

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.*). AFZ 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 Probestämmen des Düngungsversuches Ellingen. Schriftliche Mitteilungen 1967.

Düngungsversuche und ihre ertragskundliche Interpretation

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

Separatdruck aus:
Bericht über das Kolloquium für Forstdüngung,
Jyväskylä / Finnland 1967

Herausgegeben durch:
Internationales Kali-Institut, Bern / Schweiz

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, letztpendulischer Aushieb u. a. m. – zusätzlich berücksichtigen zu müssen. Ein solcher Vergleich setzt einen

hohen Übereinstimmungsgrad der Ertragsselemente 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 Ertragsselementen 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 Ertragsselemente 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 (*Bebrndt* [8, 10]). Er gehört zu einer Reihe eindrucksvoller Düngungs- und Meliorationsversuche, die im wesentlichen gleichzeitig mit den Aufforstungen begründet worden sind (*Barelmann* [3, 4], *Bebrndt* [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 Standortsbeschreibung des Versuchsanstellers (vgl. *Baule* und *Fricke* [7], S. 123–125) – auf einem altdiluvialen Grundmoränenstandort mit ca. 1½–2 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 Kiefersämlinge auf Waldpflugstreifen im Verband 1,3 × 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 *Fricke* ([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	NPBK _{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 *Fricke* [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 *Fricke* 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:

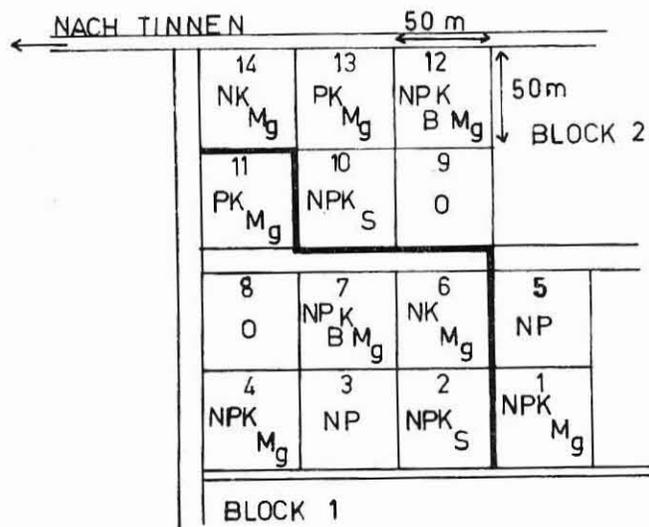


Bild 1: Lageplan des Kiefern-Kulturdüngungsversuches Tinnen (Emsland).

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

Gesamtzufuhr von Reinnährstoffen je ha 1957–1962:

N = 250 kg
P₂O₅ = 180 kg
K₂O = 450 kg

Als Düngemittel wurden verwendet:

N als Kalkammonsalpeter mit 20,5% N
P als Rhenaniaphosphat mit 23–25% P₂O₅
P_B als Bor-Rhenaniaphosphat mit 21–23% P₂O₅ und 6,5% Borax
K_{Mg} als Kalimagnesia (Patentkali) mit 26–30% K₂O und 9% MgO
K_S als Kalisulfat mit 48–52% K₂O

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 Höhenschichten 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 NP_BK_{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 Höhenschicht

Dagegen haben sich die Bäume aus der oberen Höhenschicht, 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 Konstanthaltung 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

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

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

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	
1	4	NP _B K _{Mg}	1,92	103	1	NP _B K _{Mg}	1,91	124	NP _B K _{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 Probestämmen 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. Rao 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
NP _B K _{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
NP _B K _{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 NP_BK_{Mg}-Parzellen geleistet ($\bar{b}_h = 99,1$). Sie betragen 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 ($b_h = 97,1$; $z_h = 19,77$ 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 entstanden 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 Höhenwuchstumsgang 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 Höhenwuchstumsgang 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 Probestämmen 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} korrr. zwischen	S _{bb} korrr. 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	33,52

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

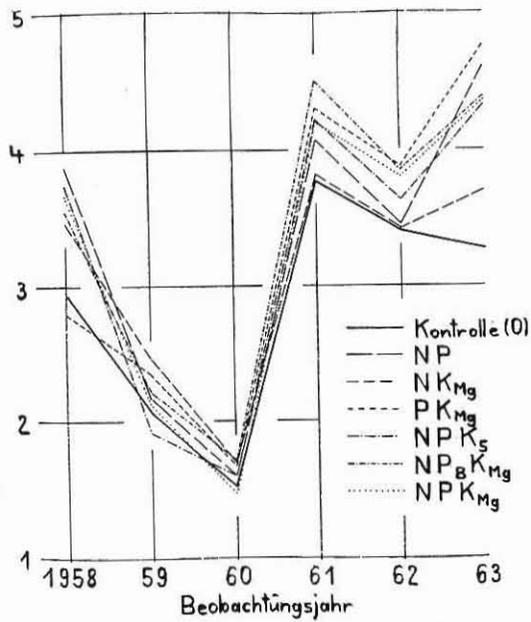


Bild 2: Kiefern-Düngungsversuch Tinnen; Höhenzuwachs 1958–1963 der Oberschicht.

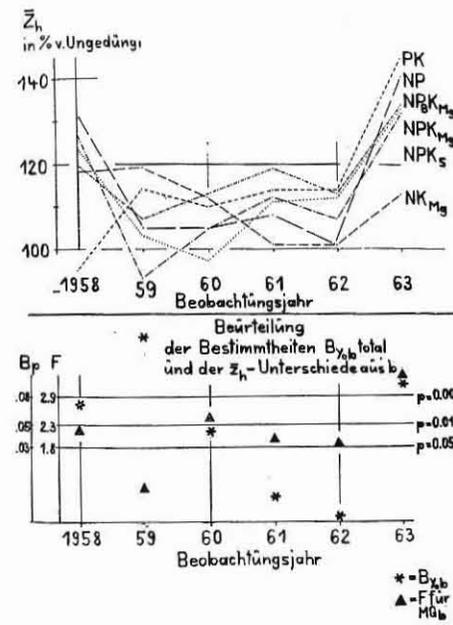


Bild 4: Kiefern-Düngungsversuch Tinnen; relativer Höhenzuwachs 1958–1963 der Oberschicht.

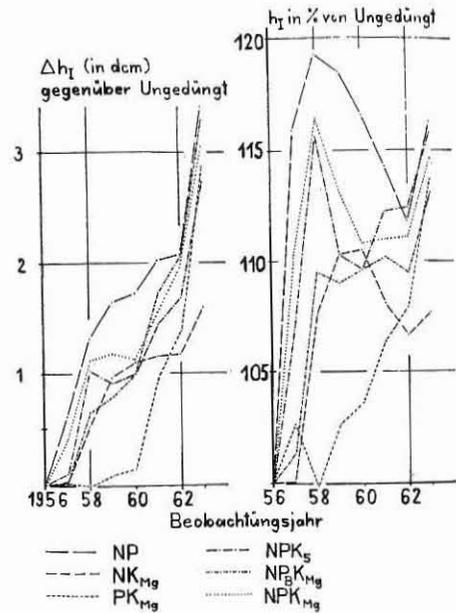


Bild 3: Kiefern-Düngungsversuch Tinnen; Höhenentwicklung der Oberschicht im Vergleich zu «ungedüngt».

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 (innerhalb) = 0,0581, B (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. Standortsgeographisch 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 Dauerküpingen eingesät, die sich auf den Gedüngt-Parzellen ohne wesentliche Unterschiede gut entwickelten, auf Ungedüngt jedoch bald völlig ausfielen.

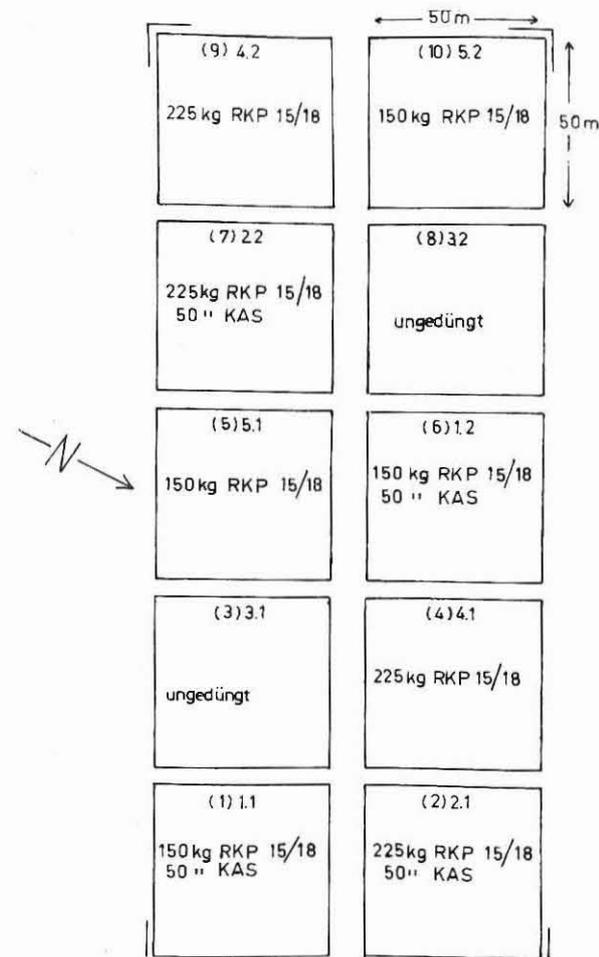


Bild 5: Lageplan des Kiefern-Bestandsdüngungsversuches Ellingen (Bayern).

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

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 Ertragsselemente 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 Ertragsselemente

h_m , Mittelhöhe des verbleibenden Bestandes bei Versuchsbeginn
 G , 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 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 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. Eingeebene 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*		
				F (4,2) = 19,25 für p = 0,05		
					1,0361	4
						0,2590

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. unkor.	Rang-Nr. korr.
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 Zuwachseleistungen, 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 Zuwachseleistung und dem Ernährungszustand der Versuchsglieder am Ende der Zuwachsperiode zu erhalten, wurden die korrigierten Zuwächse mit den Nadelspiegelwerten 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 Themlitz 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 Ertragsselemente 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 Ertragsselemente 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_BK_{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 Volumenzuwächse 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.