fertilization experiments established so far is difficult due to the greatly varying size of the experimental units. This ranges from one single tree or tree seedling to sample plots measuring some acres in area. However, the total number of experimental units treated in different ways can be roughly estimated at about 35 000.

In the establishment of fertilization experiments the Forest Research Institute has worked in very close cooperation with the State Board of Forestry, forest industrial companies, and the fertilizer industry. Without their help fertilization-experimental activity in Finland would not have its present extent.

On behalf of the Department of Peatland Forestry, University of Helsinki, too, several fertilization experiments have recently been laid out on peat lands in order to solve problems of special nature.

In addition to the experiments mentioned in the foregoing, quite many fertilization experiments have also been established in different parts of the country by various organizations. So, for instance, the cooperation of financial institutions and the organizations for the promotion of forestry is worth mentioning. The activity attempts, in the first place, to increase the interest in forest fertilization, but also to provide additional study material.

Despite the great number of experiments established, many problems remain still unsolved. With the strong increase in practical fertilization activity still more detailed problems arise, the solving of which require establishment of new experiments. Simultaneously, however, part of the old experiments are abandoned as having performed their task.

Literature

1. *Lukkala O.J.*: Maanparannusaineet ja väkilannoitteet metsäojituksen tukena. Summary: Soil improving substances and fertilizers as an aid to forest drainage. Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 6-8. Helsinki (1955).
2. *Metsänheimo U.*: Vesipäristen maiden metsälannoituksesta. Suo n:o 4. Helsinki (1955).
3. *Viro P.J.*: Eräitä metsämaan lannoituskokeita. Summary: Forest fertilization trials. Metsätaloudellinen Aikakauslehti n:o 5. Helsinki (1958).

Contributions to the Discussion Concerning Session No. 4

Chairman of the Session:

Professor P. BRAATHE,

Norwegian Forest Research Institute, Vollebakk (Norway)

Coordinator:

Dr. T. WALSH,

Director of the Agricultural Institute, Dublin (Eire), Member of the Scientific Board of IPI

M. le Directeur M. Bonneau (Nancy):

Wie wurde der Dünger angewendet, der im erwähnten Versuch eine Zunahme der Sterblichkeit – je nach angewandter Düngerdosis – verursachte?

Prof. Dr. L. Heikurainen (Helsinki):

Die Standorte waren sehr arme Moore mit mehr als 1 m Torf. Als Düngung wurde Volldünger gegeben: $N-P_2O_5-K_2O = 14-18-10$.

Prof. Dr. H. J. Fiedler (Dresden):

Das Institut für Bodenkunde in Tharandt bemüht sich, die Düngung zu Kiefer in mehreren staatlichen Forstwirtschaftsbetrieben unter Berücksichtigung der kartierten Standortsformen einzuführen. Zu diesem Zweck wurden einige hundert Kiefern-kulturen blattanalytisch untersucht. Es zeigte sich, dass der N-Gehalt der Nadeln mit sinkendem Wasserhaushalt und schwächer werdender Trophie abnahm. Zwischen dem N%-Gehalt einerseits und dem K%-, Cu%- und Zn%-Gehalt andererseits bestanden positive Korrelationen. Die Nährstoffgehalte sind in der Regel bei jüngeren Kulturen höher als bei älteren. Legt man die bisher für N und K erarbeiteten Grenzwerte zugrunde, so sind die Nässtandorte und wechselfeuchten Standorte ausreichend mit N und K versorgt. Starker K-Mangel ($K\%$ in den halbjährigen Nadeln 0,35%) trat selbst auf den degradierten armen Sanden der Niederlausitz (Betrieb Bautzen) nicht auf. Werte zwischen 0,35 und 0,50% K, die eine schwache bis mittlere K-Düngewirkung nach Heinsdorf erwarten lassen, wurden für degradierte Sc-Standorte (arme Sande, Streunutzung) öfter festgestellt. In Übereinstimmung hiermit sprachen die Kiefern auf N- und K-Düngung gut an.

Dr. D. Brüning (Stendal):

Die im nordostdeutschen Tiefland der DDR gelegenen N- und K-düngungsbedürftigen Flächen betragen 750 000 ha. Ab 1970 werden jährlich 150 000 ha Waldflächen im Diluvialgebiet der DDR mit N und K gedüngt.

M. L. Carpentier (Paris):

Plusieurs auteurs ont souligné l'importance des 3 éléments nutritifs NPK dans la fumure des forêts. Quelle est selon M. BONNEAU, la meilleure méthode d'application des engrais phosphatés et potassiques?

M. le Dir. M. Bonneau (Nancy):

Il faut distinguer deux cas:

1. Sols où on peut appliquer la fertilisation PK sur toute la surface (parcelles qu'on peut travailler mécaniquement ensuite pour lutter contre l'herbe): on enfouit alors KP par labour sans problème.

2. Sols où on apporte les engrais à chaque arbre:

a) Dans les sols acides on peut apporter des phosphates naturels dans le trou de plantation sans danger. K peut être ensuite apporté en surface (sous forme de sulfate).

b) Dans les sols peu acides où on doit employer du superphosphate il y a alors un problème car le superphosphate mélangé au trou de plantation, même assez longtemps avant la plantation, peut provoquer des brûlures aux racines. La meilleure méthode semble être alors d'employer le superphosphate en surface après la plantation. Plusieurs essais en France même sur sol argileux ont montré que cette thode était efficace.

Prof. Dr. C. O. Tamm (Stockholm):

There is an interesting difference between most of the reported cases of K-deficiency and deficiencies in other nutrients. N and P seem to be very scarce in some parts of the world already without any deteriorating influence of human activity. Deficiency in K, on the other hand, is as a rule induced by human measures such as agricultural use of quartz-rich sandy soils, or draining of swamps. My question is now, whether somebody has any information on the leaching of potassium from sites low in K. We know that we have a supply of K with rainwater, often 2-3 kg per hectare per annum, and I have the suspicion that the leaching losses from low-potassium-sites are of the same order, or lower. There is thus a possibility that a forest ecosystem in the long run may build up a sufficient K store in the soil, which would account for the seldom occurring 'natural' K deficiency.

Prof. Dr. R. Themlitz (Hann.-Münden):

Zur K-Auswaschung konnte in einem Versuch eine K-Abwanderung nach Düngung mit 600 kg/ha bis zu 40 cm Tiefe nach 10 Jahren festgestellt werden. Dabei handelt es sich um eine Kiefernkultur auf einem Heidepodsol.

Prof. Dr. H. J. Fiedler (Tharandt/Dresden):

Die von Heinsdorf ermittelten Grenzwerte für Kiefernkulturen dürften deshalb als Massstab geeignet sein, weil sie an Kiefern vergleichbaren Alters und vergleichbarer Standortformen erarbeitet wurden. Für klimatisch und bodenkundlich stark abweichende Gebiete können andere Grenzwerte gültig sein, desgleichen für Kiefern anderer Altersklassen.

Mr. C. P. van Goor (Wageningen):

I am not sure if on soils deficient in potassium supply the deficiency symptoms will disappear during the growing older of the trees or that the supply to the trees will improve. We observed that e.g. in poplar and in pine the climatical conditions - in particular the evapotranspiration - are influencing the potassium deficiency symptoms.

Prof. P. Braathe (Vollebekk):

How valid is your statement that the effect of P, K and N depends on the quantity of the efficient compounds, and not so much on the kind of fertilizer used?

Prof. Dr. L. Heikurainen (Helsinki):

With the efficient compound I mean P_2O_5 , K_2O and N.

Dr. T. Walsh (Dublin):

Referring to the first title on page 197 of the English text I would like to know if there is an explanation as to why at levels of P_2O_5 above 56 kg/ha there was a decrease in growth from 37.0 to approx. 30. This seems to be significant. Has the reason been explored?

Prof. Dr. L. Heikurainen (Helsinki):

Figures are not statistically analysed, but I think that differences between different P-levels are not significant.

Prof. Dr. O. Huikari (Helsinki):

The result in question has been derived from one series of experiments without any replication. On *Sphagnum fuscum*- and *Eriophorum vaginatum*-type raised bogs, a strong increment in growth can be obtained by phosphorus- and nitrogen-fertilization only. The lack of potassium, however, becomes evident at the latest 5 years after the phosphorus- and nitrogen-fertilization.

Co-ordination Speech by the Co-ordinator and the Chairman of Session No. 4

Presented by Dr.T. WALSH

The primary purpose of this session was to get an assessment of fertilizer response results under varying environmental conditions in different countries. In achieving this purpose, the session was successful and it is now obvious that there is a very substantial interest in many countries in the use of fertilizers to stimulate an increased production in forests. The extent to which the potential of fertilizers can be realised in this respect will increasingly come to depend on the quality of the information available.

In the session we were presented with extensive reviews regarding the results of fertilizers on mineral soils and on peats (swamps). While the amount of new information presented was limited, it has been possible from the general conclusions to obtain a much better picture than previously of the position in this field of work. Perhaps also it might be said that the main result has been to show that investigational work is maturing and that the objectives are being clarified.

In summary, it might be said that on mineral soils, poor in nutrients, such as diluvial sands or old mineral soils, potassium gave a good response. This has been shown especially from the results obtained in considerable areas in Germany and in the United States. On acid soils rich in organic matter and containing high levels of nitrogen, significant responses to lime have been obtained and liming has been extensively practised in Central Europe. On podsolised soils having a raw humus surface layer and low in nitrogen such as those in Scandinavian countries, significant responses have been obtained from nitrogen and under such conditions the application of this nutrient is now regarded as essential. On older stands, late in the rotation period, nitrogen alone has been shown to be significant but in younger stands, at least of Spruce, phosphorus has also had a significant effect.

In general, it has emerged that the effect of fertilizers is almost entirely dependent on the amount of nutrient and not on the form in which it is added. Urea is now extensively used in practical forestry except in drier climates.

On peat bogs, fertilizer use practice varies, depending on the type of peat. In general, it has emerged that phosphorus is the main deficiency and that it is necessary on practically all peats. While in the initial stages of growth, phosphorus in general may be the only nutrient which is required, the need for potassium may appear after some years and as a result it is common in some circumstances to add both phosphorus and potassium initially. These nutrients in this way move into the nutritional cycle. On certain poorer peats, nitrogen also seems to be necessary, the need for this nutrient appearing at an early stage, at least on certain blanket peats. In general, fertilizer use may have an important economic effect through shortening the rotation, while in certain circumstances permitting the growth of trees in locations where it would otherwise be impossible.

The communications in this session in general have shown that investigations in fertilizer use on forests were in progress in the countries represented and that new information will increasingly be added to our present knowledge. It might be said by way of criticism that, apart from a few instances, the information is too scant. Too much of it is merely qualitative and there is too little precise information available regarding the contribution of the different components of the growth complex with too few quantitative data relating to growth interactions. This position can only be rectified by a more thorough experimental approach than hitherto, with more quantitative information being sought on the response to and interaction of the different components. To achieve this, existing problems in the methodology of experimentation will have to be resolved. It is obvious that there is much merit in the approach, demonstrated during the excursion, relating to drainage, micro-climate, nutritional and husbandry aspects and the possibility of investigating, not only the response of individual nutrients, but the interactions.

To some extent, it would seem that the position today in forest fertilization is analogous to that which obtained in agriculture some 25 years ago. Because of the advances which have been made since then in relation to agricultural crops it should now be possible to apply the resulting methodology in forest fertilization and in this way, move forward at a much more rapid pace than was possible in relation to agriculture. In this matter, we are of course essentially concerned with achieving the optimum economic use of fertilizers. Taking into account the various factors, both mobile and immobile, the fixed and changeable, involved, it should be possible to develop a model from which at least the deficiencies in present information and factors which must be further researched can be identified. A number of blanks would no doubt appear in any such model. The lack of a precise definition of soil characteristics which has emerged from most of the papers presented has been especially obvious despite the fact that it is only on the basis of such information coupled with climatic data that the results from the different experiments can be meaningful to those working under different conditions.

In view of the great interest now being shown in forest fertilization, perhaps it might be suggested that the time has arrived to rationalise methodology so that the maximum use can be made of the data becoming available. This is all the more necessary in forestry in view of the time factor involved in experimental work. It should not be impossible to effect international collaboration in this matter through the appropriate team-work and the use of systematic soil survey and climatic data now becoming available in most countries.

If this meeting only achieves this result, it will have been productive. It is obviously the responsibility of all present to take steps to activate progress, because of the importance of the results. It is hoped that this session will be a start on the road to such future developments.

Prof. Dr. C. O. Tamm (Stockholm):

I should like to comment a little further on some of the questions which Professor Jansson and Dr. Walsh discussed in their co-ordination papers. In my opinion there is one type of experiment which is very much called for. That is experiments where we are trying to optimise all the changeable factors (and by changeable factors I mean in this connection primarily the nutrient supply). Professor Huikari has shown us today that he can change the climate; but still I shouldn't include climate in this type

of experiment; however, the experiments ought to be carried out in different climates and on different types of soil but with the same species. Somewhat similar experiments are being carried out in agriculture by Professor *Jansson* in Sweden. It is very important to know what is the optimum growth on various sites, if all the nutrients are supplied in satisfactory amounts. Of course, the experiments should be followed not only by growth measurements but also by foliar analysis and the fertilizer applications should be made at least every year.

Experiments of this kind could also supply evidence about the extent to which we can rely upon foliar analysis. We have already heard from Professor *Jansson* that phenomena of the kind often called *Steenbjerg* effects may make the interpretation of tissue analyses difficult. There is another source of error in plant analysis of forest trees which originates in the time-lag between fertilizer application, growth measurements and foliar nutrient measurements. As both the growth and the foliar levels change with time, it's possible to arrive at rather different conclusions just by choosing different points of sampling on the time scale. If the fertilizers are applied at regular intervals, and with the rates adjusted, by means of annual foliar analyses, we should be in a much better position. It should be attempted to keep the levels in the foliage at an approximately constant level for the most important nutrients. If we succeed in that respect, we could then tell what is the optimum concentration in the foliage under field conditions. As far as I know, results from experiments made as yet tell us rather little in this respect, while we have much better information about the reliability of foliar analysis at the other end of the scale, where deficiency occurs.

Of course, experiments of this kind would be expensive and laborious and we should need factorials in which treatments were annually adjusted after the analytical results. We have in Sweden one preliminary experiment with various rates of nitrogen, application, with and without PK, which has now been running for ten years. I think the results are of great interest even if we have not been able to maintain quite constant levels, I think that the results indicate that it is possible to carry out experiments of this kind.

5th Session:	Quality and economical aspects of fertilizer use
5. Arbeitssitzung:	Qualitative und wirtschaftliche Aspekte im Zusammenhang mit der Forstdüngung
Chairman: Vorsitzender:	Prof. Dr. F. RICHARD, International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), Zürich / Schweiz
Co-ordinator: Koordinator:	PROF. DR. R. BACH, Agrikultur- chemisches Institut, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich/Schweiz, Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats des Internationalen Kali-Instituts

Einfluss der Düngung auf Forstinsekten

Dr. U. SCHINDLER, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen
Bundesrepublik Deutschland

Vor etwa einem Jahrzehnt veröffentlichten *Merker* (Freiburg) und *Zwölfer* (München) mit ihren Mitarbeitern *Büttner*, *Oldiges*, *Ronde* und *Schwenke* die ersten Ergebnisse von Untersuchungen über die Auswirkungen der Düngung auf Forstinsekten [7, 25, 3, 15, 16, 18, 20]. Sie erbrachten den Beweis, dass die forstliche Düngung neben ihrem ursprünglichen Zweck, den Bodenzustand zu verbessern und die Holzproduktion zu steigern, auch den Schädlingsbefall zu beeinflussen vermag. Damit ergaben sich für den Forstschutz neue Möglichkeiten, denn der Privatforstwirt und die kommunalen und staatlichen Verwaltungen sind wesentlich eher geneigt, finanzielle Mittel für eine allgemein die Bestände fördernde Düngung einzusetzen, als solche für den Ankauf von Schädlingsbekämpfungsmitteln zu verwenden. Hinzu kommt, dass die bekannte Breitenwirkung der Insektizide nach Erfolgen gegen die auftretenden Schädlinge unter Umständen zu meist erst später in ihrer vollen Tragweite erkennbaren Schädigungen der nützlichen Parasiten und Räuber führt. Auch deswegen fand die Möglichkeit, mit der Düngung die Forstschädlinge zu dezimieren, in der Praxis ein wohlwollendes Echo. Dies wird umso verständlicher, weil in den letzten Jahren die chemische Schädlingsbekämpfung besonders in den USA durch unsachgemäße Übertreibungen und entsprechend starke Nebenschäden, die vor allem von *Carson* [5] mit Recht angeprangert wurden, etwas in Misskredit geraten war.

Zu den eingangs erwähnten Befunden, die überwiegend auf Untersuchungen im Laboratorium bzw. kombinierten Freiland-Laboratoriums-Experimenten basieren, sind weitere Resultate von Düngungspartzellen, wie sie den Verhältnissen der Praxis entsprechen, bekannt geworden. Es liegen nunmehr positive Ergebnisse der Düngerwirkung gegen folgende Forstinsekten vor: *Bupalus piniarius*, *Lymantria monacha*, *Rhyacionia buoliana*, *Diprion pini*, *Pristiphora abietina*, *Ips typographus*, *Ips curvidens* und *Brachyderes incanus* (Tabelle 1). Eine Auswertung der Literatur bringen *Baule* und *Fricke* ([1], S. 214): Nadel- und blattfressende Insekten werden durch «Düngung mit N, besser noch mit NPK und insbesondere mit Ca» am meisten geschädigt. Gegen saugende Insekten wirkt Kalium befalls mindernd, Stickstoff dagegen führt zur Verbesserung der Lebensbedingungen für saugende Insekten und daher zu einem Populationsanstieg bei dieser Insektengruppe (*Schwerdtfeger*, [22], dort Beispiele aus dem gesamten Pflanzenschutz).

Im grossen Durchschnitt lässt sich sagen, dass zumindest bei Schmetterlingslarven der Besatz auf gedüngten Parzellen gegenüber ungedüngten etwa um die Hälfte reduziert wurde. Die vorliegenden Ergebnisse bedürfen noch der Untermauerung durch Untersuchungen auf grösseren Flächen und durch solche über weitere Insektengruppen, z. B. die Käfer. Der erforderliche, nicht unerhebliche Arbeitsaufwand darf in Anbetracht der Bedeutung des Problems nicht gescheut werden. Er ist

Tabelle 1 Auswirkung der Düngung gegen fressende Forstinsekten (nach der Literatur bis 1967)
Erhebungen im Freiland bzw. Versuchsergebnisse mit Insekten von Düngungspartzen

Schädling	Art der Düngung	Besatz-Reduktion in % gegenüber Ungedüngt	Bemerkungen	Berichterstatte und Jahr der Publikation
<i>Bupalus piniarius</i>	CaCO ₃	38	+ Lupinenanbau	Schwenke 1961
<i>Bupalus piniarius</i>	Volldüngung	54		Schwenke 1961
<i>Lymantria monacha</i>	Volldüngung	83		Büttner 1956
<i>Evetria buoliana</i>	Mülldüngung	8-28		Merker und Büttner 1959
<i>Evetria buoliana</i>	NPKMg	56	Im 6. bzw. 7. Jahr nach der ersten Düngerausbringung	Schindler und Baule 1964
	NKMg, NP	52		
	NPKS, PKMg	48 bzw. 47		
	NPBK Mg	43		
<i>Evetria buoliana</i>	Ca, K, N, CaNK	50-60		Nef 1966
<i>Evetria buoliana</i>	NO ₃ NH ₄ , N, NP	Befallszunahme!	Ungedüngt: Krüppelkiefern mit geringem Insektenbefall	Eidmann und Ingestad 1963
<i>Diprion pini</i>	Gründüngung Lupine	39 bzw. 66		Schwenke 1960
<i>Diprion pini</i>	NPK + Kalkung	29		Schwenke 1960
<i>Pristiphora abietina</i>	Brantkalk	75		Ohmesorge 1957
<i>Pristiphora abietina</i>	Kalkammonsalpeter	43	ca. fünfjährige Wirkungsdauer	Merker 1960 und 1963
<i>Pristiphora abietina</i>	Kalkammonsalpeter	50		Büttner 1961
<i>Ips typographus</i> und <i>Ips curvidens</i>	Kalkammonsalpeter	Befall verhindert	Prophylaktisch	Merker 1967
<i>Brachyderes incanus</i>	NP, NPKMg, NP ₄ KMg	Frassverminderung		Bischoff 1967

jedoch die Ursache dafür, dass bisher nur einzelne Düngungsversuche im Hinblick auf ihren Insektenbesatz analysiert wurden. Andererseits dürfte manches Schädlingsauftreten auf Düngungsflächen den Forstschutzsachbearbeitern unbekannt geblieben sein und konnte daher auch nicht für Untersuchungen nutzbar gemacht werden. Die betreuenden Praktiker begifteten einige gedüngte Bestände, die befallen waren, in bester Absicht, um zu verhindern, dass Schädlinge die unterschiedliche, ertragskundlich überwachte Entwicklung der Flächen stören. Bei nicht bestandsgefährdendem Frass ist künftig aber ein Abwarten zu empfehlen, denn die Düngung kann sich, wie wir sahen, im Laufe der Jahre erheblich gegen pathogene Organismen auswirken.

Dass die Ergebnisse der Untersuchungen nicht allein aus der Wirkung der Düngerkomponenten resultieren, sondern beispielsweise durch geringfügige Unterschiede des Standortes, der Struktur der umgebenden Bestände und Einflüsse von Parasiten und Räubern des bearbeiteten Schädlings mehr oder weniger «verschleiert» werden können, hat *Thalenhorst* [23, 24] dargelegt. Die Forderung nach statistischer Sicherung der Ergebnisse bedingt mithin gewisse Mindestgrößen der Parzellen der Düngungsversuche. Vor allem im Bergland verlangen standörtliche Unterschiede eine Wiederholung der Versuchsglieder, wodurch sich dann aber wieder eine Vergrößerung des Gesamtflächenareals und eine entsprechende Mehrarbeit bei Untersuchungen ergeben.

Manche Insekten sprechen offensichtlich erst nach gewisser Zeit auf Düngungen an, bzw. die Düngungsmassnahmen brauchen einige Jahre, um sich gegen die Insekten auswirken zu können, wie es z.B. für den Kiefernknospentriebwickler nachgewiesen wurde (*Schindler* und *Baule* [19]). Es empfiehlt sich daher, die Aufnahmen über den Insektenbesatz nicht nur auf einmalige Stichproben zu beschränken, sondern mehrere Jahre vergleichend hintereinander oder in gewissen Zeitintervallen anzusetzen.

Hinsichtlich des tatsächlichen Effekts gegen Forstschädlinge muss man sich immer vor Augen halten, dass es sich um eine zusätzliche Nebenwirkung der Düngung handelt und diese nicht mit einer chemischen Bekämpfung vergleichbar ist. Letztere wird auch in Zukunft beim Massenaufreten primärer Schädlinge kaum zu umgehen sein. Jedoch können zuwachsmindernde und mehrjährig lästig auftretende Schädlinge allein schon durch Düngung um etwa 50% gegenüber Ungedüngt in ihrer Schadwirkung begrenzt werden.

Einen völligen Ersatz chemischer Bekämpfungsmassnahmen gegen Borkenkäfer hat *Merker* [11] durch eine prophylaktische «Forstschutz-Düngung» mit 1000 kg Kalkammonsalpeter je ha im Schwarzwald erprobt und vorgeschlagen. *Merker* vermutet nach seinen bisherigen Ergebnissen, dass eine solche Düngung – ähnlich wie gegen die Kleine Fichtenblattwespe – etwa 4–5 Jahre vorhält, dann wäre sie bei drohender Gefahr zu wiederholen. Da die Anfälligkeit der Bäume gegen Käfer jedoch sehr witterungsabhängig ist und sich nicht vorhersehen lässt, müssten derartige Düngungen turnusgemäss wiederholt werden, wofür bei der augenblicklichen schwierigen Ertragslage der Forstwirtschaft in Deutschland aus kostenbedingten Gründen wenig Aussichten bestehen.

Hier muss auf die starke Abhängigkeit der Düngerwirkung vom Standort hingewiesen werden. Im Gegensatz zu *Merker's* Ergebnissen fand *Schwerdtfeger* (mündl. Hinweis) nach einer 1964 im Forstamt Cloppenburg im Bezirk Oldenburg durchgeführten Düngung mit 200 kg N/ha in von der Kleinen Fichtenblattwespe befreite-

nen Fichten-Althölzern 1965 und 1966 keine gesicherten Unterschiede zwischen gedüngten und ungedüngten Beständen hinsichtlich des Frassgrades und des Kokonbelages in der Bodenstreu.

Allgemein lassen sich voraussichtlich die Wirkungen von Düngungsmassnahmen noch intensivieren, wenn schon bei der Planung der zeitlichen Durchführung der spätere Einfluss auf die Schädlinge mit einkalkuliert wird. Auch die Verstärkung dieser oder jener Düngerkomponente könnte dabei von Vorteil sein. Diese Fragen sollen an Hand einiger Beispiele erörtert werden.

In einer Untersuchung des Kiefernknospentriebwicklerbesatzes im Düngungsversuch Tinnen, Forstamt Meppen/Emsland (Versuchsbeschreibung s. *Baule und Fricker* [1], S. 123), ergab sich 5 Jahre nach Kulturbegründung bzw. 3 Jahre nach Ausbringung der ersten Düngergaben kein wesentlicher Unterschied im Larvenbesatz zwischen gedüngten und nicht gedüngten Parzellen. Bei dem seinerzeitigen starken Befall – fast jeder zweite Terminaltrieb wurde befallen – entschloss man sich zu einer Bekämpfung der Larven mit DDT im Frühjahr 1960. Der Erfolg war gut, hielt aber nur etwa 3 Jahre vor, denn begünstigt durch den trocken-warmen Vorsommer 1963 kam es zu einer erneuten Vermehrung des Wicklers. Nun zeigten die 1963 und 1964 durchgeführten Ermittlungen im 6. und 7. Jahr nach der ersten Düngerausbringung, dass im Durchschnitt beider Jahre gegenüber Ungedüngt eine prozentuale Besatzminderung in folgendem Umfange eingetreten war: NPKMg 56, NK Mg und NP 52, NPKS (KS = K als Kalisulfat) 48, PKMg 47 und NPBKMg 43% (*Schindler und Baule* [19]).

Der Kiefernknospentriebwickler (*Rhyacionia buoliana*) bedroht junge Kiefern am stärksten, wenn sie 5–15 Jahre alt und etwa 0,5 bis 3 m hoch sind. In den ersten fünf Jahren nach der Kulturbegründung ist der Besatz noch gering. In dem zuvor besprochenen Beispiel wäre es im Hinblick auf den Triebwickler vermutlich möglich gewesen, die Kosten für die durchgeführte chemische Bekämpfung zu sparen, wenn die Kultur gleich bei der Pflanzung gedüngt worden wäre. Da 3 Jahre nach der ersten Düngung noch stärkerer Befall auch bei gedüngten Pflanzen eintrat, im 6. Jahr nach der Düngung jedoch der Besatz erheblich zurückging, kann man schliessen, dass die Düngung sich etwa nach 5 Jahren gegen die Wickler auswirkt.

Eine Bestätigung für diese Vermutung brachten die Ergebnisse der Kontrollen eines 1958 im Forstamt Rodgau, Forstort Dudenhofen, Bez. Darmstadt, angelegten Düngungsversuchs zu Kiefer. Die Düngung erfolgte dort von der Versuchsanlage an bis 1962 (Einzelheiten s. *Baule und Fricker* [1], S. 83/84). Im Juni 1964 wurden in 6 über die jeweilige Parzelle gleichmässig verteilten Reihen nach einheitlichem Plan 200 Kiefern auf ihren Wicklerbefall durchgemustert. Abgesehen von der auch ertragsmässig den unbehandelten Flächen gleichzusetzenden Parzelle mit der alleinigen Kalkung, die den Wicklerbesatz nicht beeinflusste, reduzierten die Düngergaben mit N, NP, PKMg, NPKMg und NPKMgCa den Wicklerbefall etwa um die Hälfte gegenüber Ungedüngt (Tabelle 2).

Im Unterschied zu dem Beispiel im Forstamt Meppen hat im Forstamt Rodgau die vor der Pflanzung erfolgte Einbringung der ersten Düngergaben des insgesamt sich über 5 Jahre hinziehenden Düngungszeitraumes bewirkt, dass der Wickler sich nicht so stark entwickeln konnte wie in Meppen, wo mit der Düngung erst im 3. Kulturjahr begonnen wurde. Düngungen der Kiefernkulturen sollten daher mit Rücksicht auf drohende Wicklerschäden möglichst schon bei Anlage der Pflanzungen erfolgen. Noch sicherer und aussichtsreicher wäre unter Umständen ein etap-

Tabelle 2 Befall durch Kiefernknospentriebwickler (*Rhyacionia buoliana*) auf Düngungsparzellen im Forstamt Rodgau, Bez. Darmstadt
Versuchsanlage 1958, Befallsermittlung 9. Juni 1964

Parzellen Nr. ¹	Düngung	Durchschnittlicher Befall je 100 Terminaltriebe
1	NPKMgCa	13
2	O-Parzelle	28
3	NPKMg	14
4	NKMg	14
5	NP	9
6	PKMg	14
7	N	10
8	O-Parzelle	20
9	Ca	24
10	N ₂ P ₂ KMg ₂	9
11	N ₃ P ₃ KMg ₃	13

¹ Lageplan der Parzellen siehe Baule und Fricker ([1], p. 85).

penweiser Beginn der Düngung bereits in den letzten Jahren vor dem Abtrieb des Altholzes. Entsprechende Versuche und Untersuchungen sind erforderlich.

Bei allgemein niedrigem Schädlingsbesatz kann der Einfluss der Düngung auf diesen durch andere Einwirkungen, wie geringfügige Standortunterschiede, ungleiche Feuchtigkeitsverhältnisse oder lückenhafte Nachbarschaft älterer Bestände, überdeckt werden. Dies zeigte eine Ermittlung des Kiefernknospentriebwicklerbesatzes auf einer Düngungsfläche im Forstamt Sulingen, Bez. Hannover, die ausser Kiefern auch Parzellen mit Laubholz und Douglasie umfasst. Die Douglasien sind im Hinblick auf Befall durch die Douglasienwollaus (*Gilletteella cooleyi*) von *Thalenhorst* untersucht worden [2] (23, dort nähere Beschreibung der Versuchsfläche).

Stellt man die Ergebnisse von den zwei Volldüngungsflächen des Sulinger Versuchs denjenigen der beiden O-Flächen gegenüber, ergibt sich auf den NPKMgCa-Parzellen rein rechnerisch eine durchschnittliche Befallsminderung um 31% (Tabelle 3). Vergleicht man aber die Ergebnisse der räumlich mehr benachbarten Parzellen 1 (ungedüngt) und 11 (gedüngt) sowie 8 (ungedüngt) und 6 (gedüngt), so ergibt sich zwar bei 11 gegenüber 1 sogar eine Befallsminderung um 68%, für die Volldüngungsfläche 6 gegenüber der ungedüngten 8 hingegen ein Mehrbefall von 16%. Man muss hieraus entnehmen, dass bei allgemein geringem Befall, der nur wenige Prozente der Kiefern umfasst, die zufälligen Schwankungen zu gross sind, um gesicherte Aussagen zu bekommen. In diesem dritten Beispiel im Forstamt Sulingen wirkte sich vermutlich einerseits der Windschatten durch vorgelagertes Altholz und für andere Parzellen eine Freilage differenzierend aus [23].

Als letztes Beispiel sei über einen Dauerschädling an Lärche, die Lärchenminiermotte (*Coleophora laricella*), berichtet. Im küstennahen maritim beeinflussten Klimabereich des Emslandes ostwärts der holländischen Grenze sind im vergangenen Jahrzehnt mit grossem Erfolg zahlreiche Kulturen mit Japanischer Lärche (*Larix leptolepis*) angelegt worden, deren Bedürfnis nach hoher Luftfeuchtigkeit durch die von der Nordsee her wehenden Winde befriedigt wird. Zur Untersuchung der Frage, inwieweit durch Düngung den jungen Lärchen auf den zum Teil besonders nährstoffarmen Dünenstränden zu einem besseren Start verholfen werden kann, legte

Tabelle 3 Befall durch Kiefernknospentriebwickler (*Rhyacionia buoliana*) auf Düngungsparzellen im Forstamt Sulingen, Bezirk Hannover
Versuchsanlage 1960, Befallsermittlung am 13. Juni 1966
aus Arbeitersparnisgründen nur auf Volldüngungs- und Null-Parzellen

Parzellen Nr.	Düngung	Untersuchte Kiefern n	Terminaltriebbefall absolut	% der Kiefern mit befallenen Terminaltrieben
1	ungedüngt	637	39	6,1
8	ungedüngt	1118	35	3,1
Sa. 1+8	ungedüngt	1755	74	4,2
6	NPKMgCa	563	21	3,7
11	NPKMgCa	629	13	2,0
Sa. 6+11	NPKMgCa	1192	34	2,9

man Düngungsversuche an. Seit etwa 3 Jahren befindet sich die Lärchenminiermotte im dortigen Gebiet in Massenvermehrung. Befallsuntersuchungen über diesen langjährig hartnäckig auftretenden Schädling erfolgten auf Düngungsparzellen der Forstinteressentenschaft Kathen-Frackel, Forstamt Meppen, die 1959 mit einer P-Vorratsdüngung und einer N- und KMg-Startdüngung sowie 1961 bis 1963 mit nochmaligen KMg-Gaben versehen worden waren. Von rund je hundert Lärchen der gedüngten und nicht gedüngten Flächen wurden Zweige mit überwinternden Larven geschnitten und im Laboratorium in Göttingen ausgezählt. Die Befallsmin- derung auf den gedüngten Parzellen betrug im Winter 1967 gegenüber der Nullflä- che 24–56, im Durchschnitt 45% (Tabelle 4).

Tabelle 4 Befall durch Lärchenminiermotte (*Coleophora laricella*) auf Düngungsflächen im Forstamt Meppen/Emsland
Versuchsanlage 1961, Befallsermittlung Februar 1967 (überwinternde Larven)

Düngung	Untersuchte Kurztriebe n	Gefundene <i>C. laricella</i> -Larven	Larven je Kurztrieb
NPKMg	21 358	11 503	0,54
ungedüngt	5 864	4 847	0,83

Zusammenfassung

Wie die Auswertung der Literatur zeigt, liegen nunmehr positive Ergebnisse der Düngerwirkun- gen gegen folgende Forstinsekten vor: *Bupalus piniarius*, *Lymantria monacha*, *Rhyacionia buoliana*, *Diprion pini*, *Pristiphora abietina*, *Ips typographus*, *Ips curvidens* und *Brachyderes incanus*. Nadel- und blattfressende Insekten werden durch Düngung mit N, besser noch mit NPK und insbesondere mit Ca am meisten geschädigt. Gegen saugende Insekten wirkt Kalium befallsmindernd, Stick- stoff dagegen führt zu einer Verbesserung ihrer Lebensbedingungen und daher zu einem Popula- tionsanstieg bei dieser Insektengruppe.

Der Einfluss der Düngung auf Insekten lässt sich nicht vergleichen mit einer Bekämpfung mit chemischen Mitteln. Immerhin bewirkt dieser Nebeneffekt eine Schädigung vor allem der fressen- den Insekten, und ihr Befall ist auf gedüngten Flächen in vielen Fällen etwa um die Hälfte gerin- ger als auf ungedüngten Parzellen. Die Befunde bedürfen noch der Untermauerung durch weitere Untersuchungen auf grösseren Flächen und solche über forstschädliche Käfer.

Neue Untersuchungsergebnisse über *Rhyacionia buoliana* und *Coleophora laricella* zeigen die Bedeutung der Düngung für die Minderung des Schädlingsbesatzes in Kulturen von *Pinus* und *Larix*. Wenn mit der Düngung bereits bei Anlage der Pflanzung begonnen wird, ist der Schutz sicherer als bei nachträglicher Düngung, denn es vergehen einige Jahre, ehe sich die Düngemittel gegen die Schadinsekten an den jungen Bäumen auswirken. Versuche mit Düngungen schon vor dem Abtrieb des Altholzes zum besseren Schutz der anschließend auf diesen Flächen zu begründenden Kulturen werden angeregt. Auf diese Weise liessen sich Ausgaben für die sonst gegen manche Kulturschädlinge häufig notwendigen Bekämpfungen mit Insektiziden einsparen.

Bibliographie

1. Baule H. und Fricker C.: Die Düngung von Waldbäumen. 259 S., Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München 1967.
2. Bischoff M.: Untersuchungen von Frass-Schäden des Graurüsslers (*Brachyderes incanus* L.) auf Düngungsversuchsflächen. Forst- u. Holzwirt 22, 131-135 (1967).
3. Büttner H.: Die Beeinträchtigung von Raupen einiger Forstschädlinge durch mineralische Düngung der Futterpflanzen. Die Naturwissenschaft 43, 454-455 (1956).
4. Büttner H.: Der Einfluss von Düngestoffen auf Mortalität und Entwicklung forstlicher Schadinsekten über deren Wirtspflanzen. Schriftenreihe d. Landesforstverw. Baden-Württemberg 11, 69 S. (1961).
5. Carson R. L.: Der stumme Frühling. 355 S., Biederstein, München 1963.
6. Eidmann H. und Ingestad T.: Ernährungszustand, Zuwachs und Insektenbefall in einer Kiefernkultur. Studia Forestalia Suecica, Nr. 12 (1963).
7. Merker E.: Die Schutzwirkung der Düngung im Walde gegen schädliche Insekten. Forst- u. Holzwirt 13, 316-319 (1958).
8. Merker E.: Die Bekämpfung von Waldschädlingen durch geeignete Düngung der Bestandesböden. XI. Inr. Kongress f. Entomologie 1960, Verhandl. II, 198-202, Wien 1962.
9. Merker E.: Welche Ursachen hat die Schädigung der Insekten durch Düngung im Walde? Allg. Forst- u. Jagdztg. 132, 73-82 (1961).
10. Merker E.: Die Bekämpfung der Kleinen Fichtenblattwespe durch Düngung der Bestandesböden. Allg. Forst- u. Jagdztg. 134, 72-76 (1963).
11. Merker E.: Die künstliche Erhöhung der Pflanzenresistenz gegen Borkenkäfer. Allg. Forst- u. Jagdztg. 138, 13-24 (1967).
12. Merker E. und Büttner H.: Die Wirkung von Mülldünger auf den Befall von Kiefernknospentriebwicklern. Allg. Forstztzshr. 14, 792 (1959).
13. Nef L.: Invloed van minerale bemestingen op verschillende bosinsekten. Entomol. Berichten 26 (Belgien), 108-112 (1966).
14. Obnesorge B.: Untersuchungen über die Populationsdynamik der Kleinen Fichtenblattwespe, *Pristiphora abietina* (Christ) (Hym. Tenth.). Ztschr. angew. Entomol. 40, 443-493 (1957).
15. Oldiges H.: Waldbodendüngung und Schädlingsfauna des Kronenraumes. Allg. Forstztzshr. 13, 138-140 (1958).
16. Oldiges H.: Der Einfluss der Waldbodendüngung auf das Auftreten von Schadinsekten. Ztschr. angew. Entomol. 45, 49-59 (1959).
17. Ronde: Studien zur Waldbodenkleinfauna. Forstwiss. Centralbl. 76, 95-126 (1957).
18. Ronde G.: Waldbodendüngung und Lebensgemeinschaft-Bodenfauna. Ztschr. angew. Entomol. 47, 52-57 (1960).
19. Schindler U. und Baule H.: Forstliche Düngung und Kiefernknospentriebwicklerbefall. Allg. Forstztzshr. 19, 534-537 (1964).
20. Schwenke W.: Über die Wirkung der Walddüngung auf die Massenvermehrung der Kiefernbuschhornblattwespe (*Diprion pini* L.) 1959 in Mittelfranken und die hieraus ableitbaren gradologischen Folgerungen. Ztschr. angew. Entomol. 46, 371-378 (1960).
21. Schwenke W.: Walddüngung und Schadinsekten. Anz. f. Schädlingskde. 34, 129-134 (1961).
22. Schwerdtfeger F.: Ökologie der Tiere. I. Autökologie. 461 S., Parey, Hamburg-Berlin 1963.
23. Thalenhorst W.: Komponenten des Schädlingsbefalls auf forstlichen Düngungs-Versuchsflächen. Forstarchiv 34, 30-36 (1963).
24. Thalenhorst W.: Beobachtungen über den Einfluss dichte-abhängiger Faktoren auf den Schädlingsbefall in Düngungsversuchen. Ztschr. angew. Entomol. 54, 219-224 (1964).
25. Zwölfer W.: Ein Jahrzehnt forstentomologischer Forschung, 1946-1956 (Rückschau und Ausblick). Ztschr. angew. Entomol. 40, 422-432 (1957).

Manuring and Resistance to Diseases

Prof. E. Björkman, Royal College of Forestry, Stockholm/Sweden

Resistance in this survey refers to the power of the higher plants to resist different fungus diseases. If such resistance is total under all conditions, it is called immunity, and is due to the occurrence of genes for resistance in the host plant or in the parasite. The attainment of such *genetic resistance* is the aim of all resistance-breeding. Generally, however, there is in a population a higher or lower degree of resistance that may very often be ascribed to the environment. Such *ecological resistance* may result from the effect of the environmental factors, acting either upon the host plant or upon the parasite concerned. While working to achieve genetic resistance, the possible existence of ecological resistance should be investigated and made use of. Primarily, efforts should be directed towards studying the influence of different environmental factors on the condition of the host plant and its capacity to resist parasitic attacks.

Temperature takes an important place among such environmental factors, since most plants have a certain range of temperature for their optimal development. Low temperatures often cause extensive damage, which the plants may survive, but which, when combined with parasitic attacks, may lead to the destruction of the host plant. From the physiological point of view, such frost damage is often equivalent to dehydration. The loss of water from the cells implies a deterioration of the condition of the tissue and makes the plant vulnerable to parasitic attacks, which may affect less, or not at all, corresponding plants undamaged by frost.

Another factor of vital importance for parasitic attacks is the *moisture* content both of the air and of the soil. Thus there are many examples of severe attacks by fungi, for example, on trees in dense stands with high air humidity; whereas the same trees are not affected at all in thinned stands, where the air humidity is lower. Correspondingly, the attacks are considerably more severe in regions with damp than in those with drier climates. Examples of this are attacks of canker fungi on coniferous trees (*Dasyyscypha* species) as well as deciduous trees (*Nectria* species). Lack of *light* may also impair the physiological condition of the host plant.

The factor most important for the condition of the host plant is the factor of *nutrition*, which may be regulated for different cultivated plants. Several experiments have been performed to demonstrate the influence of different nutrient substances upon susceptibility to different diseases, mainly in agricultural plants. These experiments have shown that certain pathogens attack preferentially slow-growing or weak host plants. Nitrogen is of vital importance, an importance, however, which is often related to the influence primarily of phosphorus, potassium and calcium. The effect of different nutrients on different pathogens is to a great extent a result of their effect on the host plant. A rich supply of nitrogen in the soil usually implies a good

vegetative development and often predisposes the plants to severe attacks by, e.g. rust fungi. This is presumably due to the fact that nitrogen often causes an immature vegetative stage of considerable duration. On the other hand, there are examples of slow-growing host plants in an environment deficient in nitrogen being subject to more serious attacks by certain pathogens. Phosphorus controls root development and ripening of seeds and therefore has an effect contrary to that of nitrogen where the attacks of parasitic fungi are concerned. However, phosphorus also takes part in cell division and is of vital importance for photosynthesis, which should be seen in relation to the fact that some fungal attacks are promoted by the addition of phosphorus. In many cases a well-balanced N:P ratio seems to be a delicate instrument for regulating susceptibility to attacks by parasitic fungi and viruses. Potassium stimulates the development of the radial growth of certain tissues, especially of the epidermis, and thus increases resistance to certain pathogens, above all powdery mildews. Manuring with potassium is therefore used to reduce attacks by powdery mildews on gooseberry. Potassium has also a certain catalytic effect and often acts as a regulator, for example, on starch formation. Potassium deficiency thus often leads to the accumulation of carbohydrates and affects photosynthesis. Yellowing of leading shoots and leaf edges or the formation of necrotic spots is therefore often an indication of changes in the potassium balance.

The yellow tip disease of spruce plants in nurseries (*Björkman*, 1953) is a typical example of disturbance in the potassium balance, in this case evidently mainly in relation to calcium. A slightly different pattern is to be found with young spruces on marshy, potassium-deficient sites, where the needles of the current annual shoots are green, but the older ones are strongly yellow. *Calcium* is important mainly because of its pH-regulating effect. It also contributes to the development of the cell wall and may thus be of importance in the dissolution of the cell wall by parasitic fungi. During a period of calcium deficiency, starch may be stored in the cells, blocking conversion to sugar; thus changes in the carbohydrate balance may occur. Root rot of peas and soya beans, caused by certain species of *Rhizoctonia* has been proved to be due to deficiency in calcium. However, a surplus of calcium, through the «ion-antagonism» effect, may obstruct the uptake of other substances, such as potassium, magnesium, manganese and copper.

Examples of manuring and resistance to disease of forest trees

Forest trees and plants are usually considered to succumb more easily to parasitic attacks, if for some reason they are debilitated (*Buchwald, Kujala, Roll-Hansen, Björkman* and *Käärik*, 1961). As has been mentioned above, this is especially noticeable where frost damage has caused a loss of water, for example, from leading shoots that have extended above an otherwise protecting cover of snow. An example of such damage is the topdisease caused by *Sclerotinia lagerbergii* (*Crumenula abietina* or *C. pinea*) which during recent years has caused extensive damage in nurseries and young plantations (see *Björkman*, 1961). Manuring may be very important in this connection, especially with nitrogen, which favours vegetative growth. Manuring nurseries with nitrogen during the late summer thus often leads to a vigorous development of leading shoots that cannot lignify during the same growing season, and which are therefore susceptible to frost during the following winter and spring. An overdose of nitrogen in forest manuring may even cause direct damage, especially to

the leading shoots, and may thus create conditions for attacks by insects and damage by canker fungi.

There is probably also a direct connection between manuring with nitrogen and fungal attacks on pines attacked by the «snow blight» fungus, *Phacidium infestans*. Less vigorous pine plants are thus affected to a considerably smaller extent than vigorous plants on the same site that have been manured with nitrogen.

There is another example of higher susceptibility to attacks by fungi on coniferous plants. *Herpotrichia juniperina* (or *H. nigra*) thus attacks more easily in nurseries spruce that have been manured with nitrogen than those which have not. The same also seems to apply to plants manured with potassium. In this case manuring with phosphorus or calcium does not seem to affect resistance.

Attacks by *Phytophthora cinnamomi* provide an example of a different effect of manuring with nitrogen. This disease has been responsible for, amongst other damage, the «little leaf disease» of southern pines in North Carolina, Georgia and adjacent states in the United States (Zak, 1961). This disease may be cured, at least temporarily, by manuring the trees with nitrogen, thus increasing their resistance and bringing about regeneration of the roots.

It is interesting to note that mycorrhiza-forming fungi may prevent attacks by certain parasitic fungi on roots of coniferous trees (see, for example, Marx, 1966). Thus the application of phosphorus may often stimulate the formation of mycorrhiza and increase thereby the resistance of the plants to parasitic soil fungi. New results also seem to indicate that in certain cases the same may apply to rot fungi too, e. g. *Fomes annosus*, which are the most important cause of decay in spruce wood and also cause extensive damage in pine stands.

As to the susceptibility to decay in soils of different fertility, there are many examples of attacks by *Fomes annosus* on pine being strongly favoured in soil rich in lime. Especially well-known conditions are those in North-Germany (Hassenkamp, 1949), in East Anglia in England (Risbeth, 1949, 1951) and in southern and central parts of Sweden. *Fomes*-attacks on spruce also seem to be very severe in soils rich in lime. In the North of Sweden, where this fungus is not of such general occurrence as in the southern parts of the country, it is thus extremely well developed on spruce in the Silurian soils in Jämtland and in the coastal areas of Ångermanland that are rich in lime. The causal connection in this case is not elucidated. Other observations, especially from the United States, which have made it seem probable that the development of rot fungi is especially favoured in wood rich in nitrogen (Cowling and Merrill, 1966), have not always been confirmed by other investigations. Neither has it yet been possible to obtain any clear results from the oldest experiments of manuring in spruce forests in different parts of Sweden.

Finally, there is another example of damage under the influence of manuring which, however, does not concern attacks by parasitic fungi. By supplying young pines on poor soils with easily-soluble fertilizers containing nitrogen, it has become apparent that the elk preferentially attacks the manured trees, which evidently are tastier than the unmanured ones (Björkman, 1959, 1967).

Summary

Resistance to parasitic fungi may partly have a genetic basis, partly an ecological one. The first-mentioned is due to the occurrence of certain genes in the host plant or in the parasite. Ecological resistance is due to different external factors which promote parasitic attack. A deterioration of the condition of the host plant is very important and this in its turn may be a result of, e.g. drought, cold, lack of light, lack of nutrients. In certain cases such external factors may also be of direct support to the parasite.

After a short survey of some facts concerning the influence of different nutrients on susceptibility to attack by parasitic fungi, a few examples are given of the influence of manuring on the attacks of parasitic fungi on forest tree seedlings. *Scleroderma lagerbergii* preferentially attacks pine and spruce plants which have been heavily manured with nitrogen, the shoots of which, therefore, have not satisfactorily lignified. *Phacidium infestans* more often attacks well-developed, manured pine plants than unmanured ones. *Heterotrachia nigra* preferentially attacks spruce manured with nitrogen and potassium.

The application of phosphorus often favours the mycorrhiza-forming fungi, which may have a protecting effect against attacks by parasitic soil fungi and rot fungi.

Attacks by *Fomes annosus* and other rot fungi are said to be stimulated in wood that is rich in nitrogen, but this has not so far been possible to verify in Swedish experiments on manuring in spruce stands. On the other hand, soil rich in lime seems to promote the development of root decay, especially in pine.

Damage by elk to young pines on poor soil clearly increases in consequence of manuring with easily-soluble fertilizers containing nitrogen.

Bibliography

- Björkman E.: Om granens gulspetssjuka i plantskolor (The 'Yellow tip disease' of spruce (*Picea abies* Karst.) plants in forest nurseries). Sv. Skogsvårdsför. Tidskr. (1953).
- Björkman E.: Älgen som finmakare. Skogen 46 (1959).
- Björkman E.: The top canker of spruce and pine. Fungus: *Scleroderma lagerbergii* (Lagerb.) Gremmen. Proc. 13 Congr. of IUFRO, Vienna 1961.
- Björkman E.: Viltbete. Växtnäringsnytt (1967).
- Fabritius Buchwald N., Kujala V., Roll-Hansen F., Björkman E. and Käärik A.: Lists of parasitical fungi and of hosts of such fungi. Denmark, Finland, Norway, Sweden. I. Pinus, Populus, Quercus. For IUFRO. Medd. fra Det norske Skogforsöksvesen 19 (1961).
- Cowling E.B. and Merrill W.: Nitrogen in wood and its role in wood deterioration. Canadian Journal of Botany 44 (1966).
- Hassenkamp W.: Waldfeldbau und Mitangebau. Technik der Kiefernkultur. Hannover 1949.
- Marx D.H.: The role of ectotrophic mycorrhizal fungi in the resistance of pine roots to infection by *Phytophthora cinnamomi* Rands. Diss. Dept. of Plant Pathology. Raleigh, N.C., USA 1966.
- Risbeth J.: Fomes annosus Fr. on pines in East Anglia. Forestry 22 (1949).
- Risbeth J.: Butt rot by *Fomes annosus* Fr. in East Anglian conifer plantations and its relation to tree killing. Forestry 24 (1951).
- Zak B.: Aeration and other soil factors affecting southern pines as related to little leaf disease. U.S. Dept. Agric. Techn. Bull. 1248 (1961).

Influence of Fertilization of Finnish Softwood Grown on Swamp on Yield and Quality of Pulp

Prof. W. JENSEN, Prof. O. HUIKARI and I. PALENIUS*

The consumption of raw material by the Finnish wood-processing industries has been increasing during recent years to such an extent that effective consideration needs to be given to all the economic means for raising wood output. The largest increases in production are attainable by the transformation of the entirely unproductive or defective areas into lands of average productivity.

In the major part of the woodlands of Finland, tree growth is restricted by the scarcity of useful nutrients in the ground, and by the watery consistency of the land. In districts where the subsoil water is too near the surface, it is possible to transform about 6 million hectares of land into ground of satisfactory conditions of moisture. The results of fertilization experiments indicate the possibility of obtaining, in drained areas, growth increases amounting to 1–2 m³ of solid measure per year and hectare for a period of 20 years, by the application of fertilizers with potassium and phosphorus content. If the subsoil water is at such a depth that draining is unnecessary, it frequently becomes possible to attain a growth increase of 1–2 m³ s. m. per year and hectare for five years by the use of a nitrogen fertilizer.

Naturally enough, the wood pulping industries are interested in acquiring information on forest growth. Other factors of significance are the pulping yield, and the quality of the pulp produced from the fertilized wood.

The effect of fertilization upon the yield and quality of the domestic softwood pulps, viz. those from sprucewood and pinewood, has thus been the subject of an investigation made at the Finnish Pulp and Paper Research Institute. The wood raw material, of which the growth conditions had been known in detail throughout the development of the forest stands, was made available by the Swamp Department of the Forest Research Institute of Finland (Metsäntutkimuslaitos, Suontutkimusosasto).

Both wood species were sampled from both fertilized and unfertilized swamp and mineral soil, respectively; the trunks cut in the mineral soil districts were utilized as reference samples. The specimens were paperwood logs, two metres in length, cut at the trunk base. In Table 1, column 2, 'TR' and 'MK' represent the swampland samples of pine and spruce respectively. The fertilizers utilized are indicated in column 3. The influence exerted by the fertilizer is shown in column 6; during the sampling year the growth of pine was 4 and 1 m³ of solid measure per hectare of fertilized ditched

* W. JENSEN, Professor, Managing Director, Oy Keskuslaboratorio – Centrallaboratorium Ab (The Finnish Pulp and Paper Research Institute), Helsinki/Finland.

O. HUIKARI, Professor, Forest Research Division, Swamp Department, Helsinki/Finland.

I. PALENIUS, M.Sc., Director of the Chemical Pulping and Bleaching Division, Oy Keskuslaboratorio – Centrallaboratorium Ab (The Finnish Pulp and Paper Research Institute), Helsinki/Finland.

ground and unfertilized land respectively. The corresponding values in the year of ditching and fertilization are quoted in brackets. The equivalent values in respect sprucewood are 8 and 4 m³ of solid measure.

Table 1 Development of the stand under different conditions

1	2	3	4	5	6
Species	Type of forest or swamp	Fertilization kg/ha	Fert. year	Stand incl. bark m ³ s. m./ha	Growth excl. bark m ³ s. m./ha
Pine	TR	N ₂ 400, P 400, K ₁ 100	-60	63 (42)	4 (2)
Pine	TR	-		17 (11)	1 (0.6)
Pine	VT	N ₂ 600, P 200, K ₂ 100, Ca 2500	-59	125	6
Pine	VT	-		110	4
Spruce	MK	N ₁ 400, P 400, K ₁ 100	-59	126	8
Spruce	MK	-		95	4
Spruce	OMT	N ₂ 400, P 400	-60	185	8
Spruce	OMT	-		190	8

TR = Eriophorum vaginatum pine swamp
 VT = V. vitis-idaea type on mineral soil
 MK = V. myrtillus spruce swamp
 OMT = Oxalis-myrtillus type on mineral soil

N₁ = Ammonium sulphate salpeter
 N₂ = Lime ammonium salpeter
 P = Superphosphate
 K₁ = Potash
 K₂ = Potassium sulphate
 Ca = Limestone powder

If reference is again made to column 2, 'VT' and 'OMT' correspond to the mineral soil samples of pine and spruce, respectively, the addition of fertilizer being indicated in column 3.

The natural supply of nutriment in the sampling areas is best in the district 'OMT'; it is observable that the fertilization did not contribute to any increase of growth, which was in itself quite good already. However, the fertilization exerted a very marked influence upon the growth in the other sampling areas. In 'TR'-type swamp, viz. *Sphagnum* peat, which is very poor in phosphorus and potassium, the growth increase is very marked after fertilization. If unfertilized, this type of swamp is able to support a no more than very minute growth alone. 'VT' and 'MK' represent mesotrophic mineral soil- or swampland areas in which the output was also improved as a result of the fertilization.

The age of the trees ranged from 40 to 70 years. The Table indicates that the fertilization took effect during the years 1959 or 1960, and thus at the moment the trees were cut in the late winter of 1967, the nutrients added had exerted their effect for 7 to 8 years. The specimens accordingly displayed the corresponding number of year-rings originating from these 'rich years' of marked increase in growth. Nevertheless, the major proportion of the wood in the trunks cut was the result of growth during earlier unfertilized periods, with the consequence that the special characteristics of the fresh growth would have been masked by the older material had the trunks been utilized as such for pulping purposes. To obviate this, the following sampling procedure was chosen. The surface-layer A of each tree, which grew during the course of the fertilization period, outside the heavily marked borderline

shown in fig. 1, and the surface-layer B developed during earlier unfertilized years, were separated from each other, and the two wood portions were chipped separately, although in the latter case a sufficiently wide margin was omitted between the B-layer and heartwood H to ensure that the heartwood, shown as the dark area, did not intermingle with the surface sample taken; it is well known that the properties of heartwood differ from those of the sapwood. Furthermore, samples were taken in a similar way of trees grown on unfertilized ditched swampland, and of the trees grown on mineral soil used as references. In every case, the chips obtained from the outer and inner surface parts, A and B respectively, were subjected to separate treatment.

Fig. 2 shows a cross-section of a pinewood sample, of which the growth had been accelerated by ditching alone. The axes in the figure display the four directions of radial growth, and serve as a basis for calculation of the mean annual cross-sectional growth increase in springwood and summerwood. The periodical broadening of the year-rings makes it evident that occasional growth-alterations, for instance in connection with changes in the climate, had occurred earlier; this is even more cleanly discernible in fig. 3.

The upper part of the figure illustrates the growth development of a tree from a dense drained and fertilized sampling area; preliminary ditching had been effected some 30 years ago, and had been completed 7 years ago in connection with the fertilization. The lower part of the figure shows the growth of a solitary tree in an area ditched 7 years ago; it exhibits a very vigorous response to the draining measures.

It should be mentioned that in this case draining alone had effected a growth increase of the swampland pine; this increase is of a magnitude such that the concurrent increase attributable to fertilization is not evident in the figure.

As has been mentioned, the yield of pulp based on wood is a major factor in a pulp mill. To compare the yields, it is necessary to apply a well-known pulping method to arrive at equal content of lignin, i. e. to reach the same Kappa number, which constitutes an indirect measure of the lignin content.

Column 2 in Table 2 contains the pulping yields of swampland pine at sulphate cooking to a constant Kappa number of 35 corresponding to the lignin content of about 5%. As the extractives of pine dissolve during this alkaline digestion, and as according to the figures given in column 3 the extractive contents are different in the wood portions grown during different periods, the yields have also been calculated on the basis of extractive-free wood. These values are quoted in column 4. However, the most interesting characteristics are given in column 6, i. e. the volume-consumption of wood per ton of pulp produced.

These points are viewed in a rather simplified manner in Table 3. Here, the percentage changes in the properties of the wood portion A formed after are compared with those of portion B formed before the draining and fertilization.

On comparison of the specimen-means, it is observable that the most significant difference relates to the density of the fresh growth, which is on the average higher for the fertilized samples. This means that the wood consumption in cubic metres of pulp is correspondingly lower, as in both instances the change in yield based on the weight of the wood is approximately the same. It appears that the fertilization does not exert any influence upon the amount of extractives.

Table 4 quotes the wood consumption values obtained for pine grown on mineral soil. In both fertilized and unfertilized areas, the density of the fresh growth was

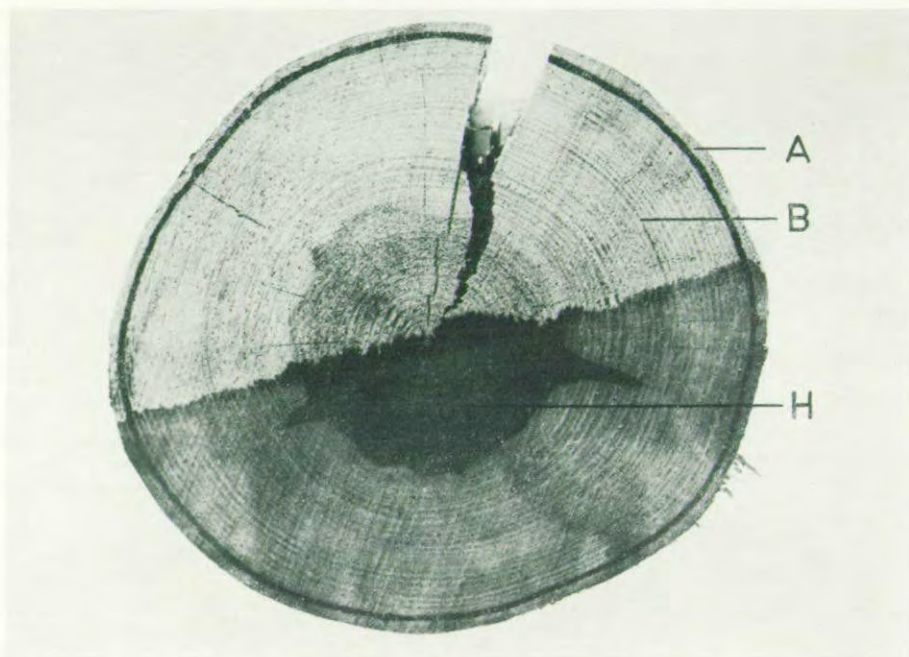


Fig. 1: Sampling procedure.

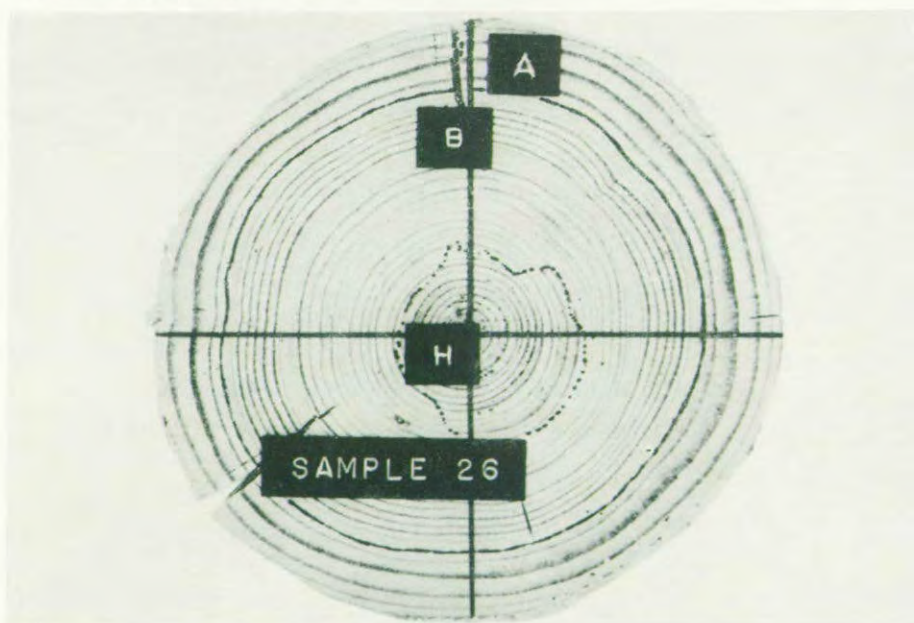


Fig. 2: Cross-section of pinewood sample.

Table 2 Pulping yields utilizing swampland pine

1	2	3	4	5	6
Sample	Yield, % at ≈ 35	Acetone extract, %	Extractive free yield, %	Wood density kg/dm ³	Wood consumption m ³ s.m./ton 90%
31 A	49.7	1.0	50.2	0.518	3.50 (fertilized)
B	50.0	2.1	51.1	0.490	3.67
32 A	48.8	1.0	49.3	0.418	4.41 (fertilized)
B	47.8	2.2	48.9	0.406	4.64
33 A	47.2	3.4	48.9	0.396	4.82 (fertilized)
B	48.0	3.5	49.7	0.353	5.31
34 A	47.4	1.6	48.2	0.384	4.95 (fertilized)
B	48.1	1.8	49.0	0.368	5.08
36 A	46.6	1.3	47.2	0.347	5.57 (fertilized)
B	48.1	2.8	49.5	0.381	4.91
Mean A	47.9	1.7	48.8	0.413	4.65
Mean B	48.4	2.5	49.6	0.400	4.72
25 A	45.4	1.8	46.2	0.383	5.18
B	45.0	4.0	46.9	0.389	5.14
26 A	47.5	1.5	48.2	0.403	4.70
B	46.2	2.2	47.2	0.385	5.06
27 A	48.8	1.5	49.5	0.372	4.96
B	48.0	2.4	49.2	0.382	4.91
28 A	44.3	1.9	45.2	0.345	5.89
B	44.7	2.8	46.0	0.352	5.72
29 A	43.1	2.1	44.0	0.353	5.92
B	47.2	3.3	48.8	0.391	4.88
30 A	47.2	2.7	48.5	0.369	5.17
B	45.6	4.7	47.8	0.395	5.00
Mean A	46.1	1.9	46.9	0.371	5.30
Mean B	46.1	3.2	47.7	0.382	5.12

Table 3 Percentile differences between the fresh and old growth of swampland pine

Sample	Δ Yield	Δ Acetone extract	Δ Extractive free yield	Δ Density	Δ Wood consumption
Fertilized					
31	-0.6	-52	-1.8	+ 5.7	- 4.6
32	+2.1	-55	+0.8	+ 3.0	- 5.0
33	-1.7	- 3	-1.6	+12.2	- 9.2
34	-1.5	-11	-1.6	+ 4.4	- 2.6
36	-3.1	-54	-4.6	- 8.9	+13.4
Mean	-1.0	-35	-1.8	+ 3.3	- 1.6
Unfertilized					
25	+0.9	-55	-1.5	- 1.5	+ 0.6
26	+2.8	-32	+2.1	+ 4.7	- 7.1
27	+1.7	-38	+0.6	- 2.6	+ 1.0
28	-0.9	-32	-1.7	- 2.0	+ 3.0
29	-8.7	-36	-9.8	- 9.7	+21.3
30	+3.5	-43	+1.5	- 6.6	+ 3.4
Mean	-0.1	-39	-1.5	- 3.0	+ 3.7

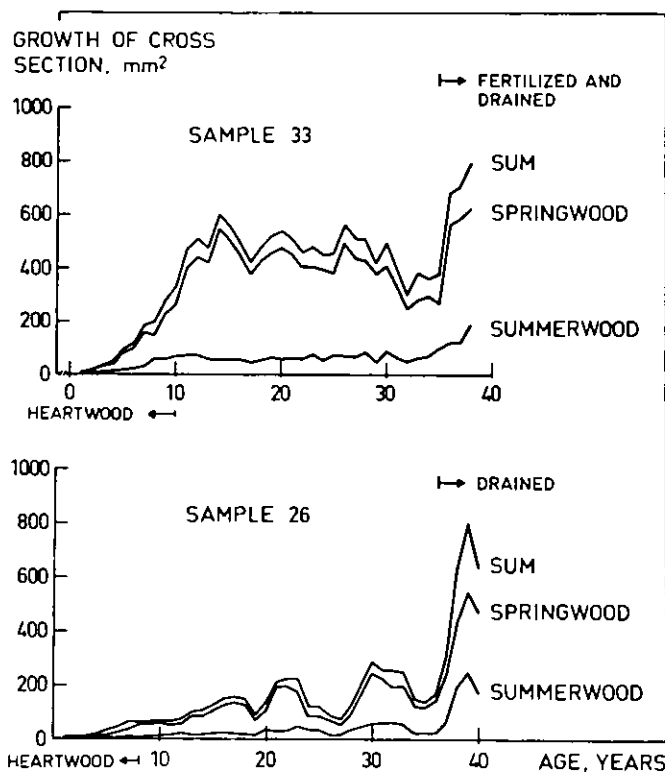


Fig.3: Growth of cross-section of swamp pine.

lower than the density of the substance grown previously, and in both cases the consumption of wood increased to approximately the same extent. It can be noted that the consumption values are lower than those of swampland pine, even after fertilization. In the latter instance the average consumption was 4.65 m³ of solid measure per ton, whereas the amount of fresh growth of pine wood grown on mineral soil consumed averaged 4.13 m³ s. m./t.

The same investigation was made with spruce wood. The sulphate pulping method was, however, replaced by acid bisulphite pulping, as this is the pulping method usually applied with spruce.

The figures in Table 5 imply that the cooking yield of fertilized swampland spruce is the same as that of the unfertilized samples. In both cases the wood consumption was higher for layer A than for layer B, but for the fertilized samples the increase in consumption was only 6.7%, whereas that for unfertilized wood was 11.3%.

For the fresh growth of highland spruce the pulp yield per volume was higher than that for the old growth. The decrease in wood consumption was 10.5% for the fertilized wood samples and 6.2% for unfertilized samples.

Table 4 Pulp yield utilizing healthy pine

Sample		Yield, % at ≈ 35	Wood density kg/dm ³	Wood consumption m ³ s. m./ton 90% Δ %
37	A	48.7	0.460	4.00
	B	48.8	0.497	3.71 + 7.8 (fertilized)
39	A	47.9	0.484	3.88
	B	47.9	0.498	3.77 + 2.9 (fertilized)
40	A	49.2	0.447	4.09
	B	49.3	0.473	3.86 + 6.0 (fertilized)
41	A	47.5	0.400	4.74
	B	47.3	0.410	4.64 + 2.2 (fertilized)
42	A	50.4	0.453	3.94
	B	50.2	0.520	3.45 + 14.2 (fertilized)
Mean	A	48.7	0.449	4.13
	B	48.7	0.480	3.89 + 6.6
43	A	46.1	0.482	4.05
	B	48.1	0.497	3.76 + 7.7
45	A	50.8	0.438	3.63
	B	50.1	0.520	3.45 + 5.2
46	A	48.1	0.503	3.72
	B	49.6	0.495	3.67 + 1.4
47	A	50.5	0.482	3.70
	B	50.4	0.490	3.64 + 1.6
Mean	A	48.9	0.489	3.82
	B	49.5	0.500	3.69 + 4.0

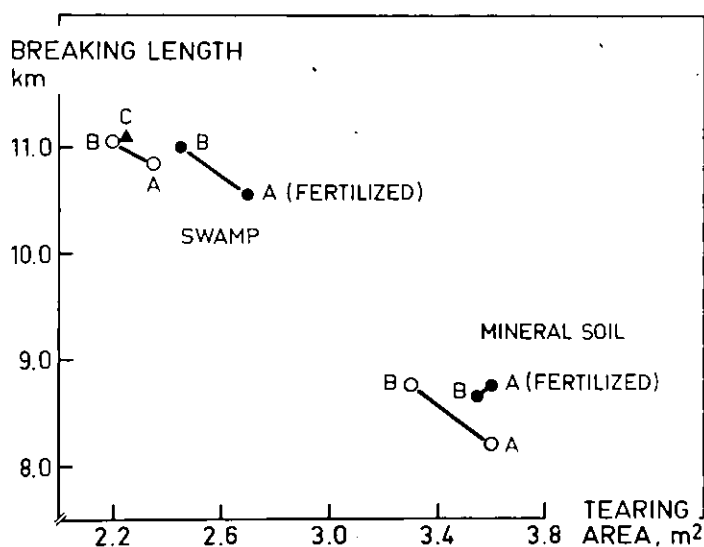


Fig. 4: Papermaking properties at 30 °SR.

Table 5 Pulping yields utilizing swampland spruce

Sample		Pulping yield, % at $\times 27\frac{1}{2}$	Wood density kg/dm ³	Wood consumption m ³ s.m./ton 90 % Δ %	
Fertilized					
1	A	51.6	0.388	4.50	+ 7.9
	B	51.5	0.419	4.17	
2	A	48.6	0.396	4.68	+ 16.4
	B	50.6	0.442	4.02	
3	A	51.5	0.350	4.99	+ 11.4
	B	53.1	0.378	4.48	
4	A	52.8	0.435	3.92	+ 9.1
	B	50.3	0.415	4.31	
Mean	A	51.1	0.392	4.52	+ 6.7
	B	51.4	0.414	4.25	
Unfertilized					
8	A	51.5	0.397	4.40	+ 10.0
	B	55.4	0.406	4.00	
9	A	51.5	0.375	4.66	+ 23.9
	B	59.3	0.404	3.76	
11	A	52.2	0.400	4.31	+ 5.6
	B	58.0	0.380	4.08	
12	A	49.3	0.422	4.33	+ 5.6
	B	52.8	0.416	4.10	
Mean	A	51.1	0.399	4.43	+ 11.3
	B	56.4	0.402	3.99	

The results presented above indicate that the yields do not diminish as a result of fertilization; instead, good use can be made of the increased output of wood raw material per hectare in chemical processing of the wood. However, in view of the relatively limited data available, the trend displayed with respect to the possible increase in yield per volume, must be considered unsafe.

So far, studies have been confined to the papermaking properties of the pinewood pulps alone. Of the sulphate pulps cooked, those representing the A-wood from a specific growth area were combined, as were those pulps cooked from the B-wood sampled from the same trees. The pulps were beaten in a Valley-beater to 30 °SR, and were then tested in the normal way for the strength properties. Fig. 4 illustrates the mutual relationship of two important papermaking characteristics, the tensile strength and the tear strength. It is observable in the upper left-hand corner that an improvement was experienced in the tear strength of the swampland pinewood pulp, though this was connected with a decrease in the tensile strength expressed through the so-called breaking length. The trend is the same in respect of both fertilized and unfertilized areas. However, the corresponding representation for pine grown on mineral soil, in the lower right-hand corner of the figure, reveals that such an effect is general in the fresh parts of the wood. It seems that no changes of real significance had taken effect in the properties of the pulp as a result of the fertilization.

It is extremely interesting that the properties of pinewood grown in the northernmost districts of Lapland bear close correspondence to those of the swampland pine.

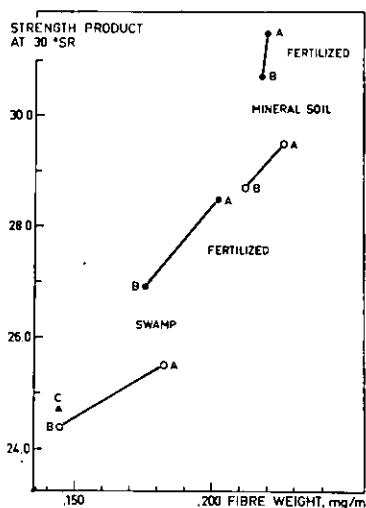


Fig. 5: Strength product as a function of fibre weight.

Point C indicates the properties of the Lapland pine, as established in a previous investigation at our Institute. This is primarily attributable to the metre-weight of the fibres, a characteristic which exerts a very marked influence upon the papermaking properties, being of the same magnitude for both the Lapland pine and the swamp-pine studied here. This is seen in fig. 5, where the so-called strength-product, breaking length times the tearing strength, has been plotted against the metre-weight of the fibres. Also here, point C represents the properties of the Lapland pine, although in this case heartwood fibres are included in the pulp cooked. The fibres of pine grown on mineral soil are distinctly heavier, and the strength product is accordingly on a higher level than that of the swampland pine.

Summary

A study has been made of the effect of fertilization upon the growth and properties of Finnish pinewood and sprucewood. The chief consideration was given to a stand of swampland pinewood ranging in age between 40 and 70 years. A portion of the growth area was fertilized in connection with draining measures 7-8 years ago, while another portion was left unfertilized. The fresh growth of the fertilized specimens was compared with the growth of the same trees prior to fertilization, by separated chipping of the different parts of the wood substance.

The unfertilized pine and spruce specimens, together with control species grown on fertilized and unfertilized mineral soil, were subjected to the same treatment.

Despite the deviations displayed, mainly attributable to the individual character of the trees, the following conclusions can be drawn:

- A considerable growth increase of swampland pine and spruce is achievable by simultaneous draining and fertilization.
- The pulping yield per cubic meter solid measure of wood for the softwoods investigated does not diminish upon fertilization.
- Draining or draining accompanied by fertilization does not induce changes in the wood raw material such as would significantly affect the nature of the pulp cooked.

Economic Results of Forest Fertilization in the Area of Landes de Gascogne

J. P. MAUGÉ, Technical Association for Advising in Forestry, Bordeaux/France

1. Introduction

The area of Landes de Gascogne is a large flat sandy country, in the South-West part of France. There grows 1 million ha forest, consisting of almost pure, even aged stands of cluster pine (*Pinus pinaster* Sol.).

Except a 100 000 ha stripe, along sea-side, on dune sites, this forest belongs to private land owners. It has been created during the last fifty years of the eighteenth century, by artificial means.

As a rule, the rotation has been about 60 years, but unfortunately often disturbed by fires. For a long time, the main production had been naval store. But from year to year, the production and its economic importance has been decreasing, while timber and pulp wood has been increasing. During world war II, till 1949, fires ran over more than $\frac{1}{4}$ of the forest area.

So, during the years 50, we had to work hard, in order to reforest large areas.

As a rule, after a clear felling, or on virgin lands, the soil was roughly worked, on stripes from 1 to 5 meters width, leaving unworked stripes from 3 to 5 meters width. The worked stripes were then sowed. Thinnings then occurred every 3rd to 5th year or more.

In 1957, the Research Station at Bordeaux, in co-operation with the following: Société Commerciale des Potasses d'Alsace, Office National de l'Azote, Société Nationale des Scories Thomas, established an experiment on a place belonging to Papeteries de Gascogne, Mimizan (Landes). This experiment and the results have been issued in three publications [1, 2, 3].

Many other experiments were established during the next 5 years, chiefly by Association Forêt-Cellulose (AFOCEL); most of them and their results have recently been described [4].

Roughly, these results assume that fertilization, in reforestation, usually improves height growth by 60%, for at least the first 10 years.

Usually, the growth rate, in the area of Landes de Gascogne, has been about $6 \text{ m}^3 \text{ ha/year}$ [5]. We want data to estimate the volume growth rate, in stands not older than 10 years. But of course improvement is likely to be large.

The technical and economical improvement due to fertilization, though it cannot be computed with any accuracy, could easily be seen by forest land owners. It is generally thought that, for three years or four, more than 70% of reforested lands have been fertilized.

Growth improvement, on such an acreage, is likely to have a large economic influence on forestry, in Landes de Gascogne, and is already proving so. This influence will be on three levels: plot, estate and region.

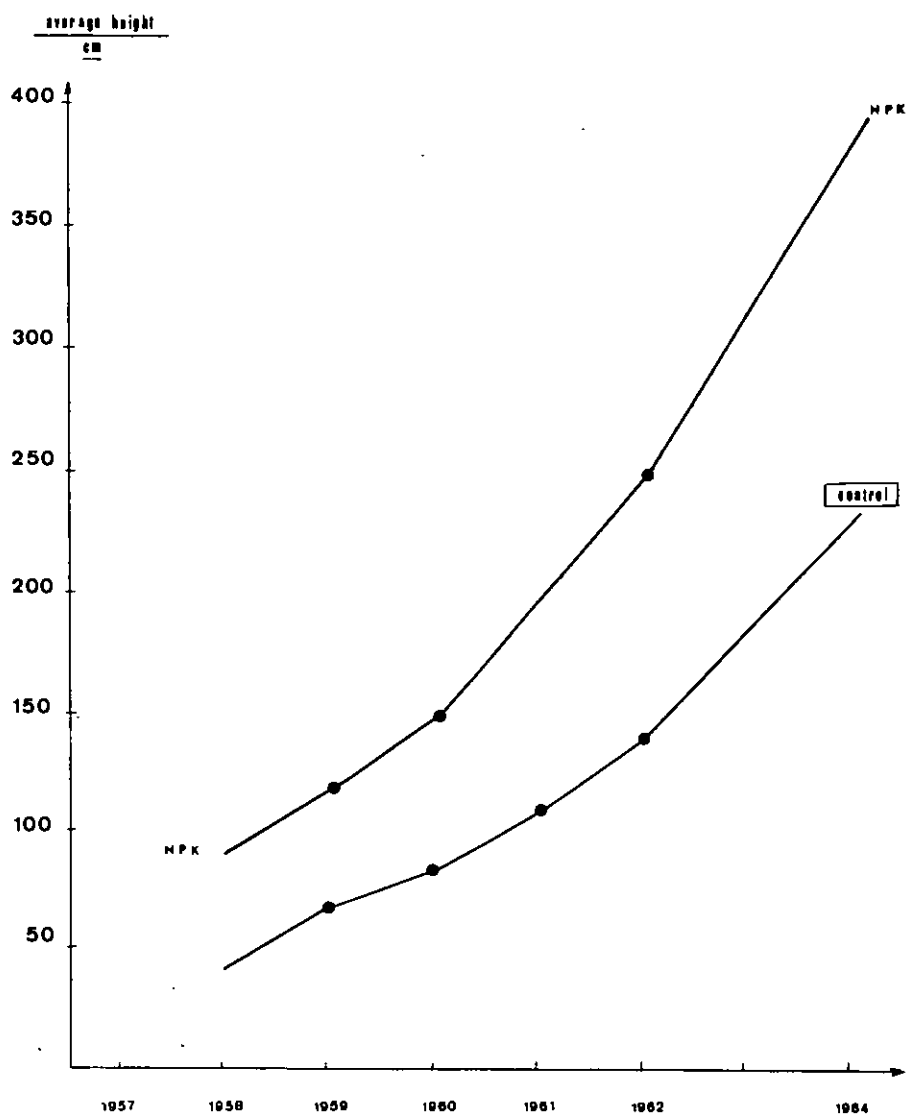


Fig.1: Fertilization experiment at Mimizan (Landes).

2. Trying to forecast growth improvement

Nanson [6] found the following relation between height and volume of even aged spruce stands:

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{2.25}$$

In which V_1 and V_2 are the volumes of two stands, H_1 and H_2 their heights.

According to such a relation, if the height growth improvement is 60%, the volume should be more than 150%...

But pine is not spruce; the relation was established between different provenances, and not plots of the same provenance.

So, we dare not hope such result, although pleasant.

More prudent, if we compare with the best existing stands, we can likely expect that fertilized stands yield, within 40 years, as much as a non-fertilized in 60 years. This is a very prudent forecast.

On such a basis, we can make an estimation of what could be the economic improvement, at the three levels: plot, estate and region.

3. Economic results at a plot level

Calculation has been made on this basis by different persons [7]. Absolute results will be widely different from one to another.

To make our economic calculations, we usually discount every in/output according to a given rate of interest.

According to different estimations, the cost will hardly reach 80 f/ha.

Fertilization will yield a net profit of 2000 f if the rate of interest is 3%. In other terms, we may say that in usual conditions, with a 60 years rotation, if the rate of interest is 3%, there is little or not profit left; if fertilization allows to reduce rotation to 40 years, we can apply a 5% rate.

Of course, that is nothing but forecast.

Experiments have assumed a very important other kind of results: while on non-fertilized plots, seedlings are not only poorer, but of very irregular size, on fertilized plots, they are not only taller and more vigorous, but of quite regular size. In addition, in case of insect invasion or disease, fertilized plots will stand damages quite firmly, while control will suffer heavily.

Formerly, we used to work many thinnings in the seedlings: which is very expensive, and yields produces of no value.

Presently, as we no longer have to fear any pest or disease, we dare have few heavy early thinnings, which are fairly cheaper. This may divide the cost of these operations by 2 or 3, or even more. This will save some money, which is important: but some many days too, which is very important too.

4. Economic results at an estate level

It is an evidence that as far an estate consists in some plots, if each plot yields more wood and money, the profit will be improved for the whole.

But this will lay management problems, if rotations must be shortened to 40 years, and may be less.

In addition, many landowners, when they see poor stands, on poor sites, are more and more tempted to fell them clear, and replace by fertilized stands.

All that leads landowners to face new management problems, which their parents, or themselves would never have thought of some years ago.

This are not purely economic problems, but they are worth being considered.

5. *Economic results to be expected at the region level*

First of all, we can expect more wood to be produced and available within some years. Which means more wealth.

But the main result may be on another hand, that this wood will have been produced at lower costs. Wood has been, and will be in the future considered more and more as a raw material. It looks like a law that, in respect with man day prices, wood prices are likely to grow less and less. If they do, net profit to land owner will do the same. It is likely to grow so little, that there will be no interest at all in tree farming, unless costs grow less and less...

6. *Conclusions*

We can say that forest fertilization started a very revolution in this area of Landes de Gascogne, from economical and technical points of view. But psychological too. Forest landowners are now asking more from research work – and every new result is commonly used as soon as issued. Working the whole plot, and removing the weeds has recently proved to be able to increase growth almost as much as a former fertilization. Many landowners are beginning to work in this new way.

Scandinavian and German foresters showed that fertilization was fairly effective in old stands. Because of the fires which had destroyed large areas, we have worked first on reforestation fertilization problems. We have just started working old stand fertilization. But we are hopeful about it.

It looks as if the same was happening as in agriculture, some years ago. Wherever forestry is somewhat intensive, fertilization may upset technical and economical conditions.

Bibliography

1. Guinaudeau J.: Une expérience d'emploi d'engrais dans un reboisement par semis de pin maritime à Mimizan (Landes). *Revue forestière française*, p.310–316 (1959).
2. Guinaudeau J.: Note complémentaire sur l'expérience de fertilisation de Mimizan (Landes). *Revue forestière française*, p.711–717 (novembre 1961).
3. Guinaudeau J., Illy G. et al.: Essai de fertilisation minérale sur pin maritime à Mimizan (Landes). Résultats après la 6^e année. *Annales de l'École Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences*, tome XX, fascicule 1 (1963).
4. Association Forêt-Cellulose. Essais de culture et de fumure sur pin maritime. Association Forêt-Cellulose, 164, bd Haussmann, Paris 8^e (1967).
5. Ministère de l'Agriculture. Direction Générale des Eaux et Forêts: Inventaire Forestier National – Département de la Gironde; Inventaire Forestier National – Département des Landes; Inventaire Forestier National – Département du Lot et Garonne.
6. Nanson A.: Données complémentaires au sujet de l'expérience internationale sur l'origine des graines d'épicéa en Belgique. Ministère de l'Agriculture. Administration des Eaux et Forêts. Station de Recherches des Eaux et Forêts, Groenendaal Hocilaart, Belgique. Travaux série B, N° 28 (1964).
7. Lallemand P., Leonard J. et al.: La sylviculture moderne du pin maritime dans les Landes de Gascogne. *Bulletin de la vulgarisation forestière*, 9, rue de Grenelle, Paris 7^e.

The Appearance of Nutrient Deficiency in Plants Growing in the Experimental Area for Forest Fertilization at Kivisuo

A. REINIKAINEN, Forest Research Institute in Finland, Peatland Department, Helsinki/Finland

1. Background and objective of the investigation

Now that fertilization has become quite common as a means of site improvement even within forestry, a need has arisen to study more systematically than before the methods for determining the nutritional state of forest sites. An intensive research activity for the establishment of the usability of soil and leaf analyses for this purpose has been started during the last years. In several papers, which present the results of investigations on nutrient diagnostics and forest fertilization, intimations are made to the possibility of using external symptoms in trees as indicators of the nutritive state of the site; in addition, such symptoms are presented. It seems, however, that the possibilities of utilizing these symptoms of deficiency have been considered so limited that development of, for instance, investigational methods more accurate than description of the symptoms in writing have been regarded as being of small importance.

The attempts which have been made in order to describe the symptoms quantitatively as well as standardize the qualitative methods used have come to an end at color plates (*Munsel*, 1963), which have been used in some cases (e.g., *Wilde* and *Voigt*, 1952; *Holstener-Jorgensen* and *Klubien*, 1957; *Hamilton*, 1960; *Gessel*, 1962). The flaws of this method have been dealt with by *White* (1960), who has also suggested the use of a 10-grade scale for estimation of the intensity of the symptoms. *Viro* (1959) states that the numerical values obtained using the methods mentioned are not suited to statistical treatment. *Holstener-Jorgensen* (1964), however, has avoided this drawback by using frequency numbers of the symptoms.

From a qualitative viewpoint, the symptoms of nutrient deficiency in various tree species are rather well known. The situation is different, however, as far as natural forest and swamp plants are concerned. The symptoms have been described for a few species only (*Walker*, 1956, 1961), despite the fact that agricultural botany offers abundant information, for example, on their quality in herbaceous and gramineous cultivated plants and their use as indicators (e.g., *Wallace*, 1961).

The objective of the present work is to describe, within the bounds of one single fertilization experiment, the symptoms of nutrient deficiency appearing in Scots pine (*Pinus silvestris*), Norway spruce (*Picea abies*), weeping birch (*Betula verrucosa*), and white birch (*Betula pubescens*) as well as some of the most abundant natural species occurring in the field layer. Moreover, the abundance of the symptoms as related to fertilization using varying quantities of N, P, and K fertilizers, to the amount of nutrients present in the substrate, and to the results of leaf analyses carried out on pine and white birch.

2. The experimental field and methods of investigation

The material of the study was collected in 1965 and 1966 from the experimental area for forest fertilization investigations at Kivisuo, Central Finland. The area in question is a part of a *Sphagnum fuscum* - *Eriophorum vaginatum* bog which has formerly been extremely poor in nutrients and used for drying of peat for fuel. Due to this circumstance, the original plant cover and the topmost peat layer have been removed and the field made even. In the same connection the area has been drained very effectively by means of open and covered ditches located 10 m from each other. At the time when the fertilization experiments were established, in 1959, the substrate was, consequently, poorly humified and dry *Sphagnum* - *Eriophorum* peat without vegetation. A rough picture of the scarcity of nutrients is offered by the following median values, which have been obtained on the basis of five averages from four analyses each: $\text{NH}_4 = 14.0$, $\text{NO}_3 = 4.46$, $\text{P}_2\text{O}_5 = 2.48$, $\text{K}_2\text{O} = 22.3$ and $\text{CaO} = 223.0$ mg per 100 g. The original pH of the surface peat ranged from 4.0 to 4.2. A detailed description of Kivisuo experimental area has been published by Reinikainen (1965).

A 4^3 -factorial and double experimental arrangement was used. The experiment members were as follows: N_0 = no nitrogen fertilization, $\text{N}_1 = 200$, $\text{N}_2 = 400$, and $\text{N}_3 = 800$ kg of Oulu saltpeter (25% N) per hectare; P_0 = no phosphorus fertilization, $\text{P}_1 = 200$, $\text{P}_2 = 400$, and $\text{P}_3 = 600$ kg of rock phosphate (33% P_2O_5) per hectare; and K_0 = no potassium fertilization, $\text{K}_1 = 100$, $\text{K}_2 = 200$, and $\text{K}_3 = 400$ kg of potassium salt (50% K_2O) per hectare. Thus, the experiment consisted of 128 sample plots, each measuring 0.08 ha in area, and 18 unfertilized sample plots for comparison. The fertilizers were applied by hand in June 1959 without incorporating them into the soil and fertilization was carried out only once. At the same time, two years old pine seedlings were planted at 2-m intervals on the sample plots. The material concerning pine presented in this study was collected from the plantations mentioned. The other vegetation occurring on the sample plots has arisen naturally and chiefly after fertilization.

For the study of the deficiency symptoms a simple quantitative method was developed. Precise comparison between various species was impossible to carry out, because the method had to be modified so as to agree with the structure of the plants under investigation on each separate occasion. The method was based on classification of the symptoms encountered according to their grade of distribution and calculation of the share of these grades in per cent of the number of leaves of the sample plants or - depending on the species - sample twigs or of the area of sample leaves. In pine, for example, one-year-old shoots were used as samples. The entire material of investigation was tested employing variance analysis and only those deficiency symptoms are presented as identified symptoms, the occurrence of which depends, to a significant or nearly significant degree ($p < 0.05$), on fertilization with the nutrient in question on each separate occasion. In the treatment of certain species and symptoms of limited occurrence, the study had to be based on frequency values only.

The results of peat analyses on the light-soluble P, K and Ca quantities in the surface peat to a depth of 20 cm were available. The leaf analyses were carried out on a material, which, except for the time of sampling, agreed with recommendations presented in other connections (e. g., White, 1954; Hübner, 1962, 1964; Wehrmann, 1963).

Table 1 *Pinus silvestris*: The occurrence of phosphorus-deficiency symptoms in the fertilization experimental area as presented in the form of a two-way-table. A. The intensity of necrosis, i.e., the average percentage necrotical needles of all needles of one-year-old shoots. The significant effects of fertilization as F-values: P = 51.35**, PK = 2.97*. B. The occurrence of total destruction of shoots in percent of the sample studied. The significant effects of fertilization: P = 22.32*

A.						B.					
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	$\bar{X}$		P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	$\bar{X}$
N ₀	33.25	8.65	7.15	4.15	13.30	N ₀	17.9	3.8	3.7	5.0	7.6
N ₁	50.70	1.64	7.60	12.45	18.10	N ₁	15.9	3.1	2.5	0.7	5.6
N ₂	36.57	2.57	2.29	11.61	13.26	N ₂	23.3	3.1	4.4	2.5	8.3
N ₃	48.09	1.25	8.86	4.00	15.55	N ₃	25.7	2.0	0.6	1.3	7.4
K ₀	35.45	11.91	22.82	30.18	25.09	K ₀	13.8	11.4	11.3	9.5	11.5
K ₁	38.11	1.84	1.98	1.64	10.89	K ₁	23.7	0.7	0	0	6.1
K ₂	48.81	0.14	1.10	0.26	12.58	K ₂	24.1	0	0	0	6.0
K ₃	46.24	0.23	0	0.14	11.65	K ₃	21.3	0	0	0	5.3
$\bar{X}$	42.15	3.53	6.48	8.05		$\bar{X}$	20.7	3.0	2.8	2.4	
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	$\bar{X}$		N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	$\bar{X}$
K ₀	24.76	31.07	20.85	23.68	25.09	K ₀	15.1	8.2	11.9	10.7	11.5
K ₁	5.66	15.58	9.92	12.40	10.89	K ₁	5.0	5.8	6.2	7.3	6.1
K ₂	10.48	13.65	10.02	16.16	12.58	K ₂	7.9	3.5	6.3	6.4	6.0
K ₃	12.30	12.09	12.25	9.96	11.65	K ₃	2.4	4.8	8.9	5.1	5.3
$\bar{X}$	13.30	18.10	13.26	15.55		$\bar{X}$	7.6	5.6	8.3	7.4	

Sampling was carried out together with the investigation on the symptoms in August, and this is a little too early.

3. Description of the symptoms and the dependence of their occurrence on fertilization

3.1 Nitrogen nutrition and deficiency symptoms

Several investigators (e. g., Rathe, 1959; Hacskaylo, 1960; Ingestad, 1962; Penningsfeld, 1964) state that symptoms of nitrogen deficiency (a slight yellowness of the leaves) have been observed even in the tree species occurring in the experimental area of Kivisuo: pine, spruce, and the two birch species. This observation has been made both in experiments performed in vessels and under field conditions. As the material dealt with here does not exhibit any corresponding phenomenon, neither in the tree species in question nor in other plant species, there is reason enough to assume that the nitrogen supplies of the peat at Kivisuo – even if otherwise scanty – suffice for these unpretending species. This circumstance is also supported by the fact that the effect of nitrogen fertilization was statistically significant in a few cases only in the

treatment of the material of the growth, vitality, and symptoms of deficiency in the plant species studied. Hereby, the question is evidently concerned with a certain disturbance in the nutrient balance due to strong nitrogen fertilization. Results from measurements on pine, on the other hand, have shown that nitrogen fertilization does not increase the growth (Huikari, 1961). Vegetational studies have revealed that large quantities of nitrogen fertilizer favor the development of certain nitrogen-liking species (e.g., *Chamaenerion angustifolium*) only (Reinikainen, 1965). All the observations made agree with the statement that the nitrogen supplies of peat are usually sufficient for the growth of unpretending forest trees (e.g., Huikari, *op. cit.*; Puustjärvi, 1962).

In spite of the aforesaid, the nitrogen contents established by leaf analyses on pine were, on many sample plots, close to the deficiency limit as determined by several investigators (Tamm, 1956; Ingestad, 1962; Krauss, 1962; Gussone, 1963; Keay, 1964). Almost irrespective of the kind of fertilization employed it ranged between 1.2 and 2.4% N, the average being 1.6%.

3.2 Symptoms of phosphorus deficiency

Investigations both into the growth of pine-seedling stands (Huikari, 1961) and on the natural vegetation (Reinikainen, 1965) have indicated that, among the factors which limit the existence of plants in the Kivisuo area, phosphorus deficiency is the most distinct one. Study of the deficiency symptoms revealed that the effect of phosphorus fertilization almost without exception reaches statistical significance irrespective of the characteristics of the vitality of plants which are used (abundance, growth, flowering intensity, or symptoms). The following symptoms encountered in various plant species have been identified as symptoms of phosphorus deficiency:

Pine: As weak symptoms the P_0 plots show a pale yellow chlorosis in the tip of one-year-old needles (Table 2). The symptom occurs usually with a similar intensity in all needles of the shoot. Other symptoms, which appear in the needles, are an exceptional shortness of the needles and necrosis at different stages from slight needle-tip necrosis to complete destruction of one-year-old shoots including the buds (Table 1). The necrotic symptoms seem to begin in the fall or early spring as a red-violet coloring which appears in the tip parts of the needles. This points to the fact that the symptoms might be of a similar nature as the symptoms of phosphorus deficiency in pine observed by several investigators (Möller, 1904; Nemec, 1936; Jessen, 1938; Habig, 1957; Rathe, 1959). Necrosis of the needles is followed by their falling to the ground. The number of functioning annual needle growths correlates with phosphorus fertilization significantly and, on the P_0 plots, all needles one year old and more have often fallen off.

The time of occurrence and external appearance of the symptoms of phosphorus deficiency in pine point toward frost injuries. Consequently, the disposition to frost damages increases in lack of phosphorus. There are abundant observations on the arresting effect of phosphorus fertilization on frost injuries both in agricultural plants (Groetzner, 1957; Vuorinen, 1958) and forest trees (Charlon, 1958; Meshechok, 1964; Viro, 1966). Chlorosis is mentioned as a symptom of phosphorus deficiency in pine in a few cases only (Boomsma, 1949 [in *Pinus radiata*]; Hacskeylo, 1960) and nothing can be stated for sure concerning the connection between the chlorosis observed at Kivisuo and the symptoms of frost damage.

Table 2 *Pinus silvestris*: The occurrence of phosphorus deficiency chlorosis (A) and potassium deficiency chlorosis (B) in the fertilization experimental area as presented in the form of a two-way-table. The numbers indicate the average percentage chlorotical needles of all needles of one-year-old shoots. The significant effects of fertilization as F-values: A: P = 50.65**, B: P = 12.84*, K = 60.31**, PK = 4.60*

A.						B.					
	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	$\bar{X}$		P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	$\bar{X}$
N ₀	28.13	11.13	2.81	0	10.51	N ₀	3.05	10.99	13.64	15.06	10.68
N ₁	28.88	9.06	0	0.63	9.64	N ₁	0.12	10.09	5.04	10.79	6.51
N ₂	37.06	2.50	1.88	0	10.36	N ₂	1.88	11.92	15.91	13.53	10.81
N ₃	29.31	0.94	0.63	0.63	7.88	N ₃	1.25	17.17	19.62	15.12	13.29
$\bar{X}$	30.85	5.91	1.33	0.32		$\bar{X}$	1.58	12.54	13.55	13.62	
	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	$\bar{X}$		N ₀	N ₁	N ₂	N ₃	$\bar{X}$
K ₀	35.00	14.06	1.88	0	12.74	K ₀	5.55	41.39	35.15	36.49	29.64
K ₁	34.13	7.69	2.81	0.63	11.32	K ₁	0.06	6.12	11.46	11.14	7.20
K ₂	26.50	1.25	0.63	0.63	7.25	K ₂	0	1.65	5.93	5.47	3.26
K ₃	27.75	0.63	0	0	7.10	K ₃	0.69	1.01	1.67	1.40	1.19
$\bar{X}$	10.51	9.64	10.36	7.88		$\bar{X}$	10.68	6.51	10.81	13.29	

The symptoms of phosphorus deficiency in spruce (fig. 1) occurring at Kivisuo are of the same nature as those in pine. In external appearance they agree with the frost damages in spruce growing on peat lands which have been minutely described by *Multamäki* (1942). On the P₀ plots the most common kind of frost causes a distinct blue-red color of the needles, which rapidly changes into complete necrosis. One-year-old needles often fall to the ground. Repeated frost damages give the seedlings a completely curled appearance. Thus, deficiency of phosphorus seems to increase also the disposition to frost injuries in spruce.

Betula verrucosa and *B. pubescens* do not seem to be as disposed to frost damages due to phosphorus deficiency as coniferous trees. In spite of this circumstance, anthocyanin coloring of young leaves occurs most frequently on the P₀ plots. An additional symptom of phosphorus deficiency encountered is a necrosis which spreads in an irregular pattern along the leaf edges causing untimely leaf felling (fig. 1). No connection between this necrosis and frost injuries were established and evidently the same symptom is in question, which *Penningsfeld* (1964) has described on the basis of experiments carried out under frost-free conditions in vessels.

In almost all natural dwarf-shrubs, herbs, sedges, and grasses occurring in the experimental area, discoloration of leaves due to phosphorus deficiency is encountered (fig. 1). Only extremely oligotroph swamp dwarf-shrubs (e.g., *Andromeda polifolia*, *Vaccinium uliginosum* and *Calluna vulgaris*) are free from symptoms. Common for the symptoms of phosphorus deficiency in all species is the occurrence of necrosis.

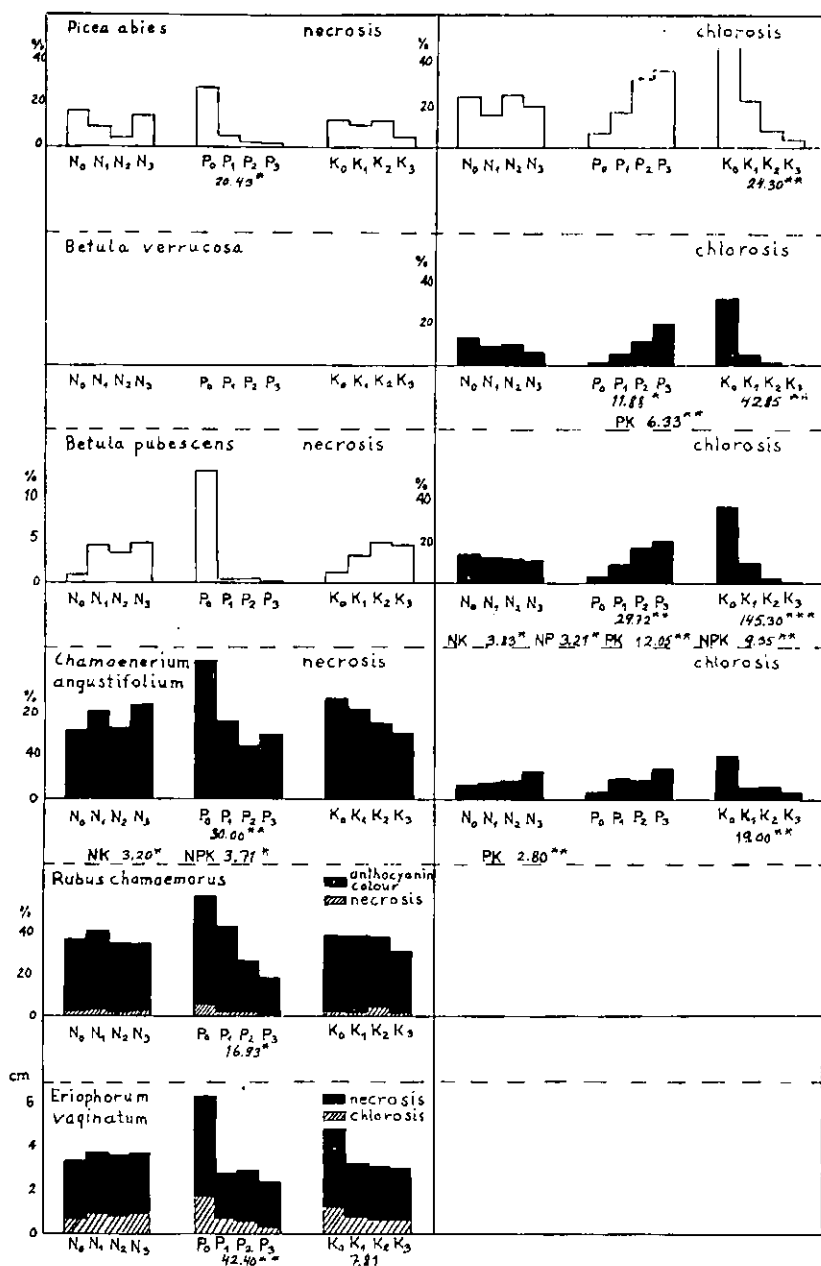


Fig. 1: The intensity of the symptoms of phosphorus and potassium deficiency in some plant species by varying levels of fertilization. The statistically significant or almost significant effects of fertilization are indicated as F-values. The scales of abundance vary; dark pillars: average abundance values of symptoms; light pillars: average frequency values of symptoms.

At least for *Rubus chamaemorus* it could be established that the accumulation of anthocyanin and the intensive blue-red color of the leaves due to deficiency of phosphorus precede necrosis. Thus, the blue-red coloring might indicate, when occurring alone, a less severe phase in the state of deficiency. – The following symptoms of phosphorus deficiency were observed in various plant species:

Calamagrostis epigeios: anthocyanin coloring in the tip of leaves and sometimes necrosis.

Betula nana: irregularly spreading necrosis at the edges of leaves.

Rubus chamaemorus: anthocyanin coloring in the leaf blades and subsequent necrosis which spreads irregularly at the edges of the leaves.

Empetrum nigrum: anthocyanin coloring in leaves as well as necrosis.

Chamaenerion angustifolium: necrosis beginning at the tip of the oldest leaves – total necrosis.

In addition, the chlorosis and necrosis occurring simultaneously in the tips of leaves of *Eriophorum vaginatum* and certain *Carex* species were proved to correlate to a statistically significant degree with phosphorus deficiency, even if they can be caused by deficiency of potassium. The necroses due to potassium and phosphorus deficiency in *Chamaenerion* can also be distinguished with difficulty only, which appears from the diagrams in fig. 1.

A common feature in the relation of the symptoms of phosphorus deficiency in the plants studied was that the smallest amount of phosphorus fertilizer (200 kg/ha) was enough to diminish the symptoms at an extremely rapid rate or, in certain cases, to remove them almost completely (Table 1, fig. 1). On the correlation between the symptoms of phosphorus deficiency and the nutritional balance of the site no significant results were obtained by the variance analysis performed in agreement with the experimental arrangement employed. In certain cases strong N or NK fertilization seems to intensify the symptoms of phosphorus deficiency, that may have connection with the effect of lowering the resistance to frost of nitrogen fertilization which has also been observed in conifers (e. g., Bergan, 1958; Meshechok, 1964).

3.3 Symptoms of potassium deficiency

The growth achieved in the pine seedling stands (Huikari, 1961) as well as the occurrence of, especially, certain mesotrophic plant species in the experimental area (Reinikainen, 1965) indicate that the potassium supplies of the peat of Kivisuo bog are rather scanty, in places even extremely small. In most of the plant species of the area, readily distinguished symptoms of potassium deficiency are encountered.

In pine the symptoms of potassium deficiency are quite regular in external appearance and way of appearing (Table 2). In the tips of one-year-old needles a bright yellow chlorosis occurs, which, toward the green parts of the needles, is limited by a border zone of gradually changing color. This chlorosis is strongest in the topmost needles of the shoots and appears in less severe cases of deficiency only in them. In the middle and the end of the summer necrosis appears beginning in the tips of the

needles most severely affected by chlorosis. The chlorosis described here appears with force in new needles in the month of September, disappears almost completely during the winter and increases a new in the middle of the summer. The consequence of the chlorosis and necrosis is untimely felling of the needles to the effect that the number of functioning annual needle growths on the K_0 plots averages 2.1, which almost as small as that on the P_0 plots (about 1.9). Yellowness in the tips of the needles of *Pinus* species and the subsequent necrosis are known, if even only approximately described, as symptoms of potassium deficiency on the basis of several investigations (e. g., *Nemec*, 1942; *Heiberg and White*, 1951; *Venema*, 1953; *Walker*, 1955; *Tamm*, 1956; *Rathe*, 1959; *Hacskeylo*, 1960; *Brüning*, 1959; *van Goor*, 1956, 1961; *Thurmann-Moe*, 1962).

Schönnamsgruber's (1962) color pictures agree with the description presented in the foregoing. On the basis of evidence available, it can be assumed that the external appearance of the chlorosis due to potassium deficiency in pine varies to some extent on different sites and in different geographical races. Untimely felling of the needles has been mentioned on several occasion as a symptom of potassium deficiency (*Venema*, 1953; *Krolkowski*, 1956; *Brüning*, 1959). *Brüning's* (*op. cit.*) statements concerning the seasonal rhythm of the chlorosis agree with those presented here.

Chlorosis due to lack of potassium is also encountered in spruce. In August, the one-year-old needles have a pure yellow color, the new needles being green and those two years old, either green or yellowish. In spruce the chlorosis does not seem to lead to necrosis or felling of the needles, at least not frequently. – The symptoms of potassium deficiency in spruce, especially those encountered in nurseries, have often been termed the 'yellow tip disease' (*Jessen*, 1939; *Björkman*, 1953; *Tamm*, 1953; *Holstener-Jørgensen*, 1964). The symptoms observed at Kivisuo resemble more the total chlorosis in spruce needles mentioned in the literature and they are identical with the symptoms described from swamp sites in Sweden (*Tamm and Ingestad*, 1955; *Tamm*, 1956). In their seasonal rhythm, the symptoms of potassium deficiency in spruce seem to be similar to those of pine.

The symptoms of potassium deficiency in *Betula verrucosa*, *B. pubescens* and *B. nana* (fig. 1) were all similar in appearance and resembled much both those observed in the species of the genus of *Betula* (*Walker*, 1956; *Tamm*, 1956; *Ingestad*, 1962; *Penningsfeld*, 1964) and the most characteristic symptoms of potassium deficiency in broad-leaved trees in general (*Ashby*, 1959; *Brüning*, 1952; *Walker*, 1961). The marginal chlorosis in the leaves appears at the latest during the first half of the month of July and begins as a slight yellowness at the tips and edges of the leaves. The chlorosis spreads concentrically and becomes more yellow; in the most severe cases the edges of the chlorotical leaves begin to dry, they become necrotic. In *Betula verrucosa* and *B. pubescens* upward curling of the leaf edges occurs in connection with chlorosis. On several occasions it precedes chlorosis and remains, in less severe cases of deficiency, as the only symptom visible.

Potassium-deficiency symptoms are also encountered in all the plant species of the field layer which were mentioned in the description of the symptoms of phosphorus deficiency. In the herbaceous species (*Chamaenerion*, *Rubus chamaemorus*) marginal chlorosis, which rapidly changes into necrosis, occurs in the leaves. Sometimes the needle-like leaves of *Empetrum nigrum* get entirely yellow. The chlorosis occurring in *Calamagrostis epigeios* appears between the nervures (it is intercostal). In *Eriophorum vaginatum* and *Carex* species chlorosis and necrosis due to deficiency of potassium and,

on the other hand, phosphorus cannot be distinguished from each other, but the material of measurements indicates that they occur both of them on the sample plots of this study.

In numerous agricultural plants (Wallace, 1961) and in the few natural forest plants studied (Walker, 1956, 1961), the symptoms of potassium deficiency resemble much those described in the foregoing for certain species of the field layer. In addition, it can be observed that the symptoms encountered in trees and in other plants are of a similar basic nature.

In their relation to fertilization the symptoms of potassium deficiency often showed a significant dependence on phosphorus fertilization in addition to their dependence on potassium fertilization (fig. 1). On several occasions PK-interaction becomes statistically significant. In some cases, particularly, when tree species are in question, the symptoms of potassium deficiency seem to disappear gradually by rising levels of potassium fertilization, even if the difference is always greatest between levels K_0 and K_1 . The potassium-deficiency symptoms in all the species studied grow stronger by increasing intensity of phosphorus fertilization. This phenomenon is caused by a certain aggravating effect on the potassium deficiency due to one-sided P and NP fertilization which has been observed in several investigations based on forest fertilization experiments on several tree species (Tamm, 1956; Themlitz, 1958a, 1958b; Themlitz and Baulé, 1960; Holstener-Jørgensen, 1964).

In the occurrence of potassium-deficiency symptoms differences can also be observed between different plant species. So, *Rubus chamaemorus* and *Empetrum nigrum*, for instance, are species in which the symptoms of potassium deficiency appear, under the conditions prevailing at Kivisuo, only when the deficiency of potassium has been extremely intensified by strong P or NP fertilization.

4. On the possibilities of using deficiency symptoms for nutritional diagnostics

4.1 The relations between the intensity of deficiency symptoms and the content of nutrients of the site and of plants

Figs. 2 and 3 throw light on the relationships between the symptoms of phosphorus deficiency in pine and the phosphorus content of the soil as well as the symptoms of potassium deficiency and the content of potassium of the soil. In spite of the fact that the picture of the possibilities of pine-seedling stands to take up nutrients from the substrate given by the quantities of nutrients present in the topmost peat layer to a depth of 20 cm probably is not quite correct, a certain correlation can be observed. This circumstance implies that the intensity of the symptoms in pine as estimated according to the method used here indicates to some extent the quantity of the nutrient in question in the substrate. On the basis of the graphs it seems that the correlation is even closer than can be indicated by the lineal regression equation. The symptoms of potassium deficiency, the dependence on the intensity of fertilization of which seemed to be of a more sliding nature than that of phosphorus-deficiency symptoms, correlate with the quantity of potassium in the substrate in a way which indicates that 110–120 kg light-soluble K/ha/20 cm means a state of severe deficiency and causes a steep rise in the quantity of deficiency symptoms.

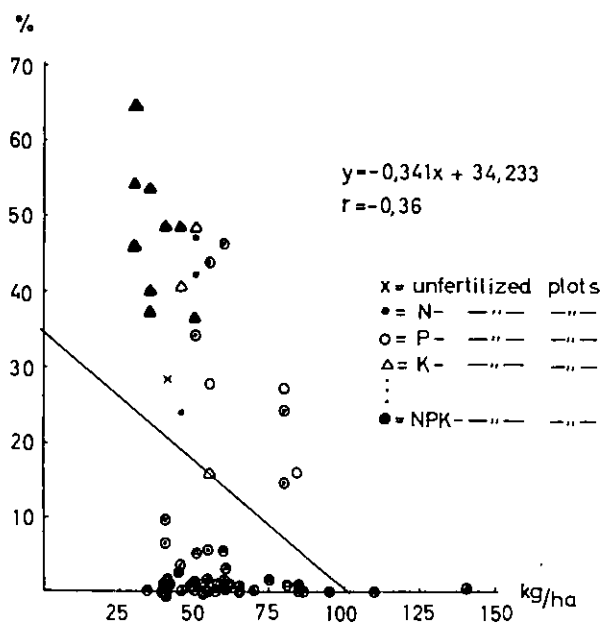


Fig.2: *Pinus silvestris*: The correlation between the light-soluble phosphorus content (x) of the topmost (20 cm) peat layer and necrosis due to phosphorus deficiency (y) at varying combinations of fertilization.

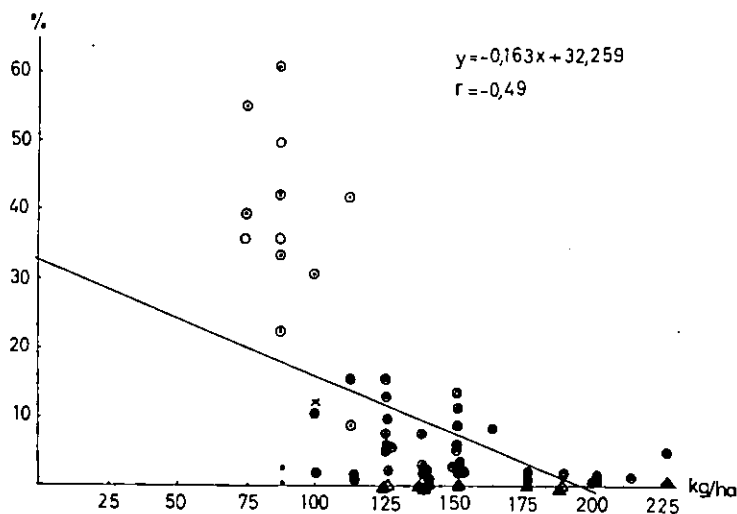


Fig.3: *Pinus silvestris*: The correlation between the light-soluble potassium content (x) of the topmost (20 cm) peat layer and chlorosis due to potassium deficiency (y) at varying combinations of fertilization (see fig.2).

On the basis of leaf analyses, several investigators have been able to determine comparatively accurate limits in the nutrient content which indicate the presence of a state of deficiency and subsequent appearance of deficiency symptoms. Sampling for leaf analysis of the present work was also carried out with this aim in mind in such a way that samples were collected from some sample plots from specimens free from symptoms and such displaying symptoms representing deficiency of varying stages. The samples were taken from 10–20 specimens of each stage of deficiency symptoms. The leaves of each sample tree were analysed separately. Tables 3 and 4 show the results as averages.

With respect to the symptoms of phosphorus deficiency, no differences could be observed between the phosphorus contents of leaves of the different stages of symptoms separated. On the other hand, the phosphorus contents of leaves free from

Table 3 *Pinus silvestris* and *Betula pubescens*: The nutrient contents of leaves at varying intensity of the symptoms of phosphorus deficiency

	Fertilization	Symptoms	The nutrient contents of leaves (% of dry weight)		
			P	K	Ca
Pine	PK	no symptoms	0.04	0.49	0.15
	N, NK	no symptoms	0.02	0.40	0.18
	N, NK	slight necrosis	0.02	0.36	0.17
	N, NK	severe necrosis, destruction of shoots	0.02	0.61	0.18
White birch	PK	no symptoms	0.23	0.55	0.75
	N, NK	no symptoms	0.10	0.64	0.62
	N, NK	necrosis	0.10	0.70	0.59

Table 4 *Pinus silvestris* and *Betula pubescens*: The nutrient contents of leaves at varying intensity of the symptoms of potassium deficiency. Significant differences (t-values) at the K-values: pine: PK no symptoms/ K_0 no symptoms 2.43**, PK no symptoms/ K_0 slight chlorosis 2.64**; white birch: PK no symptoms/ K_0 no symptoms 9.16***, PK no symptoms/ K_0 chlorosis 9.89***, K_0 no symptoms/ K_0 chlorosis and necrosis 2.73**

	Fertilization	Symptoms	The nutrient contents of leaves (% of dry weight)		
			P	K	Ca
Pine	PK	no symptoms	0.04	0.49	0.15
	P, NP	no symptoms	0.04	0.32	0.16
	P, NP	slight chlorosis	0.03	0.27	0.18
	P, NP	severe chlorosis, necrosis	0.03	0.24	0.14
White birch	PK	no symptoms	0.23	0.55	0.75
	P, NP	no symptoms	0.23	0.44	0.91
	P, NP	chlorosis	0.24	0.39	0.77
	P, NP	chlorosis, necrosis	0.21	0.35	0.73

symptoms which were taken from sample plots fertilized with phosphorus were somewhat higher than those of all the samples taken from the P_0 plots. Even if the absolute phosphorus contents do not correlate with the stages of symptoms, the P/K ratio seems to change in a disadvantageous direction the more the stronger are the symptoms of phosphorus deficiency.

Unfortunately the results from analyses on nitrogen are not yet available; the N/K and N/P ratios could namely be significant.

Thus, the limit of phosphorus deficiency cannot be determined on the basis of the present material. It can be stated, however, that phosphorus contents between 0.02 and 0.03% in pine needles and 0.09 and 0.12% in birch leaves mean a state of deficiency. In pine a phosphorus content of 0.04% and in birch, 0.18–0.25% mean sufficient supplies of phosphorus and lack of symptoms. Comparison of the values mentioned with the results of previous investigations reveals that the phosphorus contents of 0.04–0.10% that have been obtained at Kivisuo even for pines of good growth indicate phosphorus deficiency under certain conditions (*Ingestad*, 1962; *Krauss*, 1962). As regards birch, on the other hand, the values indicating a state of deficiency are practically equal to some of those mentioned in the literature (*Tamm*, 1956; *Ingestad*, 1962).

On the basis of the control (Table 4) of the symptoms of potassium deficiency by means of leaf analysis, it could be observed that different stages of deficiency revealed by chemical analysis could be distinguished using the scale of symptom intensity which was developed during this work. The content of potassium in the needles of well-growing pines free from symptoms on the area treated with PK-fertilizer is about 0.50%, which agrees nicely with the optimum value presented by *Krauss* (1962), for instance, but, according to *Ingestad* (1962), is a sign of a slight state of deficiency. The circumstance that there are specimens free from symptoms on the K_0 plots, the average potassium content in the needles of which is 0.32%, gives an intimation of the existence of a latent or symptomless deficiency. The average, 0.27% of K, for the specimens representing the least severe stage of symptoms indicates that the limit of appearance of the symptoms is slightly below 0.30%, which is near the varying limit values of 0.25–0.35% established for *Pinus silvestris* by several investigators (*Tamm*, 1956; *van Goor*, 1956; *Ingestad*, 1960, 1962; *Krauss*, 1962) and 0.30–0.39% for some other *Pinus* species (*Heiberg* and *White*, 1951; *Swan*, 1960, 1961; *Schönnamsgruber*, 1962). The average of K, 0.24%, in specimens showing severe symptoms of potassium deficiency supports the conception of the usability of the stages of intensity of symptoms as indicators of the degree of deficiency. The results for *Betula pubescens* are of a similar nature. The values, however, are throughout higher than those for pine, which is also in accordance with, for example, *Ingestad's* (1962) studies. A content of about 0.40% of K forms the limit of occurrence of chlorosis and at about 0.35%, necrosis can also be observed.

On the basis of the analytical results presented, nothing much can be stated concerning the relationships between the symptoms of potassium deficiency and the balance of nutrients. Although phosphorus application intensifies the symptoms of potassium deficiency, no significant differences can be observed in the contents of phosphorus at different stages of intensity of potassium-deficiency symptoms. Moreover, no relationships between the K/Ca ratio and the intensity of the symptoms of potassium deficiency of the kind which *Tamm* (1956) assumes to be the basic reason for potassium deficiency in lime-rich peat lands can be observed.

4.2 The symptoms as portrayers of the dependence between nutrient supplies of the site and the growth of plants

Figs. 4–6 show roughly the relationships between the symptoms of nutrient deficiency encountered in pine and its growth. The correlation coefficients are relatively high. The attempts which were made in order to study, on the basis of correlation coefficients, the dependence of plant growth on the quantities of such nutrients which occur in the substrate as limiting factors and, simultaneously, on the intensity of the nutrient deficiency indicated by the symptoms showed that the deficiency symptoms portray, on several occasions, the growth in a way superior to the nutrient contents. Thus, for instance, the value of $R = 0.91^{***}$ is obtained as a portrayer of the dependence of the growth of pine on the deficiency of nutrients indicated by chlorosis and necrosis. The contents of phosphorus and potassium obtained from peat analyses, on the other hand, explain the growth fluctuations in a way indicated by $R = 0.48^{**}$. The joint correlation of all the four variables with the growth, $R = 0.93^{***}$, indicates that the variation explained by the results of soil analyses is included almost entirely in that explained by the symptoms of deficiency. For the species of the field layer, the result is of the same nature even if not so distinct. The dependence of the height of *Chamaenerion angustifolium* on the nutritional state with respect to phosphorus and potassium is $R = 0.58^{**}$ when chlorosis and necrosis are used as explanators, $R = 0.54^{**}$ when explained by the phosphorus and potassium contents of the peat, and $R = 0.77^{**}$ when all these factors together are used as explanators. The dependence of the vegetative luxuriance of *Rubus chamaemorus* on the nutritional state of the site is $R = 0.59^{**}$ when explained by the symptoms of phosphorus deficiency and $R = 0.62^{**}$ as explained by these symptoms and the contents of phosphorus and potassium jointly.

The aforesaid makes it evident that, under such even conditions that prevail at Kivisuo, where the deficiency of almost only single nutrients is a factor limiting the growth of experimental plants, symptoms of deficiency, which have been classified and studied qualitatively in advance, may give information on the nutritional state of the site from the viewpoint of thriving of plants. Thereby, the numerous sources of error must naturally be taken into consideration, which are involved in diagnostic use of the symptoms:

- the similar appearance of the symptoms of nutrient deficiency and injuries caused by dryness, frost, fungi, and insects as well as the fact that the damages mentioned might be indirectly caused by nutrient deficiency and thus deficiency symptoms (Lundblad, 1946; Walker and Beacher, 1963);
- the similar appearance of symptoms indicating deficiency of various nutrients and simultaneous deficiency of several nutrients (Lundblad, *op.cit.*; Leyton, 1957; Barrows, 1959; Walker and Beacher, *op.cit.*; Wittich, 1964);
- the seasonal fluctuations in the external appearance of the symptoms of deficiency (Brüning, 1952; Schönnamsgrubner, 1962; Walker and Beacher, *op.cit.*);
- the genetical differences within the plant species, which affect the appearance of the deficiency symptoms significantly (Schönnamsgrubner, 1962).

On the basis of the results of the present investigation, too, the conclusion can be drawn that although the obvious dependence of, for instance, the symptoms of potassium deficiency on phosphorus and water availability in addition to the sup-

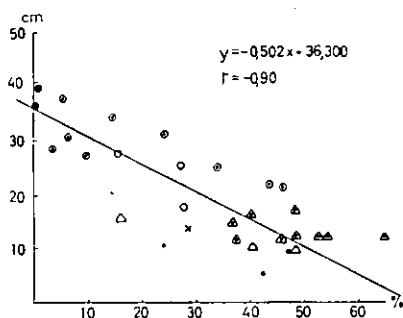


Fig. 4: *Pinus silvestris*: The correlation between the number of necrotic needles (x) and the length of the terminal shoot (y) at varying combinations of fertilization. The PK and NPK points include the averages of all sample plots treated with such fertilization (see fig. 2).

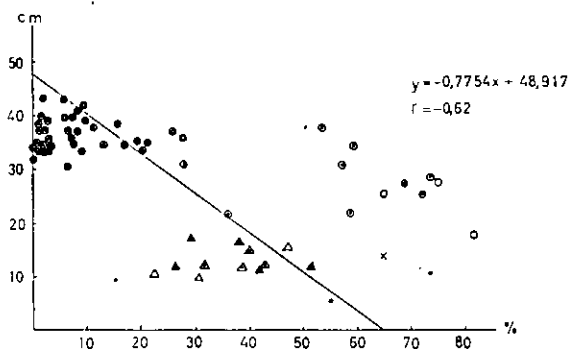


Fig. 5: *Pinus silvestris*: The correlation between the number of chlorotic needles (x) (both phosphorus and potassium deficiency chlorosis) and the length of the terminal shoot (y) at varying combinations of fertilization (see fig. 2).

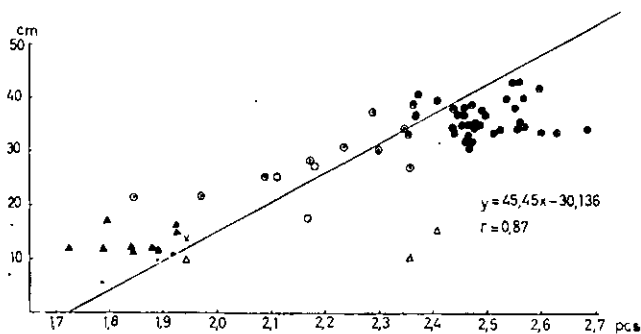


Fig. 6: *Pinus silvestris*: The correlation between the number of functioning annual needle growths (x) and the length of the terminal shoot (y) at varying combinations of fertilization (see fig. 2).

plies of potassium (Liese, 1952; Brüning, 1959) improves, on one hand, the use of the intensity of the symptoms for explanation of, for example, plant growth, it decreases, on the other hand, the possibilities of generalizing the symptoms observed.

It seems, after more detailed study of peat lands of a larger variety, that, for instance, the symptoms of potassium deficiency encountered in trees could be used as qualitative and rough quantitative indicators of relative potassium deficiency. As such they could be of significance, except at the determination of the need of fertilization, even as indicators of errors in fertilization (for instance, a disturbed PK balance) and as the first sign of exhaustion of fertilizer applied.

Bibliography

1. Ashby W. C.: Limitation to growth of basswood from mineral nutrient deficiencies. Bot. Gaz. 121, 22-28 (1959).
2. Barrow's H. L.: Evaluating the micronutrient requirements of trees. In: Mineral nutrition of trees. A symposium. Duke Univ. School of For. Bull. 15, 18-31 (1959).
3. Bergan J.: Et gjødslingsforsøk i en yngre gran planting i Troms. Norske Skogf. Vesen 16 (4), 51, 251-273 (1958).
4. Björkman E.: Om granens 'gulspettssjuka' i plantskolor. Sv. Skogsvårdsför. Tidskr. 51, 211 (1953).
5. Boomsma C. D.: Phosphate for top dressing as a normal plantation operation. Austr. For. 13, 108-112 (1949).
6. Brüning D.: Beobachtungen über Kali- und Magnesiummangel bei der Robinie (*Robinia pseudacacia*) und der perennierenden Lupine (*Lupinus polyphyllus*). Ernähr. d. Pflanze 2, 71-82, und 3, 127-139 (1952).
7. Brüning D.: Forstdüngung. Ergebnisse älterer und jüngerer Versuche. 219. Leipzig 1959.
8. Charlon J. C.: Die Düngewirkung von Thomasphosphat bei Waldbäumen. Phosphorsäure 18, 220-224 (1958).
9. Gessel S. P.: Progress and problems in mineral nutrition of forest trees. In: Kozłowski T.: Tree growth, 221-235. N. Y. (1962).
10. Goor G. P. van: Kaligehrek als oorzaak van gelepuntziekte van groveden (*Pinus silvestris*) en Corsicaanse den (*Pinus nigra* var. *Corsicana*). Nederlandsch. Boschbouw. Tijdschrift 28, 21-31 (1956).
11. Goor G. P. van: Kaligebrekssymptomen bij groveden. Kali 50, 317-321 (1961).
12. Groetzner E.: Beobachtungen über den Einfluss einer harmonischen Nährstoffversorgung auf die Widerstandsfähigkeit des Roggens gegen Auswinterung. Phosphorsäure 17 (1), 1-9 (1957).
13. Gusone H. A.: Ergebnisse eines Düngungsversuches zu Kiefern auf nährstoffarmem Boden Norddeutschlands. Allg. Forst- u. Jagdztg. 134, 45-53 (1963).
14. Habig F.: Zur Frage der Phosphorsäuredüngung in der Forstwirtschaft. In: S. Gericke: Düngung in der Forstwirtschaft (1957).
15. Hackeaylo Jr.: Deficiency symptoms in forest trees. 7th Intern. Congr. Soil. Sci. 3, 393-405 (1960).
16. Hamilton L. S.: Color standardization for foliage description on forestry. Jour. For. 58, 23-25 (1960).
17. Heitger S. O. and White D. P.: Potassium deficiency of reforested pine and spruce stands in Northern New York. Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. 15, 369-376 (1951).
18. Höbne H.: Blattanalytische Untersuchungen an jüngeren Fichtenbeständen. Tag. Ber. Dt. Akad. Landw. Wiss. Berlin, Nr. 50 (1962).
19. Höbne H.: Der Einfluss des Baumalters, der soziologischen Stellung des Baumes im Bestande sowie die Jahreszeit auf das Gewicht und die Nährelementkonzentration von Fichtennadeln. Ibid., Nr. 66 (1964).
20. Holstener-Jørgensen H.: Kalium- og magnesiummangel-symptomer i godningsforsøg i jyske rødgrankulturer. Det forstl. forsøgsv. i Danmark, Bd. XXIX, h. 1 (1964).
21. Holstener-Jørgensen H. and Klubien E.: Diagnosticering av kvælstofmangel i bøgekulturer. Dansk Skovforenings Tidsskrift 42, 593-600 (1957).

22. *Huikari O.*: Koetuloksia metsäojitetujen soiden ravinnetalouden keinollisesta parantamisesta. *Metsätiet.* Aikak. lehti 5 (1961).
23. *Ingestad T.*: Studies on the nutrition of forest tree seedlings III. Mineral nutrition of pine. *Physiol. Plant* 13 (3), 513–533 (1960).
24. *Ingestad T.*: Macroelement nutrition of pine, spruce and birch seedlings in nutrient solutions. *Medd. fr. Statens skogsforskn.-inst.* 51 (7), 150 (1962).
25. *Jessen W.*: Phosphormangelererscheinungen bei verschiedenen Holzarten. *Phosphorsäure* 7, 263–270 (1938).
26. *Jessen W.*: Kalium- und Magnesiummangelererscheinungen und Wirkung einer Düngung mit Kaliumchlorid und Kalimagnesia auf das Wachstum verschiedener Holzarten. *Ernähr. d. Pflanze* 35, 228–230 (1939).
27. *Keay J.*: Nutrient deficiencies in conifers. *Scot. For.* 18, 22–29 (1964).
28. *Krauss H.-H.*: Die Anfangsentwicklung von Kiefern-Vollumbruchkulturen auf degradierten mittleren Sandstandorten nach Kalkmelioration und Düngung mit N, P, K und Mg. *Tag. Ber. Dt. Akad. Landw. Wiss. Berlin*, Nr. 50, 117–133 (1962).
29. *Krolkowski L.*: Influence of a simple application of mineral fertilizer in the cultivation of pine trees in the chief forest districts: Bartel Wielki, Wanda. *Six. Congr. de la Science du Sol*. Vol. D, 291–304 (1956).
30. *Leyton L.*: The diagnosis of mineral deficiencies in forest crops. 7th British Commonw. For. Conf. (1957).
31. *Liese J.*: Krankheiten der Robinie. In: *K. Göbre*: Robinie und ihr Holz, 271–283 (1952).
32. *Lundblad K.*: Mikroelement och bristsjukdomar hos odlade växter. *Lantbrukshögsk. Jordbruksförsöksanst. Medd.* 16, 434–489 (1946).
33. *Meshechok B.*: Skogplantning i plogveltene på myr minsker frostskafer på plantede traer. *Norsk Skogbruk* 2 (1964).
34. *Müller A.*: Karenzerscheinungen bei der Kiefer. *Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen* 36, 745–756 (1904).
35. *Multamäki S. E.*: Kuusen taimien paleltuminen ja sen vaikutus ojitetujen soiden metsittymiseen. *Acta Forest. Fenn.* 51 (1), 320 (1942).
36. *Munsell*: Colour, charts for plant tissues (1963).
37. *Nemes A.*: Zur Kenntnis der Kali- und Magnesia-Mangelererscheinungen bei Sämlingen und Kulturen der Kiefern. *Forstw. Cbl.* 64, 160 (1942).
38. *Penningsfeld F.*: Nährstoffmangelererscheinungen bei Baumschulgehölzen. *Phosphorsäure* 24 (3/4), 199–212 (1964).
39. *Puustjärvi V.*: Turpeen ryten mobilisoitumisesta ja sen käyttökelpoisuudesta suometsisssä neulasanalyysin valossa. *Suo* 13 (1), 2–11 (1962).
40. *Ratbe R.*: Rationelle Düngung in der Forstpflanzenanzucht. *Der Forst- u. Holzwirtschaft* (1959).
41. *Reinikainen A.*: Vegetationsuntersuchungen auf dem Walddüngungs-Versuchsfeld des Moores Kivisuo, Kirchsp. Leivonmäki, Mittelfinnland. *Comm. Inst. Forest. Fenn.* 59.5, 62 (1965).
42. *Schönnamsgrubner H.*: Kali-Mangelererscheinungen bei Kiefern in Holland. *Allg. Forstzeitschr.* 27 (1962).
43. *Swan H. S. D.*: The mineral nutrition of Canadian pulpwood species: I. The influence of nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium deficiencies on the growth and development of white spruce, black spruce, jack pine and western hemlock seedlings grown in a controlled environment. *Pulp and Paper Res. Inst. Canada. Techn. Rep. Ser.* 168; *Woodl. Res. Ind. No.* 116, 66 (1960).
44. *Swan H. S. D.*: The mineral nutrition of Canadian pulpwood species. *Proc. V World For. Congr.* 1, 539–541 (1961).
45. *Tamm C. O.*: Mera om granens gulsprattsjuka. *Sv. Skogsvårdsför. Tidskr.* 51, 390.
46. *Tamm C. O.*: Studier över skogens näringsförhållanden IV. Effekten av kalium- och fosfortillförsel till ett oväxligt bestånd på dikad myr. *Medd. fr. Statens Skogsforskn.-inst.* 46 (7), 27 (1956).
47. *Tamm C. O. and Ingestad T.*: Symptom på näringsbrist hos skogsträd. Några exempel. *Växt-Närings-Nytt* 11 (5), 82–83 (1955).
48. *Themlitz R.*: a. Untersuchungen zur Nährstoffwanderung in einem Heideboden und Nährstoffdynamik junger Kiefern (Pin. silv.). *Kalibriefe, Fachg.* 6, 2. F. (1958).
49. *Themlitz R.*: b. Nährstoffmangelererscheinungen an jungen Kiefern als Folge unausgeglichener Düngung und ihre Diagnose durch differenzierte Nadelanalysen. *Ibid.*, 5. F. (1958).

50. *Thiemitz R. and Baule H.*: Über das Auftreten von Nährstoffmangelsymptomen an jungen Kiefern als Folge unausgeglichener Düngung. Forst- u. Holzwirt 15.1 (1960).
51. *Thurmann-Moe P.*: Nye retningslinjer for anlegg av gjødsselfelt på næringsfattig myr med sikte på skogsproduksjon. Norsk Skogbruk 6 (1962).
52. *Walker L. C.*: Influence of white birch in restoring potassium to deficient soil. Jour. For. 53.6 (1955).
53. *Walker L. C.*: Foliage symptoms as indicators of potassium-deficient soils. For. Sci. 2, 2 (1956).
54. *Walker L. C.*: Forest fertilization in Eastern North America. Proc. V World. For. Congr. 1, 562-566 (1961).
55. *Walker L. C. and Beacher R. L.*: Fertilizer response with forest trees in North America. Nat. Plant. Food. Inst. Washington D.C. (1963).
56. *Wallace T.*: The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. London 125 (1961).
57. *Wehrmann J.*: Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft. Landw. Forsch. 16, 130-145 (1963).
58. *Venema K. C. W.*: Kalimangelerscheinungen an Nadelbäumen. Kali-Briefe Fachg. 22, 1.F. (1953).
59. *White D. P.*: Variation in the nitrogen, phosphorus and potassium contents of pine needles with season, crown position and sample treatment. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 18, 326 (1954).
60. *White D. P.*: Comments on 'Color standardization for foliage description in forestry'. Jour. For. 58, 325 (1960).
61. *Wilde S. A. and Voigt G. K.*: Determination of color of nursery stock by means of Munsell color charts. Jour. For. 50, 622-623 (1952).
62. *Viro P. J.*: Estimation of the effect of fertilization from needle colour. Oikos 10 (2), 183-189 (1959).
63. *Viro P. J.*: Kangasmaan taimiston lannoitus. Comm. Inst. Forest. Fenn. 61 (4), 30 (1966).
64. *Wittich W.*: Die Düngung in der Forstwirtschaft. V^e Congr. mondial des fertilisants. Zürich 1964.
65. *Vuorinen J.*: Maaperän merkityksestä omenapuiden talvenkestävyydelle. Agrogeol. Julk. 69, 32 (1958).

Düngung und Populationsdichte von Napfschildläusen

Dr. D. BRÜNING und E. UEBEL, Dipl.-Landw., Kali-Forschungsinstitut Sondershausen, Abteilung Land- und Forstwirtschaft, Stendal / Deutsche Demokratische Republik

1. Einleitung

In dem Referat von Herrn Oberforstmeister Dr. Schindler wurde u. a. mitgeteilt, dass Kali gegen saugende Insekten befallsmindernd wirkt, Stickstoff dagegen zu einem Populationsanstieg bei dieser Insektengruppe führt. In zwei unabhängig voneinander angelegten Freilanddüngungsversuchen zu Laubgehölzen konnten auch wir hinsichtlich der Befallsstärke mit den im Parenchym saugenden Napfschildläusen erhebliche Unterschiede auf den verschiedenen Varianten ermitteln. Anschliessend wurde mit dem Material von einer dieser Flächen im Laboratorium ein Nahrungswahlversuch mit Schildlaus-Junglarven durchgeführt.

2. Freilandversuche

Die im Freiland ermittelten Befunde betreffen das Auftreten von *Eulecanium corni* Bch. f. *robinarium* Dgl. auf 7jährigen Robinien im Düngungsversuch Scheeren, Kreis Tangerhütte, im Jahre 1956 und von *Eulecanium rufulum* Ckll. auf 10jährigen Roteichen im Düngungsversuch Utpott 2 bei Hammelspring, Kreis Templin, im Jahre 1966. Die Versuchsflächen sind etwa 130 km Luftlinie voneinander entfernt. Angaben über die Standortverhältnisse und Versuchsanlagen sind früheren Veröffentlichungen zu entnehmen (Brüning [1, 2, 3]). Beide Versuche liegen auf kali- und magnesiumarmen, grundwasserbeeinflussten Sandstandorten im nordostdeutschen Diluvium.

Die in 10 cm grossen Abschnitten an den Stämmen festgestellte Anzahl der Mutterläuse (Schilde) wurde mit den ertragskundlichen Befunden der Versuche als Durchschnittswerte der Varianten in je einer Tabelle angegeben.

2.1 Düngungsversuch Scheeren, Robinien

Die als Beispiel für den Düngungseffekt bei der Robinie in Tabelle 1 aufgeführte Gesamtwuchsleistung an Grundfläche bis 1957 in Quadratmetern je 0,1 ha und die arithmetische Mittelhöhe 1957 in Metern zeigen beim Vergleich der 4 Versuchsglieder PKCaMg, PKCa, PCa und O neben einer PCa-Wirkung (Vergleich von O mit PCa) nicht nur eine beachtliche Kaliwirkung (Vergleich von PCa mit PKCa) sondern eine noch grössere Magnesiumwirkung (Vergleich von PKCa mit PKCaMg). Die Auszählung der Läuse ergab hingegen, dass zwar die PCa-Düngung die Widerstandskraft der Robinien gegen die Napfschildlaus erhöhte, aber erst durch die Kalidüngung der Läusebefall auf ein Minimum herabgedrückt wurde. Die Magnesiumzufuhr blieb in dieser Beziehung ohne messbaren Einfluss.

Tabelle 1 Düngungsversuch Scheeren, Robinien

Düngung	PKCaMg	PKCa	PCa	O
GWL an G 1957 in m ² /0,1 ha	1,1737	0,7035	0,4105	0,1965
Arithmetische Mittelhöhe 1957 in m	4,93	3,84	3,08	2,43
Anzahl Läuse 1956/10 cm Stammabschnitt	0,25	0,26	9,09	29,83

1956 durchgeführte Untersuchungen über die Knöllchenbildung an den Wurzeln der Leguminose Robinie des Scheerener Versuches hatten gezeigt, dass auf den Kalivarianten mehr Stickstoff gebunden wurde als auf den kalifreien Parzellen (*Brüning* [1] S. 143). Auf den KMg-Versuchsgliedern wurde sogar noch weit mehr Stickstoff als auf den Kaliparzellen ohne Magnesiumdüngung ermittelt. Nach Angaben verschiedener Autoren (nähere Literaturhinweise in *Brüning* [4]) ist eine Zunahme an saugenden Insekten bei einem grösseren Stickstoffangebot anzunehmen. Demnach wäre mit der stärkeren Stickstoffanreicherung im Boden durch die mit K und Mg gedüngten Robinien ein erhöhter Läusebefall zu erwarten gewesen. Wenn dieser im vorliegenden Fall nicht eintrat, könnte die Erklärung darin liegen, dass das N-Angebot nicht einseitig erhöht wurde und die gleichzeitige K-Düngung kompensierend wirkte.

2.2 Düngungsversuch Utpott 2, Roteichen

Das Wachstum der Roteichen dieses im Templiner Raum liegenden Versuches leidet in jedem Frühjahr unter Spätfrösten. Ausserdem macht sich hier das Fehlen des Nährstoffs Magnesium besonders krass bemerkbar. Die Koinzidenz von Spätfrost und Magnesiummangel verhinderte jede nennenswerte Entwicklung der Roteichen, so dass sich die Auswertung auf die Varianten KMg, NPKMg, Mg und NPMg beschränken musste.

Tabelle 2 zeigt, dass der geringste Besatz an Läusen auf KMg mit der besten Wachstumsleistung einherging. Wurde NP zusätzlich gedüngt, erhöhte sich auf NPKMg der Befallsgrad kaum. Auf der Variante Mg war die Zahl der Mutterläuse je 10 cm Stammabschnitt um das Sechsfache höher als bei KMg. Wurde beim Fehlen von K noch mit NP gedüngt (NPMg), verdoppelte sich die Anzahl der Läuse. Eine getrennte Aussage für N und P ist nicht möglich, weil diesbezügliche Versuchsglieder nicht vorliegen. Nach den bisherigen Erfahrungen ist auf dem Templiner Stand-

Tabelle 2 Düngungsversuch Utpott 2, Roteichen

Düngung	KMg	NPKMg	Mg	NPMg
Arithmetische Mittelhöhe 1966 in m	1,50	1,47	0,84	1,15
Anzahl Läuse 1966/10 cm Stammabschnitt	0,72	0,82	4,32	8,78

ort kaum mit einer nennenswerten Phosphatwirkung an Forstpflanzen zu rechnen, so dass bei dem vorliegenden NP-Effekt ein überwiegender Einfluss des Nährstoffs Stickstoff anzunehmen ist.

Das beigebrachte Material der beiden Freilanddüngungsversuche wurde statistisch verrechnet. Es ergab sich, dass zwischen dem Mittel der mit Kali gedüngten Flächen und dem der Parzellen ohne Kali sowohl bei der Robiniennapfschildlaus in Scheeren als auch bei der Eichennapfschildlaus in Hammelspring eine signifikante Differenz in der Anzahl der Läuse je 10 cm Stammabschnitt bestand. Demnach war für die Höhe des Befalls in beiden Versuchen der Nährstoff Kali ausschlaggebend. Er schränkte die Ausbreitung der Napfschildlaus auch bei gleichzeitigem N-Angebot wesentlich ein.

2.3 Folgen der starken Verlausung

Wenn der Befall mit den als Schwächeparasiten auftretenden Napfschildläusen so erheblich war, wie er auf den Figuren 1–4 zu erkennen ist, starben die primär durch Kalimangel physiologisch stark geschwächten Wirtspflanzen schliesslich ab. Die Massenvermehrung der Läuse dürfte demzufolge neben Frosteinwirkung, Pilzbefall u. a. m. eine der sekundären Ursachen für den stärkeren Abgang der Stämme auf den kalifreien Varianten sein. Tabelle 3 beinhaltet die auf Grund der Ertragsaufnahmen ermittelte Anzahl der bis 1966 abgestorbenen Stämme auf den einzelnen Versuchsgliedern des Robinienversuches. Beim Vergleich von PKCa mit PKCaMg ergibt sich als Magnesiumwirkung eine Verringerung des Anfalls der Toten um nur 28 und bei Gegenüberstellung von O mit PCa als PCa-Wirkung um 78 Stück/0,1 ha. Von den Vergleichsmöglichkeiten der Versuchsglieder untereinander zeigt die Differenz in der Anzahl der angefallenen Toten zwischen PCa und PKCa als Kaliwirkung den grössten Einfluss in der Verhinderung des frühzeitigen Absterbens um 122 Stück/0,1 ha.

Tabelle 3 Düngungsversuch Scheeren, Robinien

Düngung	PKCaMg	PKCa	PCa	O
Bis 1966 abgestorbene Stämme/0,1 ha	136	164	286	364
Differenz zwischen den Varianten	28	122	78	

Somit weisen die ermittelten Ergebnisse hinsichtlich der Stärke des Läusebefalls (Tabelle 1) und der Höhe des Abgangs der Stämmchen (Tabelle 3) die gleiche Rangfolge der Varianten auf.

Bei den Roteichen ist die Beobachtungszeit für die Auswirkungen des Läusebefalls auf die Absterbeerscheinungen noch zu kurz.

3. Laboratoriumsversuch

Für den Nahrungswahl- bzw. Wanderungsversuch mit Schildlaus-Junglarven wurde Blattmaterial der Roteichenfläche Utpott 2 verwandt.



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 4



Fig. 3

Fig. 1–4: Starker Napschildlausbefall auf den nicht mit Kali gedüngten Robinien und Roteichen.
 Oben: *Eulecanium corni* Béhé. f. *robinarium* Dgl. auf Robinien im Düngungsversuch Scheeren,
 Kreis Tangerhütte.

Unten: *Eulecanium rufulum* Ckll. auf Roteichen im Düngungsversuch Utpott 2 bei Hammel-
 spring, Kreis Templin.

Tabelle 4 Düngungsversuch Utpott 2, Roteichen

Düngung	Nährstoffgehalte der Blätter in % d. T. M.				
	N	P	K	Ca	Mg
KMg	1,96	0,25	0,74	0,38	0,21
NPKMg	2,12	0,26	0,71	0,60	0,20
Mg	1,86	0,30	0,48	0,49	0,22
NPMg	2,06	0,25	0,52	0,58	0,24

3.1 Blattanalysen

Die Mitte September – 4 Monate nach der letzten Kalkammonsalpeter- und $6\frac{1}{2}$ Jahre nach der letzten Superphosphat-, Kaliumsulfat- und Magnesiumsulfat-Düngung – gesammelten Roteichenblätter der 4 Varianten des Düngungsversuches Utpott 2 wurden auf Nährstoffgehalte untersucht (Tabelle 4).

Die Analysenergebnisse zeigten in ihrer Gesamtheit hohe N- und P- sowie niedrige K- und Ca-Werte. Im einzelnen lagen die N-Gehalte in den Blättern auf den Parzellen, die mit Stickstoff gedüngt worden waren, noch höher als die der N-frei ernährten Assimilationsorgane, und auch die K-Werte unterschieden sich trotz jahrelanger Unterlassung einer Kalizufuhr immer noch ganz eindeutig in den mit und ohne Kali erwachsenen Blättern. Kalifrei fiel stark ab. Damit waren in einem Nahrungswahlversuch mit saugenden Insekten nach den bislang in der Literatur gemachten Angaben Unterschiede in der Besiedlungsdichte zu erwarten (*Fritzsche, Wolfgang und Opel [5]*).

Die P-Gehalte waren annähernd gleich, nur die Variante Mg hatte einen etwas grösseren Wert. Der Anstieg der Ca-Gehalte in den Blättern der mit NP gedüngten Versuchsglieder kann durch den Kalkgehalt des verabfolgten Kalkammonsalpeters und des Superphosphates erklärt werden. Die Mg-Gehalte zeigten keine nennenswerten Unterschiede.

3.2 Nahrungswahlversuch

Für den Nahrungswahlversuch wurden physiologisch vergleichbare Roteichenblätter des Haupttriebes 1967 der 4 Düngungsglieder entnommen.

Aus den Blättern wurden mittels einer Schablone je eine Kreisscheibe herausgeschnitten und diese Scheiben in 4 gleich grosse Sektoren geteilt. Von jeder der 4 Varianten wurde alsdann je ein Blattsektor mit der Blattunterseite nach oben so in eine Petrischale auf angefeuchtetes Fliesspapier gelegt, dass ein Vollkreis mit 4 gleich grossen Roteichen-Blattstücken der Prüfglieder entstand (Figur 5). In die Mitte der zusammengesetzten Blattflächen wurden auf eine kleine runde Pappscheibe Reifeier und Junglarven von *Eulecanium rufidum* Ckll. gebracht. Das im Juli 1967 mit 28facher Wiederholung angesetzte Experiment wurde nach 4 Tagen abgebrochen und alsdann die Anzahl der auf die 4 Blatteile gewanderten und dort festgesetzten Junglarven unter dem Mikroskop bestimmt. Die ausgezählten Junglarven einer Petrischale (im Durchschnitt 177 Stück/Schale) wurden gleich 100% gesetzt und danach der prozentuale Anteil für die einzelnen Varianten berechnet. Nach Transformation der Prozentwerte wurde das Resultat statistisch geprüft.

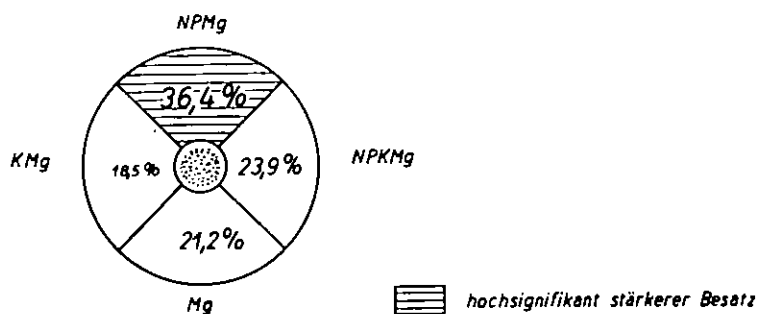


Fig.5: Nahrungswahlversuch mit Schildlaus-Junglarven auf physiologisch vergleichbaren Roteichenblättern des Düngungsversuchs Utpott 2.

Während sich zwischen den Versuchsgliedern KMG, NPKMG und Mg wesentliche Unterschiede nicht fanden, bevorzugten die Junglarven die Blatteile der NPMg-Variante ganz eindeutig, so dass sich eine hochsignifikante Differenz zwischen der Anzahl der nach hier übergesiedelten und der auf die Blatteile der übrigen Versuchsglieder gewanderten Läuse ergab. Somit bestand durch Kalidüngung eine negative Beeinflussung des Befalls von Roteichenblättern mit *Eulecanium rufulum* Ckll. (Vergleich von NPMg mit NPKMG). Die die Läusebesiedlung fördernde Wirkung des Stickstoffs wurde verringert bzw. nahezu aufgehoben, wenn gleichzeitig mit Kali gedüngt worden war (Vergleich von KMG mit NPKMG). Damit wurden die Befunde der Freilandversuche nunmehr auch experimentell im Laboratorium bestätigt. Lediglich für die Mg-Variante wich das Freilandergebnis vom Laborbefund ab.

Werden die zuvor ermittelten Nährstoffgehalte der Roteichenblätter mit den Ergebnissen des Nahrungswahlversuches verglichen, so ist festzustellen, dass die Napschildläuse die Blätter des NPMg-Versuchsgliedes, die niedrige Kali- und hohe Stickstoffgehalte aufwiesen, wesentlich stärker besiedelten als die Blätter der übrigen Varianten, die entweder einen verhältnismässig niedrigen N- oder einen hohen K-Gehalt besaßen. Wie diese Nährstoffe wirksam geworden sind, wurde von uns noch nicht untersucht.

Bibliographie

1. Brünig D.: Forstdüngung – Ergebnisse älterer und jüngerer Versuche. 210 S., Neumann Verlag, Radebeul 1959.
2. Brünig D.: Einfluss einer mineralischen Düngung auf das Jugendwachstum von Kiefern und Roteichen. *Forstarchiv*, 34, Nr. 2, 25–30 (1963).
3. Brünig D.: Ergebnisse der Aufnahmen 1960 und 1963 von Kiefern und Robinien auf der Düngungsversuchsfläche Scheeren (StFB «Colbitzer Heide»). *Archiv f. Forstwes.* 15, 137–152 (1966).
4. Brünig D.: Befall mit *Eulecanium corni* Béb. f. *robinarium* Dgl. und *Eulecanium rufulum* Ckll. in Düngungsversuchen zu Laubgehölzen. *Archiv f. Pflanzenschutz* 3, 193–200 (1967).
5. Fritzsche R., Wolfgang H. und Opel H.: Untersuchungen über die Abhängigkeit der Spinnmilbenvermehrung von dem Ernährungszustand der Nutzpflanzen. *Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkd.* 78, 13–27 (1957).

Vorzeitiger Kurztriebabwurf zehnjähriger Weymouthskiefern als Folge von Kalimangel

Dipl.-Landw. H.-D. TRILLMICH, Kali-Forschungsinstitut Sondershausen, Abteilung Land- und Forstwirtschaft, Stendal/Deutsche Demokratische Republik

Im Frühjahr 1967 traten örtlich schwere Schäden an Kiefernkulturen und -dickungen durch starkes Schütten der Kiefern auf, das bis zum vollständigen Verlust des 1966er Nadeljahrganges, insbesondere im Bereich der letzten Quirle, führte. Die Bestände boten in diesem Zustand einen trostlosen Anblick. Als Schadenursache konnte zum überwiegenden Teil *Lophodermium-pinastris*-Befall ermittelt werden.

Dieser für das Frühjahr 1967 zwar vorausgesagte (Hoffmann [5]), jedoch in diesem Ausmass nicht erwartete Nadelverlust blieb nicht allein auf die gemeine Kiefer, *Pinus silvestris*, beschränkt, sondern wurde von uns auch an der Weymouthskiefer, *Pinus strobus*, auf dem Düngungsversuch Utpott 3 beobachtet. Der genaue Termin für den Beginn der Differenzierung zwischen «schüttenden» und «nichtschtütenden» Weymouthskiefern kann nicht angegeben werden. Optisch wirksame Unterschiede traten Mitte Mai auf. Obgleich eingehende Untersuchungen über die unmittelbare Ursache des bei Weymouthskiefer ungewöhnlichen extremen Kurztriebverlustes, der nach den bisherigen Ergebnissen im Gegensatz zu Kiefer vermutlich nicht auf eine pilzliche Nadelerkrankung zurückzuführen ist, zunächst noch fehlen, soll über die bereits vorliegenden Ergebnisse als vorläufige Mitteilung berichtet werden.

Der K- und Mg-Mangelversuch Utpott 3 ist ein Teil der Versuchsflächengruppe Templin (Brüning [3]). Das geologische Substrat des Bodens bilden fluvioglaziale Ablagerungen, die als Schmelzwassersande im Vorland der Endmoräne des Pommerschen Stadiums der Weichselvereisung bezeichnet werden. Die Standortsform wird als «Finowtaler Sand-Braunpodsol, grundwasser- und schlickbeeinflusst, mit schwächer maritim beeinflusstem Klima» angesprochen, die zur Standortsformen-Gruppe «degradierte überdurchschnittlich wasserversorgte, mässig nährstoffhaltige Standorte, schlickbeeinflusst – DM 1+» (Gürtler, Kopp, Schultz [4]) gehört. Der «Finowtaler Sand-Braunpodsol» ist eine der grossflächig verbreitetsten Bodenformen im nordostdeutschen Diluvium. Der Bodentyp wird als podsolige Braunerde mit Ap-Horizont bezeichnet. Die Humusform ist ein feinhumusarmer Rohhumus.

Bodenuntersuchungen ergaben im Mittel einen pH-Wert von 4,3 und einen Gesamtgehalt im HF-Auszug von 950 mg K/100 g Boden. Der Gehalt an pflanzenverfügbaren Nährstoffen betrug 13 mg P in 1%iger Zitronensäure, 0,8 mg K in 1%igem NH_4Cl und 0,7 mg Mg/100 g Boden nach Schachtschabel.

Die Mittelwerte vierjähriger Nadelanalysen der ungedüngten Weymouthskiefern lauten

1,45% N 0,17% P 0,30% K 0,31% Ca 0,12% Mg.

Im Jahre 1959 wurde der Versuch mit den Varianten

O	NP
K	NPK
Mg	NPMg
KMg	NPKMg

zu einer Weymouthskiefernkultur angelegt, die im Frühjahr des gleichen Jahres mit zweijährigen Sämlingen auf Ödland begründet worden war.

In den Jahren 1959 bis 1963 wurden auf den entsprechenden Varianten insgesamt folgende Reinnährstoffmengen verabreicht:

120 kg/ha N	in Form von schwefelsaurem Ammoniak bzw. Ammoniumnitrat
216 kg/ha P_2O_5	in Form von Superphosphat bzw. Natriumphosphat
360 kg/ha K_2O	in Form von Kaliumsulfat
120 kg/ha MgO	in Form von Kieserit bzw. technischem Bittersalz

Das Versuchsschema ermöglicht, durch die Gegenüberstellung der Varianten NP – O, NPMg – Mg, NPK – K und schliesslich NPKMg – KMg die mittlere Wirkung der Komponente NP aus 4 Vergleichen zu berechnen. Entsprechend lässt sich die K- und ebenso die Mg-Wirkung ermitteln (vgl. Tabellen 1–3).

Im Frühjahr 1967 bot sich dem Betrachter in bezug auf den Kurztriebverlust der Weymouthskiefer auf den einzelnen Varianten ein recht unterschiedliches Bild (Fig. 1–4). Während auf einigen Parzellen nur ganz vereinzelt Weymouthskiefern den 1966er Nadeljahrgang abgeworfen hatten, war der Anteil auf den anderen Parzellen erheblich grösser. Eine exakte Bonitierung des Anteils der Weymouthskiefern, die im Bereich der letzten Quirle zu 95–100% ihre Nadelmasse verloren hatten, wurde am 5. Juni 1967 vorgenommen. Die Auswertung des Zahlenmaterials gestattete eine Beurteilung des unterschiedlichen Einflusses der verabreichten Nährstoffe. Dabei diente die Anzahl der schüttenden Weymouthskiefern in Prozenten der Gesamtstammzahl/Parzelle als Vergleichsmaßstab.

Tabelle 1 Versuchsfläche Utpott 3. Anzahl der schüttenden Weymouthskiefern in Prozenten der Stammzahl/Parzelle

	O	K	NP-Wirkung Mg	KMg	ø
Ohne NP	16,9	2,4	27,3	0,4	11,7
Mit NP	9,0	1,6	22,7	1,2	8,6
Differenz	7,9	0,8	4,6	-0,8	3,1

Die Gruppierung der für die Varianten ermittelten Werte in der oben erwähnten Form ergab die in Tabelle 1 im einzelnen dargestellten NP-Wirkungen. Sie waren bei den unterschiedlichen Beidüngungen nicht einheitlich. Ein relativ starker Rückgang der schüttenden Kiefern trat durch die NP-Gabe ein, wenn keine weiteren Nährstoffe verabreicht worden waren. Dagegen blieben die Unterschiede zwischen den Versuchsgliederpaaren bei einer gleichzeitigen K-Düngung gering. Damit deutet sich die Tendenz an, dass bei dem bestehenden Kalimangel im Boden eine verbesserte NP-Versorgung zumindest indirekt den günstigen Einfluss des Kaliums auf die Verminderung des Schüttens der Weymouthskiefern unterstützte.

Tabelle 2 Versuchsfläche Utpott 3. Anzahl der schüttenden Weymouthskiefern in Prozenten der Stammzahl/Parzelle

	O	NP	K-Wirkung Mg	NPMg	
Ohne K	16,9	9,0	27,3	22,7	19,0
Mit K	2,4	1,6	0,4	1,2	1,4
Differenz	14,5	7,4	26,9	21,5	17,6+
	+ = P < 5%				

Der Nährstoff Kali besass im Vergleich zu der NP-Kombination einen erheblich grösseren positiven Effekt, der nicht mehr im Zufallsbereich lag (Tabelle 2). Wenn auch auf den Parzellen mit Kali schüttende Weymouthskiefern nicht vollkommen fehlten, so war deren Anteil im Verhältnis zu den vergleichbaren Versuchsgliedern ohne Kali nur unbedeutend. Selbst auf der Variante, die ausschliesslich Kali erhalten hatte und auf der die Nadeln infolge des starken Mg-Mangels zum grossen Teil gelb bis gelbgrün verfärbt waren, wiesen nur 2,4% aller Stämme einen 100%igen Kurztriebverlust auf. Besonders grosse Unterschiede zugunsten des Nährstoffes Kali bestanden zwischen den Flächen, auf denen eine Mg-Düngung verabreicht worden war.

Tabelle 3 Versuchsfläche Utpott 3. Anzahl der schüttenden Weymouthskiefern in Prozenten der Stammzahl/Parzelle

	O	NP	Mg-Wirkung K	NPK	ø
Ohne Mg	16,9	9,0	2,4	1,6	7,5
Mit Mg	27,3	22,7	0,4	1,2	12,9
Differenz	-10,4	-13,7	2,0	0,4	-5,4

Wird das vorliegende Zahlenmaterial für die Berechnung der Mg-Wirkung zusammengestellt, so ergibt sich im Mittel ein negativer Effekt des Nährstoffes Magnesium auf den Anteil der schüttenden Weymouthskiefern an der Gesamtstammzahl (Tabelle 3). Nach den zufriedenstellenden ertragskundlichen Befunden der letzten Jahre und dem deutlich positiven Einfluss der Mg-Gabe auf die Farbe der Nadeln überrascht dieses Ergebnis. Bei einer näheren Betrachtung der einzelnen Versuchsgliederpaare zeigt die durchschnittliche ungünstige Auswirkung jedoch eine starke Abhängigkeit von der verfolgten Beidüngung. Während ohne eine gleichzeitige K-Düngung eine deutliche Verschlechterung des Befallsbildes zu beobachten war, ist bei einer ausreichenden Kaliversorgung eine negative Mg-Wirkung nicht festzustellen. Dies kann als Hinweis dafür angesehen werden, dass auf diesem Standort mit einem unzureichenden Gehalt an pflanzenverfügbarem Kali eine Düngung mit dem als Antagonist wirkenden Magnesium ohne gleichzeitige Kaligabe die Versorgung der Pflanzen mit Kali verschlechterte bzw. einen verstärkten Kalimangel induzierte.



Fig. 1: Fast 17% der Weymouthskiefern schütten auf der ungedüngten Parzelle.

Fig. 2: Durch alleinige Kalidüngung Verringerung des Schütteprozentes auf 2 trotz starker Vergilbung der Nadeln infolge Mg-Mangels.



Fig. 3: Einseitige Mg-Düngung verbessert zwar gegenüber Ungedüngt den Zuwachs, das Schütte-prozent steigt jedoch auf über 22.

Fig. 4: Bester Zuwachs der zehnjährigen Weymouthskiefern mit gesunden, grünen, funktions-fähigen Nadeln auf der KMg-Variante mit einem Schütte-prozent von weniger als 1.

Nach den bisherigen Ausführungen kann gefolgert werden, dass ähnlich wie bei den Untersuchungen über die Beziehungen zwischen der «Dickungsschütte» der Kiefer im Herbst und der Nährstoffversorgung (*Brüning* [1, 2]) Kali auch für den Kurztriebabfall der Weymouthskiefer im Frühjahr 1967 eine zentrale Bedeutung besass und die Haftfähigkeit beeinflusste. Ein Vergleich des Nährstoffgehaltes der 1966er Nadeln der unterschiedlich gedüngten Weymouthskiefern mit der Intensität des Schüttens auf diesen Varianten bestätigt diese Vermutung. Während weder zwischen dem N- und P- noch zwischen dem Ca- und Mg-Gehalt der Nadeln eine eindeutige Beziehung zur Anzahl der schüttenden Weymouthskiefern bestand, war die Korrelation K-Gehalt und Schütten der Weymouthskiefern mit einem r -Wert von $-0,87$ hochsignifikant (Tabelle 4). Mit zunehmendem K-Gehalt der Nadeln blieb ein grösserer Teil der Kurztriebe an den Zweigen funktionsfähig. Nach dem Bestimmtheitsmass $B = 0,76$ lassen sich also 76% der Streuung der Schüttewerte aus der Veränderung des Kaliegehaltes in den Nadeln durch die Regression erklären. Inwieweit dabei für den K-Gehalt ein Grenzwert von Bedeutung ist, kann nach einem Beobachtungsjahr und der Vielzahl der einwirkenden Faktoren noch nicht mit Sicherheit gesagt werden. Erwähnenswert erscheint in diesem Zusammenhang jedoch, dass von den Jahren 1963–1966 der niedrigste mittlere K-Gehalt von 0,31% in den Nadeln 1966 festgestellt wurde. Interessant ist weiterhin, dass im gleichen Jahr bei einem K-Gehalt unter 0,30% eine deutliche Zunahme der schüttenden Kiefern zu beobachten war. Genauere Angaben können erst nach weiteren Untersuchungen erwartet werden.

Tabelle 4 Versuchsfläche Utpott 3. Beziehungen zwischen K-Gehalt und Schütten der Weymouthskiefern

	Mittel der Varianten mit K	Mittel der Varianten ohne K
K-Gehalt in Prozenten der T. M.	0,36	0,26
Stark schüttende WKi in Prozenten von N	1,4	19,0
$r = -0,87+++$ $B = 0,76+++$		

Ohne einen Vergleich mit den aus dem Herbst 1966 vorliegenden ertragskundlichen Werten könnte der Eindruck entstehen, dass auf diesem K- und Mg-armen Standort wider Erwarten lediglich die K-Düngung die Entwicklung der Pflanzen günstig beeinflusste. Es soll daher anhand einer Zusammenstellung ein Überblick über die Mg-Wirkung auf die Höhenentwicklung der zehnjährigen Weymouthskiefern vermittelt werden (Tabelle 5). Die mittlere Mehrleistung von 65 cm gegenüber den Mg-freien Varianten entspricht einer Steigerung von 76%.

Tabelle 5 Versuchsfläche Utpott 3. Differenz der Höhen zehnjähriger Weymouthskiefern in Zentimetern durch Mg-Düngung zu

O	NP	K	NPK	Ø
71,7	56,7	91,9	41,8	65,6

Dieser Erfolg scheint im Widerspruch zu den Befunden in bezug auf das Schütten der Nadeln zu stehen. Tatsächlich wirkte sich die Kalidüngung im Mittel weit stärker schüttelebensvermindernd, die Magnesiumdüngung dagegen im grösseren Masse zuwachssteigernd aus. Die zunächst in ertragskundlicher Hinsicht eindeutige Überlegenheit der Magnesiumwirkung auf diesem Mg- und K-armen Standort blieb auf die Dauer nicht erhalten. Insbesondere auf den unharmonisch gedüngten Parzellen litten die Weymouthskiefern stark unter dem Nadelverlust und waren zeitweilig ohne funktionsfähige Assimilationsfläche.

Eine umfassende Auswertung der Ergebnisse der Versuchsfläche Utpott 3 zeigt, ähnlich wie von *Brüning* [3] für die Kiefer wiederholt nachgewiesen, dass auf diesem Standort nicht eine Kali- oder Magnesiumdüngung, sondern nur die Kombination beider Nährstoffe auf die Dauer und mit der notwendigen Sicherheit die erforderliche Leistungssteigerung erreichte (Tabelle 6).

Tabelle 6 Versuchsfläche Utpott 3. Einfluss der KMg-Düngung auf das Schütten und die Höhe zehnjähriger Weymouthskiefern in Zentimetern

	Schütteleprozent		Höhe 1966	
	O	NP	O	NP
Mit KMg	0,4	1,2	158,9	146,6
Ohne KMg	16,9	9,0	83,5	89,9
Differenz	-16,5	-7,8	75,4	56,7

Bibliographie

1. *Brüning D.*: Einfluss einer mineralischen Düngung auf einen mit «Dickungsschütte» befallenen Kiefernbestand. *Allg. Forstztschr.* 19, Nr. 28, 422-423 (1964).
2. *Brüning D.*: Vorzeitiger Nadelabwurf in Kieferndickungen als Folge von Nährstoffmangel. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 21, Nr. 49, 855-856 (1966).
3. *Brüning D.*: Forstdüngungsversuche – ein Führer durch die Versuchsflächen im Raum Templin, Stendal und Aue (Erzgeb.). Stendal 1966.
4. *Gürtler Cbr., Kopp D. und Schultz K.*: Standortsgutachten für Düngungsversuchsflächen im StFB Templin. 6 S. Unveröffentlicht 1964.
5. *Hofmann G.* in: *Richter D. und Thondera A.*: Informationen der Hauptstelle für Forstlichen Pflanzenschutz (Jena), Nr. 26 (1966).

Diskussionsbeiträge zur Sitzung Nr. 5

Tagungsvorsitzender:
Professor Dr. F. RICHARD,
International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), Zürich (Schweiz)

Koordinator:
Professor Dr. R. BACH,
Agrikulturchemisches Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Zürich (Schweiz),
Mitglied des Wissenschaftlichen Beirats des IKI

Dr. G. W. Bengtson (Muscle Shoals/Alabama):

As many of you know, there is presently a great deal of interest and activity in forest fertilization in North America. Recognizing the need for an exchange of available research information, as you have here in Europe, the *National Fertilizer Development Center* of the *US TVA* (Tennessee Valley Authority) in co-operation with the *US Forest Service* and the *University of Florida* sponsored a Symposium on Forest Fertilization at the University of Florida in April, 1967.

Papers were presented by some 37 American workers in this field. We also enjoyed a lecture on forest fertilization in Europe by Professor *Tamm*.

We are presently preparing the proceedings of this symposium for publication. The book should be ready in November of this year. If you would like further information on these proceedings, please sign the list in the lobby. Other publications of TVA concerning fertilizer development and use and forestry-related activities are also available there.

This has been a very stimulating meeting for me. I extend my sincere thanks to the sponsors of this Colloquium for their invitation and to you for this opportunity to speak. I hope each of you will visit us in the United States.

Dr. St. Hagner (Sundsvall):

When studying changes in wood properties due to manuring it is important to isolate the changes to the extra wood produced and not just describe all wood produced after the treatment. Basic density for instance decreases normally after fertilization. The decrease however often does not seem so severe when looking upon the total production, but can be quite considerable when isolating it to the extra wood production. Example:

Increment due to fertilization	Change in basic density	'Dry matter value' of extra wood produced compared to 'normal wood'
30%	- 2%	91%
30%	-10%	57%
100%	- 2%	97%
100%	-10%	80%

Mr. W. Zech (München):

Beim Studium der Mangelsymptome kommt es nicht nur darauf an, die Symptome zu diagnostizieren, ihren Verlauf zu verfolgen. Es ist ebenso wichtig, die physiologischen Zusammenhänge zu verstehen. Bisher beobachtete ich bei P-Mangel kleine violettgrüne Nadeln, was verständlich ist, denn P-Mangel bedeutet relativen N-Überschuss.

Wie erklären Sie sich die Entstehung purpurroter Nadelspitzen an Kiefer (im Kulturalter) bei Phosphormangel?

Mr. lic. A. Reinikainen (Helsinki):

The purple colouring of needle tips and the necrosis of the needles of scots pine at Kivisuo experimental area are connected with frost, i.e. they are freezing-damages. The disposition to frost damages seems to increase with lack of phosphorus. Thus, the damages in question are also symptoms of deficiency of phosphorus, especially in very extreme conditions of the experimental field of Kivisuo peat bog.

Prof. Dr. L. Schmitt (Darmstadt):

Haben Sie Ihre Pflanzen «ohne Kali» und «mit Kali» auf Inhaltsstoffe, insbesondere auf Zucker und Stärke, untersucht? Wir haben in Darmstadt vor 20 Jahren an landwirtschaftlichen Kulturen (insbesondere Gerste) gefunden, dass die Kalimangelpflanzen mehr Zucker enthalten als die «mit Kali». Die Assimilation geht also bei Kalimangel nicht bis zur Stärke, sondern sie bleibt im «Zucker stecken».

Dr. Brüning (Stendal):

Spezielle Untersuchungen bezüglich Zuckergehalt der Roteichenblätter von unserer Versuchsfläche liegen uns noch nicht vor. Aus den einschlägigen Arbeiten von *Fritzsche, Wolfgang, Opel, Klein, Schwenke* u. a. geht hervor, dass bei Kalimangel oder Stickstoffüberdüngung relativ hohe Gehalte an reduzierbaren Zuckern bei den verschiedenen Versuchspflanzen gefunden wurden. Diese Ergebnisse bestätigen demnach die von Herrn Prof. Dr. Schmitt genannten Beobachtungen.

Mr. K. Mustanoja (Helsinki):

Genetic aspects of forest fertilization research have been commented on in several papers. Since it is probable that the trees we fertilize tomorrow will be highly developed, superior varieties, I would, however, like to see more joint work done in forest fertilization and tree breeding. In addition to the disease resistance aspects discussed by Prof. Björkman, a large part of the work, from the genetic standpoint, will be to increase wood production and improve its quality. I wonder, whether Prof. Björkman could discuss the possibilities to breed trees with excellent quality wood and with a high production capacity, plus excellent disease resistance, that will be able to utilize fertilizers more fully than the ones we have to put up with today.

Prof. Dr. E. Björkman (Stockholm):

The question if forest fertilization can be combined with tree breeding for resistance to diseases can be answered like this. Even if fertilization especially with nitrogen in certain cases can stimulate attacks by for example parasitical rot fungi, the supply of

additional nutrients to the forests should be looked upon positively and the occurrence of more resistant individual trees must be investigated.

Mr. C. P. van Goor (Wageningen):

As you mentioned in your paper, the attack by *Fomes annosus* is influenced by ecological factors, among which pH of soil is most important. In Holland we made an ecological research that indicated that not only the pH, but also or even instead, the humus conditions determine the conditions for F.a. attack.

The work of Risbeth and others led to some control methods, which can however be applied limited. We have therefore to be careful, at least here in our country, not to promote the risks of F.a. attack (in particular on the poor and dry soils) by uncaredful soil improvement. What is your opinion in relation to the fertilization carried out now in respect to risks of F.a. attack?

Mr. I. Palenius (Helsinki):

1. In our investigation two comparisons were made simultaneously. a) Comparison within the tree: The wood material grown after applying fertilizer was compared with the wood of the same trees grown prior to fertilization. In samples taken from unfertilized areas, the corresponding year rings were compared. b) Between the trees comparison: Respective sections in fertilized and unfertilized trees have been compared. In this way the fact, that the newly grown portion of a tree is different from the earlier one has been taken into account.

2. The results (Table 2) show, that the density of swamp pine wood grown *after applying fertilizer* has been *higher* than before fertilization, i. e. mean value of the density of part A is higher than that of part B (fig. 1). In *unfertilized* trees (Samples 25-30) the density of the fresh growth is in general *lower* than that of the older growth. Since the difference of the densities is obvious and the pulping yield bases on dry weight of wood changed only a little, one *could* conclude, that the volume consumption of wood per ton of pulp of newly grown wood in *fertilized swamp* pine will be lower than the volume consumption of newly grown wood in unfertilized swampland pine.

3. In highland pine and spruce as well as in swamp spruce the density of part A is in average lower than that of part B (fig. 1). When the respective pulping yields are considered, it can be noticed that the consumption of wood will *increase* if the fresh growth is used. Highland spruce was an exception. This increase of the consumption per ton of pulp is the same or smaller in the fertilized trees as in the unfertilized ones. The trees from the highland districts were, however, used only as reference samples.

4. Based on these results we have drawn the conclusion that the pulping yield per cubic metre solid mass of Finnish softwood grown on marshy ground *does not decrease* by fertilization.

Prof. Dr. E. Björkman (Stockholm):

We know very little about the risks of *Fomes annosus* attack by fertilizing of forest soils but we follow the growth of the decay in living trees on experimental plots of varying ages. These plots are situated on different types of soil. So far we have found no proofs for a decay-stimulating effect of the fertilization, but if we should find that, we will recommend reduced forest fertilizing with nitrogen.

Zusammenfassendes Referat des Koordinators und des Vorsitzenden von Sitzung Nr. 5

Vorgetragen von Herrn Professor Dr. R. BACH

1. Die Düngung beeinflusst nicht nur das Wachstum und den physiologischen Gesundheitszustand der Waldbäume, sondern auch deren *Befall durch tierische und pflanzliche Schädlinge*. In der Regel werden Bäume, die gut, d. h. reichlich und ausgeglichen, ernährt sind, von Insekten weniger befallen als schlecht ernährte Bäume. Beim Pilzbefall ist es manchmal gerade umgekehrt. Eine übermässige Stickstoffernährung wirkt sich auf den Schädlingsbefall meist ungünstig aus.

Der Schädlingsbefall hängt übrigens sehr stark auch von *anderen Standortsfaktoren*, vor allem vom Wetter, ab. Darüber geben die meisten Versuchsberichte aber ungenügend Auskunft. Und doch lassen sich Versuchsergebnisse in der Praxis und im wissenschaftlichen Vergleich nur dann auswerten, wenn die Versuchsbedingungen eindeutig, d. h. umfassend und genau genug, definiert sind. Wenn dies nicht der Fall ist, so sind die Versuche im Grunde genommen wertlos.

Die *kausalen Beziehungen* zwischen Düngung und Schädlingsbefall sind bisher noch wenig bekannt. In den meisten Fällen müssen sie mit zytologischen und biochemischen Methoden erst noch erforscht werden. Dies gilt auch von der erbten und von der erworbenen Immunität. Kennt man einmal die kausalen Beziehungen, so können die Düngemittel gezielt und mit grösseren Erfolgsaussichten eingesetzt werden.

2. Die *Qualität des Holzes* wird durch eine ausgeglichene Düngung in mancher Beziehung eher verbessert. Die Qualitätsveränderung ist bisher wenig erforscht und bei der Düngung meistens vernachlässigt worden. Wie bei den landwirtschaftlichen Produkten schon heute, so dürften in Zukunft auch beim Holz die Qualitätsansprüche steigen, und die Holzproduzenten sollten sich beizeiten darauf vorsehen.

3. Vom *wirtschaftlichen Standpunkt* aus scheint sich eine richtige Düngung am ehesten bei der Pflanzennachzucht und bei Aufforstungen bezahlt zu machen. Zur Vermehrung der Holzproduktion kommt sie anscheinend nur dort in Frage, wo der Boden nährstoffarm ist, die übrigen Produktionsbedingungen aber günstig sind. Exakte Berechnungen über den wirtschaftlichen Erfolg der Walddüngung liegen aber nur sehr wenige vor. Und doch kann man die Walddüngung mit gutem Gewissen nur dann empfehlen, wenn die Bedingungen genau bekannt und dafür exakte wirtschaftliche Berechnungen über Aufwand und Ertrag vorliegen. Neben der reinen Volumenzunahme sollten dabei auch die Durchmesserzunahme und die Verkürzungen der Umtriebszeit berücksichtigt werden.

4. *Nährstoffmangel* wird durch *morphologische* Symptome angezeigt, und zwar nicht bloss von den Bäumen, sondern auch von der natürlichen Strauch- und Krautvegetation. Die Mangelsymptome sind aber nicht immer eindeutig und müssen darum sehr kritisch bewertet werden.

Closing Address

Prof. Dr. V. HOLOPAINEN, Director of the Finnish Forest Research Institute, Chairman of the Colloquium, Helsinki

Mr. President, Ladies and Gentlemen,

We have now concluded our business. I think we all agree that we have had a very useful meeting, a colloquium, which has greatly improved our knowledge of forest fertilization.

The credit for the success of this colloquium is due in the first place to the authors of the papers. I am not competent to answer for the scientific value of these papers, but even a layman can easily realize that a tremendous amount of serious research work is embodied in them. They have thrown light on the subject from various angles and have stimulated intensive discussion. Such discussion, for its part, has provided additional information and may have revealed some gaps in our knowledge, gaps to be filled in the subsequent research work. I warmly thank the authors of the papers for their contribution to the success of this colloquium. I also wish to thank once again the chairmen of the sessions and their co-ordinators for the excellent job they have done.

When returning to the discussions, I have noted that the professors, in particular, have been busy in putting questions to each other and in exchanging comments. The old definition of a professor – Professor ist der Mann, der anderer Meinung ist – has once again proved valid, and we have benefitted a lot from the principle so succinctly expressed by it. Thank you, my good professors, and other participants for your keen interest in the proceedings and for your willingness to elaborate on these vital problems of forestry.

An international gathering of this size could not have been possible without a devoted sponsor. We research workers must often appeal to the Ministry of Finance and I may be right in assuming that government bodies are not – for very obvious reasons – too generous in providing money for our international activities. We are, therefore, grateful to IPI, to its President and his colleagues, for taking the initiative in arranging this colloquium and for their very careful work in executing it.

Finland had the honor to be the host country of this meeting. I am sure we Finnish forest scientists understand, at least today, if not earlier, that this has been a great privilege for us and that this pleasant duty will benefit us in many ways. May I stress particularly one aspect.

In a remote country like Finland, the danger of becoming isolated from scientific activity elsewhere is quite obvious. Isolation, on the other hand, easily leads to a dangerous 'self-sufficiency'. A high-level international colloquium like this is perhaps the best means to dispel any such climate of isolation. I wish to express the thanks of Finnish forest scientists for the healthy 'ventilation', that you, our honoured guests, have given us during these days. What we have given in return is very modest and we feel that we owe a deep debt of gratitude to all of you.

Thank you for coming to Finland, thank you for your stimulating presence at this colloquium.