

ONLINE-BESTELLUNG dokumentUM



TUM-000010581

Bestelldatum: 2008-04-14 09:31:13

Benutzernummer 04000708503
Name Klemmt

Straße TU-Weihenstephan Hauspost
Postleitzahl 85350
Ort/Stadt Freising
E-Mail-Adresse stefan.stelzmueller@lrz.tum.de

Unter Anerkennung des Urheberrechtsgesetzes wird bestellt:

ISSN 0015-8003
Zeitschrift Forstwissenschaftliches Centralblatt
Aufsatz-Autor Preuhler
Aufsatz-Titel Ueber die Melioration degradierter Kiefernstandorte (Pinus sylv. L.) in der Obe

Band/Heft 101(6)
Jahrgang 1982
Seiten 388-407

Signatur 1006/FOR 001z 20018

Vermerk der Bibliothek

- Jahrgang nicht vorhanden
- verliehen
- nicht am Standort
- beim Buchbinder
- vermißt
- Sonstiges

Über die Melioration degradierter Kiefernstandorte (*Pinus sylv. L.*) in der Oberpfalz¹

Von T. PREUHSLER und K. E. REHFUESS

1 Problemstellung

Kiefernbestände stocken häufig auf von Natur aus nährstoffarmen Standorten oder auf Böden, die durch menschliche Bewirtschaftung degradierten. Ihre Substrate sind oft stark sauer, arm an verfügbarem Stickstoff, Phosphor, Calcium und Magnesium. Sie tragen über sehr verschiedenartigem Mineralkörper meist biologisch inaktiven, ungünstigen Auflagehumus.

Die Melioration, das ist das nachhaltige Verbessern der Bodenfruchtbarkeit auf solchen Standorten, beschäftigt die Boden- und Waldwachstumskunde seit langem. Bis vor kurzem versprach man sich den größten Nutzen von einer Melioration während der Verjüngungsphase. Kalkung, Phosphatgaben und mehr oder minder intensive Bodenbearbeitung auf der Kahlfäche oder im vorgelichteten Altbestand waren und sind zum Teil noch gängige Verfahren.

Zahlreiche bodenkundliche und produktionsbiologische Studien zeigten indessen, daß intensive Bodenbearbeitung auf der Freifläche das Bodengefüge nur relativ schwach ver-

¹ Nach Vorträgen anlässlich der Forstlichen Hochschulwoche in München am 28. 10. 1981.

besserte. Auch das Wachstum der Folgekultur war im Vergleich zu konventionell begründeten Kiefernbeständen mit extensiver oder fehlender Bodenbearbeitung nur begrenzt gefördert (vgl. REHFUESS 1981a). Die kostspielige Maßnahme führte andererseits insbesondere in Kombination mit Kalk- und Phosphatgaben gewöhnlich zu beachtlichen Humus- und Stickstoffverlusten vor allem aus der organischen Auflage. Auf durchlässigem Substrat können Grund- und Oberflächenwässer mit Nitrat kontaminiert werden. Deshalb wird jetzt angeregt, Meliorationen möglichst noch im geschlossenen Bestand (Baumholzphase) durchzuführen. Hier besteht am ehesten die Gewähr, daß die verabreichten oder durch Stimulieren der biologischen Bodenaktivität freigesetzten Nährstoffe im Ökosystem verbleiben und in Mehrzuwachs sowie höhere Abtriebsерlöse umgesetzt werden. Auf intensive Bodenbearbeitung ist dabei weitgehend zu verzichten, um Wurzelschäden und hohe Kosten zu vermeiden. Es scheint vernünftiger zu sein, sich mehr auf die Wechselwirkungen von wohl dosierter Nährstoffzufuhr und Durchforstung zu verlassen, welche das Wärme- und Wasserangebot am Boden reguliert.

Für eine derartige Melioration in älteren Kiefernbeständen bieten sich unter süddeutschen Verhältnissen im wesentlichen drei Verfahren an:

- a. Im Abstand von 5 – 7 Jahren wiederholte *Stickstoffdüngung mit Ammonium-Nitrat* (Kalkammonsalpeter). Dieses Verfahren wird derzeit in Bayern wie auch in Schweden großflächig angewandt (FRANZ u. BIERSTEDT 1975; HOLMEN 1974).
- b. Das gemeinsame Ausbringen von Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium (= *Volldüngung*), gekoppelt mit Kalkgaben zur Erhöhung von pH und biologischer Aktivität im Oberboden. Dieses Vorgehen wird jetzt kaum praktiziert, weil fast alle neueren Düngungsversuche in bayerischen Kiefernbeständen (ZÖTTL u. KENNEL 1962; KENNEL u. WEHRMANN 1969; KENNEL 1967; KREUTZER 1967; REHFUESS u. SCHMIDT 1971; FRANZ u. BIERSTEDT 1975) zu dem Schluß berechtigten, Stickstoff sei fast überall und jedenfalls zunächst das einzige wachstumsbegrenzende Nährelement. Man konnte bislang davon ausgehen, die verfügbaren P-, K- und Mg-Vorräte würden, abgesehen von Sonderstandorten, zumindest für mehrere Jahrzehnte auch nach Stickstoffdüngung für eine gute Wuchsleistung der Kiefer ausreichen. Nur in einem einzigen bayerischen Experiment (KENNEL u. WEHRMANN 1967) hatte wiederholte Stickstoffdüngung in extrem hoher Dosierung (je 300 kg N/ha in vier aufeinanderfolgenden Jahren) die P-, K-, und Mg-Spiegelwerte der Kiefern durch Verdünnung absinken lassen und Ernährungsstörungen ausgelöst.
- c. Der *Unterbau von Kiefernbeständen mit Dauerlupine*. Er setzt allerdings intensive Bodenbearbeitung und kräftige CaP-Düngung voraus. Dadurch entstehen erhebliche Wurzelwunden (vgl. REHFUESS u. SCHMIDT 1971). Dieses Verfahren wurde zwischen 1950 und 1970 in der Oberpfalz auf großen Flächen angewandt. Später führten die hohen Kosten, eingetretene Mißerfolge und die ersten Ergebnisse neu angelegter Versuche dazu, daß auch der Lupinenunterbau derzeit kaum praktiziert wird.

Die wiederholte Auswertung einiger langfristiger Experimente in der Oberpfalz erlaubt es jetzt, zur Frage der Melioration älterer Kiefernbestände erneut Stellung zu nehmen. Insbesondere gilt es zu prüfen, wie der verbreitete N-Mangel am zweckmäßigsten beseitigt wird und ob die früher berechnete Entscheidung für eine reine Stickstoffdüngung heute noch aufrecht erhalten werden kann. Dies ist auch deshalb erforderlich, weil der Stickstoff noch aufrecht erhalten werden kann. Dies ist auch deshalb erforderlich, weil der Stickstoffeintrag in die Wälder aus der Atmosphäre mit dem Freilandniederschlag inzwischen die Größenordnung einer praxisüblichen Düngung erreicht.

2 Ausgewertete Versuche

Die Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt und die Lehrstühle für Bodenkunde und für Waldwachstumskunde der Universität München verfügen über drei Versuche, welche die aufgeworfenen Fragen zu beleuchten gestatten. Im einzelnen handelt es sich um folgende Anlagen (die in den Versuchsplänen auf Abbildung 1 dargestellt sind):

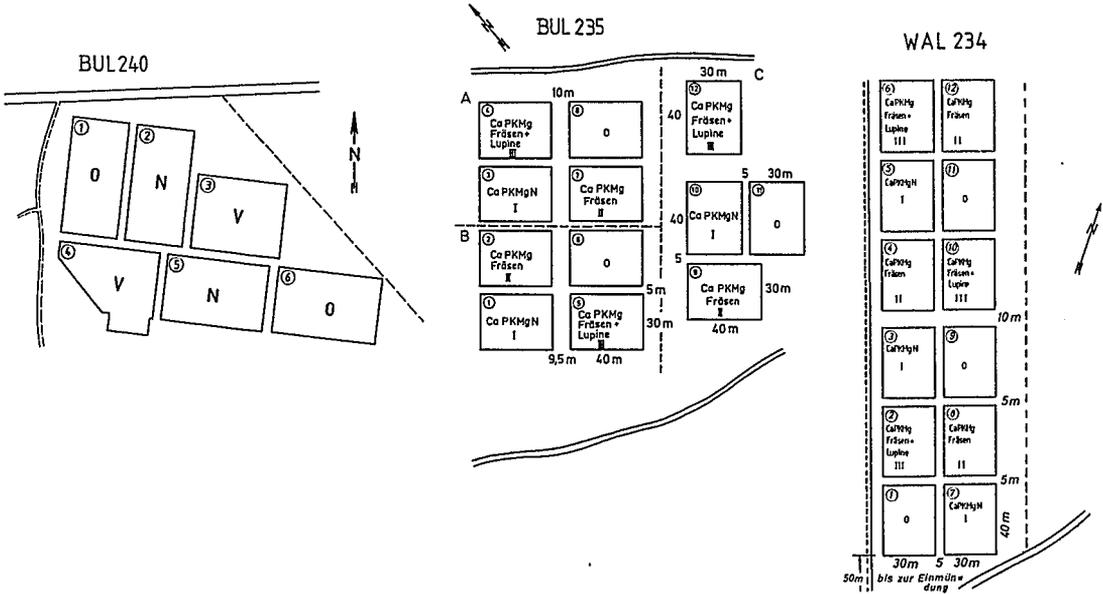


Abb. 1. Versuchsplan für die Düngungsversuche BUL 240 Forstamt Burglengelfeld, Abt. II 4b Eichenhänge, BUL 235 Forstamt Pfreimd, Abt. I 2b Pustert und WAL 234 Forstamt Waldsassen, Abt. I 5b Pfaffenwinkel

Fig. 1. Fertilization research plots BUL 240 (Burglengelfeld), BUL 235 (Pfreimd) and WAL 234 (Waldsassen)

Düngungsversuch BUL 240 Eichenhänge (FoA Burglengelfeld)

Der Versuch wurde 1961 in einem damals 54jährigen Kiefernstangenholz mit etwa IV, 2. Bonität (WIEDEMANN 1943 m. Df.) auf streugenutzter Podsol-Braunerde (z. T. pseudovergleyt) aus sandigen und tonigen Kreideschichten angelegt. Er umfaßt als Blockversuch die drei Versuchsglieder

- O = Kontrolle
- N = N(Ca)-Düngung
- V = NPKMg(Ca)-Düngung

mit jeweils zwei Parzellen von 0,25 ha Größe.

In Tabelle 1 sind Art und Zeitablauf der Düngung (Versuchsplan: J. WEHRMANN/F. FRANZ) dargestellt.

Düngungsversuch BUL 235 Pustert (FoA Pfreimd, früher Burglengelfeld)

Dieser Versuch wurde 1964 in einem durchschnittlich 81jährigen Kiefernbaumholz mit etwa III,8. Bonität (WIEDEMANN 1943 m. Df.) begonnen. Es stockt auf Podsol-Pseudogley aus tonig verwitterten Kreidesedimenten mit Staublehmdecke. Der Blockversuch umfaßt folgende vier Versuchsglieder (vgl. REHFUESS und SCHMIDT 1971)

Tabelle 1

Beschreibung der Düngungsvarianten im Experiment
 BUL 240 Eichenhänge (Nährelementmengen in kg/ha)
 Description of fertilizer treatments in experiment
 BUL 240 Eichenhänge (nutrient amounts in kg/ha)

Termin	Versuchsglied	
	N	V
5.61	100 N 66 Ca	100 N 79 P 116 K 30 Mg 290 Ca
6.62	100 N 66 Ca	100 N 79 P 116 K 30 Mg 290 Ca
5.63	100 N 66 Ca	100 N 79 P 232 K 60 Mg 290 Ca
5.72	120 N 66 Ca	120 N 79 P 208 K 48 Mg 290 Ca
Insgesamt	420 N 264 Ca	420 N 316 P 672 K 168 Mg 1160 Ca

N als Kalkammonsalpeter (4 × 5 DT/ha); P als Superphosphat (4 × 10 DT/ha); KMg als Patentkali (zus. 30 DT/ha); Ca im Kalkammonsalpeter bzw. Superphosphat

- = Kontrolle
 I = CaPKMg-Grund- und 3fach wiederholte Stickstoffdüngung
 II = CaPKMg-Grunddüngung, Fräsen
 III = CaPKMg-Grunddüngung, Fräsen und Lupinenunterbau

in 3facher Wiederholung mit Parzellengrößen von je 0,12 ha.

Tabelle 2 informiert über die einzelnen Meliorationsmaßnahmen (Versuchsplan: K. E. REHFUESS/R. KENNEL/A. SCHMIDT).

Düngungsversuch WAL 234 Pfaffenwinkel (FoA Waldsassen)

Ein Parallelversuch zu 235 Pustert wurde ebenfalls 1964 in einem durchschnittlich 86jährigen Kiefernbaumholz mit etwa IV,6. Bonität (WIEDEMANN 1943, m. Df.) auf Podsol-

Tabelle 2

Beschreibung der Meliorationseingriffe im Experiment BUL 235 Pustert
Description of the amelioration procedures in experiment BUL 235 Pustert

Versuchsglied	Verabreichte Nährelementmengen und Termine (Mengen in kg/ha)			
	4. + 5. 1964	5. 1966	5. 1972	Insgesamt
I				
CaPKMg+N	Ca 1710	60	75	1845
	P 70	—	—	70
	K 90	—	—	90
	Mg 20	—	—	20
	N 110	110	150	370
II				
CaPKMg	Ca 1650	—	—	1650
Fräsung	P 70	—	—	70
	K 90	—	—	90
	Mg 20	—	—	20
	N —	—	—	—
III				
CaPKMg	Düngung wie II			
Fräsung Lupine	Lup. 20			
Ca als CaCO ₃ (40 DT/ha), Thomasphosphat und Kalkammonsalpeter; P als Thomasphosphat (10 DT/ha); K + Mg als Patentkali (4 DT/ha); N als Kalkammonsalpeter (3 × 5 DT/ha).				

Braunerde aus schluffiger Phyllitverwitterung angelegt (vgl. REHFUSS u. SCHMIDT 1971). Diesem Versuch liegt der in Tabelle 2 bereits beschriebene Versuchsplan für 235 Pustert zugrunde. Die einzige Abweichung besteht in einer zusätzlichen Düngung 1967 mit drei dt/ha Superphosphat auf den Versuchsgliedern I, II und III. Sie war nötig, um das bis dahin unbefriedigende Lupinenwachstum im Versuchsglied III zu stimulieren und wurde der Vergleichbarkeit wegen auch auf den Versuchsgliedern I und II durchgeführt. Die insgesamt verabreichten P- und Ca-Mengen erhöhten sich dadurch um 25 bzw. 45 kg/ha.

3 Methodik

Die ertragskundliche Grundaufnahme des *Düngungsversuches BUL 240 Eichenhänge* erfolgte im Frühjahr 1966, kombiniert mit einer retrospektiven Erfassung der Bestandeswerte bis 1951 über Zuwachsbohrungen. Anschlußaufnahmen wurden 1972 (Frühjahr 1972) und 1978 (Herbst 1977) durchgeführt (angegeben ist der Beginn des auf die Aufnahme folgenden Zuwachsjahres, in Klammern der tatsächliche Aufnahmezeitpunkt im Herbst des Vorjahres oder im Frühjahr des laufenden Jahres). Bis zur Aufnahme 1978 fielen auf allen Parzellen lediglich ZE-Entnahmen an. Im Anschluß an die letzte Aufnahme sorgte eine starke Durchforstung für Stammzahlgleichstellung nach einem verbesserten Versuchs-konzept, das kürtig den Vergleich zwischen den Düngungsvarianten erleichtern soll.

In der Auswertung werden die bis zur Aufnahme 1978 gewonnenen Versuchsdaten berücksichtigt, mithin ein 27jähriger Beobachtungszeitraum (1951–1978) mit fünf Zuwachsperioden, von denen zwei vor den ersten Düngungsmaßnahmen und drei im nachfolgenden Zeitraum liegen.

Im *Düngungsversuch BUL 235 Pustert* erfolgten die ertragskundliche Grundaufnahme bei Versuchsanlage im Frühjahr 1964, die Anschlußaufnahmen im 5jährigen Zyklus 1969 (H

68), 1974 (F 74) und 1979 (F 79). Nach jeder Aufnahme wurde eine mäßige Durchforstung durchgeführt, lediglich nach der letzten Aufnahme 1979 eine starke Durchforstung wiederum zur Stammzahlgleichstellung.

Die Auswertung umfaßt somit einen 15jährigen Beobachtungszeitraum (1964 – 1979) mit drei 5jährigen Zuwachsperioden ab Beginn der Düngungsmaßnahmen.

Im *Düngungsversuch WAL 234 Pfaffenswinkel* wurden die ertragskundliche Grundaufnahme ebenfalls bei Versuchsbeginn im Jahr 1964 (H 63) durchgeführt, die Anschlußaufnahmen 1967 (F 67), 1970 (H 69), 1974 (F 74) und 1979 (H 78). Auch hier erfolgten in Verbindung mit den Aufnahmen mäßige Durchforstungen und 1979 zur Stammzahlgleichstellung eine starke Durchforstung.

Die Auswertung behandelt ebenfalls einen 15jährigen Beobachtungszeitraum mit zwei 3jährigen, einer 4jährigen und einer 5jährigen Zuwachsperiode.

Über die Verfahren der ernährungs- und ertragskundlichen Versuchskontrollen und über die ertragskundlichen Auswertungsmethoden informiert eine frühere Veröffentlichung (REHFUESS und SCHMIDT 1971).

4 Ertragskundliche Ergebnisse

In den folgenden Abbildungen sind die Aufnahmezeitpunkte durch die Angabe der Jahreszahlen in der Abszisse und die Düngungszeitpunkte durch Pfeile gekennzeichnet.

4.1 Die Bestandeshöhen

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der *Bestandesmittelhöhen* (h_m) der Versuchsglieder für die drei Düngungsversuche. Die Stufen in der Höhenentwicklung beruhen auf rechnerischen Verschiebungen der h_m -Werte infolge der ZE-Entnahmen oder Durchforstungen nach jeder Aufnahme. Der häufig nach Beendigung der Streunutzung beobachtete Bonitäts-

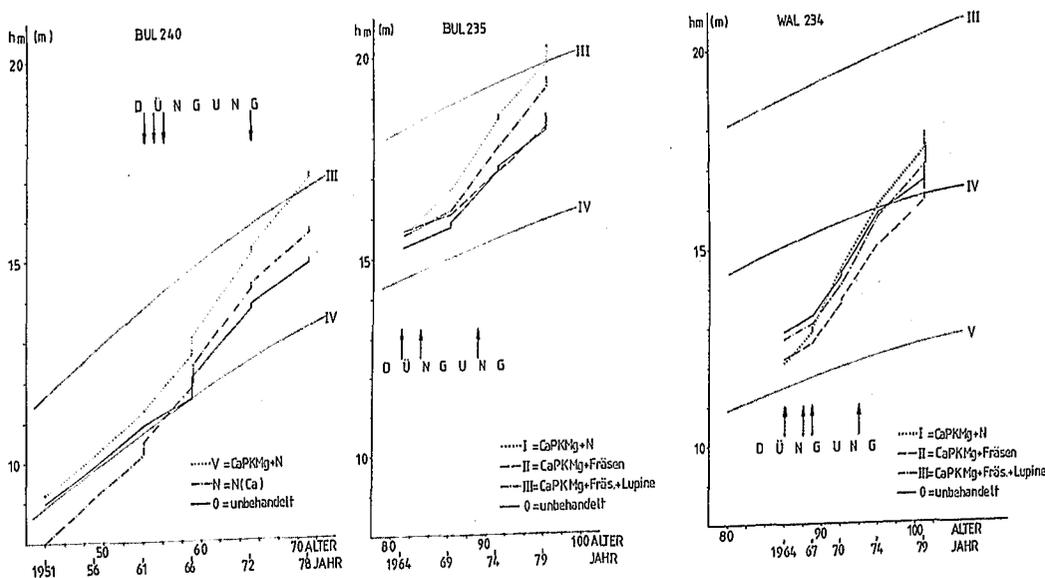


Abb. 2. Entwicklung der Bestandesmittelhöhen (h_m) der Versuchsglieder auf den Versuchen BUL 240 Eichenhänge, BUL 235 Pustert und WAL 234 Pfaffenswinkel

Fig. 2. Height growth (average of crop = h_m) of individual plots, observed with the different treatments

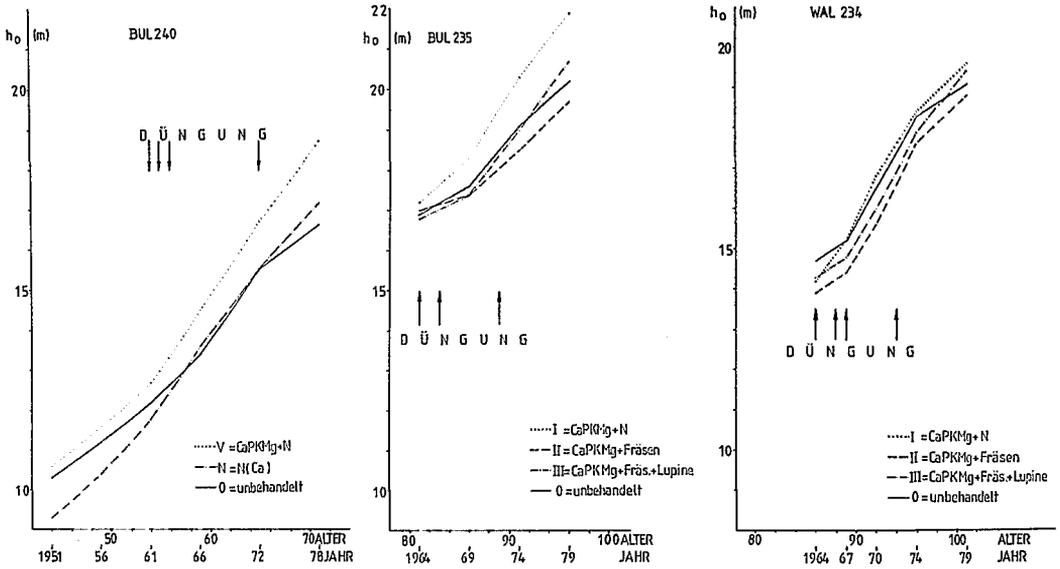


Abb. 3. Entwicklung der Bestandesoberhöhen (h_0) der Versuchsglieder auf den Versuchen BUL 240 Eichenhänge, BUL 235 Pustert und WAL 234 Pfaffenwinkel

Fig. 3. Height growth of dominant trees (average of 100 trees/ha = h_0) of individual plots, observed with the different treatments

anstieg kommt auch hier seit etwa 10–15 Jahren in der h_m -Entwicklung der unbehandelten Versuchsglieder zum Ausdruck.

Eindeutig heben sich die mit Volldüngung behandelten Versuchsglieder ab (V bzw. I: CaPKMg + N, gepunktete Darstellung). Sie liegen nach 17 bzw. 15 Jahren ab Düngungsbeginn bis zu einer halben Bonität nach WIEDEMANN 1943 m. Df. über den ungedüngten Vergleichsparzellen (0) – bei z. T. wesentlich geringeren Ausgangshöhen. Sowohl die reine N-Düngung im Versuch 240 Eichenhänge (N) als auch die Grunddüngung mit Lupinenunterbau in 235 Pustert und 234 Pfaffenwinkel (III) konnten hiermit nicht Schritt halten. Doch zeigen auch sie einen klaren Bonitätsanstieg gegenüber „Unbehandelt“ (0). Lediglich die Behandlungsvariante II in den Versuchen Pustert und Pfaffenwinkel (CaPKMg-Grunddüngung mit Fräsen ohne zusätzliche N-Zufuhr) bleibt auch nach den bereits anfangs bemerkten Wuchsdepressionen – verursacht durch das Fräsen mit Wurzelverletzungen (REHFUESS und SCHMIDT 1971) – weiterhin im Bereich der unbehandelten Variante bzw. noch darunter.

Abbildung 3 zeigt für den gleichen Beobachtungszeitraum die *Oberhöhenentwicklung* (h_0 100), die von Durchforstungsreaktionen in Form von rechnerischen Verschiebungen frei ist. Auch hier ist der Wuchsvorsprung der Behandlungsglieder V und I (Volldüngung) klar erkennbar.

4.2 Die Bestandesgrundflächen

Abbildung 4 läßt die niedrigen Ausgangsgrundflächen dieser schwachwüchsigen streugeutzten Kiefernbestände zu Versuchsbeginn erkennen. Zum Vergleich sind die Ertrags tafelfundflächen nach WIEDEMANN 1943 m. Df. mit den Bestockungsgraden 1.0, 0.8 und 0.6 eingezeichnet (die Bonitätsveränderungen im Laufe der Beobachtungszeit wurden berücksichtigt).

Trotz der ZE-Entnahmen und der Durchforstung stiegen bei allen Versuchsgliedern die Grundflächen insgesamt an. Im Vergleich zur unbehandelten Variante (0) war dieser An-

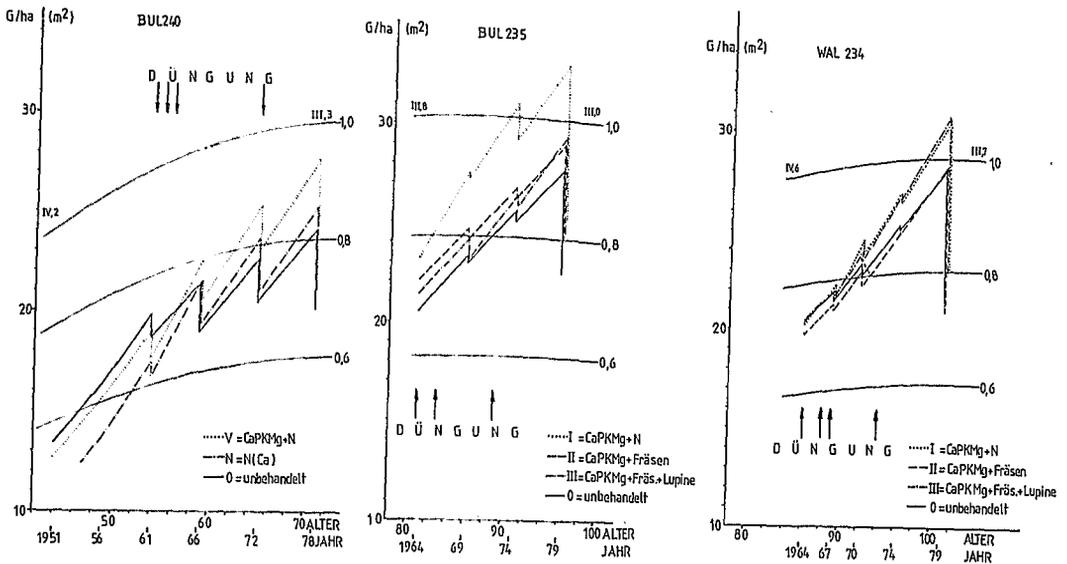


Abb. 4. Entwicklung der Bestandesgrundflächen (G/ha) der Versuchsglieder auf den Versuchen BUL 240 Eichenhänge, BUL 235 Pustert und WAL 234 Pfaffenwinkel

Fig. 4. Basal area growth (G/ha) of individual plots, observed with the different treatments

stieg bei den Versuchsgliedern mit reiner „N-Düngung“ im Versuch 240 Eichenhänge (N) und mit „Grunddüngung und Lupine“ (III) in den Versuchen 235 Pustert und 234 Pfaffenwinkel stärker, doch zeigte auch hier die Volldüngung (V bzw. I) die ausgeprägteste Grundflächenreaktion auf die Düngung.

4.3 Volumenzuwachs (I_V VfmD)

Abbildung 5 zeigt die durchschnittlichen jährlichen Volumenzuwächse für die drei Versuche. Die horizontalen Balken geben in ihrer Breite die Dauer der Zuwachsperioden und in ihrer Höhenlage den durchschnittlichen jährlichen Volumenzuwachs je Hektar in VfmD für die Zuwachsperiode an.

Zu berücksichtigen ist, daß – wie ALTHERR 1981 erneut feststellte – eine exakte Aussage über den Volumenzuwachs auch die Veränderung der Schaftform der Einzelbäume als Reaktion auf Düngungsmaßnahmen berücksichtigen sollte. Für die hier angestellten Vergleiche genügt jedoch die grundsätzliche Erfassung der Veränderung der Brusthöhendurchmesser und der Höhen.

In der linken Darstellung (240 Eichenhänge) liegen die ersten beiden Zuwachsperioden noch vor Beginn der Düngungsmaßnahmen und zeigen für die einzelnen Versuchsglieder ein sehr einheitliches Bild. Mit Behandlungsbeginn im Jahre 1961 reagierten die beiden gedüngten Versuchsglieder mit kräftigem Zuwachsanstieg, der bei der Variante Volldüngung (V) bis zum heutigen Zeitpunkt – wenn auch nachlassend – anhält und jährliche Zuwachswerte von knapp 9 VfmD in der letzten Periode bei einem Bestandesalter von 65 bis 71 Jahren erreicht. Das ist ein Mehrzuwachs gegenüber „Unbehandelt“ (0) von 3.4 VfmD oder 60 % je Jahr und Hektar für die letzte Periode. Die reine „N-Düngung“ (N) fällt in der Zuwachsleistung der letzten Zuwachsperiode etwas ab, liegt aber mit 1.6 VfmD Mehrzuwachs (= 29 %) noch weit über der ungedüngten Variante mit 5.6 VfmD.

Die relativen Volumenzuwächse, bezogen auf den Zuwachs der unbehandelten Versuchsglieder, sind in Abbildung 6 dargestellt.

Für 235 Pustert und 234 Pfaffenwinkel zeigt bereits die erste dargestellte Zuwachsperiode ausgeprägte Reaktionen auf die unterschiedlichen Meliorationsmaßnahmen. Hier und in den folgenden Perioden ist die „Volldüngung“ (I) den anderen Versuchsgliedern meist weit überlegen. Die Mehrleistungen im Versuch 235 von durchweg etwa 3.7 VfmD jährlich oder von 76 % in der ersten, 55 % in der zweiten und 59 % in der dritten beobachteten Zu-

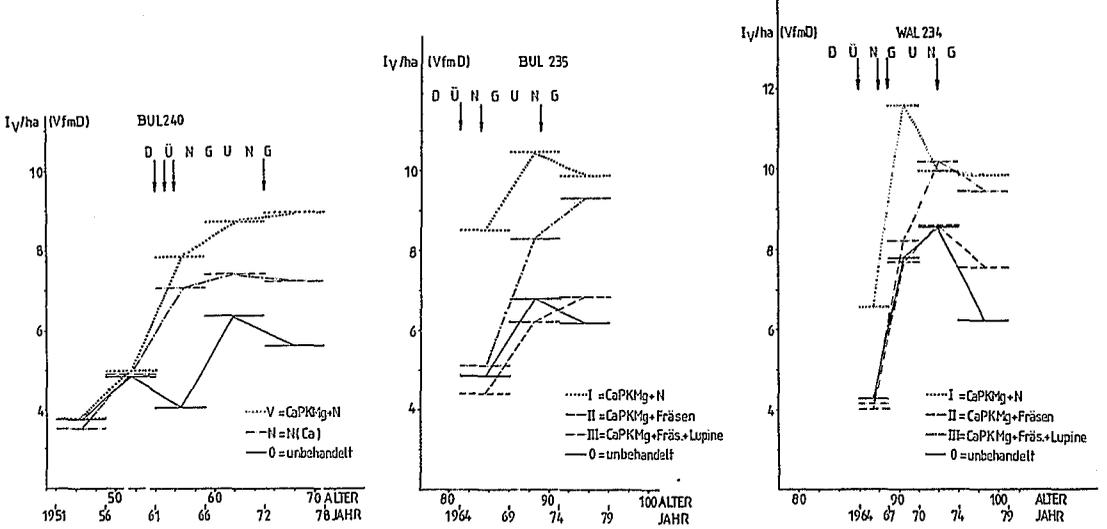


Abb. 5. Die durchschnittlichen jährlichen Volumenzuwächse (I_y /ha VfmD) der Versuchsglieder in den Zuwachsperioden auf den Versuchen BUL 240 Eichenhänge, BUL 235 Pustert und WAL 234 Pfaffenwinkel

Fig. 5. Mean annual volume increment (I_y /ha commercial volume, standing trees) of individual plots, observed with the different treatments

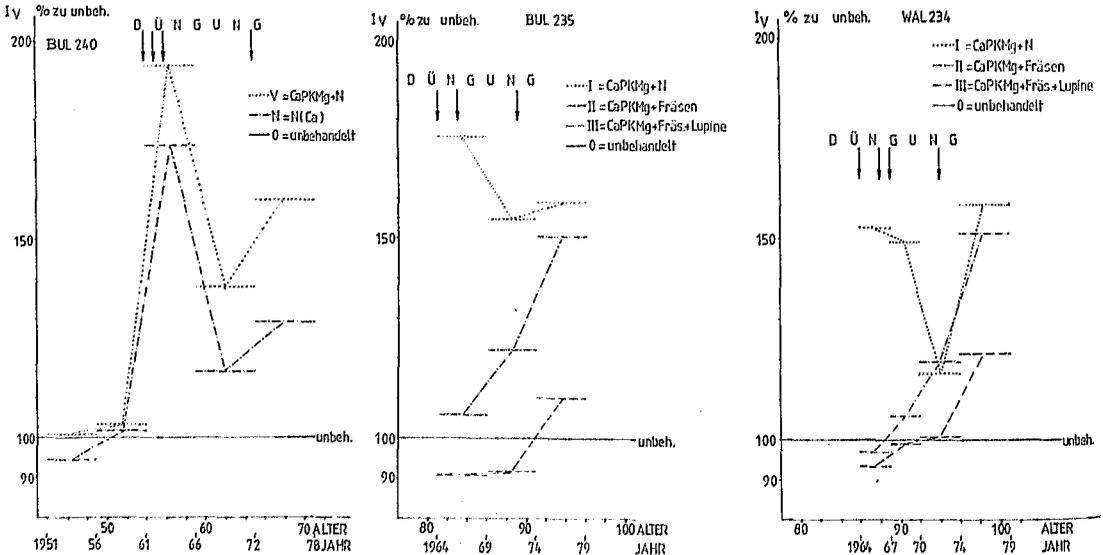


Abb. 6. Relative Volumenzuwächse, bezogen auf die unbehandelten Versuchsglieder auf den Versuchen BUL 240 Eichenhänge, BUL 235 Pustert und WAL 234 Pfaffenwinkel

Fig. 6 Relative volume increment in percent of increment values of plots receiving no treatment

wachperiode gegenüber dem unbehandelten Versuchsglied (0) sind beachtlich; im Versuch 234 schwanken die Zuwachsmehrleistungen der „Volldüngung“ (I) zwischen 1.5 und 3.8 VfmD bzw. erreichen in den einzelnen Perioden ähnliche Prozentwerte mit 53 % Mehrzuwachs gegenüber „Unbehandelt“ (0) in der ersten, 50 % in der zweiten, 17 % in der dritten und 58 % in der vierten Zuwachperiode.

Die Behandlungsvariante III „CaPKMg + Fräsen und Lupinenunterbau“ in den Versuchen 235 und 234 zeigte in den ersten beiden Zuwachperioden keine ausgeprägten Leistungsunterschiede gegenüber „Unbehandelt“ (97 % bis 122 %) aber steigende Tendenz, die weiterhin anhielt und in der letzten beobachteten Periode Mehrzuwächse gegenüber „Unbehandelt“ (0) von 3.1 bzw. 3.3 VfmD oder etwa 50 % erbrachte.

Es war jedoch festzustellen, ob und inwieweit die Ausgangsbestandesdichte der einzelnen Parzellen zu Beginn jeder Zuwachperiode den Volumenzuwachs signifikant beeinflusst und somit mögliche Düngungseffekte überlagert. Hierzu wurden die durchschnittlichen jährlichen Volumenzuwächse jeder Zuwachperiode einer Kovarianzanalyse mit der Kovariaten „Verbleibende Grundfläche zu Beginn jeder Zuwachperiode“ unterzogen (Tab. 3).

In den Versuchen 240 Eichenhänge und 235 Pustert konnte mit einer Ausnahme kein signifikanter Einfluß der Bestandesausgangsdichten auf den Zuwachs festgestellt werden. Die anschließende Varianzanalyse zeigte ab Düngungsbeginn signifikante Zuwachsunterschiede zwischen den Parzellen im Versuch 240 und hochsignifikante Unterschiede im Versuch 235.

Im Versuch 234 Pfaffenwinkel ergab sich ab der zweiten Zuwachperiode ein mindestens schwach gesicherter Einfluß der Bestandesdichten auf den Zuwachs. Die anschließende Varianzanalyse mit den bereinigten Zuwachswerten (der Einfluß der Bestandesdichten wurde ausgeschaltet) zeigte mit Ausnahme der Zuwachperiode 1970 - 1974 signifikante bis hochsignifikante Unterschiede im Zuwachs der einzelnen Parzellengruppen.

Im einzelnen ergibt sich im Versuch 240 für den Zuwachs der „Volldüngung“ (V) eine signifikante Überlegenheit gegenüber „Unbehandelt“ (0) und in den letzten beiden Perioden eine schwach gesicherte Überlegenheit gegenüber der reinen „N-Düngung“ (N). Im Versuch 235 ist die „Volldüngung“ (I) der unbehandelten Variante (0) und der „Grunddüngung mit Fräsen“ (II) zunächst dreifach, in der letzten Periode noch zweifach signifikant überlegen, wohingegen sich der Unterschied zur Variante „mit Lupinenunterbau“ (III) allmählich verwischt und in der letzten Periode nicht mehr signifikant ist. Ein ähnliches Bild bietet sich im Versuch 234, bei dem ein deutlicher Unterschied der „Volldüngung“ (I) gegenüber „Unbehandelt“ (0) und „Grunddüngung mit Fräsen“ (II) auch in der letzten Zuwachperiode erhalten bleibt (** und * gesichert), während zur Variante „mit Lupinenunterbau“ (III) am Schluß kein gesicherter Unterschied mehr besteht.

5 Wirkungen der Meliorationseingriffe auf den Ernährungszustand der Kiefern

5.1 Versuch BUL 240 Eichenhänge

Während der ersten Phase des Experiments von 1961-1963 beseitigten sowohl die reine N- als auch die Volldüngung den Stickstoffmangel der Kiefern. Dieser Effekt hielt bis mindestens 1965 an. Zwischen 1964 und 1971 wurde nicht nachgedüngt, um das Abklingen der ersten Düngungsreaktion abzuwarten. Daraufhin gingen auf allen Düngungsvarianten die N-Gehalte in den Kiefernadeln zurück. Die früher gedüngten Bestände blieben zwar noch geringfügig überlegen, litten jedoch mit N-Spiegeln < 14 mg/g ebenfalls wieder unter Stickstoffmangel. Die erneute Düngung im Mai 1972 erhöhte die N-Spiegel der Kiefern wiederum auf das Niveau einer guten Versorgung (15-16 mg/g), wobei die N-Parzellen

Tabelle 3

Ergebnisse der Kovarianz- und Varianzanalysen für die einzelnen Zuwachsperioden, bezogen auf die Behandlungsvariante „Volldüngung“ (V bzw. I) für die Düngungsversuche BUL 240, BUL 235 und WAL 234

(Kovariate ist die verbleibende Grundfläche zu Beginn jeder Zuwachsperiode, abhängige Variable der durchschnittliche jährliche Volumenzuwachs in VfmD)
Results of one-way analyses of variance and covariance for each increment period observed at the research plots BUL 240, BUL 235 and WAL 234. The results are related to treatment „Complete fertilization“

Versuch	Zuwachsperiode	Kovarianzanalyse		Varianzanalyse; Überschreitungswahrscheinlichkeiten (P)									
		T-Wert	Sign.	P	Sign.	P	Sign.	P	Sign.	P	Sign.		
BUL 240	„Eichenhänge“	FG = 4		insgesamt, FG = 2,3				zu „unbehandelt“ 0		zu „Düngung“ N			
	1951 – 1956	2.61243	–	0.6047	–	0.9545	–	0.4010	–				
	1956 – 1961	–0.72570	–	0.9004	–	0.8595	–	0.6743	–				
	1961 – 1966	–0.15927	–	0.0244	*	0.0123	*	0.3383	–				
	1966 – 1972	5.88258	**	0.0401	*	0.0184	*	0.0556	(*)				
	1972 – 1978	0.97309	–	0.0413	*	0.0181	*	0.0813	(*)				
BUL 235	„Pustert“	FG = 10		insgesamt, FG = 3,8				zu „unbehandelt“ 0		zu „Düng. + Fräs.“ II		zu „Düng. + Fräs. + Lup.“ III	
	1964 – 1969	1.54698	–	0.0009	***	0.0005	***	0.0003	***	0.0009	***		
	1969 – 1974	1.55177	–	0.0001	***	0.0001	***	0.0000	***	0.0016	**		
	1974 – 1979	0.84492	–	0.0040	**	0.0018	**	0.0046	**	0.4827	–		
WAL 234	„Pfaffenwinkel“	FG = 10		insgesamt, FG = 3,7				zu „unbehandelt“ 0		zu „Düng. + Fräs.“ II		zu „Düng. + Fräs. + Lup.“ III	
	1964 – 1967	0.93807	–	0.0287	*	0.0564	(*)	0.0055	**	0.0217	*		
	1967 – 1970	2.00857	(*)	0.0000	***	0.0000	***	0.0000	***	0.0000	***		
	1970 – 1974	3.81097	**	0.2305	–	0.2182	–	0.8641	–	0.3760	–		
	1974 – 1979	2.45034	*	0.0064	**	0.0012	**	0.0261	*	0.3717	–		
		T-Test f. die Kovariate „Verbleibende Grundfläche zu Beginn der Zuwachsperiode“		F-Test für die Volumenzuwächse ¹⁾ aller Parzellen				T-Test für die Volumenzuwachs-Mittelwerte ¹⁾ der Behandlungsgruppen gegenüber der Variate „Volldüngung mit zusätzlichen N-Gaben“					

¹⁾ Im Versuch WAL 234 ab 1967 mit Kovarianzanalyse korrigierte Volumenzuwachswerte

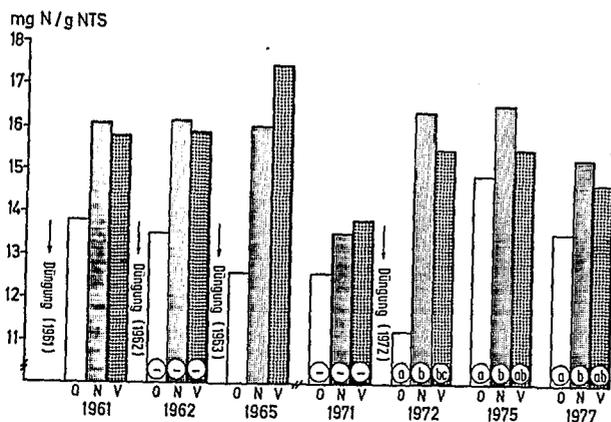


Abb. 7 Stickstoffgehalte halbjähriger Kiefernnadeln (mg/g Nadelnadeln) im Versuch BUL 240 Eichenhänge

Fig. 7. Nitrogen contents of half-year-old pine needles (mg/g needle dry matter) in experiment BUL 240

immer an der Spitze lagen (Abb. 7). Der durch beide Meliorationseingriffe erzielte rasche Zuwachsanstieg ist deshalb wohl in erster Linie auf die günstigere Versorgung mit Stickstoff zurückzuführen.

Bei ausschließlichen Stickstoffgaben war jedoch die bessere Ernährung mit diesem Element stets gekoppelt mit auffallend niedrigen P-Gehalten in den Kiefernnadeln (1,2–1,3 mg/g). Sie lagen damit unter dem Niveau der Kontrollbäume und im Mangelbereich; die N/P-Quotienten stiegen auf die für Kiefer sehr hohen Werte zwischen 11 und 14 (Abb. 8). Dabei handelte es sich wohl hauptsächlich um Verdünnungseffekte; denn die Kiefern der N-Variante lagerten in den meisten Beobachtungsjahren in jeweils 100 Nadelpaare etwa gleich viel Phosphor ein wie die Kontrollkiefern. Die P-Aufnahme hielt aber nicht Schritt mit der Gewichtszunahme der Nadeln. Auch die Ca- und Mg-Spiegelwerte gingen nach reiner N-Düngung im Versuchsabschnitt 1972–1977 tendenziell zurück, wobei die Grenzwerte für Magnesium-Mangel gleichfalls unterschritten wurden (Tab. 4).

Tabelle 4

Kalium-, Calcium- und Magnesium-Gehalte der halbjährigen Kiefernnadeln (mg/g Nadelnadeln) im Experiment BUL 240 Eichenhänge. Durchschnittswerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant

Potassium, calcium and magnesium contents of 1/2-year-old pine needles (mg/g needle dry matter) in experiment BUL 240 Eichenhänge. Averages followed by the same letter do not differ significantly

Jahr	Kalium			Calcium			Magnesium		
	O	N	V	O	N	V	O	N	V
1961	5,85	5,80	6,85	3,35	3,68	3,72		N.B.	
1962	5,42	5,76	5,99	2,92	2,97	3,30	0,86	0,82	1,05
1965	5,40	5,65	6,90	4,30	3,85	3,50		N.B.	
1971	5,05	4,87	5,45	3,62	3,60	3,61	0,83	0,97	1,01
1972	5,12	4,99	5,81	3,05	2,70	3,21	0,89	0,81	0,85
1975	5,19	5,15	5,65	3,90	3,14	3,68	0,92	0,78	1,00
1977	5,09	5,20	5,60	3,68	3,24	3,29	0,87	0,77	0,89
Im Durchschnitt 1961–1977	5,30 A	5,35 A	6,04 B	3,55 A	3,31 A	3,47 A	0,87 A	0,83 A	0,96 A

Die Volldüngung dagegen garantierte während der ganzen Versuchsdauer eine gute Ernährung mit Phosphor (1,6–1,7 mg/g), Magnesium und Kalium bei normalen N/P-Quotienten um 9–10 (Tab. 4, Abb. 8).

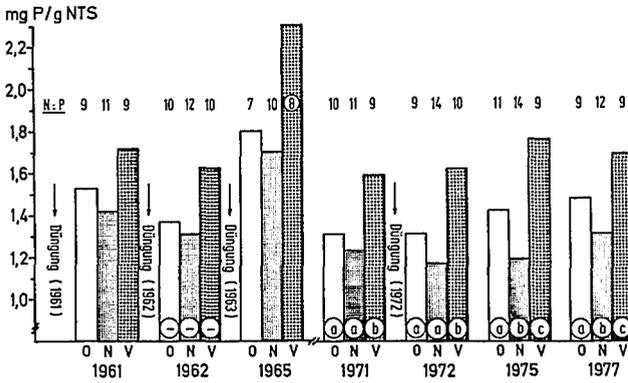


Abb. 8. Phosphorgehalte halbjähriger Kiefernadeln (mg/g Nadel trockenmasse) im Versuch BUL 240 Eichenhänge

Fig. 8. Phosphorus contents of half-year-old pine needles (mg/g needle dry matter) in experiment BUL 240

Die mit fortschreitender Laufzeit des Versuchs sich immer deutlicher abzeichnende Wuchsüberlegenheit der Kiefern auf den vollgedüngten Parzellen dürfte deshalb vor allem darauf beruhen, daß der als Folge wiederholter N-Düngung induzierte P- und Mg-Mangel durch Superphosphat- und Patentkaligaben vermieden wurde. Über ähnliche günstige Erfahrungen mit P (Mg)-Düngung in Coniferenbeständen nach Korrektur des N-Mangels berichten z. B. TAMM u. a. (1974) sowie KERN u. MOLL (1976).

5.2 Versuche BUL 235 Pustert und WAL 234 Pfaffenwinkel

Auf die in beiden Experimenten vorhandene Versuchsvariante II (Grunddüngung, Fräsung, ohne Lupine) wird im folgenden nicht mehr eingegangen, da bislang keine eindeutigen Zuwachsreaktionen festzustellen waren.

5.2.1. Stickstoff- und Phosphorversorgung

Die Grunddüngung mit CaPKMg, kombiniert mit dreifach wiederholter N-Düngung (Versuchsglied I) ließ in beiden Versuchen noch im ersten Versuchsjahr die N- und P-Spiegel der Kiefern und ihre Nadelgewichte ansteigen (Abb. 9 u. 10, Tab. 5). Im Durchschnitt der Periode 1964 bis 1980 lagen die Kiefern dieses Versuchsglieds bezüglich sämtlicher drei Kennwerte an der Spitze. Dies ist die Ursache für ihre bislang überlegene Wachstumsleistung.

Die für einen erfolgreichen *Lupinenunterbau* unerläßliche Bodenbearbeitung durch Fräsen (III) beschädigte die Kiefernwurzeln beträchtlich und bewirkte vorzeitiges Schütten älterer Nadeln. Die auf diese Weise beeinträchtigten Bäume waren anfangs offenbar nicht in der Lage, das vermehrte Angebot von Phosphor und Stickstoff aus Düngung und beschleunigter Mineralisation auszunutzen. Ihre N- und P-Spiegel verharrten deshalb zunächst trotz verringerter Nadelmasse etwa auf dem Niveau der Kontrollkiefern (Abb. 9 u. 10). Die Nadelgewichte waren stark abgesenkt. Diese Beobachtungen erklären den Zuwachsverlust von etwa 5–10 %, mit dem in den ersten 3–4 Jahren nach dem Unterbau gerechnet werden muß (vgl. ASSMANN 1965, REHFUESS u. SCHMIDT 1971).

Erst nach einer Verzögerung von 3–7 Jahren verbesserte sich allmählich die N- und P-Versorgung der unterbauten Kiefern. In den Jahren seit etwa 1975 übertrafen sie mehrfach das Versorgungsniveau ihrer vollgedüngten Nachbarn. Entsprechend beschleunigte sich auch der Zuwachs. Diese synchrone Steigerung von N- und P-Ernährung und Schaft-holzzuwachs verlief im Experiment Pustert rascher als im Pfaffenwinkel. Im Pustert gelang es nämlich auf Antrieb, einen dichten und wüchsigen, in der N₂-Bindung leistungsfähigen Lupinenunterbau zu begründen. Im Pfaffenwinkel bedurfte es dazu der Nachdüngung 1967 mit 25 kg P/ha.

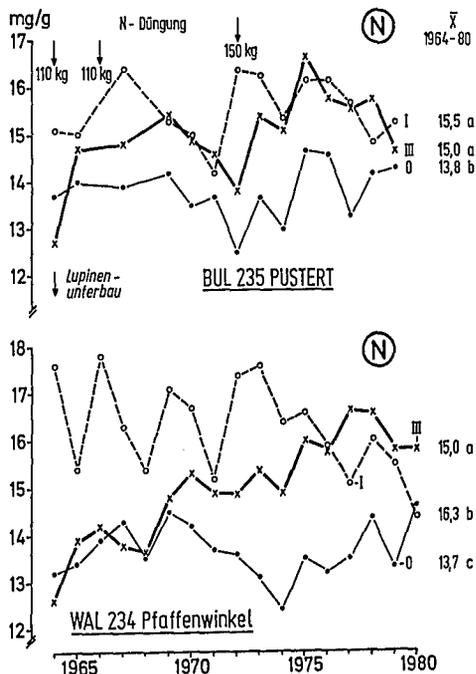


Abb. 9. Stickstoffgehalte halbjähriger Kiefernadeln (mg/g Nadelrockenmasse) in den Versuchen BUL 235 Pustert und WAL 234 Pfaffenwinkel

Fig. 9. Nitrogen contents of half-year-old pine needles (mg/g needle dry matter) in experiments BUL 235 and WAL 234

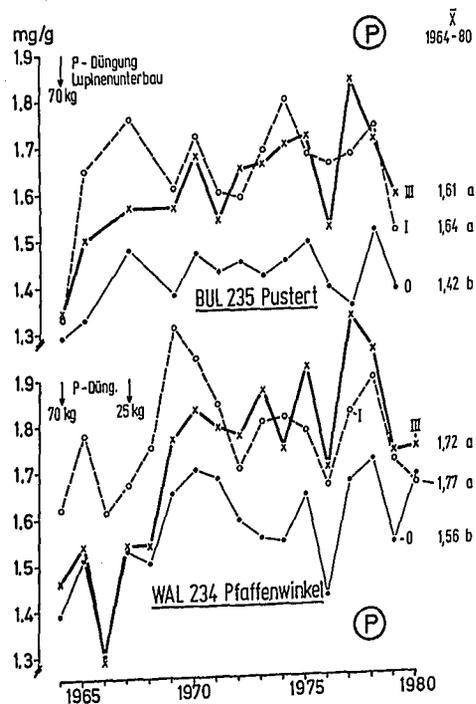


Abb. 10. Phosphorgehalte halbjähriger Kiefernadeln (mg/g Nadelrockenmasse) in den Versuchen BUL 235 Pustert und WAL 234 Pfaffenwinkel

Fig. 10. Phosphorus contents of half-year-old pine needles (mg/g needle dry matter) in experiments BUL 235 and WAL 234.

Tabelle 5

Gewichte der halbjährigen Kiefernadeln (g/100 Nadelpaare). Durchschnittswerte mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant

Weight of 1/2-year-old pine needles (g/100 pairs of needles). Averages followed by different letters differ significantly

Jahr	WAL 234 Pfaffenwinkel			BUL 235 Pustert		
	0	I	III	0	I	III
1970	4,38	5,18	5,25	4,07	4,46	4,84
1971	5,77	6,33	5,77	4,91	5,95	5,25
1972	5,03	6,27	5,38	4,61	6,37	5,53
1973	5,02	6,43	5,15	4,23	5,30	5,04
1974	3,45	4,59	4,25	3,54	4,51	4,27
1975	5,06	6,45	5,26	4,90	5,50	5,06
1976	3,53	3,91	4,37	3,57	3,61	4,00
1977	3,87	4,64	4,78	3,82	4,13	4,67
1978	4,05	4,57	4,64	4,92	5,49	6,52
1979	3,80	4,42	4,46	4,17	4,24	4,85
1980	4,21	4,89	5,11		N.B.	
1970 bis 1980	4,38	5,24	4,95	4,29	4,96	5,00
	A	B	B	A	B	B
1964 bis 1969	3,35	4,47	3,60	3,41	3,66	3,21

5.2.2. Versorgung mit Kalium, Magnesium und Calcium

Das zusätzliche Düngen mit Magnesium und Kalium (vorwiegend als Patentkali) sowie mit Calcium (als CaCO_3 sowie im Kalkammonsalpeter und Thomasphosphat) verhinderte bei beiden Meliorationsvarianten einen signifikanten Rückgang der Gehalte an diesen Elementen in den Kiefernadeln, obwohl diese schwerer wurden (Tab. 6–8). Auf dem Ca- und Mg-armen Phyllitsubstrat (234 Pfaffenwinkel) nahmen die Ca- und Mg-Spiegel als Folge dieser Maßnahme sogar leicht zu. Eine Beeinträchtigung der Versorgung mit diesen Nähr- elementen wurde so vermieden.

Tabelle 6

Kaliumgehalte der halbjährigen Kiefernadeln (mg/g Nadel trockenmasse)
Potassium contents of 1/2-year-old pine needles (mg/g needle dry matter)

Jahr	WAL 234 Pfaffenwinkel			BUL 235 Pustert		
	0	I	III	0	I	III
1970	6,03	6,12	5,51	5,16	5,82	5,50
1971	5,54	5,94	5,57	4,83	5,49	5,25
1972	6,13	5,73	5,84	4,62	4,98	4,93
1973	5,81	5,76	5,78	5,19	5,39	5,53
1974	5,69	5,68	5,54	5,10	5,39	5,37
1975	5,98	5,98	6,08	4,90	5,31	5,37
1976	6,51	6,36	6,52	5,64	6,00	5,64
1977	6,12	5,83	5,77	4,96	5,19	5,38
1978	5,89	5,76	5,98	4,62	4,84	5,03
1979	5,53	5,42	5,28	4,83	5,25	5,43
1980	5,35	4,83	4,70		N.B.	
1970 bis 1980	5,87	5,76	5,69	4,99	5,37	5,34
	A	A	A	A	B	B
1964 bis 1969	5,96	6,19	5,83	5,49	6,41	5,92

Tabelle 7

Calciumgehalte der halbjährigen Kiefernadeln (mg/g Nadel trockenmasse)
Calcium contents of 1/2-year-old pine needles (mg/g needle dry matter)

Jahr	WAL 234 Pfaffenwinkel			BUL 235 Pustert		
	0	I	III	0	I	III
1970	2,16	2,60	3,32	3,08	3,21	3,51
1971	2,32	2,82	3,54	3,78	3,27	3,71
1972	2,40	2,76	3,20	2,99	2,88	2,92
1973	2,15	3,00	3,22	3,38	3,21	3,53
1974	2,48	3,10	3,66	4,00	3,61	3,96
1975	2,38	3,03	3,37	3,64	3,34	3,91
1976	1,84	2,16	2,50	3,06	2,93	3,31
1977	2,62	3,10	3,09	3,31	3,32	3,36
1978	2,31	2,77	2,72	3,16	2,97	3,07
1979	2,02	2,55	2,67	2,95	3,15	2,62
1980	1,96	2,47	2,34		N.B.	
1970 bis 1980	2,24	2,76	3,06	3,34	3,21	3,39
	A	B	C	A	A	A
1964 bis 1969	2,22	2,93	2,96	3,87	3,78	3,84

Tabelle 8

Magnesiumgehalte der halbjährigen Kiefernadeln (mg/g Nadel trockenmasse)
Magnesium contents of 1/2-year-old pine needles (mg/g needle dry matter)

Jahr	WAL 234 Pfaffenwinkel			BUL 235 Pustert		
	0	I	III	0	I	III
1970	0,48	0,51	0,71	0,79	0,75	0,80
1971	0,52	0,53	0,70	0,86	0,84	0,93
1972	0,59	0,54	0,68	0,76	0,66	0,77
1973	0,84	0,94	1,02	1,04	1,01	1,07
1974	0,95	0,96	1,10	1,16	1,20	1,28
1975	0,61	0,70	0,77	1,00	0,85	0,91
1976	0,45	0,48	0,57	0,67	0,69	0,74
1977	0,52	0,60	0,57	0,87	0,90	0,89
1978	0,81	0,83	0,85	0,72	0,73	0,70
1979	0,48	0,52	0,57	0,87	0,96	0,86
1980	0,66	0,80	0,73		N.B.	
1970 bis 1980	0,63	0,67	0,75	0,87	0,86	0,90
	A	AB	B	A	A	A
1964 bis 1969	0,75	0,78	0,93	0,96	0,92	0,95

5.2.3 Veränderungen im Oberboden

Im Versuch Pustert wurden die Auswirkungen beider Meliorationseingriffe auf den Oberbodenzustand, den Streufall und die Bodenvegetation umfassend überprüft (vgl. BAUM 1979, 1980, 1981; REHFUESS 1981a; RODENKIRCHEN u. REHFUESS 1981). Tabelle 9 informiert über die wichtigsten Veränderungen.

Demnach ließen Kalkung und P-Düngung in beiden Meliorationsvarianten (I + III) die pH-Werte sowie die Ca- und P-Vorräte in der organischen Auflage und im obersten Mineralbodenbereich ansteigen. Der inaktive Rohhumus der Kontrollparzellen war auf den vollgedüngten Feldern durch Moder, auf den mit Lupine unterbauten Flächen durch Mull

Tabelle 9

Bodenkennwerte in Abhängigkeit von der Behandlung für das Experiment Pustert 12–15 Jahre nach Versuchsbeginn. Nährelementmengen (kg/ha) in org. Aufl. und Mineralboden 0–30 cm. Prüfeinheiten mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant (nach BAUM 1979 und RODENKIRCHEN 1981)

Soil characteristics as dependent on treatment for experiment Pustert 12–15 years after start of the trial. Nutrient amounts (kg/ha) in organic layer and mineral soil 0–30 cm. Unit values followed by different letters differ significantly

Bodeneigenschaften	0	I	III
Humusform	inaktiver Rohhumus	mullartiger Moder	F-Mull
pH (CaCl ₂) im Oberboden	3,2–4,1	3,7–5,0	3,9–5,0
org. Kohlenstoff	55 906 A	55 764 A	48 653 B
Gesamtcalcium	5 173 A	6 535 B	6 349 B
Gesamtphosphor	925 A	942 A	1 040 B
Gesamtstickstoff	1 961 A	2 171 B	2 264 C
Netto-N-Mineralisation in Veg.-Per. 1978 in org. Aufl. und Mineralboden 0–20 cm	7 A	28 B	44 C
NO ₃ -N-Anteil	0	16	19

abgelöst. Dieser Umschlag in der Humusform erfolgte bei Versuchsglied (I) schonlich und ohne Humusverluste. Der Humusschwund aus der organischen Auflage wurde hier durch Mehrung im Mineralboden nahezu aufgewogen. Auch das Stickstoffkapital im Oberboden und die Stickstoffmineralisation waren auf Versuchsglied (I) deutlich verbessert.

Auf den mit Lupine unterbauten Parzellen (III) stimulierten die durch das Fräsen bewirkte Lockerheit, das Vermischen von Auflagehumus und Mineralboden, die Zufuhr von Basen und Phosphor und die Produktion leicht zersetzlicher, proteinreicher Lupinenstreu die Streuzersetzung so stark, daß insgesamt ein beträchtlicher Humusverlust von 12 % eintrat (vgl. REHFUESS 1981a). Er erfolgte vor allem aus der organischen Auflage, während die Humusvorräte im oberen Mineralboden zunahm dank des Einmischens von Auflagehumus und Bodenvegetation und wegen der Produktion an Lupinenwurzelmasse. Der Stickstoffvorrat im Oberboden stieg um etwa 15 %, die Stickstoffmineralisation und der Nitrat-N-Anteil am Mineralstickstoffangebot waren besonders stark verbessert. Wir müssen jedoch davon ausgehen, daß in den ersten Jahren, als die Kiefern noch durch das Fräsen geschädigt und die Lupinen noch nicht voll etabliert waren, viel Stickstoff aus dem Boden entweder durch Auswaschen oder durch Denitrifikation verloren ging (vgl. REHFUESS 1981a). Diese Verluste mußten durch die N₂-Bindung der Lupinen-Rhizobien erst kompensiert werden, ehe eine Stickstoffakkumulation einsetzte.

6 Folgerungen

Die Auswertung eines neuen Düngungsversuchs zu Kiefer in der Oberpfalz nach 17 Beobachtungsjahren zeigte erstmals, daß wiederholte, reine Stickstoffdüngung in praxisüblicher Dosierung auf phosphor- und magnesiumarmem Substrat im Laufe der Zeit Mangel

an diesen Elementen auslöste. Auf kaliumarmen Böden kann auf diese Weise Kaliummangel induziert werden. Je länger unser Experiment andauerte, desto mehr erwies sich die Voll-düngung (NPKMg) reinen Stickstoffgaben überlegen hinsichtlich ihrer Wirkung auf Ernährungszustand und Wachstum der Kiefern. Auf größeren Flächen als früher angenommen muß deshalb wohl künftig zur Düngung mit mehreren Nährstoffen übergegangen werden, um langfristig eine harmonische Ernährung mit Stickstoff, Phosphor, Magnesium (Kalium) sicherzustellen. Diese Erfordernis wird vermutlich noch verstärkt durch den Umstand, daß mit dem Niederschlag derzeit relativ viel Stickstoff, aber nur wenig Phosphor und Magnesium in die Ökosysteme gelangt.

Eine nachhaltig gesteigerte Oberbodenfruchtbarkeit setzt außerdem eine sorgfältig bemessene Kalkung voraus, um die biologische Aktivität anzuregen, die Humusform zu verbessern und den Nährstoffkreislauf zu beschleunigen.

Eine bessere Ausstattung degradierter Böden unter Kiefer mit Stickstoff kann entweder durch Düngung mit Stickstoffsalzen oder Untersaat von Dauerlupine erreicht werden.

Der Lupinenunterbau als komplexe Meliorationsmaßnahme, gekoppelt mit Grunddüngung und Bodenbearbeitung, verbesserte in unseren Versuchen über 17 Jahre hinweg zwar die Nährelementvorräte im Oberboden und die Humusform besonders kräftig. Er veränderte auch die Bodenvegetation von einem Zwergstrauch- zu einem Gräser-Kräuter-Typ. Nach charakteristischer Zeitverzögerung waren auch die Stickstoff- und Phosphorer-nährung der Kiefern und ihr Wachstum stark verbessert. Diese Erfolge setzen aber voraus, daß es auf Anhieb gelingt, einen geschlossenen und dichten Lupinenbestand für längere Zeit zu begründen. Nicht selten schlägt jedoch in der Praxis die Saat fehl oder reicht die Phosphordüngung nicht aus. Auch können die Lupinen auf vielen Substraten nur die gefrästen Flächen besiedeln und meiden die Inseln um Baumstümpfe, wo der dichte Teppich aus organischer Auflage und Zwergsträuchern nicht zerschlagen wurde. Deshalb decken die Lupinen selten mehr als 70 % der Fläche. Insbesondere auf frischeren Substraten ist die Gefahr groß, daß die Lupinen rasch von Gräsern, Kräutern und Weichlaubbaumarten überwachsen und verdrängt werden (vgl. RENNVESS 1981a). Insofern ist der Lupinenunterbau also keine völlig sichere Technik, deren Effekte ganz verlässlich vorauszusagen sind. Auch im Falle erfolgreicher Begründung müssen meistens zunächst eine Reduktion der Grundflächenhaltung, Zuwachseinbußen durch Wurzelschäden und erhöhte Sturmgefährdung der Bestände in Kauf genommen werden. Die Kapitalkosten und der Energieaufwand des Eingriffs sind hoch.

Die Grunddüngung mit Kalk, Phosphat und Magnesium (Kalium)-Dünger, kombiniert mit wiederholten Stickstoffgaben, ist nach dem bisherigen Versuchsverlauf das sicherere und wirtschaftlichere Meliorationsverfahren für degradierte Standorte. Sofern die Düngerdosierung auf sorgfältiger Ernährungsdiagnose beruht, vermeidet diese Technik mehrere Risiken des Lupinenunterbaus: Die anfängliche Zuwachsdepression, die erhöhte Gefährdung durch Sturmwurf und die Humusverluste. Unter diesen Voraussetzungen kann auch das Einspeisen von Nitraten ins Grundwasser reduziert werden. Schwierigkeiten für nachfolgende Kiefernverjüngungen durch Wiederausbreiten der Lupine von überlebenden Stöcken aus entfallen. Im Vergleich zum bisher üblichen Düngen nur mit Stickstoff allein wird induzierter Phosphor- und Magnesium(Kalium)-Mangel ausgeschlossen. Die biologische Aktivität im Oberboden und die Humusform lassen sich auch mit diesem Vorgehen nachhaltig verbessern. Die Hoffnung erscheint berechtigt, daß man nach 3-5 Stickstoffgaben in Abständen von 5-7 Jahren auf weitere Zufuhr dieses Elements verzichten kann, da das Verfahren zu höheren Stickstoffvorräten im System führt und zugleich die Stickstoff-mineralisation anregt. Die bisher beobachtete Zuwachssteigerung geht auch einher mit größerer Artenvielfalt in der Bodenvegetation und - bei Zaunschutz - mit dem Einwandern von Fichten, Eichen und Edellaubbaumarten.

Danksagung

Ohne die tatkräftige Hilfe der Oberforstdirektion Regensburg und der beteiligten Forstämter Burglengenfeld, Pfreimd und Waldsassen wäre die Durchführung dieser langfristigen Experimente nicht möglich gewesen. Die Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt hat die Messungen und Auswertungen nachhaltig unterstützt. Den Herren Prof. Dr. FRANZ, Prof. Dr. KENNEL, Prof. Dr. WEHRMANN und Forstdirektor Dr. SCHMIDT sind wir dankbar für die Überlassung von Versuchsergebnissen. Herr DÖRR und Herr SKREBSKY waren maßgeblich bei den Geländeaufnahmen, bei den Auswerte- und Zeichenarbeiten beteiligt. Zahlreichen Chemotechnikern, u. a. M. KOPECKY, R. HEIBL und H. HOLZMÜLLER verdanken wir die Durchführung der chemischen Analysen. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat die boden- und vegetationskundlichen Auswertungen gefördert.

Zusammenfassung

Seit 1961 studieren wir in der Oberpfalz auf Podsol-Braunerde (zum Teil pseudovergleyt) aus Kreideschichten die Effekte wiederholter N- und NPKMg-Düngung auf Ernährungszustand und Zuwachs älterer Kiefern. In zwei weiteren Versuchen zu Kiefer auf Podsol-Pseudogley aus Kreide und Podsol-Braunerde aus Phyllit werden seit 1964 im gleichen Wuchsgebiet die Wirkungen wiederholter N-Düngung und des Lupinenunterbaus miteinander verglichen, jeweils auf der Basis gleicher CaPMgK-Gaben. Die jüngste Auswertung dieser Versuche nach 17–20 Jahren Laufzeit brachte folgende Ergebnisse:

- auf P- und Mg-armem Substrat induzierte wiederholte, reine N-Düngung im Laufe der Zeit P- und Mg-Mangel.
- CaPMgK-Düngung mit wiederholten N-Gaben steigerte die Oberbodenfruchtbarkeit und verbesserte die Humusform, ohne daß erhebliche Humusverluste auftraten.
- In allen drei Versuchen zeigten die mit mehreren Nährelementen gedüngten Kiefern überlegene Wuchsleistung im Vergleich zu den anderen Meliorationsvarianten.
- Lupinenunterbau nach CaPKMg-Düngung und Fräsung förderte zwar die biologische Aktivität, die Humusform, die N-Mineralisation und den Nährstoffumsatz der Bodenvegetation besonders kräftig. In ihrer Wirkung auf das Wachstum der Kiefern während der bisherigen Versuchsdauer blieb diese Art der Melioration jedoch hinter der CaPKMgN-Düngung zurück, weil das unvermeidliche Bobenbearbeiten anfangs Wurzelschäden und Zuwachsdepressionen auslöste. Der Zuwachs der mit Lupine unterbauten Kiefern stieg jedoch stetig an und erreichte inzwischen das Niveau der vollgedüngten Kiefern.

Summary

On the amelioration of degraded Scots pine (Pinus sylv. L.) sites in Upper Palatia/Bavaria

The paper reports the main results of three ameliorations trials in older pine stands 17 to 20 years after the start of the experiments. In one trial on a podzolic brown forest soil (cretaceous sediments) the effects of repeated fertilization with N and NPKMg were compared. Two other experiments were established on podzolic pseudogley (cretaceous sediments) and on podzolic brown forest soil (phyllite) in order to study the influence of repeated N fertilization as lime nitrogen and of lupine underplanting on the nutrition and growth of pine stands; both forms of N addition were compared on the basis of the same fertilization with CaPKMg.

On soils poorly supplied with P and Mg, repeated fertilization with N alone led to P and Mg deficiency of pines. In all trials, complete fertilization was superior to the other ame-

lioration treatments. Fertilization with CaPKMg combined with repeated additions of N improved top soil fertility and humus forms without causing humus losses. Underplanting of lupines after CaPKMg fertilization and tillage enhanced the biological activity, the mineralization of nitrogen and the nutrient turnover of the ground vegetation impressively. During the initial phase of the experiment, however, this procedure improved nutrition and growth of pines less than complete fertilization, because tilling had caused considerable damage to the roots and depressed growth at the very beginning. The volume increment of pines underplanted with lupines increased steadily and in the meanwhile has reached that of comparable stands which had received complete fertilization.

Literatur

- ALTHERR, E., 1981: Ergibt die Zuwachsmessung in Bruthöhe repräsentative Werte für die Beurteilung von Düngungserfolgen? Allgem. Forstzeitschrift 32, 822-824.
- ASSMANN, E., 1965: Düngung und Melioration von Waldbeständen in ertragskundlicher Sicht. Allgem. Forstzeitschrift 20, 241.
- BAUM, U., 1979: Wirkungen von Meliorationsmaßnahmen auf die Nährelementvorräte im Boden eines streugennutzten Oberpfälzer Kiefernbestandes. Forstw. Cbl. 98, 245-258.
- FRANZ, F., BIERSTEDT, W., 1975: Wirkung großflächiger Flugzeugdüngung mit Kalkammonsalpeter auf den Volumenzuwachs von Kiefernbeständen im Bayerischen Forstamt Bodenwöhr/Opf. Forstw. Cbl. 94, 310-324.
- HOLMEN, H., 1974: Forest Fertilization in Sweden 1973. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift 1-5.
- KENNEL, R., 1967: Ertragskundliche Ergebnisse neuer Düngungsversuche in Kiefern-, Fichten- und Buchenbeständen Bayerns. Forstw. Cbl. 86, 13-28.
- KENNEL, R., WEHRMANN, J., 1967: Ergebnisse eines Düngungsversuches mit extrem hohen Stickstoffgaben in einem Kiefernbestand geringer Bonität. XIV. IUFRO-Kongreß München VI, 216-231.
- KERN, K. G., W. MOLL, 1976: Melioration von streugennutzten Standorten unter Anwendung von Stickstoff-Depotdünger. Allg. Forst- u. Jagdztg. 147, 192-200.
- KREUTZER, K., 1967: Ernährungszustand und Volumenzuwachs von Kiefernbeständen neuer Düngungsversuche in Bayern. Forstw. Cbl. 86, 28-53.
- KREUTZER, K., 1972: Über den Einfluß der Streunutzung auf den Stickstoffhaushalt von Kiefernbeständen. Forstw. Cbl. 91, 263-270.
- REHFUESS, K. E., SCHMIDT, A., 1971: Die Wirkung von Lupinenunterbau und Kalkammonsalpeterdüngung auf den Ernährungszustand und den Zuwachs älterer Kiefernbestände in der Oberpfalz. Forstw. Cbl. 90, 237-259.
- REHFUESS, K. E., 1981a: Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Parey Studentexte Nr. 29. Hamburg u. Berlin: Verlag Paul Parey.
- REHFUESS, K. E., 1981b: Über die Wirkungen der sauren Niederschläge in Waldökosystemen. Forstw. Cbl. 100, 363-381.
- RODENKIRCHEN, H., REHFUESS, K. E., 1981: Effects of amelioration techniques on ground vegetation. Contr. XVII. IUFRO World Congress Kyoto/Japan.
- TAMM, C. O., ARONSSON, A., BURGTORF, H., 1974: The optimum nutrition experiment Strasan. A brief description of an experiment in a young stand of Norway spruce (*Picea abies* Karst.). Research Notes, Dept. Forest Ecology and Forest Soils No. 17.
- WEHRMANN, J., 1959: Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen (*Pinus silvestris*) in Bayern. Forstw. Cbl. 78, 129-150.
- WEHRMANN, J., 1961: Die Auswirkung der Trockenheit von 1959 auf die Nährelementversorgung bayerischer Kiefernbestände. Forstw. Cbl. 80, 272-287.
- ZÖTTL, H., KENNEL, R., 1962: Die Wirkung von Ammoniakgas- und Stickstoffsalzdüngung in Kiefernbeständen. Forstw. Cbl. 81, 65-91.
- Anschriften der Verfasser:* Dr. T. PREUßLER, Lehrstuhl für Wachstumskunde, Amalienstraße 52, D-8000 München 40; Prof. Dr. K. E. REHFUESS, Lehrstuhl für Bodenkunde, Amalienstraße 52, D-8000 München 40