

GÖTTINGER
BODENKUNDLICHE
BERICHTE
43

Magan Bihari Shrivastava

**QUANTIFIZIERUNG DER BEZIEHUNGEN ZWISCHEN
STANDORTSFAKTOREN UND OBERHÖHE AM BEISPIEL DER FICHTE
(PICEA ABIES KARST.) IN HESSEN**

1976

Magan Bihari Shrivastava

**QUANTIFIZIERUNG DER BEZIEHUNGEN ZWISCHEN
STANDORTSFAKTOREN UND OBERHÖHE AM BEISPIEL DER FICHTE
(PICEA ABIES KARST.) IN HESSEN**

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 43, 1-228
(1976)**

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Bisherige Lösungsansätze	2
1.3 Eigener Lösungsansatz	7
2. Allgemeine Beschreibung des Untersuchungsgebietes	9
3. Statistische Verfahren und Rechenprogramme	12
3.1 Varianzanalysen	12
3.2 Paarweiser Mittelwertvergleich	12
3.3 Korrelations- und Regressionsanalyse	12
3.3.1 Korrelationsmatrices	13
3.3.2 Regressionen zwischen zwei Variablen	13
3.3.3 Multiple Regressionen	13
3.4 Plot-Programme	15
4. Herleitung der Daten	15
4.1 Auswahl der Untersuchungsbestände	15
4.2 Standortsauswahl	16
4.3 Erhebung der Daten	17
4.3.1 Klimadaten	17
4.3.2 Ertragskundliche Daten	25
4.3.3 Standort- und Bodenbeschreibung	25
4.4 Probenahme, Analytik und methodische Ergebnisse	28
4.4.1 Nadeln	28
4.4.1.1 Entnahme der Nadelproben	28
4.4.1.2 Nadelanalyse	33
4.4.1.3 Ergebnisse: Vergleich mit der An- sprache der Trophie durch die Standortskartierung	33
4.4.2 Boden	40
4.4.2.1 Entnahme der Bodenproben	40
4.4.2.2 Physikalische Bodenuntersuchung	42
4.4.2.2.1 Trockenraumgewicht	42
4.4.2.2.2 Spezifisches Gewicht, Substanzvolumen, Hohlraumvolumen	43

4.4.2.2.3	pF-Kurven, Porengrößen- verteilung sowie Inten- sität der Wasserbindung	43
4.4.2.3	Korngrößenverteilung	43
4.4.2.4	Bodenchemische Analytik	44
4.4.2.4.1	Auswahl der Proben	44
4.4.2.4.2	Auflagehumus	44
4.4.2.4.3	Mineralboden	44
4.4.2.5	Verrechnung der Analysendaten	46
4.5	Überprüfung der Feldansprache durch die Labor- untersuchung	47
4.5.1	Korngrößenklassen und Bodenart	47
4.5.2	Humusgehalt	49
4.6	Quantifizierung und Codierung des Wasser- und Lufthaushalts	51
4.6.1	Ableitung von Nomogrammen zur Bestimmung der nutzbaren Wasserkapazität und der Luft- kapazität	51
4.6.2	Schätzung des standörtlichen Wasserangebots	53
4.6.3	Codierung der nutzbaren Wasserkapazität	55
4.7	Codierung der topographischen Merkmale	56
4.8	Quantifizierung und Codierung des Nährstoffhaus- halts	56
4.8.1	Schätzung der Nährstoffhaushaltsgrößen für die nicht analysierten Proben	56
4.8.1.1	O_H -Horizonte (C,N,P,C/N,C/P)	56
4.8.1.2	A_h -Horizonte	58
4.8.1.3	Schätzung von P_t und den P- Fraktionen	59
4.8.1.4	Berechnung der austauschbaren Kationen	63
4.8.2	Codierung der Trophieklassen	72
5.	Auswahl der Variablen	78
5.1	Auswahl der abhängigen Variablen	78
5.2	Unabhängige Parameter und ihre Beziehungen zur Baumhöhe	78

	<u>Seite</u>
5.2.1 Klimafaktoren einschl. Transformationen	78
5.2.2 Topographische Parameter	86
5.2.3 Humusformen	86
5.2.4 Morphologische Parameter	90
5.2.5 Parameter des Bodenwasserhaushalts	98
5.2.6 Nadelspiegelwerte	100
5.2.7 Bodenchemische Parameter	104
5.3 Parameterauslese im Hinblick auf Kennzeichnung der Standortsqualität	122
5.3.1 Parameterauslese unter Beachtung der Signi- fikanz der Regression zur Baumhöhe	122
5.3.1.1 Vorgehen	122
5.3.1.2 Ergebnis der multiplen Regression	127
5.3.1.2.1 Regression unter Einbe- ziehung der Nadelspiegel- werte	127
5.3.1.2.2 Multiple Regressionsana- lyse mit Bodenvorräten	136
5.3.2 Parameterauslese unter Beachtung von Inter- korrelationen	137
5.3.2.1 Vorgehen	137
5.3.2.2 Ergebnis der multiplen Regression	153
5.3.3 Parameterauslese unter bestimmten Frage- stellungen	162
5.3.3.1 Verwendung des Trophie-Codes	162
5.3.3.2 Berücksichtigung ausschließlich edaphischer Parameter	165
5.3.3.3 Berücksichtigung ausschließlich der Nährstoffversorgung	172
5.3.3.4 Berücksichtigung ausschließlich von Geländedaten	174
5.3.3.5 Substratabhängigkeit	176
5.3.3.5.1 Buntsandstein	177
5.3.3.5.2 Tonschiefer, Grauwacke und Quarzit	185
6. Diskussion	188
7. Zusammenfassung	192

	<u>Seite</u>
8. Summary	194
9. Literaturübersicht	200
Anhang: I	209
II	218
III	220
IV	223
V	224
VI	226
VII	227
VIII	228

.....*

V o r w o r t

Ziel dieser Arbeit war es, mit ökologischen Forschungsmethoden die Kenntnis der Faktoren, welche die forstliche Produktion bestimmen, zu erweitern und zu vertiefen. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Standortsfaktoren und die Produktivität von Wäldern unter besonderer Berücksichtigung der Fichtenforsten in Hessen.

Die Untersuchungen wurden am Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen durchgeführt. Ich möchte dem Direktor des Instituts, Herrn Professor Dr. Bernhard Ulrich, für sein Interesse an der Arbeit und seine vielfältige Förderung meinen aufrichtigen Dank aussprechen.

Die Erhebung der Felddaten geschah in enger Zusammenarbeit mit der Hessischen Forstverwaltung und der Forsteinrichtungsanstalt Gießen. Besonderer Dank für Ihre Unterstützung der Arbeit gebührt hier den Herren Oberlandforstmeister Henne, Landforstmeister Riebeling, Landforstmeister Dr. Rödiger, Oberförster Leicht sowie Frau Hanni Leicht, Gießen.

Wertvolle Unterstützung bei der statistischen Verarbeitung der Daten haben Frau Dr. M. Ulrich und Fräulein Dr. E. Ahrens sowie der Mitarbeiter der Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung, Herr Seelmann, geleistet. Ihnen, sowie allen Mitarbeitern des Instituts für Bodenkunde und Waldernährung, den Mitgliedern der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, Herren Professor Dr. H. Lamprecht, Professor Dr. H. Hattmer und Frau Professor Dr. G. Jahn und den Mitarbeitern der Niedersächsischen Forstverwaltung, die auf vielfältige Weise mit Rat und Unterstützung zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben, sei an dieser Stelle gedankt.

Für ihre wertvollen Anregungen möchte ich meinen Dank aussprechen an Herren S.K. Seth, I.F.S., Präsident (jetzt General Inspektor Indiens), und Dr. P.B.L. Srivastava, Research Officer des Forest Research Instituts in Dehradun (Indien), ebenso Herrn R.C. Kaushik, I.F.S., Chief Conservator of Forests, Himachal Pradesh (Indien), durch dessen persönliche Empfehlung

meine Freistellung von den Amtspflichten und die Durchführung der Arbeit in der Bundesrepublik Deutschland ermöglicht wurde.

Außer der Zusammenarbeit mit der Hessischen Forsteinrichtungsanstalt Gießen wurde die Untersuchung durch das Institut für Bodenkunde und Waldernährung Göttingen und den Deutschen Akademischen Austauschdienst Bonn finanziell gefördert. Mein Aufenthalt in der Bundesrepublik Deutschland wurde durch ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes, Bonn, ermöglicht. Diesen Institutionen sei an dieser Stelle mein Dank ausgesprochen.

Zum Schluß möchte ich Fräulein Sigrid Wegner für ihre wertvolle Unterstützung der Arbeit aufrichtig danken.

Göttingen, Mai 1976.

Magan Bihari Shrivastava.

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Abschätzung der Produktivität von Waldstandorten ist seit vielen Jahren Gegenstand forstlicher Forschung und Praxis. Das besondere Interesse des Wissenschaftlers gilt hierbei den Beziehungen zwischen den lokalen Standortfaktoren und dem Baumwachstum; der Praktiker ist dagegen mehr an den wirtschaftlichen Implikationen verschiedener Standortsqualitäten interessiert. Wie COILE (1952) und TAMM et al. (1967) ausführen, wäre das Studium der Beziehungen zwischen Vegetation und Standort größtenteils eine akademische Frage, wenn die Bestockung eine direkte Messung der Produktivität mit ausreichender Genauigkeit z.B. aus Messungen an Probestämmen oder - mit geringerer Genauigkeit - aus Luftbildaufnahmen erlauben würde. Diese Möglichkeit besteht jedoch selten. Darüber hinaus sind die meisten der zugänglichen jungfräulichen Wälder bereits geschlagen und günstigenfalls durch raschwüchsige Baumarten mit kurzer Umtriebszeit ersetzt; in solchen Fällen wird eine Information über die Bodenproduktivität für die verschiedenen Baumarten benötigt. Aus diesen Gründen ist die Ermittlung der Standortsproduktivität mit Hilfe indirekter Methoden, die auf anderen Merkmalen als denen eines geeigneten Bestands basieren, seit mehr als vier Jahrzehnten Gegenstand zahlreicher Untersuchungen.

Bei einer Standortsbewertung durch indirekte Methoden werden die größten Schwierigkeiten dadurch verursacht, daß zahlreiche quantitativ ansprechbare Standortmerkmale nicht eindeutig durch bestimmte Standortfaktoren bestimmt sind oder diese bestimmen. Die Zuwachsleistung eines Bestandes ist integrierter Ausdruck aller biologischer und umweltbedingter Merkmale, die das Wachstum bis zum Meßzeitpunkt beeinflußt haben. Untersuchungen zur indirekten Standortsbewertung sollten daher darauf abzielen, diejenigen quantitativ ansprechbaren Standortparameter herauszufinden, die

eine möglichst direkte Beziehung zu Wachstumsfaktoren aufweisen und mit dem Wachstum in deutlicher Beziehung stehen. Darüber hinaus sollte eine Ansprache der Standortqualität auch bei fehlender Bestockung oder bei Fehlbestockung möglich sein.

In der nachfolgenden Arbeit wird daher versucht, aus einer möglichst großen Anzahl von quantitativ erhebbaren Standortmerkmalen Parameter zu gewinnen, die zur Charakterisierung der verschiedenen Wachstumsfaktoren wie Wasserversorgung, Luftversorgung im Wurzelraum oder Versorgung mit den verschiedenen Nährstoffen geeignet sind. Aus der Vielzahl der zu diesem Zweck definierbaren Standortparameter sollten zum anderen diejenigen ausgewählt werden, die zum Wachstum einer Baumart (der Fichte) in einem bestimmten Wuchsraum (Mischwaldzone des hessischen Berglands) besonders enge Beziehungen aufweisen. Der wesentliche bodenkundliche Aspekt dieser Aufgabe liegt einerseits in der Definition geeigneter Standortparameter, zum anderen in der Entwicklung eines Verfahrens, durch sinnvolle Koppelung von Felderhebungen mit bodenchemischen und bodenphysikalischen Messungen an ausgewählten Bodenproben eine Vielzahl an quantitativen Standortparametern mit möglichst geringem Aufwand zu erhalten.

1.2 Bisherige Lösungsansätze

Die lange Umtriebszeit und die Unmöglichkeit einer direkten Ertragsfeststellung machen die forstliche Standortsbontierung zu einem schwierigen Problem (RENNIE, 1962). Eine Überwindung dieser Schwierigkeiten wurde mit verschiedenen Methoden versucht. Diese Methoden variieren in den benötigten Hilfsmitteln, in den Standorten, auf die sie anwendbar sind, und in der Art der Information, die sie liefern. Darüber hinaus spiegeln sie die verschiedenen Disziplinen wider, von denen sie stammen; oft sind sie entsprechend dem speziellen Fachwissen des Untersuchers ausgewählt und in der Literatur weit verstreut.

Kritische Überblicke über die verschiedenen Methoden der Standortsbewertung liegen vor von HEIBERG und WHITE (1956), HODGKINS (1960), RENNIE (1962), ROWE (1962), MADER (1963a), RALSTON (1964, 1967) und CARMEAN (1970). Wie bereits erwähnt, besteht nur selten die Möglichkeit für eine direkte Erfassung der Standortqualität. Den indirekten Methoden wurde daher wesentlich mehr Aufmerksamkeit geschenkt.

Die am engsten mit dem Baumwachstum korrelierten Standortsfaktoren wurden von verschiedenen Autoren zusammengestellt und im einzelnen besprochen, z.B. durch ANDERSON (1950), AUTEN (1935), CHAPMAN und LIEBIG (1940), COILE (1952, 1960), DAHL et al. (1961), HEINSELMAN und ZASADA (1955), HILLS (1952), RENNIE (1962), WHITE und LEAF (1956). Diese Überblicke fassen mehrere hundert Untersuchungen in Rein- und Mischbeständen zusammen. Sie basieren meistens auf einer multiplen Regressionsanalyse eines Wachstumsmerkmals wie der Baumhöhe und assoziierten Merkmalen für Boden, Klima, Topographie und biotische Faktoren.

Auf einige der wichtigsten Ergebnisse wird zusammenfassend im folgenden eingegangen.

Ein erstes regionales Gliederungsschema für Wälder in einem bestimmten Gebiet beruht in der Regel auf einer Klimadifferenzierung; ein Beispiel hierfür gibt ROWE (1959) für Kanada. Als wichtige Standortparameter sind daher schon immer klimatische Daten wie Temperatur und Niederschlag betrachtet worden. In neuerer Zeit sind eine ganze Reihe von multiplen klimatischen Indexziffern entwickelt worden. Bemerkenswerte Beispiele sind MARTONNE'S Humiditätsindex und ANGSTRÖM'S Kontinentalitätsmaß. Vielleicht der letzte Versuch in dieser Richtung ist PATERSON'S CVP-Index (PATERSON, 1956), der zeigt, daß der mittlere jährliche Zuwachs von ungestörten Hochwaldtypen über die ganze Welt korreliert mit einem Klimaindex, der die kombinierten

Effekte von Temperaturamplitude, Länge der Vegetationsperiode, Niederschläge und Globalstrahlung enthält. Dieser Index wurde für indische Bedingungen modifiziert durch WECK (1970). Der Index wurde neuerdings angewandt in Schweden (PATERSON, 1959), Italien (GAMBI, 1960), Frankreich (PARDE, 1959) und Kanada (LEMIEUX, 1961).

Die Topographie hat keinen direkten Einfluß auf das Baumwachstum, sie verursacht jedoch Differenzierungen im Mikroklima, dem Bodenwasserhaushalt und der Bodenentwicklung (COOPER, 1960; FINNEY et al., 1962). Neben anderen Bodeneigenschaften werden der Nährstoffzustand und naturgemäß auch das Wachstum von Beständen beeinflusst. Beziehungen zwischen der Standortsqualität und physiographischen Merkmalen können entweder in Form kontinuierlicher topographischer Parameter wie der Höhe, Hangrichtung, Hangneigung ausgedrückt werden oder aber in Form diskreter topographischer Lagebeschreibungen wie z.B. Rücken, Hang, Kuppe, Tal usw. (AREND und GYSEL, 1951; COILE, 1938). In den vergangenen zwei Jahrzehnten sind zahlreiche Arbeiten über den Einfluß der topographischen Merkmale auf das Baumwachstum veröffentlicht worden ; hierbei wurde der erstgenannten Ausdrucksweise vorwiegend in bergigem Gelände, der letztgenannten in flacheren Gebieten der Vorzug gegeben.

Die durch Hangrichtung und Hangneigung variierte Einstrahlung wirkt sich letztlich im Bodenwasserhaushalt aus. An Unterhängen macht sich eine zusätzliche Wasserversorgung durch oberflächennahen Abfluß aus den oberen Hangpositionen bemerkbar (HEWLETT, 1961). Kämmen und Süd- sowie West-Hänge sind größerer Einstrahlung ausgesetzt als Unterhänge oder Nord- sowie Ost-Hänge. Die Unterschiede in der Einstrahlung werden um so deutlicher, je größer die Hangneigung ist. Auf Kämmen und Südwesthängen sind Temperatur und Transpiration höher, der verfügbare Wasservorrat im Boden während der Vegetationsperiode dagegen geringer (GEIGER, 1965; GILBERT und WOLFE, 1959). Die Arbeiten von FINNEY et al. (1962) in Ohio zeigen, daß die Bodenentwicklung auf Süd-

hängen weniger günstig für das Baumwachstum ist als auf Nordhängen: Nordhänge haben eine mächtigere Streuschicht sowie mächtigere A_h -Horizonte, auch der chemische Bodenzustand ist günstiger (vergleiche auch EINPAHR und MCCOMB, 1951). Im kolumbianischen Bergland erklärte TSCHINKEL (1972) mit Hilfe multipler Regressionsanalyse 72 % der Variation im Standortsindex durch die topographische Variation.

Nur wenige Autoren haben die Effekte von biotischen Faktoren wie Harzgewinnung, Bestandesdichte, Konkurrenz, Oberbodenstörung oder von standortsfremdem Anbau auf den Standortsindex untersucht (GAISER und MERZ, 1951; LORENZ und SPAETH, 1947; MOOSMAYER und SCHÖPFER, 1972; RALSTON, 1951). Solche Faktoren wurden bisher noch kaum als Schlüssel zur Vorhersage der Standortsqualität benutzt. Es ist jedoch wichtig, sich der möglichen Einflüsse bewußt zu sein, wenn man Korrelationen mit anderen Habitatfaktoren ausarbeitet (LEMMON, 1955).

Neben den klimatischen, physiographischen und biotischen Faktoren verbleibt als wesentlicher Faktor zur Erklärung der physikalischen Umwelt die Variation von Bodenmerkmalen. 1937 hat AALTONEN darauf hingewiesen, daß die Bestimmung der Produktivität des Bodens an Hand seiner Eigenschaften eines der wichtigsten Ziele forstlich-bodenkundlicher Forschung ist, aber gleichzeitig auch eine der schwierigsten Fragen, weil die Produktivität selten nur von einem Faktor oder wenigstens nur von wenigen Faktoren abhängt, sondern in der Regel durch eine Kombination von vielen Faktoren bestimmt wird. Die Bodenproduktivität wird bestimmt durch die Quantität und Qualität des Wurzelraumes. Der Boden beeinflußt das Baumwachstum hinsichtlich der Versorgung mit Wasser und Nährstoffen sowie der Luftversorgung im Wurzelraum. Relativ viele Untersuchungen wurden durchgeführt, um die Auswirkung der physikalischen Bodeneigenschaften auf das Baumwachstum zu untersuchen; dagegen wurde den chemischen Standortfaktoren weniger Aufmerksamkeit zuteil. Der Grund hierfür liegt darin, daß viele

Waldbäume offensichtlich geringere Nährstoffbedürfnisse aufweisen als landwirtschaftliche und gärtnerische Kulturpflanzen, bei denen die Produktion von Früchten oder Samen die wesentlichen Wachstumskriterien sind (DAY, 1955; MCCOMB und KAPEL, 1942).

Als bodenphysikalische Merkmale wurden hauptsächlich Textur, Durchlässigkeit, Mächtigkeit, Plastizität, Wasserkapazität von verschiedenen Horizonten, Farbe, Dichte, Kolloidgehalt, Trockenraumdichte, Tiefe des Wurzelraumes, Steingehalt, kapillares und nicht kapillares Hohlraumvolumen und ähnliches verwandt. Vereinzelt wurden recht enge Korrelationen zwischen dem einen oder anderen dieser Faktoren und dem Standortsindex gefunden. Besondere Aufmerksamkeit wurde der verfügbaren Wasserkapazität im Boden zuteil (ZÄHNER, 1958; WHITE, 1959; BROADFOOT, 1960; ZECH und CEPER, 1970, 1972; MOOSMAYER und SCHÖPFER, 1972; LOWRY, 1975 usw.).

Unter den neueren Autoren sind es vorwiegend AUTEN (1945 a,b) HAIG (1929), STORIE und WIESLANDER (1948), TARRANT (1949), die über die Beeinflussung des Baumwachstums durch chemische Bodeneigenschaften berichten. Als Parameter wurden verwendet: verfügbare Mengen an N und P, Humusgehalt, allgemeiner Nährstoffzustand und pH. Außer von STORIE und WIESLANDER wurden jedoch keine signifikanten Beziehungen gefunden. Zu denselben Ergebnissen kamen NEBE und RZEZNIK (1967) und VUKOREP (1969), während HOUBA (1972) das Höhenwachstum erfolgreich mit bodenchemischen Analysendaten korrelierte. Als erster haben MADER und OWEN (1961) bodenchemischen Eigenschaften in multiple Regressionsgleichungen zusammen mit anderen Faktoren einbezogen.

Als Maß für den Nährstoffhaushalt werden ferner die Nährstoffgehalte in den Assimilationsorganen herangezogen, so z.B. die Nadelspiegelwerte in den Untersuchungen von REHFUESS (1967) über süddeutsche Tannenbestände. Blattspiegelwerte spiegeln die Nährstoffversorgung wider und lassen in-

soweit kausale Schlüsse zu, sie sind jedoch selbst keine Standortparameter. Die entsprechenden Standortparameter sind Bodenvorräte als extensive Parameter sowie Nährstoffgehalte oder Nährstoffverhältnisse im Boden als intensive Parameter. Man kann deshalb aus Blattspiegelwerten keine Rückschlüsse auf die Verhältnisse im Boden ziehen, verzichtet also auf ein Stück Kausalität. In der vorliegenden Arbeit wurden daher die Nadelspiegelwerte zwar ermittelt und auch in das Auswertungsverfahren einbezogen, doch wird das Schwergewicht auf Bodenparameter gelegt.

1.3 Eigener Lösungsansatz

Aufgabe der Arbeit ist es, geeignete Standortparameter für die Abschätzung der Produktivität der Waldstandorte in der Buchen-Mischwaldzone des Hessischen Berglands (als Beispiel) zu suchen. Ein Standortparameter soll dann als geeignet bezeichnet werden, wenn er folgende Bedingungen erfüllt: Er muß

- a) ökologische Schlußfolgerungen zulassen, die kausal möglichst eindeutig und vom Standpunkt des Planers und Wirtschafters sinnvoll sind,
- b) im Rahmen einer forstlichen Standortkartierung erhebbar sein,
- c) einen signifikanten Beitrag zur Erklärung des Höhenwachstums der Fichte (als Beispiel) liefern.

Um der Forderung unter a) zu entsprechen, wird versucht, Standortparameter zu definieren, die die verschiedenen Wachstumsfaktoren (Wasser, Wärme, die verschiedenen Nährstoffe) so direkt als möglich wiedergeben. Die Standortparameter können hierbei entweder als Kapazitäten (Vorräte, extensive Standortseigenschaften) oder als Intensitäten (Temperatur, Konzentrationen wie pH-Wert oder Nährstoffgehalte, Verhältniszahlen wie relative Luftfeuchte oder Nährstoffverhältnisse) ausgedrückt werden. Eine dritte Ausdrucksweise, nämlich als Fluß, wird nur für Input-Größen

(Strahlung, Niederschläge) verwendet, für die die entsprechenden Daten vorliegen. Zur Verbesserung kausaler Interpretation sollen die Standortparameter quantitativ ausgedrückt werden (Kapazitäten also z.B. in Volumen oder Masse). Zur Verlängerung der Kausalkette sollte eine Auscheidung von Teilmengen z.B. für eine Codierung aus den quantitativen Standortparametern abgeleitet oder in diesen Einheiten ausgedrückt werden.

Die unter b) genannte Forderung, daß die Daten im Rahmen einer forstlichen Standortskartierung erhebbar sein sollen, ist nicht nur als Grenze, sondern auch als Aufgabe zu verstehen. Diese Aufgabe besteht einmal darin, bei der Geländeaufnahme alle diejenigen Merkmale zu erheben, die für die anschließende deduktive Schätzung quantitativer Parameter erforderlich sind. Eine solche Schätzung ist allerdings ausschließlich auf der Grundlage von Geländeerhebungen nicht möglich. Soweit aus einem im Gelände erhobenen Standortmerkmal unmittelbar quantitative Daten abgeleitet werden sollen (z.B. Korngrößenanteile aus der Ansprache der Bodenart mit der Fingerprobe), müssen Kontrolluntersuchungen im Labor durchgeführt werden, anhand derer eine dauernde Selbstkontrolle bei der Geländearbeit erfolgen kann (z. B. Mitführung eines auf Korngrößenzusammensetzung analysierten Kollektivs der wichtigsten Bodenarten, mit denen bei der Ansprache im Gelände verglichen werden kann). Soweit gewünschte Parameter nicht in direkter Relation zu Geländemerkmale stehen, liegt es nahe, an einem aus dem Untersuchungsgebiet stammenden Probenkollektiv im Labor nach Beziehungen zu suchen, die eine quantitative Schätzung auf indirektem Weg erlauben (z.B. Austauschkapazität als Funktion des Ton- und Humusgehalts, wobei letztere unmittelbar aus im Gelände angesprochenen Bodenmerkmalen abgeleitet werden). Die Arbeit versucht damit auch einen Beitrag zur Weiterentwicklung der forstlichen Standortskartierung zu liefern. Das für die Geländeaufnahmen im Institut für Bodenkunde und Waldernährung entwickelte Formblatt, das auch in dieser Arbeit Verwendung fand, wurde bereits

mit einigen Abänderungen von der niedersächsischen Standortskartierung übernommen; es erfüllt die Forderung, die für die Schätzung quantitativer Parameter erforderlichen Geländemerkmale auszuweisen. Die für eine quantitative Schätzung auf indirektem Weg in dieser Arbeit angewendeten Laboruntersuchungen entsprechen dem Routineprogramm bodenchemischer und bodenphysikalischer Untersuchungen für ökologische Zwecke am Institut für Bodenkunde und Waldernährung; sie werden vom Institut auch für die Standortskartierung in Rheinland-Pfalz durchgeführt. Die unter b) erhobene Forderung, daß die in dieser Arbeit verwendeten Daten im Rahmen einer forstlichen Standortskartierung erhebbar sind, ist damit in der Kartierungspraxis im Prinzip bereits erfüllt.

Die unter c) genannte Forderung, daß die Standortparameter einen signifikanten Beitrag zur Erklärung des Höhenwachstums der Fichte leisten sollen, wird durch Anwendung statistischer Auswertungsverfahren geprüft.

2. Allgemeine Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Diese Arbeit basiert auf standörtlichen und ertragskundlichen Erhebungen in 41 örtlich zufällig ausgewählten Fichtenbeständen des hessischen Staatswaldes im Bereich der Buchen-Mischwald-Zone mit Höhenlagen zwischen 230 und 500 m über NN. (KNAPP, 1954; ASTHALTER, 1972). Die Jahresniederschläge reichen von 613 bis 1049 mm. Die Probeflächen liegen überwiegend im schwach atlantisch bis schwach subkontinental getönten Klimabereich (Hess. Forsteinrichtungsanstalt Gießen, 1963).

Als geologische Substrate kommen Buntsandstein, Tonschiefer, Grauwacke und Quarzit vor, die überwiegend von quartären Schuttdecken überlagert sind.

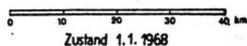
Unter Zugrundelegung der regionalen Gliederung Hessens (ASTHALTER, 1972) ergibt sich folgende Verteilung der

Probeflächen auf Wuchsgebiete und -bezirke:

<u>Grundgestein:</u>	<u>Buntsandstein:</u>
<u>Wuchsgebiet</u>	<u>Wuchsbezirk</u>
Weserbergland	Reinhardswald (Forstämter Karlshafen, Hofgeismar, Veckerhagen)
Nordosthessisches Bergland	Kaufunger Wald (Forstamt Oberkaufungen) Sandsteingebiet um Hersfeld und Niederaula (Forstämter Hersfeld-Ost, Hersfeld-West) Seulingswald (Forstämter Wildeck, Heringen und Friedewald) Rotenburger und Melsunger Bergland (Forstämter Spangenberg, Niederbeisheim)
Nordwesthess. Bergland	Schwalm-Bergland (Forstamt Neukirchen) Marburger Lahnbergland (Forstamt Marburg) Amöneburg Neustädter-Gebiet (Forstamt Treysa) Burgwald (Forstamt Rosenthal)
Spessart	Nordwestlicher Spessart (Forstämter Salmünster, Kassel) Zentraler Hessischer Spessart (Forstämter Salmünster, Marjoß)
Odenwald	Südwestlicher Buntsandstein-Odenwald (Forstamt Waldmichelbach)
<u>Grundgesteine:</u>	<u>Tonschiefer, Grauwacke, Quarzit:</u>
<u>Wuchsgebiet</u>	<u>Wuchsbezirk</u>
Nördliches Hessisches Schiefergebirge	Östliche Rothaargebirgsausläufer (Forstamt Frankenberg) Wildunger Bergland (Forstamt Altenlotheim) Westliches Lahn-Dill-Bergland (Forstamt Gladenbach) Östliches Lahn-Dill-Bergland (Forstamt Wetter-W.)

bb. 1: ÜBERSICHTSKARTE

DER HESSISCHEN FORSTAMTER



- Landesgrenze
- Reg. Bez. Grenze
- Forstamtergrenze



LAGE DER VERSUCHSFLÄCHEN IN HESSEN

- ▲ Geolog. Substrat Buntsandstein
- Geolog. Substrat Tonstiefer, Grauwacke, Quarzit



- I = Reg. Bezirk Darmstadt
- II = Reg. Bezirk Kassel
- III = Reg. Bezirk Wiesbaden

BADEN - WÜRTTEMBERG

Abkürzung: Die Flächen der Forstämterverhältnisse sind auf der Karte nicht dargestellt

Taunus

Hochtaunus
(Forstamt Königstein)

Westlicher Hintertaunus
(Forstamt Wörsdorf)

Die Lage der Probeflächen geht auch aus der Übersichtskarte (Abb. 1) hervor.

3. Statistische Verfahren und Rechenprogramme

Für die zur Anwendung gekommenen statistischen Auswertungsverfahren standen durchweg Rechenprogramme an der UNIVAC 1108 der Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung in Göttingen (GWD) zur Verfügung.

Als Signifikanzgrenzen werden stets Irrtumswahrscheinlichkeiten von 5 % (+), 1 % (++) und 0,1 % (+++) zugrunde gelegt.

3.1 Varianzanalysen

Zur Anwendung kamen ausschließlich Einwegklassifikationen, die entweder mit ANOV 1 (aus STAT.PACK., GWD) oder im Zusammenhang mit dem nachstehend beschriebenen paarweisen Mittelwertvergleich gerechnet wurden.

3.2 Paarweiser Mittelwertvergleich

Paarweise Mittelwertvergleiche wurden mit dem Rechenprogramm PAMV des Deutschen Rechenzentrums (DRZ) (Autor: F. GEBHARDT) gerechnet. Das Programm prüft mittels t-Test Mittelwerte sowie mittels des BARTLETT-Tests die Varianzen der Mittelwerte auf Gleichheit und führt eine Varianzanalyse (Einweg-Klassifikation) durch.

3.3 Korrelations- und Regressionsanalyse

Bedingt durch die Thematik der Arbeit stehen im methodischen Teil, besonders aber im Ergebnisteil die Prüfung von Abhän-

gigkeiten zwischen Variablen mit Hilfe der Korrelations- und Regressionsrechnung im Vordergrund. Berechnet wurden:

3.3.1 Korrelationsmatrices zur Prüfung der Abhängigkeit der Variablen paarweise untereinander.

Rechenprogramm: KOR 1 (DRZ, Autor: L. PÖCKER)

3.3.2 Regressionen zwischen zwei Variablen: Hierbei wurde geprüft, ob sich der Zusammenhang zwischen zwei Variablen durch eine quadratische oder kubische Regression besser erfassen läßt als durch eine lineare:

linear (L) $y = a + bx$

quadratisch (Q) $y = a + bx + cx^2$

kubisch (K) $y = a + bx + cx^2 + dx^3$

Rechenprogramm: LIPR (DRZ, Autor: F. GEBHARDT)

Das Programm führt an den Vergleichen linear-quadratisch, quadratisch-kubisch und linear-kubisch einen F-Test durch und gibt die Bestimmtheitsmasse der linearen, quadratischen und kubischen Regression als Kriterien aus. Ferner wird die Standardabweichung der Reststreuung ausgegeben, d.h. der durch die Regression nicht erklärten Streuung. Sie ist in den Tabellen als " s_R " aufgeführt und bedeutet für die abhängige Variable "Baumhöhe" (Mittelwert: 29 m) den mittleren einseitigen Schwankungsbereich von 68 % des Kollektives um die Regressionslinie.

Für die Aussagekraft von Regressionen ist ferner die annähernd gleichgewichtige Verteilung der Meßwerte x_1, x_2, \dots, x_n auf den Meßbereich der unabhängigen Variable x von Bedeutung. Da hierfür kein statistischer Prüfparameter zur Verfügung stand, werden die gefundenen Regressionsgleichungen graphisch unter Angabe der Meßpunkte dargestellt. Bei einseitiger Häufung der Meßpunkte entlang der x -Achse ist eine quadratische oder kubische Regressionsgleichung trotz höheren Bestimmtheitsmasses dann zu verwerfen, wenn der Kurvenzug den Meßbereich der abhängigen Variable y (der Baumhöhe) verläßt.

3.3.3 Multiple Regressionen stellen das zentrale statistische Auswertungsverfahren in der Arbeit dar: es wird versucht,

eine abhängige Variable oder Zielgröße y (z.B. Baumhöhe) als lineare Kombination mehrerer unabhängiger Variabler oder Einflußgrößen x_1 (Standortsparameter) darzustellen:

$$y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$$

Aus dieser linearen Kombination läßt sich die Bedeutung der einzelnen unabhängigen Variablen am Zustandekommen der abhängigen Variablen bzw. an deren Vorhersage ersehen. Multiple Regressionen können daher dazu benutzt werden, aus einer Menge von Parametern ähnlicher Aussage diejenigen mit der größten Aussagekraft herauszufinden. Genau dies ist ein wesentliches Anliegen der Arbeit: aus einer Vielzahl von quantitativ erfaßbaren Standortsparametern sollen für jeden Wachstumsfaktor diejenigen herausgesucht werden, die am besten das Wachstum der Fichte in dem untersuchten Gebiet (Buchen-Mischwaldzone im hessischen Bergland) erklären.

Da Polynom-Regressionen linear in den Regressionskoeffizienten (b) sind, lassen sie sich durch Potenzieren der x -Werte entsprechend dem Gleichungsgrad (quadratisch oder kubisch) linearisieren, sie können damit in eine multiple Regression eingehen. Besteht für die unabhängige Variable x_j der signifikant beste Zusammenhang zur Zielgröße y in Form einer kubischen Regression, so werden für die Berechnung einer multiplen Regression die für die Variable x_j vorliegenden Werte dreifach eingegeben: als Meßwerte x_j , als deren Quadrate x_j^2 und als dritte Potenz x_j^3 (GAISER, 1951).

Rechenprogramme:

BMD 02 R "Stepwise Regression". Das Programm berechnet schrittweise eine Folge von multiplen linearen Regressionsgleichungen. Der Regressionsgleichung wird jeweils diejenige Variable hinzugefügt, die die Summe der Abweichungsquadrate am meisten erniedrigt und den höchsten partiellen Korrelationskoeffizienten zur Zielgröße aufweist.

MULTR. (aus IBM-Subroutine). Das Programm verrechnet die eingegebenen Variablen in der vorgegebenen Reihenfolge.

Beide Programme geben als Kriterien zur Beurteilung der be-

rechneten Regressionsgleichung folgende Werte aus:

- a) multipler Korrelationskoeffizient sowie Bestimmtheitsmass
- b) Standardschätzfehler der abhängigen Variablen (Zielgröße)
- c) Varianzanalyse der Regression
- d) für in der Regressionsgleichung enthaltene Variable: Regressionskoeffizienten, Standardfehler, F-Testwert
- e) für nicht aufgenommene Variable: partieller Korrelationskoeffizient, Toleranz, F-Testwert (nur BMD 02 R)
- f) Liste der Residuen, d.h. der Abweichungen der Meßwerte der abhängigen Variablen von der Regressionsgleichung.

3.4 Plot-Programme

Verwendet wurden:

REGLIN (GWD, Autor: SEELMANN): Das Programm zeichnet eine Regressionsgerade zu einer vorgegebenen Stichprobe.

POLYNOM (GWD, Autor: SEELMANN): Das Programm zeichnet zu einer vorgegebenen Stichprobe eine Kurve nach dem Prinzip der kleinsten Quadrate.

4. Herleitung der Daten

4.1 Auswahl der Untersuchungsbestände

Im Rahmen einer Vorerhebung für eine standortkundlich-ertragskundliche und betriebswirtschaftliche Untersuchung der Forsteinrichtungsanstalt Gießen waren auf einigen wesentlichen Standorten im Bereich des hessischen Staatswaldes Fichten-Untersuchungsbestände ausgewählt worden. Bei der Festlegung dieser Bestände sind u.a. folgende Auswahlkriterien bestimmend gewesen:

1. Die Flächen sollten einen weitgehend einheitlichen Standort in typischer Ausbildung aufweisen.
2. Als Probeflächen kamen nur Reinbestände oder zumindest

Bestände mit einem Anteil an Mischbaumarten unter 10 % in Betracht (Ausnahmen sind: Marburg Nord 35 A und Neukirchen 107 A).

3. Die Auswahl beschränkte sich auf möglichst gleichaltrige, normal bestockte Bestände ohne Randbeeinflussung, die - soweit nachweisbar - aus Pflanzung hervorgegangen sind.
4. Die Bäume durften nicht in einer die Untersuchung beeinträchtigenden Weise geschädigt sein.

Damit waren bereits wesentliche Kriterien zur Gewinnung zuverlässiger Standortswieser berücksichtigt (CARMEAN, 1970; BRUCE und SCHUMACHER, 1950).

Die hier vorgelegte bodenkundliche Untersuchung basiert auf 41 über 60-jährigen Probeständen des Gesamtkollektivs der Vorerhebung der Forsteinrichtungsanstalt. Die Verteilung der Flächen geht aus der Karte Abb. 1 hervor.

Die Verteilung der Bestände auf die Altersklassen 60-70, 70-80 und über 80 Jahre wird aus Tabelle 1 ersichtlich:

Tabelle 1: Verteilung der Probestände auf die Altersklassen

Altersklasse	60-70	70-80	über 80 Jahre
Zahl der Bestände	15	12	14

4.2 Standortsauswahl

Insgesamt sind 9 Flächen aus Gebieten mit Tonschiefer, Grauwacke und Quarzit sowie 32 Flächen aus dem Buntsandsteinbereich erfaßt worden. Alle Flächen wurden örtlich gründlich überprüft. Dabei erfolgte eine Aufteilung der Untersuchungsparzellen in zwei möglichst vergleichbare Teilflächen, um eine zweifache Wiederholung jeder Fläche zu erreichen. Durch zwei Probenahmen ist nach MADER (1963b) eine wesentliche Verbesserung der Aussagekraft der Ergebnisse erzielbar.

Nach Durchführung zahlreicher Bohrungen mittels Erdbohrstock wurden zur weiteren Untersuchung 2 Bodeneinschläge je Fläche festgelegt. Um die Wurzelverteilung exakt erfassen und eine

eindeutige Aufgliederung zwischen intensiv und extensiv durchwurzelten Bereichen vornehmen zu können, wurden die Bodeneinschläge in einer Entfernung von 1,5 m vom Wurzelstock eines Probebaumes vorgesehen. Die genaue Stelle der Bodeneinschläge ist unter Berücksichtigung der Bodenausformung, des Steingehalts und des vorgegebenen Abstands zu den Probebäumen festgelegt worden.

Weitere Einzelheiten über die Probeflächen werden in Tabelle 2 mitgeteilt.

4.3 Erhebung der Daten

4.3.1 Klimadaten

Nach RUBNER (1934) sind die im Hinblick auf das Wachstum wichtigsten Klimafaktoren Niederschlag, Wärme und Licht. Der Niederschlag kann als Jahresniederschlag und als Vegetationszeitniederschlag in Millimeter ausgedrückt werden, die Wärme analog als mittlere Jahrestemperatur und mittlere Temperatur während der Vegetationszeit in Grad Celsius. Für den Lichtfaktor wurde in Anlehnung an PATERSON (1956) als numerischer Wert die Dauer der Vegetationszeit verwendet, die sich für die einzelnen Standorte aus Temperatur- und Niederschlagsdaten ermitteln läßt. Für das Untersuchungsgebiet wurde die Zahl der Tage mit Temperaturen über 10° C während der Wachstumsperiode (Mai bis September) als Dauer der Vegetationszeit übernommen.

Als Unterlagen für die Ermittlung der jährlichen Niederschlagssummen und der Niederschlagssummen während der Vegetationszeit (Monate Mai bis September) sowie der jährlichen Durchschnittstemperaturen und der durchschnittlichen Temperaturen während der Vegetationszeit wurden herangezogen:

- a. Für die Niederschlagsmeßstellen inter- bzw. extrapolierte Klimawerte (nach den Tabellen des Deutschen Wetterdienstes, Zeitraum 1891 bis 1955),
- b. die Karte über die Niederschlagshöhen, Maßstab 1 : 200.000 Zeitraum 1891 bis 1955, im gewässerkundlichen Kartenwerk Hessen, 1959.

Tabelle 2: Allgemeine Angaben über die Versuchsflächen

Lfd. Nr.	Forstamt	Abtl.	Alters- klasse Jahre	Schlüsselzahl für Geol. Substrat	5. ¹⁾ u. 6. ²⁾ Schlüsselzahl des Standorts	Baum-Nr.	Nadel- entnahme
1.	Karlshafen	107 A	61-70	2 1	3 2 ^o	133-138	ja (1972) ³⁾
2.	Hofgeismar	31 A	71-80	2 2	2 2	161-166	ja (1972) ³⁾
3.	Veckerhagen	37 C	61-70	2 1	2 2	97-102	ja (1972) ³⁾
4.	Oberkaufungen	66 D	über 80	2 1	1 3 ⁺	229-234	ja (1972) ³⁾
5.	Spangenberg	52 B	71-80	2 0/2 1	3 3	173-178	ja (1972) ³⁾
6.	Spangenberg	280 B	über 80	2 1	1 3 ⁺	185-190	ja (1972) ³⁾
7.	Niederbeisheim	88 A	über 80	2 1	3 2 ^{+o}	469-474	ja (1972) ³⁾
8.	Wildeck	42 D	71-80	2 0/2 1	1 2 ⁺	37-42	ja (1972) ³⁾
9.	Wildeck	42 D	über 80	2 1	2 2 ⁺	43-48	ja (1972) ³⁾
10.	Heringen	248 A	61-70	2 0/2 1	3 2 ^o	31-36	ja (1972) ³⁾
11.	Heringen	248 A	71-80	2 1	3 3	19-24	ja (1972) ³⁾
12.	Friedewald	94 B	über 80	2 1	3 2 ^o	49-54	ja (1972) ³⁾
13.	Hersfeld-Ost	327 B	über 80	2 2	3 3	61-66	ja (1972) ³⁾
14.	Hersfeld-West	48 C	61-70	2 1	1 2	325-330	nein
15.	Hersfeld-West	104 A	61-70	2 1	3 3	331-336	nein
16.	Hersfeld-West	137 C	71-80	2 0	1 3 ^o	1-6	nein
17.	Neukirchen	107 A	71-80	2 1	2 2	463-468	ja (1972) ³⁾
18.	Neukirchen	107 A	71-80	2 1	1 2 ^{+o}	457-462	ja (1972) ³⁾
19.	Treysa	22 A	61-70	2 1	1 2 ⁺	294-299	nein
20.	Treysa	233 C	71-80	2 0	1 3 ⁺	500-505	nein
21.	Rosenthal	27	71-80	2 1	3 2 ^o	245-250	ja (1972) ³⁾
22.	Marburg-Nord	35 A	über 80	2 1/2 2	2 2	13-18	ja (1972) ³⁾
23.	Marburg-Nord	35 A	über 80	2 0	3 3	157-162	ja (1972) ³⁾

Lfd. Nr.	Forstamt	Abtl.	Alters- klasse Jahre	Schlüsselzahl für Geol. Substrat	5. ¹⁾ u. 6. ²⁾ Schlüsselzahl des Standorts	Baum-Nr.	Nadel- entnahme
24.	Marburg-Nord	33 E	71-80	2 1	3 2 ⁺	282-287	ja (1972) ³⁾
25.	Salmünster	159 B	über 80	2 0/2 1	1 3	107-112	ja (1972) ³⁾
26.	Salmünster	152 C	61-70	2 2	2 2	113-118	ja (1972) ³⁾
27.	Salmünster	63 A	61-70	2 0/2 1	1 3 ⁰	101-106	ja (1972) ³⁾
28.	Marjoß	218 C	über 80	2 1	2 2	283-288	ja (1972) ³⁾
29.	Marjoß	93 B	über 80	2 1	1 2	301-306	ja (1972) ³⁾
30.	Kassel	231	61-70	2 1	1 3	169-174	ja (1972) ³⁾
31.	Wald-Michelbach	114 B	61-70	2 0	3 3	391-396	ja (1972) ³⁾
32.	Wald-Michelbach	114 B	61-70	2 0	3 3	385-390	ja (1972) ³⁾
33.	Königstein	77 A	61-70	3 1	1 2	19-24	ja (1972) ⁴⁾
34.	Wörsdorf	129	61-70	3 2	1 2	349-354	ja (1972) ⁴⁾
35.	Gladenbach	14 B	über 80	3 2	3 2	542-547	ja (1972) ⁴⁾
36.	Wetter-West	45 D	61-70	3 1	3 2	506-511	ja (1972) ⁴⁾
37.	Frankenberg	59	61-70	3 1	3 2 ⁺	181-186	ja (1973) ⁴⁾
38.	Frankenberg	50 B	über 80	3 2	1 2 ⁺	391-396	ja (1973) ⁴⁾
39.	Frankenberg	50 B	über 80	3 3	1 2 ⁰	385-390	ja (1973) ⁴⁾
40.	Altenlotheim	79 A	71-80	3 2	3 2	397-402	ja (1973) ⁴⁾
41.	Altenlotheim	79 A	71-80	3 2	3 2	403-408	ja (1973) ⁴⁾

Substrat-Schlüssel (Auszug):

- | | |
|-------------------|--------------------------------------|
| <u>1. Ziffer:</u> | 2 = Buntsandstein |
| (Geologie) | 3 = Tonschiefer, Grauwacke, Quarzit. |
| <u>2. Ziffer:</u> | 0 = Ohne LÖB |
| (Ablagerung) | 1 = mit bis 30 cm LÖB |
| | 2 = mit bis 60 cm LÖB |
| | 3 = mit mehr als 60 cm LÖB |

Standortschlüssel: (s. Leitfaden, 1963 (LS 63) - Hessische Forsteinrichtungsanstalt Giessen)

5. 1) Ziffer: Wasserversorgung

- 1 = Frisch
- 2 = Betont Frisch
- 3 = Mäßig Frisch

6. 2) Ziffer: Trophie

- 2 = Mesotroph (Mittel nährstoffversorgt)
- 3 = Oligotroph (Gering nährstoffversorgt)

+ Wasserversorgung Geländeansprache nach Standortkartierung, geändert entsprechend Profil und Laboruntersuchung

o Trophie nach Standortkartierung, geändert entsprechend Profil und Laboruntersuchung

Nadelproben

- 3) Mischproben (3 Bäume)
- 4) Einzelbaum

Klimatische und topographische Daten der untersuchten Standorte

Lfd. Nr.	Forstamt/ Versuchsort.	Abt.	Höhe über NN (m)	Expo- sition	Hang- neigung (%)	Hang- lage (Gel. Form)	Nei- gungs- länge	Ø Nieder- schlag Jahr (mm)	Ø Tempe- ratur ⁺ Jahr (o C)	Feucht. Index.	Veg. Zeit ⁺⁺ (Zahl der Tage)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.	Karlshafen	107A	230	NW	36-58	MH	L	776	362	8,0	14,3	14,9	150-160
2.	Hofgeismar	31A	260	SO	0-3	Pl.	L	725	352	8,0	14,3	14,5	140-150
3.	Veckerhagen	37C	280	NW	17-36	MH	L	825	388	7,5	14,3	16,0	140-150
4.	Oberkaufungen	66D	500	W	3-9	OH	K	815	364	5,0	11,8	16,7	130-140
5.	Spangenberg	52B	410	SW	9-17	OH	K	666	331	7,2	14,0	13,8	140-150
6.	Spangenberg	280B	360	NO/N	17-36	MH	K	715	342	7,3	14,1	14,2	140-150
7.	Niederbeisheim	88A	370	NNW	9-17	OH	K	698	336	7,2	14,0	14,0	140-150
8.	Wildeck	42D	360	NNW	9-17	OH	K	648	320	7,5	14,2	13,2	140-150
9.	Wildeck	42D	340	NW	3-9/17-36	UH/M	L	648	320	7,5	14,2	13,2	140-150
10.	Heringen	248A	410	S/SSO	9-17/17-36	UH/MH	L	688	341	6,9	13,7	14,4	140-150
11.	Heringen	248A	410	S	17-36	OH	K	688	341	6,9	13,7	14,4	140-150
12.	Friedewald	94B	400	OSO/WSW	0-3	Pl(OH)	K	688	341	6,9	13,7	14,4	140-150
13.	Hersfeld-Ost	327B	400	NW	17-36	UH	L	683	330	7,0	13,7	13,9	140-150
14.	Hersfeld-West	48C	350	SSW/S	9-17	OH/MH	K/L	713	313	7,5	14,3	12,9	140-150
15.	Hersfeld-West	104A	390	SSW	3-9	R(OH)	K	713	335	7,0	13,8	14,1	140-150
16.	Hersfeld-West	137C	430	SO	9-17/17-36	OH	K	713	335	7,0	13,8	14,1	130-140
17.	Neukirchen	107A	280	S/SSW	3-9/9-17	UH	L	615	313	7,5	14,3	12,9	140-150
18.	Neukirchen	107A	280	S/SSO	3-9/9-17	OH/MH	K/L	615	313	7,5	14,3	12,9	140-150
19.	Treysa	22A	260	SSO	9-17	MH	L	756	313	7,5	14,3	12,9	140-150
20.	Treysa	233C	340	S	0-3	Pl.	K	656	313	7,0	13,8	13,2	140-150
21.	Rosenthal	27	350	WNW/NNW	17-36/3-9	OH	K	670	311	7,3	14,1	12,9	140-150
22.	Marburg-Nord	35A	300	ONO/SSO	9-17/17-36	MH	L	632	292	7,9	14,6	11,9	140-150

1
2
1

23.	Marburg-Nord	35A	320	SO	3-9	R(OH)	K	632	292	7,9	14,6	11,9	140-150
24.	Marburg-Nord	33E	230	WNW	17-36	UH	L	632	292	7,9	14,6	11,9	150-160
25.	Salmünster	159B	320	NO/ONO	17-36/36-58	MH	L	864	385	8,4	15,1	15,3	150-160
26.	Salmünster	152C	280	SW/SSW	17-36	UH	L	864	385	8,4	15,1	15,3	150-160
27.	Salmünster	63A	350	O/SO	9-17	OH	L	864	385	8,3	15,0	15,4	150-160
28.	Marjoß	218C	350	OSO	36-58	UH/MH	L	836	377	7,7	14,5	15,4	140-150
29.	Marjoß	93B	320	WSW	17-36	UH	L	836	377	7,7	14,5	15,4	130-140
30.	Kassel	231	400	ONO	17-36	OH	L	945	419	7,6	14,2	17,3	140-150
31.	Waldmichelbach	114B	420	SSO	17-36	MH	L	1049	458	8,1	14,9	18,4	150-160
32.	Waldmichelbach	114B	420	S	36-58	MH	L	1049	458	8,1	14,9	18,4	150-160
33.	Königstein	77A	440	S	17-36	UH	L	775	340	7,7	14,3	14,0	130-140
34.	Wörsdorf	129	290	NNO	9-17/17-36	MH	L	613	294	8,0	14,8	11,9	150-160
35.	Gladenbach	14B	340	NNW/NW	17-36	MH	L	825	342	7,5	14,3	14,1	140-150
36.	Wetter-West	45D	400	NW	9-17	MH	L	725	318	7,1	13,9	13,3	150-160
37.	Frankenberg	59	450	W/NW	9-17	MH	L	839	338	6,8	13,6	14,3	140-150
38.	Frankenberg	50B	420	NO	3-9	OH	L	825	322	6,8	13,6	13,6	140-150
39.	Frankenberg	50B	420	NO	3-9	OH	L	825	322	6,8	13,6	13,6	140-150
40.	Altenlotheim	79A	400	S	17-36	OH/MH	L	667	298	6,9	13,7	12,6	140-150
41.	Altenlotheim	79A	400	S	9-17	R/UH	K	667	298	6,9	13,7	12,6	140-150

Erläuterungen:

∅ = Mittel

+ = Höhenunterschied zwischen Klimastation und Lage der Probestammennahme wurde bei den Temperaturwerten mit $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ je 100m Höhe berücksichtigt.

++ = Zahl der Tage mit $\geq 10^{\circ}\text{C}$ Tagesmitteltemperatur (Monate Mai-Sept.)

Exposition: NW=nordwest; SO=südost; W=west; SW=südwest; NO=nordost; N=nord; NNW=nordnordwest; S=süd; SSO=südsüdost; OSO=ostsüdost; WSW=westsüdwest; SSW=südsüdwest; WNW=westnordwest; ONO=ostnordost; O=ost; NNO=nordnordost.

Hangneigung: 0-3=eben; 3-9=schw.geneigt; 9-17=mäßig geneigt; 17-36=stark geneigt; 36-58=steil.

Hanglage/Geländeform: OH=Oberhang; MH=Mittelhang; UH=Unterhang; Pl.=Plateau; M=Mulde; R=Rücken.

Neigungslänge: L=lang(über 100m entfernt von der Kammlinie); K=kurz(unter 100m entfernt von der Kammlinie).

Die durchschnittlichen jährlichen Niederschlagssummen wurden im wesentlichen aus den Tabellen (a) des Deutschen Wetterdienstes entnommen. Der durchschnittliche Vegetationszeit-Niederschlag wurde analog aus den Werten der am günstigsten liegenden Niederschlags-Meßstelle abgeleitet. Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur und die durchschnittliche Vegetationszeittemperatur wurde den Tabellen (a) entnommen. Eventuelle Höhendifferenzen zwischen Klimastation und Lage der Probefläche wurden mit $0,5^{\circ}$ C Temperaturabfall bzw. -anstieg je 100 m Höhenunterschied berücksichtigt (s. Abb. 2). Ferner wurde der Feuchtigkeitsindex i

$$i = \frac{\text{mmVZ}}{\text{TvS} + 10}$$

als Maß der Klimafeuchte berechnet (s. Leitfaden, 1963 (LS 63)). Die Gelände- und Klimadaten der Probeflächen sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Differenzierung der Länge der Vegetationszeit für die Probeflächen.

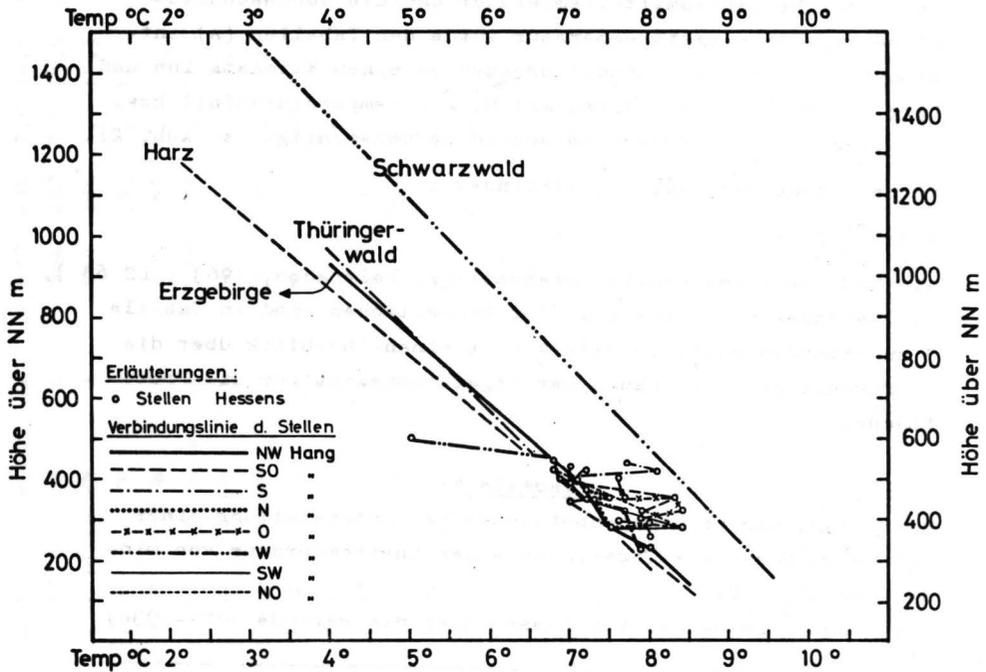
Tabelle 4:

Verteilung der Fichtenprobeflächen bei Unterstellung einer mittleren Dauer des Tagesmittels der Lufttemperatur von mindestens $10,0^{\circ}$ C.

(Nach dem Klima-Atlas von Hessen über die Periode 1881-1930)

Anzahl der Tage über $10,0^{\circ}$ C Tagesmitteltemperatur	Anzahl der Probeflächen (n)	%
130 - 140	3	7,3
140 - 150	28	68,3
150 - 160	10	24,4
Total	41	100,0

Abb. 2: Mittlere Jahrestemperatur u. Höhenlage. Mittel 1881 - 1930 für 4 Gebirge u. Mittelwerte der Hänge der Untersuchungsfläche Hessens (1891-1955).



Korrelation zwischen Höhe und Temperaturen der Gebirge.

Gebirge	r	b	a	Y1 (X1=200)	Y2 (X2=800)
Harz	-0.993***	-0.006	9.257	8.05	4.43
Thüringerw.	-0.971***	-0.005	8.894	7.87	4.82
Erzgebirge	-0.941***	-0.0057	9.333	8.19	4.75
Schwarzw.	-0.954***	-0.0049	10.347	9.36	6.40

X1 = Höhe ü. NN in Meter; Y1 = Temp. in °C; * = Signifikanz

4.3.2 Ertragskundliche Daten

Für ertragskundliche Untersuchungen der Forsteinrichtungsanstalt zur Beurteilung der standortsspezifischen Wuchsabläufe waren je Untersuchungsbestand 6 um den Durchmesser des Oberhöhen-Mittelstamms (Grundflächen-Mittelstamm der 100 stärksten Bäume je ha) verteilte Probebäume gefällt und analysiert worden. Das Baumalter wurde durch Jahrringzählung überprüft, die Höhe mittels Bandmaß ermittelt.

Als Weiser zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Standortsfaktoren und Wuchsleistung soll in dieser Arbeit die weitgehend behandlungsunabhängige Oberhöhe im Alter 80 verwendet werden. Um bei der eingehenderen Standortanalyse noch auftretende Standortunterschiede zwischen den Teilflächen berücksichtigen zu können, wurden jeweils 3 der Probestämme aus dem Oberhöhenbereich einer Teilfläche zugeordnet. Anstelle der aus der rechnerischen Auswertung sich ergebenden Höhe des Oberhöhen-Grundflächenmittelstamms wurden unter Inkaufnahme einer größeren Höhenstreuung die mittleren Höhen von jeweils 3 Oberhöhenstämmen als abhängige Variable in die weitere Untersuchung eingeführt. Die im Alter 80 zu erwartenden Höhen der jetzt noch unter 80-jährigen Bestände wurden durch Fortschreibung mit Hilfe vorläufiger standortsspezifischer Höhenfächer der Forsteinrichtungsanstalt eingeschätzt. Um die bei derartigen Extrapolationen unvermeidbaren Fehler möglichst gering zu halten, wurde die Auswahl der jüngeren Bestände auf die Altersklassen über 60 Jahre begrenzt (Tab.5).

4.3.3 Standort- und Bodenbeschreibung

Nach Fällung der Probestämme wurden die Bodeneinschläge angelegt (Lokalisation s. Abschnitt 4.2, Größe 80 x 150 cm, Tiefe variabel entsprechend der Durchwurzelung und dem Auftreten von festem Gestein). Die Erfassung der morphologischen Merkmale erfolgte nach der Kartieranleitung (1971) unter Verwendung eines im Institut entwickelten Aufnahmebogens. Für die

Tabelle 5:

Mittlere Höhe im Alter 80 der Probestämme aus dem Oberflächenbereich

Lfd. Nr.	Forstamt	Abtl.	Probestamm-Nr.	Nr. des Bodeneinschlages	Mittlere Höhe im Alter 80 von je 3 Probestämmen des Oberflächenbereichs
1	Karlshafen	107A	133-135 136-138	135 138	28,0 28,3
2	Hofgeismar	31A	161-163 164-166	162 164	34,7 34,7
3	Veckerhagen	37C	97-99 100-102	99 102	32,0 32,7
4	Oberkaufungen	66D	229-231 232-234	229 233	23,4 23,6
5	Spangenberg	52B	173-175 176-178	173 177	29,3 28,3
6	Spangenberg	280B	185-187 188-190	187 189	27,9 26,4
7	Niederbeisheim	88A	469-471 472-474	470 472	27,4 27,8
8	Wildeck	42D	37-39 40-42	38 42	31,0 31,0
9	Wildeck	42D	43-45 46-48	45 48	32,6 33,3
10	Heringen	248A	31-33 34-36	31 34	27,0 27,3
11	Heringen	248A	19-21 22-24	20 22	25,7 27,2
12	Friedewald	94B	49-51 52-54	49 52	24,6 22,6
13	Hersfeld-Ost	327B	61-63 64-66	61 64	24,3 24,9
14	Hersfeld-West	48C	325-327 328-330	326 329	32,0 34,0
15	Hersfeld-West	104A	331-333 334-336	332 335	29,0 29,3
16	Hersfeld-West	137C	1-3 4-6	2 5	31,3 31,3
17	Neukirchen	107A	463-465 466-468	464 467	33,9 30,0
18	Neukirchen	107A	457-459 460-462	457 462	27,7 29,3
19	Treysa	22A	294-296 297-299	296 299	32,7 31,3
20	Treysa	233C	500-502 503-505	500 504	28,7 30,7
21	Rosenthal	27	245-247 248-250	247 248	30,0 28,7
22	Marburg-Nord	35A	13-15 16-18	13 17	26,8 29,2
23	Marburg-Nord	35A	157-159 160-162	159 160	23,0 22,8
24	Marburg-Nord	33E	282-284 285-287	284 286	27,7 27,3
25	Salmünster	159B	107-109 110-112	108 112	28,7 28,9

26	Salmünster	152C	113-115	114	33,0
			116-118	117	34,0
27	Salmünster	63A	101-103	103	33,3
			104-106	105	31,7
28	Marjoß	218C	283-285	284	34,6
			286-288	286	33,2
29	Marjoß	93B	301-303	302	34,7
			304-306	305	33,2
30	Kassel	231	169-171	169	31,3
			172-174	174	30,0
31	Waldmichel- bach	114B	391-393	393	27,7
			394-396	394	27,3
32	Waldmichel- bach	114B	385-387	386	27,3
			388-390	388	28,3
33	Königstein	77A	19-21	19	28,1
			22-24	23	29,6
34	Wörsdorf	129	349-351	350	31,3
			352-354	353	30,3
35	Gladenbach	14B	542-544	542	29,3
			545-547	545	26,6
36	Wetter-West	45D	506-508	506	26,7
			509-511	510	25,1
37	Frankenberg	59	181-183	183	27,0
			184-186	186	26,0
38	Frankenberg	50B	385-387	385	31,9
			388-390	390	31,5
39	Frankenberg	50B	391-393	393	30,5
			394-396	394	32,5
40	Altenlotheim	79A	397-399	399	25,7
			400-402	402	25,0
41	Altenlotheim	79A	403-405	405	25,0
			406-408	408	25,7

Ermittlung der morphologischen Merkmale des O-Horizonts (Mächtigkeit, Zusammensetzung und Struktur der Subhorizonte) wurden Beobachtungen an mehreren Stellen in der Umgebung des Bodenprofils angestellt. Die im einzelnen erhobenen Standorts- und Bodenmerkmale gehen aus dem Aufnahmebogen (Abb. 3) hervor. Inklination und Exposition wurden durch Neigungsmesser und Kompaß erfaßt. Die im Profilaufnahmebogen ausgewiesenen numerischen Werte (Humusgehalt, Luftkapazität, nutzbare Wasserkapazität und Trockenraumgewicht) wurden nicht bei der Geländeaufnahme direkt erfaßt, auf ihre Ermittlung wird in Abschnitt 4.4.2.2.1, 4.5.2 und 4.6.1 eingegangen.

Die Verteilung der Profile nach geologischem Ausgangsmaterial, Bodentyp und Humusform ist in Tabelle 6, die Verteilung nach Exposition, Hanglänge, Hangneigung und Hangposition ist in den Abb. 4 bis 7 wiedergegeben.

4.4 Probenahme, Analytik und methodische Ergebnisse

4.4.1 Nadeln

4.4.1.1 Entnahme der Nadelproben

Die Nadelreiserentnahme erfolgte durch die Hess. Forsteinrichtungsanstalt von Oktober bis Dezember in den Jahren 1972 und 1973. Zur Untersuchung wurden die unbeschatteten gesunden Triebe des ersten Quirls der für ertragskundliche Auswertungen gefällten sechs Probebäume gesammelt. Die Nadelreiser wurden baumweise nach Probekreisen getrennt geworben und registriert.

Die 1972 entnommenen Proben von den Buntsandstein-Standorten wurden teilflächenweise vereinigt (3 Bäume zusammen), die 1972 und 1973 entnommenen Proben von den Tonschiefer-, Grauwacke-, Quarzit-, Basalt- und Löss-Standorten wurden baumweise in den Analysengang eingeschleust. Im Institut wurden die Nadelproben bei 40° C im Trockenschrank getrocknet, anschließend abgenadelt, fein gemahlen und in Plastikbehältern aufbewahrt.

Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen				Standortsaufnahmeblatt hess Staatswald - Fich. Inv.				Top.Karte 1: 25000 Nr. Forstamt: Karlshafen				Rechts-wert: Abt.: 107 A																	
Name: M. B. SHRIVASTAVA				Datum: 29.5.1973		Lfd.Nr.: 1		Baum bzw. Profil Nr. 135																					
KLIMA		Hehe 230 m NN		Vegetationszeit Tage > 10° C 150 - 160		Niederschlagssumme Jahr 776 mm		mittlere Temperatur Jahr 8,0 °C		Vegetationszeit 14,3 °C		Wuchsgebiet Weserbergland		Wuchsbezirk Reinhardswald															
BESTAND		Baumarten und Anteile Fichte 100%		Alter 61-70		Ertragsklasse		Leistungsklasse		Derbholzverrat fm		FLORA		Keine Bodenvegetation															
RELIEF		Ebene Plateau Tal Talung Talboden Talauw Talschluss Talmundung		Neigung in ° 0 - 2		2 - 5		5 - 10		10 - 20		20 - 30		30 - 45 > 45															
		Hang Terrasse Rücken Kuppe Mulde Planne Delle Quellmulde		in % 0 - 3		3 - 9		9 - 17		17 - 36		36 - 58		58 - 100 > 100															
		Bezeichnung		eben		schw. geneigt		mäßig geneigt		stark geneigt		steil		schroff sehr schroff															
EXPOSITION		N NNO NO ONO O OSO SO SSO S SSW SW WSW W WNW NW NNW																											
Geländeform		Oberhang Mittelhang Unterhang		Hanglänge		Kurz (< 100 m)		Lang (> 100 m)		Hangform		Konvex Linear Konkav		Hangform am Profil Konvex Linear Konkav															
		X				X				X		X																	
AUF-LAGE-HUMUS		Horizont Mächtigkeit Material		Gefüge		Durchwurzelung		HUMUS-FORM		Typ. Mull		Kryptomull		Wurmmull Sandmull															
		L 3 Fi-Streu		X		X		X (+)		Mullart Moder		Typ. Moder		Rohrart Moder Feinarm. Rohr.															
		F 2		X		X		Anmoer		Feuchtmull		Feuchtmoder		Feuchtröhhumus															
		H 3		X		X		Dy Gytja Sapropel Niedermoorart Hochmoorart Übergangsmoorart																					
MINE-RAL-BODEN		Geo-logie		Boden-art		Skelett-Raum %		Farbe MUNSSELL oder		Hori-zont		Tie-fe cm		Ab-grenzung		Humus %		Gefüge		Lage-rungs-dichte		Durch-wurzelung		Carbonat-gehalt		Sonstiges			
		Löß		sl U		x''		5YR 3/2		Aeh		3		gerade		h 6,59		sch. Pl		2		stark		*		Bleichung			
AN-SPRACHE		Bunt-sand-stein		sl U		x̄ (40 %)		7,5 YR 5/4		Bv		35		wellig zungenförmig		h' 1,53		sehr sch. SPo		2		stark		*		3,0 29 IV 4 1,29			
		Bunt-sand-stein		IS		x̄ (70 %)		7,5 YR 5/4		Cv		65		unter-brechen		h'' 0,3		sehr sch. SPo		3		schwach		*		3,9 13 IV 8 1,79			
												90		Über-gangsszone															
GESAMT-BEUR-TEILUNG		Ausgangsgestein		Löß über Buntsandstein		Humusform		Typ. Moder (+)		Bodenart		sl U über IS		Podsoligkeit		schwach X		massig stark		Podsolierung		schwach massig stark		Erdschicht 0 - cm		Innenwurzelzsch. 0 - 35 cm		Etenanwurzelzschicht 35 - 65 cm	
		Bodenbildungsprozess		Humusbildg. Entkalkung Gefügebildg. Verbraunung Tonverlagerung		X X X X		X		Podsolierung Pseudoverglet. Vergletung Verfortung		X		Bodentyp		schwach podsolige Braunerde		Gründigkeit in cm		< 15 15 - 30 30 - 60 60 - 100 > 100		X							
		Entwicklungstiefe		sehr gering gering mittel groß sehr groß		X		Ausprägungsgrad		gering mittel stark		X		Grundwasserstand		≤ 0 0-2 2-4 4-8 8-13 13-20 20-30 30-40 > 40		pH		Stauässe		Tiefenlage Sohle		Schwankungsbereich		Periodizität		nutzbare Wasserkapazität	
																												48 mm	
		Wasserhaushalt		mass. trock. mass. frisch ziemi. frisch frisch		belont frisch		sehr fr. grundfrisch vorratsfr. hangfrisch		feucht hangfeucht grundfeucht		X																	
		N-Versorgung		sehr schwach schwach massig gut		reichlich		die Beurteilung richtet sich...																					
		P-Versorgung				X		nach Humusvorrat und C/N-Verhältnis (Humusform)																					
		K-Versorgung				X		nach Ausgangsgestein, Reliefposition, Erosion bzw. Sedimentation																					
		Ca-Versorgung				X		nach Tonmineral (Illit?) und Tongehalt																					
		Sonstiges		z.B. Bodenbearbeitung Melioration Streunutzung Waldweide?				nach pH																					

Abb. 3

Tabelle 6:

Einteilung der Bodenprofile nach Bodentyp, geologischem Substrat und Humusform

Bodentyp	Anzahl der Profile			Humusform	Humusform		
	Buntsand- stein	Tonschiefer Grauwacke und Quarzit	%		Buntsand- stein	Tonschiefer Grauwacke und Quarzit	%
Pod. Braunerde	31	2	40,2	Typ. Moder	27	7	41,5
Braunerde	17	7	29,3	Roh.h.art. Moder	21	6	32,9
Sch. Pod. Pseudo- gley-Braunerde	1	-	1,22	Feinhumus arm. Rohhumus	10	5	18,3
Pseudogley- Parabraunerde	2	-	2,44	Typ. Rohhumus	6	-	7,3
Parabraunerde- Braunerde	3	2	6,10				
Parabraunerde	4	-	4,88				
Pod. Parabraun- erde-Braunerde	1	-	1,22				
Pod. Parabraun- erde	1	-	1,22				
Pelosol-Braun- erde	2	2	4,88				
Parabraunerde- Podsol	2	-	2,44				
Ranker Braunerde	-	5	6,10				
Total:	64	18	100 %		64	18	100 %

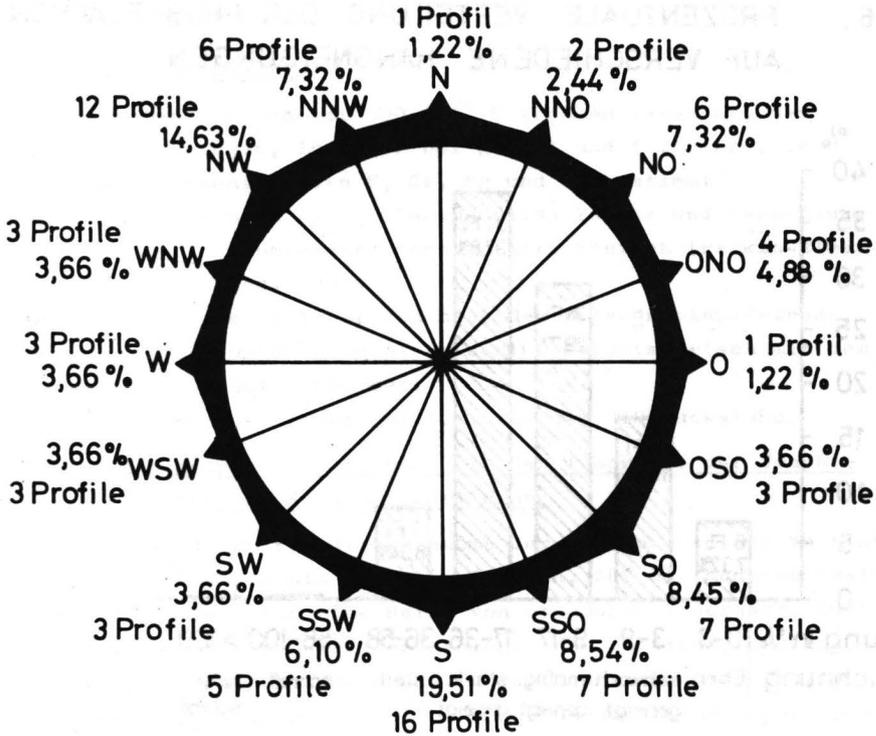


Abb. 4 : PROZENTUALE VERTEILUNG DER PROBEFLÄCHEN (Bodeneinschläge) AUF DIE VERSCHIEDENEN EXPOSITIONEN .

Abb. 5 : PROZENTUALE VERTEILUNG DER PROBEFLÄCHEN NACH NEIGUNGLÄNGE .



 Kurz (weniger als 100 m)

 Lang (mehr als 100 m)

Abb. 6: PROZENTUALE VERTEILUNG DER PROBEFLÄCHEN AUF VERSCHIEDENE HANGNEIGUNGEN.

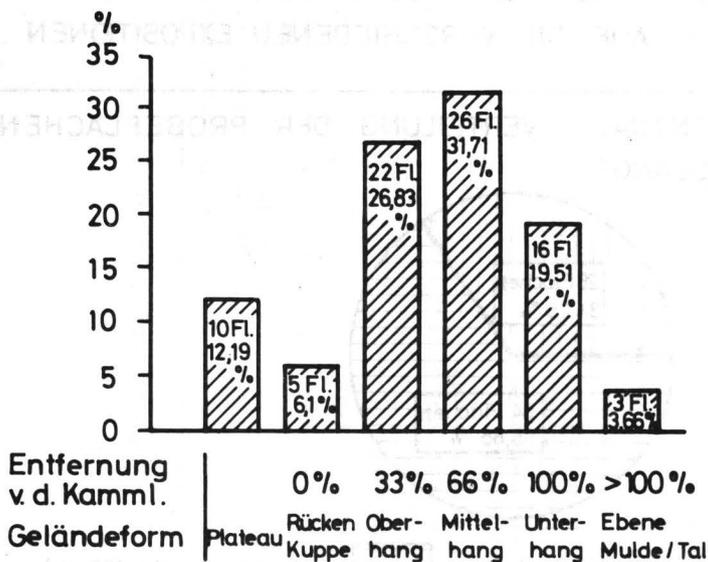
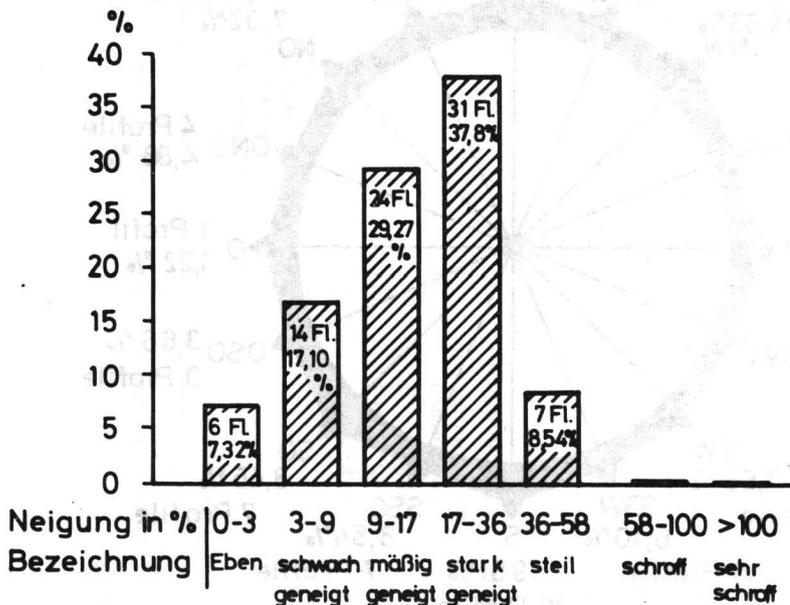


Abb. 7: PROZENTUALE AUFTEILUNG DER PROBEFLÄCHEN NACH GELÄNDEFORM bzw. HANGLAGE.

4.4.1.2 Nadelanalyse

2 g Substanz wurden bei 500-600° C trocken verascht, der Rückstand gewogen, in 0,5 n HCl gelöst und filtriert. In der Aschenlösung wurden K, Ca, Mg und P_t bestimmt:

K, Ca und Mg: nach La₂O₃ (Lanthanoxid) Zusatz und Verdünnung atom-absorptions-spektroskopisch (Perkin-Elmer, Mod. 403),

P : kolorimetrisch nach der Molybdänblau-Methode,

N : nach Kjeldahl-Aufschluß kolorimetrisch mit dem Auto-Analyser,

% Asche : berechnet auf T.M. aus dem Glührückstand.

4.4.1.3 Ergebnisse: Vergleich mit der Ansprache der Trophie durch die Standortskartierung

Die Probeflächen für die Entnahme der Nadelproben decken sich nicht vollständig mit den Probeflächen, für die Bodenmerkmale erhoben wurden. Für eine Reihe von Standorten, darunter auch Standorte auf einem dritten geologischen Substrat, nämlich Basalt, liegen nur Nadelanalysen vor, während andererseits auf einigen wenigen Standorten nur bodenkundliche Daten vorliegen (vgl. hierzu Tabelle 2). In die folgende Auswertung wurde das gesamte Nadelanalysen-Kollektiv einbezogen.

Die varianzanalytische Auswertung erstreckte sich zunächst auf eine Einweg-Klassifikation zur Feststellung der Streuung innerhalb und zwischen Probeflächen jeweils getrennt für die drei geologischen Substrate.

Modell:
$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

mit den Faktoren A = Standorte (Probeflächen)

E = Wiederholungen (Einzelbäume bzw. Mischproben)

Rechenprogramm: ANOV 1

Die in Tabelle 7 zusammengestellten Ergebnisse zeigen, daß zwischen den Probeflächen auf Buntsandstein und Tonschiefer hochsignifikante Unterschiede in den Nadelspiegelwerten bei allen Elementen bestehen. Interessant ist, daß die prozen-

Tabelle 7:

Varianzanalytische Prüfung der Trophie von 3 Substraten mit Hilfe der Nährelementwerte von Nadeln

Substrat	Varianz- ursache	n	Nährstoffelemente														
			N			P			K			Ca			Mg		
			VK _a %	VK _e %	Sig- nifi- kanz	VK _a %	VK _e %	Sig- nifi- kanz	VK _a %	VK _e %	Sig- nifi- kanz	VK _a %	VK _e %	Sig- nifi- kanz	VK _a %	VK _e %	Sig- nifi- kanz
Buntsand- stein	Standorte Wieder- holung	77 2	7,42	7,25	+++	15,3	14,4	+++	19,1	14,3	+++	31,2	19,2	+++	15,2	15,6	+++
Tonschie- fer, Grauwacke und Quarzit	Standorte Wieder- holung	23 6	7,86	11,7	+++	17,8	26,0	+++	25,0	29,6	+++	19,1	33,3	+++	12,1	21,4	+++
Basalt und Löß	Standorte Wieder- holung	3 6	-	10,1	NS	14,9	16,9	+	10,7	28,8	NS	19,3	17,1	++	6,04	30,4	NS

VK_a = zwischen Standorten; VK_e = innerhalb Standorten; NS = nicht signifikant; VK = Varianzkoeffizienten

tische Streuung (Varianzkoeffizienten VK %) mit wenigen Ausnahmen (z.B. Ca auf Buntsandstein) innerhalb der Standorte so groß ist wie zwischen den Standorten. Die Ergebnisse für Basalt sind wegen der geringen Anzahl von Probeflächen wenig aussagekräftig.

Aufgrund dieser Ergebnisse wurde das gesamte Material nach Geländewasserhaushalt- und Trophieansprache-Kombinationen varianzanalytisch verrechnet.

Modell:

$$y_{il} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{il}$$

mit den Faktoren A = Geländewasserhaushalt- und Trophieansprache-Kombinationen
E = Wiederholung in Geländewasserhaushalt- und Trophieansprache-Kombination und Wiederholung in Probefläche (Einzelbäume bzw. Mischproben)

Rechenprogramm: PAMV

Insgesamt sind in dem Material 13 Kombinationen von Geländewasserhaushalt und Trophie vertreten, die im folgenden als Typen bezeichnet werden. Dies sind:

<u>Substrat</u>	<u>Typen</u>
Buntsandstein	12, 13, 22, 32, 33, 43, 62, 63
Tonschiefer etc.	12, 32
Basalt und Löß	11, 21, 31

In diesen Typen steht die erste Ziffer für die Wasserversorgung und die zweite für die Nährstoffversorgung, vgl. hierzu Tabelle 2. Die Ergebnisse der Varianzanalyse für alle 13 Typen (über die drei geologischen Substrate hinweg) wie auch für die Typen jeweils eines einzigen geologischen Substrats sind in Tabelle 8 zusammengestellt. Die N-Gehalte in den Nadeln liegen mit etwa 1,15 % auf Buntsandstein und Tonschiefer in gleicher Höhe, sie sind auf den Basalt-Standorten höher. Zwischen den Typen besteht jedoch in keinem Fall ein signifikanter Unterschied, die N-Versorgung der Fichte scheint also unabhängig von der bei der Standortkartierung angesprochenen

Tabelle 8:
Ergebnisse der Nadelanalysen

Substrat	Anzahl	Mittelwert (\bar{X}) (mg/g)					Innerhalb Typen VK _e %					Zwischen Typen Signifikanz				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
alle	310	11.6	1.81	6.10	4.34	1.18	12.3	26.9	28.2	35.2	23.8	NS	+++	++	+++	+++
Buntsandstein	154	11.4	1.59	6.01	4.11	1.13	10.5	20.2	23.2	34.7	21.8	NS	++	+	+++	NS
Typen	12	18	11.5	1.61	6.39	4.21	1.09	2.44	4.63	6.02	6.81	4.59				
	13	24	11.5	1.67	6.19	3.70	1.15	2.13	4.30	4.27	6.79	4.46				
	22	22	11.4	1.62	6.06	3.63	1.13	2.10	3.76	5.92	7.71	4.97				
	32	22	11.3	1.74	6.04	5.36	1.16	1.25	6.21	4.95	8.39	5.13				
	33	16	11.4	1.67	6.11	4.09	1.23	1.66	2.77	5.04	8.90	6.07				
	43	10	10.9	1.57	7.07	3.76	1.14	2.59	8.56	6.33	10.3	7.06				
	62	22	11.5	1.40	5.37	3.76	1.07	3.36	2.71	4.10	6.19	3.54				
	63	20	11.6	1.44	5.44	4.21	1.07	2.49	2.88	5.69	7.35	4.64				
Tonschiefer, Quarzit und Grauwacke	138	11.8	2.04	6.37	4.48	1.18	14.1	30.8	32.0	37.5	24.0	NS	+	NS	+	+
Typen	12	72	11.9	1.92	6.16	4.83	1.24	1.72	2.94	4.08	4.32	2.71				
	32	66	11.7	2.18	6.61	4.10	1.12	1.67	4.30	3.61	4.73	3.11				
Basalt und Löß	18	12.4	1.83	4.78	5.24	1.59	10.1	16.9	28.7	17.1	30.4	NS	+	NS	++	NS
Typen	11	6	12.7	2.18	5.50	4.03	1.35	4.23	5.72	11.3	6.76	10.6				
	21	6	12.3	1.62	3.99	5.62	1.66	3.07	7.21	8.96	8.19	15.1				
	31	6	12.3	1.71	4.85	6.08	1.77	4.85	8.01	13.5	5.65	10.45				

Trophie zu sein. Dies wird erklärlich, wenn man bedenkt, daß im Untersuchungsgebiet mit einer jährlichen Stickstoffzufuhr durch Niederschläge in Höhe von mindestens 20 kg N/ha gerechnet werden muß; die N-Versorgung der Bestände scheint dadurch großräumig ausgeglichen und weitgehend standortsunabhängig zu sein. Nur eutrophe Standorte mit Mull als Humusform, wie sie auf lößüberdecktem Basalt zu finden sind, schlagen gegenüber der Input-Regulierung der Stickstoffversorgung noch durch. Bei den anderen Nährstoffen ergeben sich bei der Verrechnung des gesamten Materials durchweg signifikante Unterschiede zwischen den Typen, während sie innerhalb der geologischen Substrate nicht mehr durchgängig vorhanden sind. Dies weist darauf hin, daß die Trophieansprache im Gelände nicht unabhängig vom Substrat ist, daß also "mesotroph" für die Nährstoffversorgung auf Buntsandstein, Tonschiefer oder Basalt jeweils einen etwas anderen Inhalt hat. Bei der induktiven Erfassung der Trophie im Rahmen der Hessischen Standortskartierung wird daher dem Substrat primäre Bedeutung als korrelatives Merkmal beigemessen. So sind bei den Typen 12 (frisch-mesotroph) und 32 (mäßig frisch-mesotroph) die Nadelspiegelwerte zwischen Buntsandstein- und Tonschieferstandorten bei P und Mg bzw. P und Ca signifikant voneinander unterschieden; sie sind bei P und Mg auf den Tonschieferstandorten höher.

Um dem nachzugehen, wurde ein paarweiser Mittelwertvergleich zwischen den einzelnen Typen (Rechenprogramm PAMV) durchgeführt. Die Ergebnisse sind

in Tabelle 9 kurz zusammengefaßt. Die Ergebnisse des BARTLETT-Tests lassen erkennen, daß auf Buntsandstein die N-Versorgung eine umso größere Streuung innerhalb der Typen zeigt, je frischer bzw. je wechselfeuchter der Standort ist. Die P-Versorgung zeigt dagegen die geringste Streuung auf mäßig frischen und wechselfeuchten Standorten, während sie auf frischen sowohl wie auf trockenen Standorten eine größere Streuung zeigt. Für die K-, Ca- und Mg-Versorgung gilt auf Buntsandstein tendenzmäßig, daß frische und

Tabelle 9:

Unterschiede in den Nadelnähstoffelementen innerhalb der Substrate bei den Standortseinheiten

Element	Homogenitätsprüfung nach Bartlett			Paarweiser Mittelwertsvergleich (t-Test)		
	Buntsandstein	Tonschiefer, etc.	Basalt	Buntsandstein	Tonschiefer, etc.	Basalt
N	32 < 12, 13, 22 62 > 22, 32, 33, 43 63 > 32, 33	-	-	-	-	-
P	32 > 12, 33, 62, 63 & < 22 33 < 12, 13, 43 62 < 12, 13, 22, 43 63 < 12, 13, 43	32 > 12	-	62 < 12, 13, 22, 32, 33 63 < 13, 22, 32, 33	32 > 12	13 > 21, 31
K	62 < 22	-	-	62 < 12, 13, 43 63 < 43	-	-
Ca	32 > 12, 13, 62 & < 22	-	-	32 > 13, 33, 43, 63 32 > 12, 22, 62	32 < 12	11 < 21, 31
Mg	62 < 32, 33	-	-	-	32 < 12	-

wechselfeuchte Standorte eine geringere Streuung zeigen.

Der Vergleich der Mittelwerte ergibt bei Stickstoff wie schon die Varianzanalyse keine signifikanten Unterschiede; die Trophieansprache ist also auch bei diesem detaillierten Vergleich nicht relevant im Hinblick auf die N-Versorgung.

Hinsichtlich der P-Versorgung zeigt sich, daß die nur auf Buntsandstein vertretenen wechselfeuchten Standorte geringere P-Gehalte in den Nadeln aufweisen als frische, mäßig frische und betont frische Standorte. Dies steht in Übereinstimmung mit der Phosphatdynamik in wechselfeuchten Böden, in denen eine Tendenz zur Akkumulierung des Bodenphosphats in den okkludierten Phosphaten besteht. Wie der BARTLETT-Test zeigt, sind sich die wechselfeuchten Standorte hierin sehr ähnlich. Im Tonschiefer und Basalt ergeben sich gegensätzliche Aussagen: auf Tonschiefer ist die P-Versorgung auf den mäßig frischen Standorten besser als auf den frischen, während es auf Basalt umgekehrt ist. Insgesamt ergibt sich hieraus, daß für die P-Gehalte in der Nadel der in den Frischestufen angesprochene Wasserhaushalt offensichtlich von größerer Bedeutung ist als die in der Trophie zum Ausdruck kommende Nährstoffversorgung. Diese Aussage ist nicht so abwegig wie es zunächst klingt, weil die P-Versorgung der Bäume aus dem Gesamtbereich der Intensivwurzelschicht erfolgt.

Auf die Kalium-Gehalte in den Nadeln wirkt sich wiederum die Wechselfeuchte signifikant in einer Gehaltserniedrigung aus. Auch dies hat eine bodenchemische Ursache: wechselfeuchte Standorte sind in der Regel Zweischichtböden, in denen jüngere Decksedimente über älteren Verwitterungsresten oder Fließerden liegen. Da die K-Versorgung der Bäume sehr stark vom Verwitterungsausmaß der Glimmer und Illite abhängt, sind die jüngeren Decksedimente mit geringerer Verwitterungsintensität bessere Kaliumlieferanten als stärker verwitterte ältere Fließerden.

Der einzige Nährstoff, bei dem die Trophieansprache eindeutig mit den Gehalten in der Nadel korreliert, ist Calcium: hier sind die mesotrophen Standorte signifikant unterschieden von den oligotrophen. Dies heißt, daß entweder die Trophieansprache oder die Nadelspiegelwerte bei der Fichte unter den derzeitigen Umweltbedingungen (Stickstoffzufuhr, saure Niederschläge) tatsächlich nur noch den Aziditätsgrad des Bodens erfaßt, nicht aber den P-, K- und Mg-Zustand im Boden. Daneben besteht auch noch ein Einfluß des Wasserhaushaltes: die höchsten Ca-Gehalte in der Nadel finden sich auf den mäßig frischen Standorten, zur feuchteren wie auch zur trockeneren Seite hin sinken die Ca-Gehalte ab. Dies gilt allerdings nur für die Standorte auf Buntsandstein und mit Einschränkung auch auf Basalt, auf Tonschiefer sind die Ca-Gehalte auf den frischen Standorten höher als auf den mäßig frischen. Höhere Gehalte auf den frischen Standorten auf Tonschiefer ist auch der einzige signifikante Unterschied, der sich bei Magnesium ergibt.

4.4.2 Boden

4.4.2.1 Entnahme der Bodenproben

Die Probeentnahme erfolgte aus den Bodeneinschlägen. Für die Entnahme wurden vier Horizonte bzw. Schichten unterschieden:

1. O_h-Horizont: der gut zersetzte, dunkel gefärbte Humusstoffhorizont im untersten Teil der Auflagehumusdecke; gemäß den Angaben in der Kartieranleitung ist das hier ermittelte C/N-Verhältnis abhängig von der Humusform, so daß sich umgekehrt aus der Humusform auf einen Bereich des C/N-Verhältnisses in diesem Horizont schließen läßt.
2. A_h-Horizont: der humusreiche oberste Teil des Mineralbodenprofils, in der Regel humusreich, dunkel gefärbt, gut durchlüftet. In den sauren Waldböden ist der A_h-Horizont oft nur wenige Zentimeter mächtig.
3. Intensivwurzelschicht: Unter Intensivwurzelschicht wird der Teil des Mineralbodens verstanden, in dem an der Profilwand mehr als fünf Feinwurzelspitzen pro dm² erkennbar sind. Der A_h-Horizont wird ausgenommen. Genetisch handelt es sich um A_{1h}-, B_v-, B/C- oder C_v-Horizonte oder Kombinationen von diesen Horizonten. Die Intensivwurzelschicht ist in der Regel locker und weist ein gut ausgebildetes Aggregatgefüge auf. Aus ihr sowie aus dem O_h- und A_h-Horizont erfolgt der größte Teil der Nährstoffaufnahme.

4. Extensivwurzelschicht: Die Extensivwurzelschicht schließt unten an die Intensivwurzelschicht an und ist dadurch charakterisiert, daß vereinzelt noch Wurzeln auftreten, wobei die Durchwurzelungsintensität unter 5 Feinwurzelspitzen pro dm^2 liegt. Genetisch handelt es sich in der Regel um B_v -, P- oder C_v -Horizonte bzw. um ältere Fließerden. Die Lagerungsdichte ist meist hoch, das Gefüge oft kohärent.

Falls die Intensiv- bzw. Extensivwurzelschicht in sich große Unterschiede, z.B. unterschiedliche Bodenhorizonte, aufwiesen, wurden horizontweise Proben genommen. Solche Proben sind durch römische Ziffern I, II usw. gekennzeichnet.

Von jedem Horizont wurde eine repräsentative Probe von etwa einem kg gesammelt, gut gemischt und in Polyäthylenbeuteln für den Transport zum Institut verpackt. Im Institut wurden die Bodenproben bei 40° getrocknet. Für die meisten Bestimmungen wurde der Feinboden unter 2 mm verwendet, für die C- und N-Bestimmungen wurde eine Teilprobe von etwa 50 g in der Kugelmühle fein gemahlen.

Die O- und A_h -Horizonte wurden an einer Stelle mit typischer Ausprägung als unzerstörte Proben in Kubiena-Kästen entnommen, einmal um während der Geländearbeiten die Vergleichbarkeit der Humusformen-Ansprache zu gewährleisten, zum anderen um das Trockenraumgewicht des O_H -Horizonts zu ermitteln.

Für die Bestimmung von Trockenraumgewicht, Porenvolumen und Porengrößenverteilung im Mineralboden wurden volumetrische Bodenproben genommen. Zur Bestimmung des Trockenraumgewichts wurden Proben in PVC-Stechzylindern von 3,5 cm Durchmesser und 5,2 cm Länge (Volumen 50 cm^3) genommen, und zwar drei Wiederholungen pro Horizont. Nach der Probenahme wurden die Zylinder mit Plastikmembranen und Gummiringen verschlossen und bis zur Untersuchung im Kühlschrank gelagert.

Für die Bestimmung der pF-Kurve wurden 68 Bodenhorizonte aus verschiedenen Profilen ausgewählt, die das Spektrum des Gesamtkollektivs hinsichtlich Bodenart und Humusgehalt repräsentierten. Zur Erleichterung der Probenahme wurden bei der Auswahl steinhaltige Horizonte ausgeschlossen. Die Probenahme erfolgte mittels Stechzylindern von 8 cm Durchmesser und 5 cm Länge (Volumen: 250 cm^3) aus V2A Stahl, pro Horizont wurden fünf Wiederholungsproben entnommen. Die Probenahme erfolgte

teils vertikal, teils horizontal. Die unter Zwischenschaltung eines speziell geformten Holzstückes mit dem Hammer eingetriebenen Stechzylinder wurden mit Hilfe von Messer und Spaten entnommen, an beiden Enden glattgeschnitten und zum Transport sowie zur Lagerung in luftdichte Kästen verpackt.

4.4.2.2 Physikalische Bodenuntersuchung

4.4.2.2.1 Trockenraumgewicht

O_H-Horizont

Aus dem Gesamtkollektiv wurden 42 Proben ausgewählt, die 4 Humusformen (Typischer Moder, Rohhumusartiger Moder, Typischer Rohhumus und Feinhumusarmer Rohhumus) repräsentierten. Da die Humusproben in den Kubiena-Kästen getrocknet und geschrumpft waren, wurden die Kubiena-Kästen mit aufgesetztem Blechdeckel zunächst über Nacht in ein 2 cm tiefes Wasserbad gesetzt. Nach Herausnahme und Abfließen des überschüssigen Wassers wurden aus dem O_H-Horizont Proben mit einem Stechzylinder von 1,83 cm Durchmesser und 1,5 cm Länge (Volumen 3,94692 cm³) entnommen, hierfür fand ein Korkbohrer Verwendung. Die Proben wurden in Wägegläschen über Nacht bei 110° getrocknet und nach Abkühlung gewogen, anschließend das Trockenraumgewicht berechnet. Proben, die einen höheren Anteil an mineralischer Substanz enthielten, wurden verworfen.

Mit den so ermittelten Trockenraumgewichten wurde ein paarweiser Mittelwertvergleich (Rechenprogramm: PAMV) durchgeführt, wobei geprüft wurde, ob zwischen den Humusformen Unterschiede in den Trockenraumgewichten bestehen. Hierbei ergaben sich weder hinsichtlich der Varianz noch hinsichtlich der Mittelwerte signifikante Unterschiede, so daß für die späteren Berechnungen für alle Humusformen von einem mittleren Trockenraumgewicht für die O_H-Horizonte von 0,213 g/cm³ (VK_e = 12,9 %) ausgegangen wird.

Mineralboden

Nach Entfernung der Plastikfolien und Gummiringe wurden die Stechzylinder gewogen. Von jedem Stechzylinder wurden zwei Teilproben entnommen und der Wassergehalt durch Trocknung

bei 105° bestimmt. Mit dem Mittelwert der beiden Bestimmungen wurde das Trockengewicht des Bodens in den Stechzylindern berechnet. Das Trockenraumgewicht ergab sich nunmehr als Bodengewicht geteilt durch Stechzylindervolumen. Für die weiteren Berechnungen wurde der Mittelwert aus den drei Probenahme-Wiederholungen pro Horizont verwendet.

4.4.2.2.2 Spezifisches Gewicht, Substanzvolumen, Hohlraumvolumen

An den 68 Proben, die für die Ermittlung der pF-Kurven ausgewählt waren, wurde das spezifische Gewicht der Bodensubstanz ρ bestimmt, und zwar jeweils an zwei Teilproben. Die Bestimmung erfolgte nach BLAKE (1965) mit dem Kolbenpyknometer. Für die weitere Verrechnung wurden Durchschnittswerte der beiden Bestimmungen verwendet.

Das Substanzvolumen und das Hohlraumvolumen wurden wie folgt berechnet:

Substanzvolumen (SV) in Prozent = $\text{TRG} / \rho \times 100$

Gesamtporenvolumen (GPV) in Prozent = $100 - \text{SV} \%$

4.4.2.2.3 pF-Kurven und Porengrößenverteilung sowie Intensität der Wasserbindung

Die Stechzylinderproben wurden mit Wasser gesättigt und die Feldkapazität bei 1/3 Atmosphäre sowie der Welkepunkt bei 15 Atmosphären mit Hilfe der Druckmembranmethode (RICHARDS, 1941, modifiziert durch RICHARDS und FIREMANN, aus HARTGE, 1965) unter Verwendung von keramischen Platten und einer Drucktopf-Apparatur der Firma SOILMOISTURE Equipment Co. Santa Barbara, California, bestimmt.

4.4.2.3 Korngrößenverteilung

Entsprechend der Geländeansprache wurden alle Mineralbodenproben in verschiedene Bodenarten gruppiert. Aus dem Gesamtkollektiv wurden 68 Proben ausgewählt, die alle vorhandenen Korngrößenklassen anteilmäßig repräsentierten. Humushaltige Proben wurden mit H_2O_2 vorbehandelt. Alle Proben wurden einer Eisenextraktion mit Natriumzitat/Natriumbikarbonat und Natriumbisulfit unterworfen und anschließend mit Hexametaphos-

phatlösung dispergiert. Die Korngrößenbestimmung selbst erfolgte mit einer kombinierten Sieb- und Pipettmethode (ODÉN, 1915; ROBINSON, 1922; Institutsvorschrift).

4.4.2.4 Bodenchemische Analytik

4.4.2.4.1 Auswahl der Proben

Mit eine Aufgabe der Arbeit war es, Mittel und Wege zu finden, um aus den Labordaten von einem Teilkollektiv der insgesamt im Gelände aufgenommenen Standorte quantitative Schätzdaten ausreichender Genauigkeit für das Gesamtkollektiv zu gewinnen. Zur Lösung dieser Aufgabe wurden insgesamt je 7 Standorte (d.h. je 14 Profile) von folgenden Trophieklassen ausgewählt:

Buntsandstein oligotroph: Standorts-Nr. 4, 6, 15, 20, 23, 27, 31

Buntsandstein mesotroph: Standorts-Nr. 1, 2, 7, 9, 17, 24, 29

Tonschiefer mesotroph: Standorts-Nr. 33, 34, 35, 36, 37, 39, 41.

4.4.2.4.2 Auflagehumus:

Nach trockener Veraschung von 2 g Substanz (500-600° C) wurde der Glührückstand gewogen und nach Aufnahme in 0,5 n HCl eine Analysenlösung hergestellt. Es wurden bestimmt:

P_t : Gesamt-P kolorimetrisch mit der Molybdänblaumethode aus der Analysenlösung,

N : Gesamt-N nach Kjeldahlaufschluß kolorimetrisch mit dem Auto-Analyser,

pH-Wert: 10 ccm Humus + 25 ml 0,01 M CaCl₂-Lösung (Verhältnis 1:2,5) elektrometrisch mit der Glaselektrode.

Aus den gewonnenen Daten wurden berechnet:

% Asche: aus dem Glührückstand,

Organische Substanz: aus dem Glühverlust,

C : aus der organischen Substanz (Faktor 1,724)

C/N Verhältnis und C/P Verhältnis.

4.4.2.4.3 Mineralboden:

Es wurden bestimmt:

P : Gesamt-Phosphat durch Säureaufschluß des Bodens

nach ULRICH et al. (1960),
Phosphatfraktionen: Al-, Fe-, Ca- und Okkl. P nach
CHANG und JACKSON (1957) modifiziert nach KHANNA
und ULRICH (1967) unter der Verwendung der Methode
von WATANABE und OLSEN (1965),
organisch gebundene Phosphate berechnet als Diffe-
renz zwischen Gesamtphosphat und der Summe der
Fraktionen;

C : Kohlenstoff mit dem Wösthoff Gerät durch Verbrennung,
N : Stickstoff als Gesamt-N nach Kjeldahlaufschluß, die-
se beiden Bestimmungen sind beschränkt auf die A_h -
Proben,

pH : der pH-Wert mittels Glaselektrode elektrometrisch in
0,01 M $CaCl_2$ (Verhältnis Boden:Lösung-1:2,5),

AK_e : die effektive Kationen Austauschkapazität: nach
ULRICH (1966). Dazu wurden 25 g Boden mit 100 ml 1 n
 NH_4Cl durchgewaschen. Im Perkolat und in der NH_4Cl -
Lösung wurde pH bestimmt. Aus den beiden pH-Werten
wurde unter Berücksichtigung des Einflusses von Al-
Ionen die H^+ -Ionenkonzentration berechnet. Nach Ein-
dampfen der Lösung und Abrauchen des NH_4Cl wurde der
Rückstand mit HCl aufgenommen und filtriert. Im
Filtrat wurden nach den im Institut üblichen Methoden
(Laborvorschriften) bestimmt:

Na, K und Mn: durch direkte Atomabsorptionsspektro-
metrie mit Perkin Elmer, Modell 403.

Ca und Mg: atomabsorptionsspektrometrisch nach
Lanthanoxidzusatz zur Analysenlösung,
um Störungen anderer Elemente (z.B.
P und Al) auszuschalten,

Fe: durch kolorimetrische Bestimmung mit
2-2'-Bipyridin nach BARON (1954),

Al: durch kolorimetrische Bestimmung mit
Aluminon nach HSU (1963),

AK_t : die totale Kationen-Austauschkapazität für A_h -Proben
bzw. Proben mit ziemlich hohem Humusgehalt nach
MEHLICH (1942), für humusfreie Proben bzw. Proben

mit geringem Humusgehalt nach RIEHM und ULRICH
(1954).

4.4.2.5 Verrechnung der Analysendaten

Die Verrechnung der Analysendaten erfolgte an der Rechenanlage der Gesellschaft für wissenschaftliche Datenverarbeitung in Göttingen unter Benutzung von Institutsprogrammen (Autor: M. ULRICH).

In die spätere Auswertung gehen folgende Verrechnungsgrößen ein:

O_H-Horizont: C- und N-Gehalt in Prozent, P_t in mg/100 g, C/N-Verhältnis, C- und N-Vorräte in t/ha, P_t-Vorrat in kg/ha.

Mineralboden: Bei der Berechnung von Vorräten werden hier die Horizontmächtigkeit, der Steingehalt und das Trockenraumgewicht berücksichtigt. Für den gesamten Mineralboden wurde der Feinboden in t/ha und m³/ha berechnet. Für die A_h-Horizonte wurde berechnet: C/N-Verhältnis sowie der C- und N-Vorrat in t/ha. In der Intensiv- und Extensivwurzelschicht wurden folgende Werte berechnet: Gesamt-P sowie P-Fraktionen in mg/100 g sowie in kg/ha, ferner der Anteil der verschiedenen P-Fraktionen an P_t; pH-Wert; austauschbare Kationen Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn und Al sowie die effektive Austauschkapazität (AK_e) und die totale Austauschkapazität (AK_t) in $\mu\text{val/g}$ sowie in k_{val}/ha; die einzelnen Kationen ferner auch als Anteile an der AK_e, diese Werte werden als X^S bezeichnet.

Aus den horizont- bzw. schichtbezogenen Daten wurden ferner folgende Nährstoffvorräte für das Gesamtprofil berechnet: Vorrat an organischer Substanz, C und N im O_H plus A_h-Horizont in t/ha; Vorrat an Gesamt-P in kg/ha in folgenden Kombinationen: O_H plus A_h, A_h plus Intensivwurzelschicht, O_H plus A_h plus Intensivwurzelschicht, O_H plus A_h plus Intensiv- plus Extensivwurzelschicht; P-Fraktionen in kg/ha in folgenden Kombinationen: A_h plus Intensivwurzelschicht, A_h plus Intensiv- plus Extensivwurzelschicht; austauschbare Kationen in kg/ha sowie in k_{val}/ha in den gleichen Kombinationen wie die P-Fraktionen; AK_e und AK_t in k_{val}/ha ebenfalls für die gleichen Kombinationen.

4.5 Überprüfung der Feldansprache durch die Laborunter- suchung

4.5.1 Korngrößenklassen und Bodenart

Bei der Geländeansprache wurde die Bodenart mit der Fingerprobe ermittelt. Da die Böden unterschiedliche Feldfeuchte aufwiesen, wurde der Prozentgehalt an Ton und Schluff unter Anfeuchtung der Proben geschätzt. Nach dieser Schätzung wurde mit Hilfe von Tabelle 5 in der Kartieranleitung (S. 36 bis 37) die Korngrößenklasse im Dreiecksdiagramm (Kartieranleitung S. 38) festgelegt. Falls nach der Fingerprobe Zuordnungsschwierigkeiten bestanden, wurden zwei alternative Korngrößenklassen festgehalten. Zur Überprüfung der Geländeansprache mit der Fingerprobe wurden die an einem ausgewählten Bodenkollektiv durchgeführten Korngrößenanalysen (s. 4.4.2.3) herangezogen. Der Vergleich der Laborergebnisse mit der Fingerprobe führte zu Korrekturen in der Feldansprache der Bodenart in einigen Fällen. Folgende Korrekturen wurden durchgeführt:

1. In Korngrößenklassen mit mehr als 50 % Ton nach der Fingerprobe (T, s'T, lT): Bei diesen Bodenarten wurde bei der Fingerprobe der Tongehalt stets um 15-25 % zu hoch geschätzt, der Schluffgehalt um den gleichen Prozentsatz zu niedrig. Dies kann besonders in Böden mit hohen Feinschluffanteilen vorkommen.

Zur Korrektur wurde bei der Feldansprache T die Bodenart im Dreiecksdiagramm um eine Klasse im Tongehalt zurückgestuft und um eine Klasse im Schluffgehalt erhöht. Für die Bodenarten s'T und lT wurde unter Beachtung der Spannweite der Tongehalte im Dreiecksdiagramm die Korrektur durch Rückstufung um ein bis zwei Klassen im Tongehalt und Erhöhung um ein bis zwei Klassen im Schluffgehalt durchgeführt.

2. Bodenarten mit 25-50 % Ton nach der Fingerprobe

a) sT, sT und stL: Bei diesen Texturklassen war der Tongehalt bei der Feldansprache um 3-10 % überschätzt und der Schluffgehalt um 10-20 % unterschätzt worden; hier wurde offensichtlich Grobschluff als Feinstsand interpretiert. Die Korrektur erfolgte durch Rückstufung um

eine Klasse im Tongehalt und Erhöhung um zwei Klassen im Schluffgehalt.

b) t'L und tL: Bei der Feldansprache wurde hier der Tongehalt um 5-10 % überschätzt, der Schluffgehalt um 1-5 % unterschätzt. Korrektur durch Rückstufung um eine Klasse im Tongehalt und Höherstufung um eine Klasse im Schluffgehalt.

3. Böden mit mehr als 50 % Schluff nach der Feldansprache

a) uL: Überschätzung des Tongehalts um 10 %, Korrektur durch Rückstufung im Schluffgehalt: Bodenart suL anstatt uL.

b) 1'U, 1U und 1Ü: Die Ansprache dieser Löße war korrekt bis auf wenige Ausnahmen, wo der Schluffgehalt unzutreffend angesprochen war. Eine Korrektur der Feldansprache erfolgte daher nur in solchen Fällen, wo aus der Lagerungsart und den genetischen Horizonten hervorging, daß es sich um Löß handelt. Hier wurde eine evtl. abweichende Geländeansprache durch die Bodenart s1U/uL ersetzt.

4. 1'S, 1S, 1̄S, sL, s̄L, suL und ulS: Bei diesen Bodenarten waren kaum irgendwelche Differenzen zwischen Labor- und Geländebestimmung. In einigen wenigen Fällen waren Abweichungen beim Schluff- und Tongehalt von 2-3 % festzustellen, die jedoch kaum zu Verschiebungen in der Bodenartenklasse führten. Von Korrekturen wurde daher abgesehen.

5. t'S, tS und t̄S: Bei diesen Bodenarten wurde bei der Fingerprobe der Schluffgehalt um 10-20 % unterschätzt, offensichtlich wurde Grobschluff als Feinstsand angesprochen. Dagegen war die Ansprache des Tongehalts übereinstimmend mit den Laborergebnissen. Die Korrektur erfolgte bei t-t̄S durch Verschiebung um zwei Klassen, bei t'S um eine Klasse im Dreiecksdiagramm.

6. S: Bei allen reinen Sanden wurden bei der Fingerprobe Ton und Schluff um 3-4 % unterschätzt. Die Korrektur erfolgte durch Umgruppierung aller S in 1'S.

Eine Überprüfung der Feldansprache der Bodenart durch Laboruntersuchungen ist allgemein erforderlich; bei einer regelmäßigen Kartiertätigkeit erfolgt sie parallel zur Geländear-

beit und nicht hinterher. Ein solches Vorgehen war aus zeitlichen Gründen nicht möglich.

4.5.2 Humusgehalt

Bei der Feldansprache wurde der Humusgehalt okular aufgrund von Bodenfarbe und Gefüge geschätzt. Zur Kontrolle der Feldansprache wurden 42 Bodenproben von verschiedenen A_h -Horizonten und 16 Proben von anderen Horizonten ausgewählt, der Kohlenstoffgehalt bestimmt und der Humusgehalt danach berechnet.

Aufgrund des Vergleichs bei diesen Proben wurden folgende Korrekturen durchgeführt:

A_h -Horizonte

Böden auf Tonschiefer, Grauwacke und Quarzit: Nach den Laboruntersuchungen können diese Böden in zwei Gruppen angeordnet werden: Horizonte mit Krümelgefüge mit Humusgehalten zwischen 10 und 17 %, Horizonte ohne Krümelgefüge mit Humusgehalten zwischen 5 und 10 %. Bei der Feldansprache war der Humusgehalt nur auf etwa die Hälfte dieser Werte geschätzt worden. Die Korrektur erfolgte durch Verdoppelung der aus der Profilbeschreibung abgeleiteten Humusgehalte, wodurch Horizonte mit Korn- und Krümelgefüge Werte zwischen 10 bis 17 % erhielten. Im allgemeinen lief die Korrektur darauf hinaus, daß die Humusgehaltsklasse um eine Stufe erhöht wurde.

Böden auf Buntsandstein: Horizonte mit Humusgehalten unter 4 % zeigten keine signifikante Differenz zwischen Labor- und Geländewerten. Bei höheren Humusgehalten lag die Feldansprache stets bei niedrigeren Humusgehalten (50 bis 75 % der Laborwerte), die Korrektur erfolgte durch Höherstufung um eine Klasse. Eine Ausnahme stellt der Standort Neukirchen 107 A/467 dar, wo der Humusgehalt bei der Feldansprache doppelt so hoch geschätzt wurde als sich bei der Laboruntersuchung ergab und entsprechend korrigiert wurde. Der A_h -Horizont ist hier bodenartlich Feinsand, in dem gleiche Humusgehalte eine wesentlich dunklere Färbung hervorrufen als in schluffreicheren Bodenarten. Die A_h -Horizonte aus Löss mit kohärentem, plattigem und subpolyedrischem Gefüge zeigten bei der Laboruntersuchung

durchweg Humusgehalte um 8 %, in wenigen Fällen sogar 12 bis 13 %. Unabhängig von der Geländeansprache wurde diesen Horizonten daher durchweg die Humusklasse \bar{h} (stark humos) bzw. \bar{h} (sehr stark humos) zugeordnet.

In den übrigen Fällen wurden denjenigen Böden, deren Werte im Labor bestimmt wurden, die Ergebnisse der Laborbestimmungen zugeordnet. Bei Böden, bei denen keine Laborbestimmung vorlag, wurde von der im Feld angesprochenen Humusgehaltsklasse ausgegangen, wie sie im Aufnahmebogen niedergelegt ist, auf der Basis der Feldbeobachtungen wurden angenäherte Werte für den Humusgehalt im Rahmen der Spannweite der jeweiligen Humusgehaltsklasse genommen.

Intensiv- und Extensivwurzelschicht: Hier ergab sich nur bei Böden aus Tonschiefer mit krümeligem oder schwach subpolyedrischem Gefüge eine Unterschätzung der Humusgehalte um 1 bis 2 %; eine entsprechende Korrektur wurde durchgeführt.

Die hier beobachteten Abweichungen zwischen Feldansprache und Labordaten sind nicht ungewöhnlich. Selbst erfahrene Kartierer führen häufig Probenmaterial der wichtigsten Bodenarten mit sich, um die Fingerprobe zur Ermittlung der Bodenart laufend zu überprüfen. Eine annähernd zutreffende Humusgehaltsansprache ist grundsätzlich nur dann möglich, wenn man sich für eine bestimmte Bodenform über den Vergleich von Bodenfarbe und Humusgehalt nach der Laboruntersuchung einen Schätzrahmen verschafft; ein solcher Schätzrahmen ist jedoch grundsätzlich nur für eine relativ eng begrenzte Bodenform zutreffend. Bei einer Kartierung, aus der nachher über die Bodenbeschreibung quantitative Daten geschätzt werden sollen, wäre daher so vorzugehen, daß zu Beginn der Kartierung für die verschiedenen Bodenformen diese Beziehungen erarbeitet werden. Damit ließe sich der Schätzfehler im Gelände voraussichtlich erheblich verringern. Bei der vorliegenden Untersuchung war ein solches Vorgehen aus zeitlichen Gründen jedoch nicht möglich.

4.6 Quantifizierung und Codierung des Wasser- und Lufthaushalts

4.6.1 Ableitung von Nomogrammen zur Bestimmung der nutzbaren Wasserkapazität und der Luftkapazität

Nutzbare Wasserkapazität und Luftkapazität stehen in direkter Beziehung zur Porengrößenverteilung, deren Bestimmung wiederum aus der pF-Kurve erfolgt, die den Wassergehalt im Boden als Funktion der Saugspannung wiedergibt. Da die Porengrößenverteilung durch eine Anzahl von Faktoren wie Textur, Humusgehalt, Gefüge und Lagerungsdichte beeinflusst wird, wurden für diejenigen Böden, für die die entsprechenden Laboruntersuchungen durchgeführt worden waren, multiple Regressionsgleichungen mit den genannten Faktoren als unabhängige Variable und den Porengrößenbereichen sowie dem Gesamtporenvolumen als abhängige Variable gerechnet. Mit Hilfe der Regressionsgleichungen wurden Nomogramme konstruiert, aus denen sich aufgrund der bei der Profilbeschreibung erfaßten Faktoren Textur, Humusgehalt, Gefüge und Lagerungsdichte das Gesamtporenvolumen sowie Poren $< 10 \mu$ (Feldkapazität), $< 0,2 \mu$ (Totwasser), $> 10 \mu$ (Luftkapazität) sowie der Porenbereich 0,2 bis 10μ (nutzbare Wasserkapazität) entnehmen lassen. Aus den Nomogrammen wiederum wurde Tabelle 10 zusammengestellt, in der für verschiedene Bodenarten bei Kenntnis der Lagerungsdichte nutzbare Wasserkapazität sowie Luftkapazität aufgeführt sind. Analog zu dem Vorgehen von RENGGER (1971) wird der Einfluß der organischen Substanz auf die Porengrößenverteilung durch Zu- bzw. Abschläge berücksichtigt. Tabelle 10 bezieht sich auf Proben mit Humusgehalten kleiner als 3 %. Das Vorgehen ist im einzelnen bei SHRIVASTAVA und ULRICH (1976) dargestellt. Entsprechend dem Vorgehen von SCHLICHTING und BLUME (1966, S. 36) sowie ULRICH et al. (1975, S. 8) wurden die so ermittelten Werte noch für den Steingehalt korrigiert, wobei abweichend von SCHLICHTING und BLUME der bei der Bodenansprache geschätzte Volumenanteil an Skelett verwendet wurde und nicht der Gewichtsanteil. Die nutzbare Wasserkapazität wurde in Millimeter pro Horizont umgerechnet und über den gesamten

Tabelle 10:

Mittlerer Anteil der Porengrößenbereiche und des Gesamtporenvolumens (GPV) in Vol.-% in Abhängigkeit von der Bodenart und Lockerheit (Gehalt an organischer Substanz <3%)

Bodenart	Lockerheit ¹ (L _n)	GPV (Vol.-%)	<10µ(FK) (Vol.-%)	<0,2µ(Totes Wasser) (Vol.-%)	>10µ(LK) (Vol.-%)	0,2-10µ(nFK) (Vol.-%)
s	2	34	10	2	24	8
	3	34	18	6	16	12
	4&5	30	26	9	4	17
t's	1&2	36	16	8	20	8
	3	34	21	11	13	10
	4&5	31	27	20	4	7
t-ts	1&2	38	22	18	16	4
	3	34	25	18	9	7
	4&5	31	27	20	4	7
l's	1&2	39	14	4	25	10
	3	35	20	8	15	12
	4&5	31	28	11	3	17
ls	1	48	17	7	31	10
	2	37	17	7	20	10
	3	37	22	10	15	12
4&5	32	29	13	3	16	
l-s	1	52	20	12	32	8
	2	37	20	12	17	8
	3	37	24	13	13	11
4&5	33	30	16	3	14	
sl	1	50	23	19	27	4
	2	36	23	19	13	4
	3	36	26	18	10	8
4&5	33	30	20	3	10	
sl	1	62	25	18	37	7
	2	40	25	18	15	7
	3	38	27	18	11	9
4&5	35	32	20	3	12	
us	1	55	15	2	40	13
	2	38	15	3	23	12
	3	38	21	6	17	15
4&5	33	30	10	3	20	
uls	2	40	22	8	18	14
	3	40	25	12	15	13
	4&5	36	33	19	3	14
u	2	44	22	2	22	20
	3	44	24	6	20	18
	4&5	38	35	10	3	25
l'U-lU	2	44	27	9	17	18
	3	45	28	12	17	16
	4&5	39	36	15	3	21
lU	3	45	32	20	13	12
	4&5	40	37	22	3	15
	uL	2	42	30	18	12
3		42	31	20	11	11
4&5		38	35	22	3	13
suL	2	40	27	17	13	10
	3	40	28	17	12	11
	4&5	36	33	20	3	13
slU	2	42	25	9	17	16
	3	42	26	12	16	14
	4&5	37	34	15	3	19
U	3	47	25	5	22	20
	sT,stL	3	36	30	25	6
4&5		33	30	25	3	5
t'L,utL		3	41	33	25	8
	4&5	38	35	26	3	9

¹ sehr locker = 1
locker = 2
mäßig locker = 3
dicht = 4
sehr dicht = 5

Bodenraum einschließlich Extensivwurzelschicht summiert. Die so ermittelten Werte für die nutzbare Wasserkapazität und die Luftkapazität sind in den Profilbeschreibungsbögen mitgeführt.

4.6.2 Schätzung des standörtlichen Wasserangebots

Durch die topographischen Merkmale wie Geländeausformung, Exposition, Höhe, Hangneigung, Hanglage usw. werden sowohl Niederschlagsmenge wie auch Evaporation und Transpiration und damit das Pflanzenwachstum stark beeinflusst (HARTMANN et al., 1959; GEIGER, 1961). Eine Berücksichtigung der topographischen Merkmale ist daher besonders bei der Schätzung der nutzbaren Wasserkapazität erforderlich. Eine Anzahl von Autoren (BAUMGARTNER, 1956; GEIGER, 1925 -1929; GEIGER et al., 1952; HARTMANN et al., 1959) haben örtliche Untersuchungen zu diesem Fragenkomplex vorgelegt, von denen die klassischen Studien von HARTMANN et al. im Harz am Großen Staufenberg, im Bramforst und am Wurmberg für die vorliegende Untersuchung wegen der räumlichen Nähe von besonderer Bedeutung sind. HARTMANN et al. teilte die Hänge nach Exposition und Hanglage in 5 relative Feuchtigkeitsklassen (F), wobei F 1 die trockenste, F 5 die feuchteste Ausbildung repräsentiert. Obwohl die Klassifikation nur qualitativen Charakter hat, wurden den Klassen numerische Werte (Codes) zugewiesen.

Da die Merkmale des Staufenbergs im Hinblick auf Höhe, Hangneigung und Exposition denen des eigenen Untersuchungsgebietes am ähnlichsten sind, wurde die von HARTMANN für den Staufenberg entwickelte Codierung für verschiedene Expositionen und Hanglagen unmittelbar übernommen. Zusätzlich wurden jedoch noch Neigungsgrad und Hanglänge berücksichtigt. Ein Bodenwasserrückstau durch das Auftreten von Horizonten mit geringer Wasserdurchlässigkeit kann die Wasserbevorratung im Boden beeinflussen und wurde daher ebenfalls bei der Festsetzung von relativen Feuchtigkeitswerten berücksichtigt. Unter Einschluß all dieser Faktoren wurde eine Tabelle der möglichen Kombinationen für die Standorte entworfen und die Feuchtezahlen festgelegt; diese Tabelle ist im Anhang I wiedergegeben. Standorte mit F-Werten von 3

stellen die Normalsituation dar, hier erfolgen zu der aus den Bodenmerkmalen abgeleiteten nutzbaren Wasserkapazität in Millimeter weder Zu- noch Abschläge. Standorte mit F-Werten über 3 erhalten Zuschläge, Standorte mit F-Werten unter 3 Abschläge in der nutzbaren Wasserkapazität, und zwar pro eine Einheit im F-Wert um 10 mm. Mit Hilfe der Tabelle im Anhang I sowie den Geländemerkmale, die bei der Feldaufnahme im Aufnahmebogen festgehalten wurden, wurden die Zu- und Abschläge in der nutzbaren Wasserkapazität in Millimeter für alle Standorte berechnet und so das Bodenwasserangebot an jedem Standort geschätzt. Diese Werte werden im folgenden als "Bodenwasserangebot I" bzw. als "nWK mm \pm Zu-/Abschlag nach HARTMANN et al." bezeichnet.

Zusätzlich wurde noch ein anderer Weg zur Berücksichtigung der topographischen Merkmale besprochen. Hierbei wurde aufgrund der Schlußfolgerungen, die HARTMANN aus seinen Untersuchungen gezogen hatte, von folgenden Annahmen ausgegangen:

1. Nord- und Osthänge sind feuchter als Süd- und Westhänge
2. Unterhänge sind feuchter als Mittelhänge und diese feuchter als Oberhänge
3. Hänge mit größerer Hanglänge sind feuchter als kürzere
4. Täler, Mulden und Depressionen zeigen jeweils die ausgeglichsten Feuchtigkeitsverhältnisse
5. Plateaus und Ebenen sind feuchter als Oberhänge und als Hänge mit geringer Hanglänge, jedoch etwas trockener als nördlich exponierte Unterhänge und Depressionen
6. Steilhänge sind nur bei großer Hanglänge und im Unterhang feuchter, bei kurzer Hanglänge und im Oberhang jedoch trockener

Für die Merkmalsgruppen Exposition plus Hangneigung, Hanglage plus Hanglänge sowie Durchlässigkeit plus Substratdicke wurden drei getrennte Listen für Zu- bzw. Abschläge bei der nutzbaren Wasserkapazität in Millimetern für alle möglichen Kombinationen entwickelt. Diese Listen sind im Anhang II enthalten. Die Zu- bzw. Abschläge wurden wiederum aufgrund der Standorts- und Bodenbeschreibung ermittelt. Es wurde so ein weiterer Schätzwert für das Bodenwasserangebot (II) erhalten,

der in den Tabellen mit "nWK mm + Zu-/Abschlag nach Relief und Substratdichte" bzw. als "Bodenwasserangebot II" bezeichnet wird.

4.6.3 Codierung der nutzbaren Wasserkapazität

Bei der Geländearbeit waren die Frischestufen

mäßig trocken, mäßig frisch, ziemlich frisch,
frisch, betont frisch

unmittelbar draußen angesprochen und in der Profilbeschreibung festgehalten worden. Für diese Frischestufen wurde das durchschnittliche Bodenwasserangebot berechnet. Für Schätzung II sind die Mittelwerte einschließlich Streuung und Variationskoeffizient in Tabelle 11 zusammengestellt. Für die Schätzung I zeigte sich bei den später zu besprechenden regressionsanalytischen Verrechnungen, daß diese Werte weniger gut mit der Baumhöhe korreliert waren.

Zur Gewinnung des Wassercodes wurden die durchschnittlichen Werte der Tabelle 11 durch 10 geteilt (Wasser-Code I) bzw. diese Werte noch gerundet (Wasser-Code II).

Tabelle 11:

Klassifizierung und Codierung der verfügbaren Wasserkapazität

Wasserhaushaltsklasse (Geländeansprache)	Mittelwert (\bar{X}) nWK mm + Zu-/ Abschlag (Bodenwasseran- gebot - II)	± S	VK%	Wasser-Code	
				I	II
mäßig trocken	51.9	12.3	23.7	5.2	5.0
mäßig frisch	73.1	20.1	27.5	7.3	7.0
ziemlich frisch	80.0	16.4	20.5	8.0	8.0
frisch	104	10.9	10.4	10.5	10.5
betont frisch	111	15.4	13.9	11.1	11.0

4.7 Codierung der topographischen Merkmale

Die topographischen Merkmale wie Exposition, Hangform und Position am Hang haben direkten Einfluß auf Einstrahlung (S), Lufttemperatur (T) und relative Luftfeuchte (F) und somit auch auf Evapotranspiration, Wasserverfügbarkeit, Photosynthese und letztlich die forstliche Produktion.

Auf der Grundlage der Arbeiten von HARTMANN et al. (1959) wurden die verschiedenen Expositionen und Hangpositionen in jeweils 5 Klassen gruppiert zur Berücksichtigung der Einflüsse auf Sonnenstrahlung, Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte. Den Klassen wurden numerische Werte von 1 bis 5 zugeordnet mit folgender Abstufung:

Sonnenstrahlung: 1 = maximale Einstrahlung; 5 = minimale Einstrahlung.

Temperatur : 1 = wärmste Lagen, 5 = kälteste Lagen.

Feuchtigkeit : 1 = trockenste Lagen, 5 = feuchteste Lagen.

Die Zuordnung der verschiedenen Expositionen und Hangpositionen zu den Klassen ist im Anhang III zusammengestellt. Mit Hilfe der im Standortsaufnahmeblatt festgehaltenen Merkmale hinsichtlich Exposition und Hangposition wurden aus dieser Zusammenstellung die Werte für S, T sowie F für alle Standorte entnommen.

4.8 Quantifizierung und Codierung des Nährstoffhaushalts

4.8.1 Schätzung der Nährstoffhaushaltsgrößen für die nicht analysierten Proben

4.8.1.1 O_H -Horizonte (C, N, P, C/N, C/P)

Die gesamten im Labor analysierten Proben wurden entsprechend der bei der Geländebeschreibung festgestellten Humusform in Humusformenklassen gruppiert und die Durchschnittswerte für die Gehalte an C, N, P_t sowie die Verhältnisse C/N sowie C/P für jede Klasse berechnet. Die Ergebnisse sind einschließlich der Angaben über Streuung in Tabelle 12(a) zusammengestellt. Die so erhaltenen Klassenmittelwerte wurden durch paarweisen

Tabelle 12:

(a) Mittelwerte von C, N, P, C/N und C/P der Humusformen des O_H-Horizonts

Humusformen	Anzahl	C (g/100g)		N (g/100g)		P (mg/100g)		C/N		C/P	
		\bar{X}	VK%	\bar{X}	VK%	\bar{X}	VK%	\bar{X}	VK%	\bar{X}	VK%
Typ. Moder	16	36,4	26,6	1,16	24,4	110,0	37,5	31,5	14,5	364	42,5
Rohh.art.Moder	12	43,2	18,5	1,24	16,1	84,0	27,2	34,7	8,06	546	30,3
Typ. Rohhumus	5	44,2	9,04	1,26	9,94	81,5	19,3	35,1	2,62	551	12,8
Feinh.arm.Rohh.	8	41	13,9	1,18	15,3	79,6	19,5	34,7	5,84	522	10,9

(b) Prüfung auf Unterschiede bei den Humusformen mittels t-Test

Humusformen	Signifikanz				
	C	N	P	C/N	C/P
Typ.Mod. / Rohh.art.Mod.	NS	NS	+	+	++
Typ.Mod. / Typ.Rohh.	+	NS	+	++	++
Typ.Mod. / Feinh.arm.Rohh.	NS	NS	+	+	+++
Rohh.art.Mod. / Typ.Rohh.	-	-	-	NS	NS
Typ.Rohh. / Feinh.arm.Rohh.	-	-	-	-	NS

(c) Varianzanalyse der C/N- u. C/P-Verhältnisse verschiedener Humusformen

Variable	Anzahl	Mittelwert (\bar{X})	Innerhalb Humusform VK%	Zwischen Humusform Signifikanz
C:N-Verhältnis	41	33,5	9,75	+
C:P-Verhältnis	41	472,	28,5	++

Mittelwertvergleich (DRZ-Rechenprogramm: PAMV) verrechnet. Die Ergebnisse dieser Verrechnungen sind für C/N und C/P in Tabelle 12(c) nachzusehen, die Signifikanz der Unterschiede der Klassenmittel ist aus Tabelle 12(b) ersichtlich. Aus dieser Tabelle ergibt sich, daß die N-Gehalte nicht, die C-Gehalte nur zwischen typischem Moder und typischem Rohhumus signifikant voneinander verschieden sind. Im P-Gehalt ist der typische Moder von allen anderen drei Humusformen signifikant unterschieden, während sich diese selbst nicht weiter voneinander differenzieren. Dasselbe trifft zu für das C/N- und C/P-Verhältnis.

Die Größen C/N und C/P wurden auf Korrelation untereinander geprüft. Innerhalb der Humusformenklassen ergaben sich keine signifikanten Korrelationskoeffizienten. Wurde das ganze Material vereinigt, so ergab sich folgende Regressionsgleichung:

$$C/P = -326,124 + 23,73 \times (C/N) \quad r = 0,539^{+++}$$

(n = 42, Gültigkeitsbereich: C/N = 25 bis 40; C/P = 110 bis 800)

Mit Hilfe dieser Regressionsgleichung können die C/P-Verhältnisse berechnet werden, wenn die C/N-Verhältnisse bekannt sind.

Den nicht analysierten Proben wurden die Klassenmittelwerte für die Gehalte an C, N und P sowie für die Verhältnisse C/N und C/P entsprechend der im Gelände ausgeschiedenen Humusform zugeordnet. Mit diesen Daten erfolgt dann die Berechnung der Vorräte (C, N und P).

4.8.1.2 A_n-Horizonte

C: Die nach Abschnitt 4.5.2 ermittelten Humusgehalte wurden durch 1,72 (WALKLAY 1935, 1947) dividiert, um die C-Gehalte in Prozent zu bekommen.

N: Die analysierten Proben wurden entsprechend der Humusform in Klassen zusammengefaßt, insgesamt standen 42 Proben zur Verfügung. 2 Proben mit Extremwerten wurden von der weiteren Verrechnung ausgeschlossen. Mit den verbliebenen 40 Proben wurde eine Serie von Regressionsgleichungen zwischen C- und N-Gehalt für die verschiedenen Humusformenklassen gerechnet.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 13:

Beziehungen zwischen C- und N-Gehalt (%) in A_h -Horizonten für verschiedene Humusformen

Humusformen	Regressionsgleichungen	r	Anzahl (n)
Typ. Moder	$N = 0,0125 + 0,0347 C$	0,796 ⁺⁺⁺	16
Rohh.art. Moder	$N = 0,00981 + 0,0300 C$	0,860 ⁺⁺⁺	11
Typ. Rohhumus	$N = 0,0166 + 0,0257 C$	0,984 ⁺⁺⁺	5
Feinh.arm.Rohhumus	$N = 0,0157 + 0,0245 C$	0,967 ⁺⁺⁺	8

Für die nicht analysierten Proben wurde der N-Gehalt in den A_h -Horizonten nach der entsprechenden Gleichung aus Tabelle 13 berechnet.

4.8.1.3 Schätzung von P_t und den P-Fractionen

P_t :

A_h -Horizonte

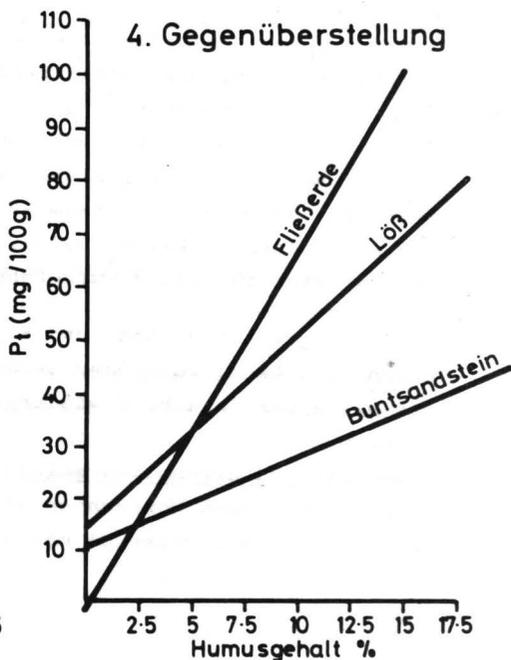
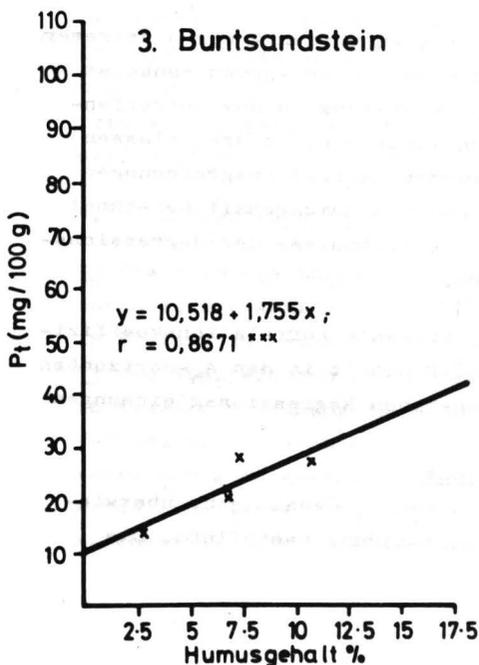
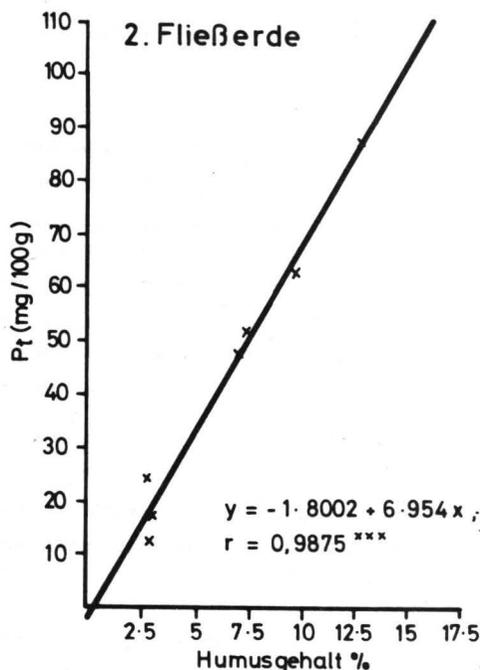
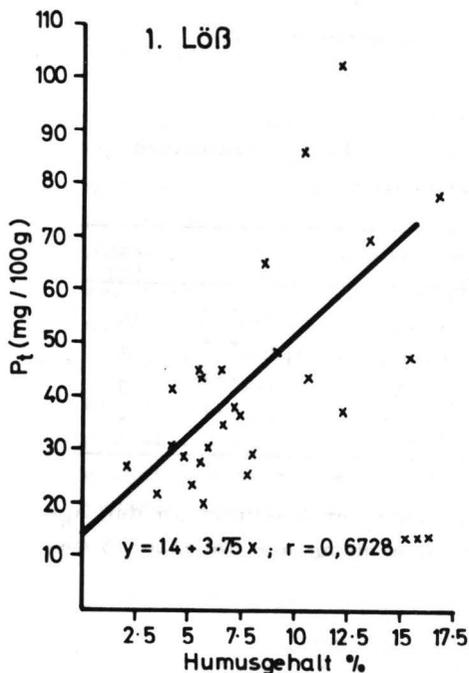
Von den 42 im Labor analysierten Proben wurden 4 wegen extremer Werte verworfen. Die verbleibenden 38 Proben wurden zunächst nach dem Ausgangsmaterial der Bodensubstanz in dem betreffenden Horizont (LÖB, Fließerde, Buntsandstein) in drei Klassen aufgegliedert. Für jede Klasse wurden Regressionsgleichungen zwischen dem Gehalt an Gesamt-P und dem Humusgehalt berechnet (in Anlehnung an ULRICH, 1975). Die Ergebnisse der Regressionsanalyse sind in Abb. 8 aufgeführt.

Da die Regressionen hohe und signifikante Korrelationskoeffizienten aufwiesen, wurde der Gesamt-P Gehalt in den A_h -Horizonten mit Hilfe der in Abb. 8 wiedergegebenen Regressionsgleichungen berechnet.

Intensiv- und Extensivwurzelschicht

In den humusarmen Horizonten wird der P_t -Gehalt ganz überwiegend vom Ausgangsmaterial der Bodenbildung beeinflusst. Die

Abb. 8 : Beziehungen zwischen Humusgehalt u. P_t (mg/100g) in A_h Horizonten.



analysierten Proben wurden daher in Klassen entsprechend dem Ausgangsmaterial der Bodenbildung eingeteilt. Nach Verwerfung von Extremwerten wurden für jede Klasse die Mittelwerte sowie die Streuung berechnet, die Ergebnisse sind in Tabelle 14 zusammengestellt.

Tabelle 14:

Mittelwert und Streuung des P_t -Gehaltes der Intensiv- und Extensivwurzelschicht bei verschiedenem Ausgangsmaterial

Ausgangsmaterial	\bar{X} (P_t mg/100g)	VK%	Anzahl (n)
Buntsandstein	17,8	20,0	34
Löß	24,5	25,6	18
Fließerde	42,6	17,4	12
Tonschiefer etc.	37,1	19,2	9

Da die Variabilitätskoeffizienten sich mit 17 bis 25 % in Grenzen halten, wurden den nicht analysierten Proben die durchschnittlichen Gehalte der jeweils zugehörigen Klasse zugeordnet.

P-Fraktionen

Wegen des erheblichen Analysenaufwands wurde eine P-Fraktionierung nur an 18 Profilen von 9 Standorten durchgeführt, wobei je drei Standorte aus den Einheiten Buntsandstein-oligotroph, Buntsandstein-mesotroph und Tonschiefer-mesotroph ausgewählt wurden. Mit den Analyseergebnissen dieser Proben wurde zunächst versucht, entsprechend den Ergebnissen von ULRICH und KHANNA (1969) den Gehalt an Gesamt-P sowie die Anteile von organisch gebundenem P und okkludiertem P an Gesamt-P mit dem C-Gehalt zu korrelieren. Hierbei wurden jedoch keine signifikanten Korrelationen gefunden; vermutlich ist das hier vorliegende Bodenkollektiv genetisch für eine solche Fragestellung nicht einheitlich genug. Es wurde daher nach Korrelationen der verschiedenen P-Fraktionen zum P_t -Gehalt gesucht. Die Ergebnisse dieser Regressionsanalyse sind in Tabelle 15 zusammengestellt.

Tabelle 15:

Beziehungen zwischen P_t und verschiedenen P-Fraktionen (mg/100g)

Zonen	n	Regressionsgleichung	R
A_h -Horizont	18	$P_{Al} = -0.498 + 0.0714(P_t)$	0.818 ⁺⁺⁺
		$P_{Fe} = -11.3 + 0.639(P_t) - 0.00225(P_t)^2$	0.896 ⁺⁺⁺
		$P_{Ca} = 0.828 - 0.0313(P_t) + 0.000870(P_t)^2 - 0.00000350(P_t)^3$	0.966 ⁺⁺⁺
		$P_{Occl.} = 3.86 + 0.244(P_t)$	0.858 ⁺⁺⁺
		$P_{Org.} = -5.15 + 0.462(P_t)$	0.974 ⁺⁺⁺
Intensivwurzelzone	19	$P_{Al} = -2.29 + 0.16(P_t)$	0.881 ⁺⁺⁺
		$P_{Fe} = -4.04 + 0.391(P_t) + 0.0029(P_t)^2 + 0.0000134(P_t)^3$	0.993 ⁺⁺⁺
		$P_{Ca} = 0.413 + 0.0130(P_t) + 0.0000758(P_t)^2$	0.984 ⁺⁺⁺
		$P_{Occl.} = 10,0 + 0.219(P_t)$	0.890 ⁺⁺⁺
		$P_{Org.} = 7.65 - 0.384(P_t) + 0.00907(P_t)^2 - 0.0000309(P_t)^3$	0.976 ⁺⁺⁺
Extensivwurzelzone	17	$P_{Al} = 3.39 - 0.175(P_t) + 0.00251(P_t)^2$	0.968 ⁺⁺⁺
		$P_{Fe} = -4.74 + 0.330(P_t)$	0.956 ⁺⁺⁺
		$P_{Ca} = -0.554 + 0.0462(P_t)$	0.882 ⁺⁺⁺
		$P_{Occl.} = 4.31 + 0.510(P_t)$	0.912 ⁺⁺⁺
		$P_{Org.} = 2.58 + 0.00259(P_t)$	0.178 ^{NS}

Die Korrelationskoeffizienten liegen mit einer Ausnahme über 0,8, häufig über 0,9 und lassen damit sehr enge Beziehungen der P-Fractionen zum P_t -Gehalt erkennen. Für die nicht untersuchten Proben wurden mit Hilfe der Gleichungen aus Tabelle 15 die P-Fractionen berechnet. Der organisch-gebundene P in der Extensivwurzelschicht wurde wegen fehlender Signifikanz der Regressionsgleichung als Differenz berechnet:

$$P_{org.} = P_t - (P_{Al} + P_{Fe} + P_{Ca} + P_{occl.})$$

Mit Hilfe der so ermittelten Gehalte an den einzelnen Phosphat-Fractionen wurden die Vorräte berechnet.

4.8.1.4 Berechnung der austauschbaren Kationen

Die totale Austauschkapazität (AK_t) ist eine Funktion des Ton- und Humusgehalts. Da keine signifikante Beziehung zwischen Baumhöhe und AK_t gefunden wurde, wurde die AK_t nicht weiter berücksichtigt.

Bei der effektiven Austauschkapazität AK_e ergab der Mittelwertvergleich signifikant höhere Werte bei den Tonschieferböden im Vergleich zum Buntsandstein, und zwar sowohl im A_h wie in der Intensiv- und Extensivwurzelschicht (Rechenprogramm: PAMV; siehe Anhang IV); die beiden Substrate wurden daher getrennt weiter verrechnet.

Dagegen bestehen zwischen den Trophiestufen oligotroph und mesotroph auf Buntsandstein keine signifikanten Unterschiede in der AK_e . Für die Buntsandsteinstandorte wurden daher für die Berechnung der AK_e multiple Regressionsgleichungen mit Ton-, Schluff- und Humusgehalten als abhängige Variable entwickelt, und zwar getrennt für den A_h -Horizont und Intensiv- plus Extensivwurzelschicht. Die in Tabelle 16 zusammengestellten Regressionsgleichungen sind hoch signifikant. Für die Berechnung der AK_e in den nicht untersuchten Proben wurden diese Gleichungen angewendet, wobei für den Ton-, Schluff- und Humusgehalt die aus der Profilbeschreibung sich ergebenden Werte verwendet wurden.

Für die Tonschiefer-Standorte waren die entsprechenden Regressionsgleichungen dagegen nicht signifikant, weil eines-

Tabelle 16

Regressionsanalyse zwischen AK_e und Ton-, Schluff- und Humusgehalt für verschiedene Zonen bei
Buntsandstein

Zone	Regressionsgleichung	R	F	Bereich		
				Ton %	Schluff %	Humus %
A_h - Horizont	$AK_e = 24.1 - 0.0441(\text{Ton}\%) + 0.447(\text{Schluff}\%) + 7.53(\text{Humus}\%)$	0.86 ⁺⁺⁺	22.6 ⁺⁺⁺	6-21	14-75	1.93-13,47
Intensiv- und Exten- sivwurzel- schicht	$AK_e = 17.98 + 2.25(\text{Ton}\%) + 0.0643(\text{Schluff}\%) + 0.632(\text{Humus}\%)$	0.749 ⁺⁺⁺	23.0 ⁺⁺⁺	5-48	9-73	0-3.0

teils die Probenanzahl zu gering war und anderenteils der relativ hohe Tongehalt nur eine geringe Schwankungsbreite aufwies. Da von den 14 Tonschiefer-Profilen 10 Profile analysiert worden waren, wurden die verbleibenden 4 Profile von 2 Standorten vergleichbaren Standorten zugeordnet und deren Werte dann übernommen. Die Zuordnung war wie folgt: Frankenberg 50B/385 und 390 wurde Frankenberg 50B/393 und 394 zugeordnet, Altenlotheim 79A/405 und 408 wurde Altenlotheim 79A/399 und 402 zugeordnet.

Die Äquivalentanteile der austauschbaren Kationen an der AK_e (X^S -Werte) sind Funktionen des pH-Werts (ULRICH, 1966, 1975). Beziehungen zum pH-Wert lassen sich allerdings nur bei Bodenkollektiven herstellen, die die gesamte pH-Spanne von 3 bis 7 aufweisen. Das dieser Arbeit zugrundeliegende Bodenkollektiv weist dagegen nur pH-Werte zwischen 3 und 4 auf, in dem signifikante Beziehungen nicht erwartet werden können und auch nicht gefunden wurden (siehe Abbildung 9).

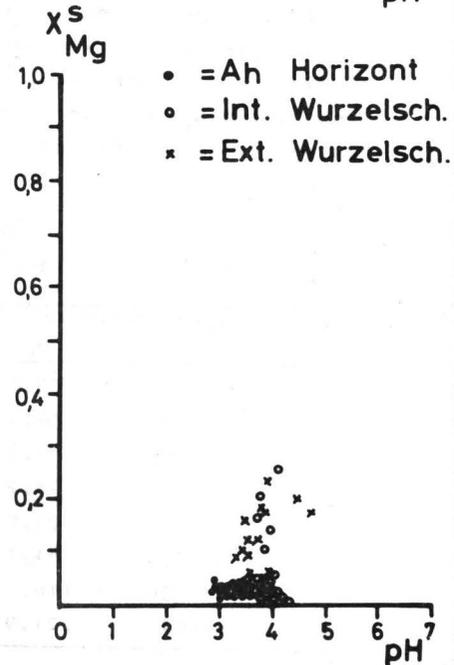
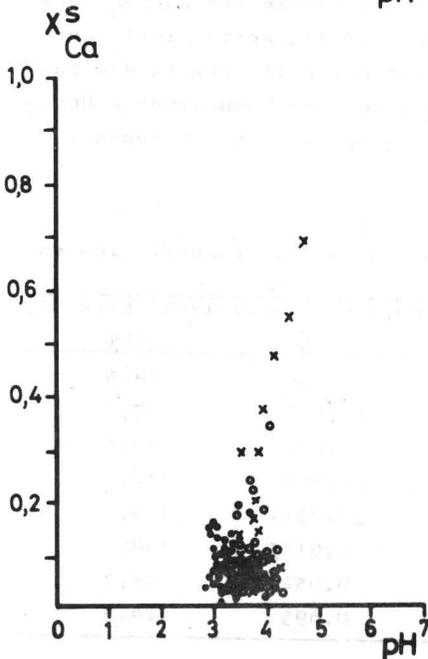
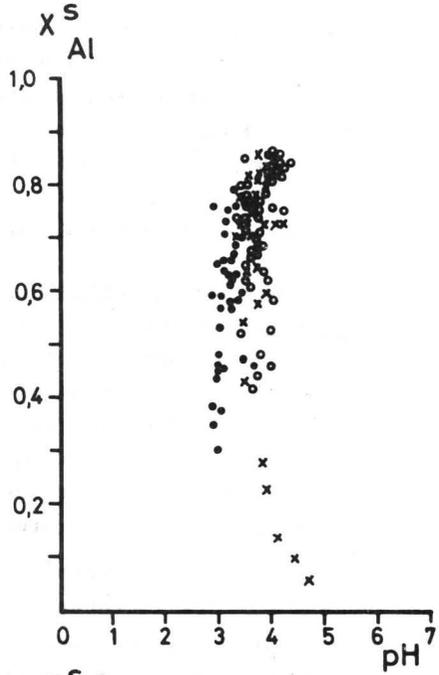
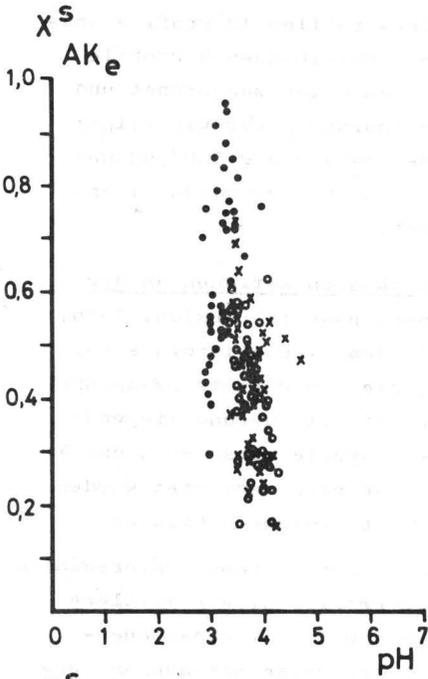
Als nächstes wurde versucht, anhand der im Labor untersuchten Proben für die Kationen über alle Profile hinweg mittlere Werte für X^S zu berechnen. Die in Tabelle 17 zusammengestellten Daten zeigen jedoch, daß teilweise Streuungen vorliegen, die eine Verwendung solcher Mittelwerte nicht mehr sinnvoll erscheinen läßt. Dies war der Fall, obwohl die humushaltigen A_h -Horizonte getrennt von den humusärmeren Horizonten der Intensiv- und Extensivwurzelschicht verrechnet wurden.

Tabelle 17:

Mittelwerte von X^S der Kationen und Variationskoeffizienten.

Element	A_h -Horizont(n=42)		Int.- Ext.-wurzelschicht(n=87)	
	\bar{X}	VK%	\bar{X}	VK%
H	0.160	53.7	0.036	74.5
Na	0.011	54.4	0.0183	57.7
K	0.0165	44.2	0.0320	43.8
Ca	0.0920	48.2	0.104	112.
Mg	0.0274	25.0	0.0511	113.
Fe	0.0576	61.7	0.0115	148.
Mn	0.0350	116.	0.0524	69.7
Al	0.601	21.9	0.695	24.5

Abb. 9: Beziehungen zwischen pH und X^S von AK_e , Ca, Mg und Al.



- = Ah Horizont
- = Int. Wurzelsch.
- * = Ext. Wurzelsch.

Die Proben wurden daher nach dem Ausgangsmaterial sowie der Trophie wie folgt stratifiziert:

Substrat	Trophie	Anzahl der Proben (n)	
		A _h	Int.- u. Ext.- wurzelschicht
Buntsandstein	oligotroph	14	28
	mesotroph	14	30
Tonschiefer	mesotroph	10	20
Grauwacke	mesotroph	2	4
Quarzit	mesotroph	2	5

Die Standorte auf Quarzit und Grauwacke waren jeweils nur einfach vertreten, so daß hier die Analysenwerte direkt verwendet wurden. Dasselbe gilt auch für die AK_e.

Für Buntsandstein und Tonschiefer wurden die durchschnittlichen X^S -Werte für alle Kationen stratifiziert nach Trophie und Horizont bzw. Schicht berechnet, die Ergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengestellt. Es zeigt sich, daß ein Teil der großen Streuung z.B. bei Ca, Mg und Fe auf Substratunterschiede zurückzuführen ist (höhere Anteile von Ca und Mg, geringere von Fe in der Intensiv- und Extensivwurzelschicht von Tonschiefer im Vergleich mit Buntsandstein). Entsprechend verringern sich auch für die meisten Elemente die Variabilitätskoeffizienten. Die Daten von Tabelle 18 wurden daher für die rechnerische Schätzung der nicht im Labor untersuchten Proben verwendet.

Die in Tabelle 18 dargestellten X^S -Werte wurden ebenfalls durch paarweisen Mittelwertvergleich (Rechenprogramm: PAMV) verrechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 zusammengestellt. Mit wenigen Ausnahmen (Ca im A_h-Horizont, K und Mn im tieferen Mineralboden) bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Substraten bzw. Trophieklassen (s. linke Hälfte der Tab. 19). Vergleicht man nur die Trophiestufen auf Buntsandstein unter Ausschluß der Tonschieferstandorte (s. rechte Hälfte der Tab. 19), so wird die Signi-

Tabelle 18

Mittelwert und VK% von X^S der Elemente in verschiedenen Zonen

Zone	Substrat	Trophie	n	Elemente								
				H	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	
A _n	Buntsandstein	Oligo	14	\bar{X}^S	0.183	0.00949	0.0127	0.0696	0.0241	0.0614	0.0168	0.623
				VK%	39.9	43.2	33.9	49.0	19.5	39.6	74.6	16.8
	Buntsandstein	Meso	14	\bar{X}^S	0.209	0.0143	0.0193	0.107	0.0305	0.0822	0.0178	0.512
				VK%	41.0	55.3	43.0	35.3	23.2	46.4	67.8	26.4
	Ton-schiefer	Meso	10	\bar{X}^S	0.0717	0.0088	0.0195	0.104	0.0284	0.0226	0.0360	0.680
				VK%	39.1	28.4	32.8	51.6	26.1	59.6	47.6	17.6
Int.- und Ext.- wurzel- schicht	Buntsandstein	Oligo	28	\bar{X}^S	0.0231	0.0180	0.0280	0.0539	0.0222	0.0105	0.0393	0.794
				VK%	110.0	50.3	38.1	33.6	43.1	74.6	61.6	6.47
	Buntsandstein	Meso	29	\bar{X}^S	0.0507	0.0223	0.0355	0.0724	0.0283	0.0131	0.0455	0.661
				VK%	54.1	63.3	41.7	36.2	38.9	86.7	48.2	22.0
	Ton-schiefer	Meso	20	\bar{X}^S	0.0281	0.0138	0.0289	0.104	0.0806	0.00267	0.0506	0.582
				VK%	53.2	35.2	31.7	58.8	81.6	88.8	44.2	41.2

Tabelle 19

Varianzanalytische Prüfung auf Unterschiede zwischen den Trophieklassen bei \bar{X}^S der Kationen

Zone	Vari- able	BSS-Oligo, BSS-Meso u. fonschiefer Meso			BSS Oligo und Meso		
		Anzahl	\bar{X}^S	Signifikanz	Anzahl	\bar{X}^S	Signifikanz
A _h -	H	38	0.163	+++	28	0.196	NS
Hori- zont	Na	38	0.0111	+	28	0.0119	NS
	K	38	0.0169	+	23	0.0160	+
	Ca	38	0.0926	NS	28	0.0884	+
	Mg	38	0.0276	+	28	0.0273	+
	Fe	38	0.0539	+++	28	0.0718	NS
	Mn	34	0.0217	++	26	0.0173	NS
	Al	38	0.597	++	28	0.568	+
Int.- und Ext.- Wurzel- schicht	H	78	0.0354	+++	58	0.0379	+++
	Na	78	0.0184	+	58	0.0200	NS
	K	78	0.0324	NS	58	0.0316	NS
	Ca	69	0.0714	+++	54	0.0623	++
	Mg	71	0.0431	+++	51	0.0252	+
	Fe	75	0.0098	+++	56	0.0122	NS
	Mn	72	0.0444	NS	54	0.0424	NS
	Al	78	0.689	+++	58	0.726	+++

fikanz der Unterschiede besonders im A_h -Horizont erheblich verringert. Für dasselbe Kollektiv zeigt der BARTLETT-Test im A_h -Horizont eine signifikant größere Streuung von Na und K im mesotrophen Bereich, dagegen für Mn im oligotrophen.

Letzteres dürfte eine Folge der mit abnehmendem pH-Wert sehr stark zunehmendem Mn-Auswaschung sein. In Übereinstimmung mit der Geländeansprache sind die X^S -Werte von K, Ca und Mg in den A_h -Horizonten der mesotrophen Standorte höher als in denen der oligotrophen, beim Al ist das umgekehrt. Für die Umrechnung der nicht untersuchten Proben wurden daher die X^S -Werte bei H, Na, Fe und Mn über die Trophiestufen gemittelt, während K, Ca, Mg und Al unter Verwendung der jeweiligen Mittelwerte für die oligotrophen und mesotrophen Standorte getrennt berechnet wurden. In den Intensiv- und Extensivwurzelschichten ist die Streuung von Na, Fe und Al auf den mesotrophen Standorten größer als auf den oligotrophen. Ähnlich wie in den A_h -Horizonten liegen die X^S -Werte für Ca und Mg auf den mesotrophen Buntsandsteinstandorten höher als auf den oligotrophen, während das bei Al ebenfalls umgekehrt ist. Die Schlußfolgerung für die weiteren Berechnungsgänge war, H, Ca, Mg und Al trophieweise zu berechnen, für Na, K, Fe und Mn dagegen Mittelwerte über beide Trophiestufen zu verwenden. Die für die Berechnung verwendeten Werte sind in Tabelle 20 zusammengestellt.

Für die Ermittlung der Gehalte an austauschbaren Kationen (S) wurden die durchschnittlichen Werte für X^S aus Tabelle 20 mit der jeweiligen AK_e multipliziert und damit die Gehalte austauschbarer Kationen in $\mu\text{val/g}$ erhalten:

$$S_i (\mu\text{val/g}) = X_i^S * AK_e (\mu\text{val/g})$$

wobei i die Kationen H, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al symbolisiert.

Mit diesen Werten wurden dann im institutseigenen Rechenprogramm BODA unter Berücksichtigung von Horizontmächtigkeit,

Tabelle 20

Mittelwerte von \bar{X}^S der Kationen, die für weitere Berechnungen verwendet werden

Element	<u>Buntsandstein</u>					
	\bar{X}^S des A_n -Horizonts			\bar{X}^S der Int.- u. Ext.-Wurzelschicht		
	Oligotroph		Mesotroph	Oligotroph		Mesotroph
H	-	0.196	-	0.0231	-	0.0517
Na	-	0.0119	-	-	0.0200	-
K	0.0127	-	0.0193	-	0.0316	-
Ca	0.0696	-	0.107	0.0539	-	0.0714
Mg	0.0241	-	0.0305	0.0222	-	0.0281
Fe	-	0.0718	-	-	0.0122	-
Mn	-	0.0173	-	-	0.0424	-
Al	0.623	-	0.512	0.794	-	0.664

Trockenraumgewicht und Steingehalt die Kationenvorräte pro Hektar berechnet. Durch Summation über die Vorräte in den Horizonten eines Profils wurden schließlich noch die Kationenvorräte pro Standort ermittelt.

4.8.2 Codierung der Trophieklassen

Die Trophieansprache im Gelände war einmal durch die hessische Standortskartierung, zum anderen bei der eigenen Profilaufnahme unter besonderer Berücksichtigung der Humusform erfolgt. Tabelle 21 zeigt einen Vergleich der beiden unabhängig voneinander erfolgten Geländeansprachen. Bei der eigenen Profilausprache war eine stärkere Differenzierung vorgenommen worden (s. Anhang V).

Zur Überprüfung der Trophieansprache wurden paarweise Mittelwertvergleiche zwischen den Trophiestufen für die Nadelspiegelwerte sowie die Bioelementvorräte im Gesamtprofil durchgeführt. Hierbei wurde einmal unterschieden zwischen den beiden verschiedenen Trophieansprachen im Gelände, zum anderen aber auch hinsichtlich der Bodendaten zwischen dem Teilkollektiv von Standorten, für das Laboruntersuchungen vorlagen, und dem Gesamtkollektiv. Die Angaben sind im einzelnen in Anhang VI bis VIII zusammengestellt.

Die Nadelspiegelwerte zeigen nach der Varianzanalyse mit Ausnahme des Asche- und Ca-Gehalts keine signifikanten Unterschiede als Folge von Trophie oder Substrat. Für das Teilkollektiv der im Labor untersuchten Böden ergeben sich signifikante Unterschiede in den Vorräten im gesamten Wurzelraum an K, Ca, Mg, Fe und Mn in erster Linie durch das Substrat: der paarweise Mittelwertvergleich zeigt, daß die austauschbaren K-, Ca-, Mg- und Mn-Vorräte auf den Tonschieferstandorten höher sind als auf dem oligotrophen Buntsandstein, während der austauschbare Fe-Vorrat im Tonschiefer niedriger liegt als auf den meso- und oligotrophen Buntsandsteinstandorten. Innerhalb der Buntsandsteinstandorte besteht ferner ein Unterschied zwischen den Trophiestufen beim Ca- und Mn-Vorrat.

Für das Gesamtkollektiv gilt ebenfalls, daß

Tabelle 21

Einordnung der Profile bzw. Standorte in Trophieklassen

Geol. Substrat	Nach Forsteinrichtungsanstalt Gießen			Anzahl	Nach Profilbeschreibung und Standortaufnahme* (relative Abstufung innerhalb des Kollektivs)				
	Mesotroph	Oligotroph	Gesamt		I gut	II	III mäßig	IV	V schlecht
Buntsand- stein	36	28	64	11	17	17	15	4	64
Tonschie- fer, Grau- wacke und Quarzit	18	-	18	4	5	7	-	2	18
Gesamt(n):	54	28	82	15	22	24	15	6	82

* Einzelheiten s. Anhang V

die signifikanten Unterschiede in den Vorräten im gesamten Wurzelraum an P_t , P_m , K, Ca, Mg, Fe, Mn und AK_e mehr auf den Effekt des Substrats als auf die Trophiestufen zurückzuführen sind. So bestehen innerhalb der Buntsandsteinstandorte signifikante Unterschiede nur hinsichtlich der Ca- und Mg-Vorräte, die im mesotrophen Bereich größer sind als im oligotrophen.

Aus diesen Ergebnissen wurde geschlossen, daß die Trophieansprache in den Fichtenbeständen nicht ausreichend differenziert, wobei auch Fehlzuordnungen vorkommen können. Auf der Grundlage der eigenen Geländebeobachtungen sowie der morphologischen Profilm Merkmale wie Tiefe, Steingehalt, Bodenart, Humusgehalt, Humusform und Ausgangsmaterial wurden daher auf Tonschiefer 4, auf Buntsandstein 5 Trophiestufen gebildet und die Standorte diesen zugeordnet. Diese Gliederung ist in Tabelle 21 dargestellt, Einzelheiten finden sich im Anhang

V. Für dieses Material wurde erneut der paarweise Mittelwertvergleich durchgeführt mit dem Ziel, signifikante Unterschiede zwischen den Trophiestufen festzustellen, um beim Fehlen solcher durch Vereinigung die Zahl der Trophiestufen wieder zu verringern. Der paarweise Mittelwertvergleich sowie zusätzlich durchgeführte Varianzanalysen hatten folgende Ergebnisse:

Phosphatvorräte

Die Ergebnisse sind in Anhang VI zusammengestellt. Die fehlende Unterscheidung zwischen verschiedenen Trophiestufen hinsichtlich der mittleren Gehalte an P_t und P_m führten zu folgender Zusammenfassung:

Buntsandstein

- (i) I und II
- (ii) III, IV und V

Tonschiefer

- (i) I und II
- (ii) III
- (iii) IV

Die erneute Prüfung dieser fünf Klassen mit Hilfe von PAMV (s. Anhang VI) führte zu folgender weiterer Zusammenfassung:

1. Tonschiefer I und II
2. Buntsandstein I, II und Tonschiefer III
3. Buntsandstein III, IV und V
4. Tonschiefer IV

Für diese 4 Klassen wurden nunmehr die durchschnittlichen Vorräte an P-Formen berechnet und daraus Codes abgeleitet, die in Tabelle 22 zusammengestellt sind. Die entsprechenden Code-Ziffern wurden allen Standorten entsprechend ihrer Klassifizierung in Tabelle 21 bzw. Anhang V zugeordnet. Durch diese Codierung soll die relative Abstufung der Trophie-klassen hinsichtlich der P-Vorräte zum Ausdruck gebracht werden.

Kationenvorräte

Die statistische Analyse wurde wie beim P vorgenommen und ist in Anhang VII nachzusehen. Sie führte zur Zusammenfassung der verschiedenen Trophiestufen von Tabelle 21 in folgende Klassen:

Buntsandstein

- (i) I und II
- (ii) III und IV
- (iii) V

Tonschiefer

- (i) I
- (ii) II und III
- (iii) IV

Die so gebildeten Klassen wurden erneut substratweise und vereinigt statistisch getestet. Beim Buntsandstein zeigte die Varianzanalyse hoch signifikante Unterschiede zwischen allen Kationenvorräten zwischen den Trophieklassen, während beim Tonschiefer die Unterschiede entweder nicht mehr signifikant sind (bei Na, Fe und Mn) bzw. mit Ausnahme von Ca nicht mehr hoch signifikant sind. Die Varianzanalyse für die obigen 6 Trophieklassen zeigte hoch signifikante Unterschiede hinsichtlich aller Nährstoffvorräte, für Einzelheiten siehe Anhang VIII.

Für das weitere Vorgehen wurden die oligotrophen Standorte auf Tonschiefer und Buntsandstein wegen ihrer geringen Anzahl vereinigt. Für die dann verbliebenen 5 Klassen wurden die Kationenvorräte in $\mu\text{mol/g}$ berechnet und Codes für die Elemente K, Ca und Mg sowie für die AK_e abgeleitet. Diese

Tabelle 22

Codierung der Vorräte der verschiedenen P-Formen für die Trophieklassen

Trophieklassen	P_t -Vorräte($O_H+A_h+Int.+Ext.$)			P_m -Vorräte($O_H+A_h+Int.+Ext.$)			P_{occl} -Vorräte($A_h+Int.+Ext.$)		
	1/100 kg/ha			1/100 kg/ha			1/100 kg/ha		
	\bar{X}	$\pm S$	Code	\bar{X}	$\pm S$	Code	\bar{X}	$\pm S$	Code
Tonschiefer I und II	47.1	9.91	3.23	23.0	5.41	2.88	23.9	4.74	4.0
BSS I, II und Tonschiefer III	35.5	10.6	2.43	14.8	6.59	1.85	20.1	5.04	3.33
BSS III, IV und V	23.1	8.85	1.6	8.73	5.61	1.1	13.7	4.2	2.33
Tonschiefer IV	14.6	0.05	1.0	8.13	0.06	1.0	6.09	0.005	1.0

Tabelle 23

Codierung der Kationenvorräte der Trophieklassen

Element	Trophieklassen von Tonschiefer- und Buntsandsteinsubstrat														
	Tonschiefer: I			Tonsch.: II und III			BSS: I und II			BSS: III und IV			BSS: V und Tonsch.: V		
kval/ha	\bar{X}	$\pm S$	Code	\bar{X}	$\pm S$	Code	\bar{X}	$\pm S$	Code	\bar{X}	$\pm S$	Code	\bar{X}	$\pm S$	Code
Na	12.6	2.45		11.4	5.03		14.6	3.87		9.27	2.99		5.14	1.65	
K	46.5	12.1	<u>5.8</u>	23.8	9.59	<u>3.0</u>	23.1	6.05	<u>2.88</u>	14.4	4.61	<u>1.8</u>	8.10	2.17	<u>1.0</u>
Ca	441.	106.	<u>21.0</u>	91.5	59.2	<u>4.4</u>	53.3	11.4	<u>2.5</u>	31.6	8.50	<u>1.5</u>	20.8	9.29	<u>1.0</u>
Mg	123.	12.9	<u>16.5</u>	61.	44.3	<u>8.0</u>	20.4	4.47	<u>2.67</u>	12.2	3.33	<u>1.6</u>	7.54	2.86	<u>1.0</u>
Fe	2.44	0.832		5.21	2.57		13.7	3.03		10.5	2.97		6.96	3.39	
Mn	39.6	14.6		42.8	20.9		30.4	8.22		19.0	6.28		13.9	3.50	
Al	313.0	114.		513.	129.		520.	165.5		355.	130.		247.	37.8	
AK (1%/100)	9.99	2.07	<u>3.33</u>	7.84	1.97	<u>2.67</u>	6.76	1.96	<u>2.33</u>	4.53	1.55	<u>1.5</u>	3.12	0.504	<u>1.0</u>

Ergebnisse sind in Tabelle 23 zusammengestellt. Ähnlich können Codes auch für die anderen Elemente abgeleitet werden.

Durch dieses Vorgehen wurden den verschiedenen Trophie-
klassen nach Tabelle 21 bzw. Anhang V Codewerte für K,
Ca, Mg und AK_e zugeordnet. Auf diesem Wege kann eine quali-
tative Klassifizierung von Standorten nach der Trophie auf
Grund von Geländemerkmalen quantifiziert werden, wenn wie
im vorliegenden Fall quantitative Beziehungen zwischen
Standortsmerkmal und Zuwachsleistung erarbeitet werden sol-
len.

5. Auswahl der Variablen

5.1 Auswahl der abhängigen Variablen

Als abhängige Variable wurde die Baumhöhe im Alter 80 ge-
wählt, und zwar als Durchschnittshöhe von 3 herrschenden
Bäumen.

5.2 Unabhängige Parameter und ihre Beziehungen zur Baumhöhe

5.2.1 Klimafaktoren einschließlich Transformationen

Die Wasserhaushaltsgleichung lautet

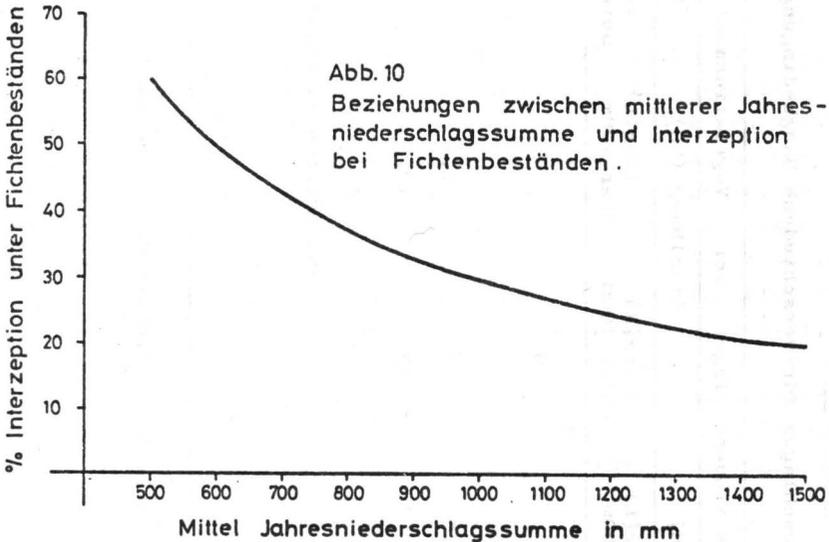
$$N = I + E + T + A_o + A_v + \Delta R$$

wobei N = Niederschlag, I = Interzeption, E = Evaporation,
T = Transpiration, A_o = Oberflächenabfluß, A_v = Tiefen-
versickerung, ΔR = Vorratsänderung im Boden.

Nachdem N wie in Kapitel 4.3.1 angegeben für einzelne Bestän-
de geschätzt worden war, ist nunmehr zu prüfen, ob auch für
andere Glieder der Wasserhaushaltsgleichung Schätzungen vor-
genommen werden können.

Für die Schätzung der Interzeption wurde auf Zahlen von
BENECKE (Tab. 3.1-3 in ULRICH, 1975) zurückgegriffen. Aus
den dort angegebenen Daten wurde die in Abb. 10 wiedergege-
bene Kurve abgeleitet, in der die Interzeption eines Fichten-

bestandes in Prozent des Jahresniederschlags dargestellt ist. Mit Hilfe von Abb. 10 wurde an Hand der Jahresniederschläge die Interzeption für das Jahr sowie für die Vegetationsperiode für jede einzelne Probefläche ermittelt.



Eine Aussage über die Evaporation läßt der Feuchtigkeitsindex zu. Es wird unterstellt, daß bei einem Feuchtigkeitsindex größer als 15 keine Evaporation aus dem Boden stattfindet, dagegen bei geringeren Werten (RfS 1948)*.

Der Oberflächenabfluß A_0 hängt ab von der Hangneigung, der Position am Hang, der Hanglänge und der Durchlässigkeit der Bodendecke. Auf der Grundlage der Daten der Forsteinrichtungsanstalt Gießen (Leitfaden zur Standortserkundung im hessischen Staatswald - LS 63, E 11) wurde der Oberflächenabfluß, ausgedrückt als Prozent des Niederschlags, für verschiedene Hang-

*nach einem Merkblatt zu den "Richtlinien für die forstliche Standortsschätzung" (RfS v. 15.5.1948) in Hessen.

Tabelle 24

Oberflächenabfluß in Prozent des Niederschlages für verschiedene Hangbedingungen

Hangneigung	Hangabfluß in % des Niederschlages der Vegetationszeit bzw. des Jahres					
	Oberhang (OH)		Mittelhang (MH)		Unterhang (UH)	
	kurz(K) unter 100m	lang(L) über 100m	kurz(K) unter 100m	lang(L) über 100m	kurz(K) unter 100m	lang(L) über 100m
eben bis schw. geneigt, Plateau, Mulde, Talung.	0	0	0	0	0	0
mäßig geneigt	15	12.5	10	7.5	10	2.5
stark geneigt	25	20	15	12.5	15	7.5
steil	45	40	22.5	20	20	15
schröff	40-80	40-80	gutachtlich zu reduzieren bis auf 50% 0%			
			der Sätze für Oberhanglagen			

Zusätzlich sind wasserstauende oder durchlässige Schichten durch Ab- oder Zuschläge zu berücksichtigen.

bedingungen eingeschätzt; die Daten sind in Tabelle 24 zusammengestellt. Entsprechend den Angaben in Tabelle 24 wurde der Oberflächenabfluß für alle Probeflächen eingeschätzt.

Aus den insgesamt vorliegenden Klimadaten wurde eine Reihe von Regenfaktoren berechnet, die im einzelnen aus der Zusammenstellung in Tabelle 25 entnommen werden können.

Mit allen klimatischen Parametern wurden mit dem Rechenprogramm LIPR die Linearität der Beziehung zur Baumhöhe geprüft. Die Ergebnisse sind ebenfalls in Tabelle 25 dargestellt. Hier wie auch im Folgenden werden einem Vorschlag von WRIGHT und VAN DYNE (1971) folgend alle untersuchten Beziehungen unabhängig von ihrer Signifikanz dargestellt, um Vergleiche oder spätere Bearbeitungen zu erleichtern. Die signifikanten Beziehungen (Jahresniederschlag, Vegetationszeitniederschlag, Jahrestemperatur, Vegetationszeittemperatur, Regenfaktor VIII) wurden mit dem Plotprogramm POLYNOM bzw. REGLIN geplottet, sie sind in den Abbildungen 11 bis 15 einschließlich der Regressionsgleichungen und der Werte für den Korrelationskoeffizienten r und den F -Wert dargestellt. Die Verwendung unterschiedlicher Rechenprogramme führt höchstens zu geringen Unterschieden in r und F .

Tabelle 25

Linearität der Beziehungen von Klimafaktoren und Baumhöhe im Alter 80

Klimatischer Faktor	\bar{x}	s	Typ.	s_R	r
mtl. Jahresniederschlag (mmj)	746.	110.	kub.	3.01	0.352 ⁺
mtl. Niederschlag(VZ) (mmVZ)	342.	40.0	quadr.	3.04	0.312 ⁺
mtl. Jahrestemp. °C (tj °C)	7.4	0.608	lin.	2.91	+0.400 ⁺⁺⁺
mtl. Temp. VZ (tvZ °C)	14.1	0.574	lin.	2.92	+0.393 ⁺⁺⁺
Feuchtigkeitsindex (F.I.)	14.2	1.57	quadr.	3.08	0.265 ^{NS}
Veg. Zeit (Tageszahl ü. 10 °C)	14.6	5.53	lin.	3.17	-0.0109 ^{NS}
(mmj-Interzeption mm)	446.	112.	kub.	3.01	0.348 ⁺
(mmj-(Int. + Abfluß))	401.	95.2	kub.	3.07	0.297 ^{NS}
(mmj-Interzeption)x F.I./15	432.	161.	quadr.	3.09	0.249 ^{NS}
(mmj-(Int.+Abfluß))x F.I./15	387.	134.	quadr.	3.08	0.261 ^{NS}

(mmVZ-Interzeption)	204.	43.5	lin.	3.13	+0.163 ^{NS}
(mmVZ-(Int.+Abfluß))	183.	35.9	lin.	3.13	+0.172 ^{NS}
(mmVZ-Int.)x F.I./15	197.	66.9	quadr.	3.08	0.271 ⁺
(mmVZ-Int.-Abf.)x F.I./15	176.	55.2	quadr.	3.06	0.288 ⁺
RF-I (mmj/tj ^{°C})	101.	16.7	quadr.	3.06	0.283 ⁺
RF-II ((mmj-Int.)/tj ^{°C})	60.6	15.2	kub.	2.93	0.412 ⁺⁺
RF-III((mmj-Int.-Abf.)/tj ^{°C})	54.7	14.2	quadr.	3.04	0.305 ⁺
RF-IV(((mmj-Int.)x F.I./15)/tj ^{°C})	58.6	21.3	kub.	2.92	0.416 ⁺⁺
RF-V (((mmj-Int.-Abf.)x F.I./15)/tj ^{°C})	52.6	19.0	quadr.	2.98	0.361 ⁺⁺
RF-VI (mmVZ/tVZ ^{°C})	24.2	2.71	quadr.	3.04	0.309 ⁺
RF-VII ((mmVZ-Int.)/tVZ ^{°C})	14.4	2.93	quadr.	3.11	0.233 ^{NS}
RF-VIII((mmVZ-Int.-Abf.)/tVZ ^{°C})	13.0	2.55	kub.	2.87	0.451 ⁺⁺⁺
RF-IX (((mmVZ-Int.)x F.I./15)/tVZ ^{°C})	13.0	4.55	quadr.	3.09	0.256 ^{NS}
RF-X (((mmVZ-Int.-Abf.)x F.I./15)/tVZ ^{°C})	12.5	3.85	quadr.	3.01	0.331 ⁺

mtl. = mittlere

NS = nicht signifikant; Signifikanzschranken: + = 5 %; ++ = 1 %;

+++ = 0,1 %

\bar{x} = Mittelwert

s = Standardabweichung der Meßdaten

Typ = Typ der Regressionsgleichung (linear, quadratisch, kubisch)

s_R = Standardabweichung der Reststreuung, die durch Regression nicht zu erklären ist

r = Korrelationskoeffizient mit Signifikanzangaben

RF = Regenfaktor

Aus Tabelle 25 läßt sich entnehmen, daß die Berücksichtigung der Interzeption und des Oberflächenabflusses nicht zu einer Verbesserung der Beziehung zwischen Jahresniederschlag oder Vegetationszeitniederschlag und Höhe geführt haben. Dagegen sind beide Größen im Regenfaktor VIII enthalten, der von allen Klimaparametern den höchsten Korrelationskoeffizienten zur Baumhöhe aufweist. Der Vergleich von Regenfaktor I und II zeigt, welchen Informationsgewinn die Berücksichtigung der Interzeption offensichtlich darstellt.

Regressionsgleichungen

$Y = 26.039 + 0.00413 X$

$Y = 3.767 + 0.061 X - 0.0000354 X^2$

$Y = 294.18 - 1.029 X + 0.00131 X^2 - 0.00000034 X^3 - 0.352^*$

R
0.145^{NS}

F
1.709^{NS}

R
0.222^{NS}

F
2.054^{NS}

R
0.352^{*}

F
3.685^{*}

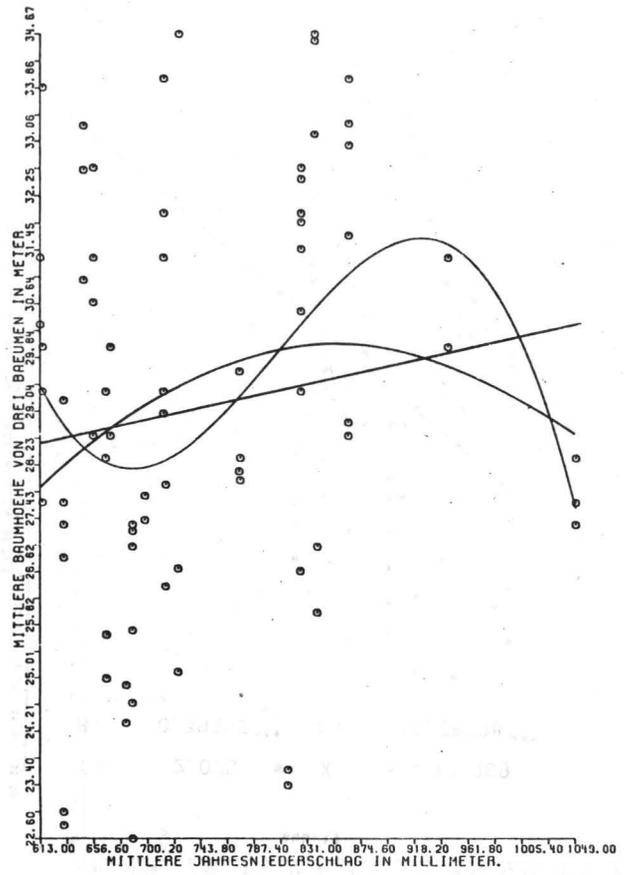


Abb. 12

Regressionsgleichungen

$Y = 24.253 + 0.0142 X$

$Y = -24.097 + 0.282 X - 0.000366 X^2$

R

0.180^{NS}

F

2.687^{NS}

0.312^{*}

4.248^{*}

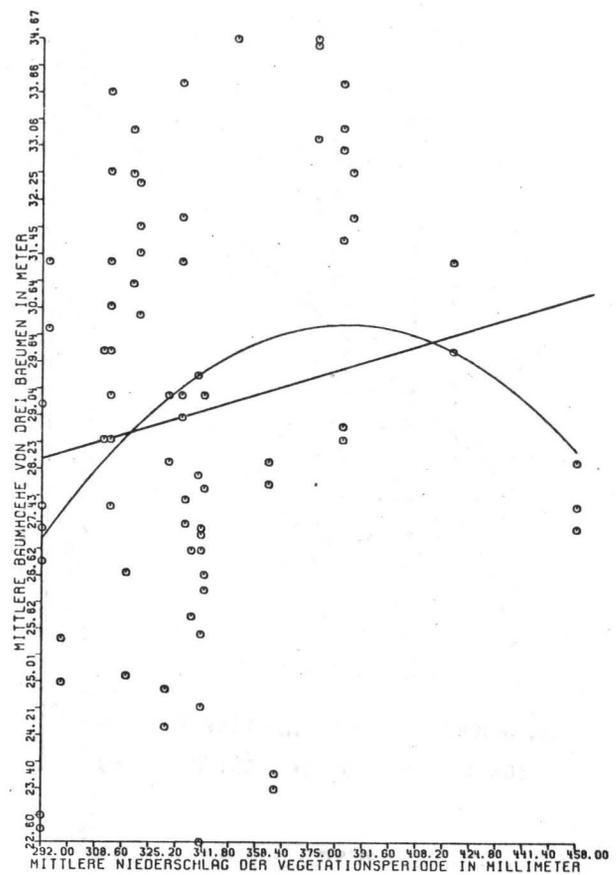


Abb. 14

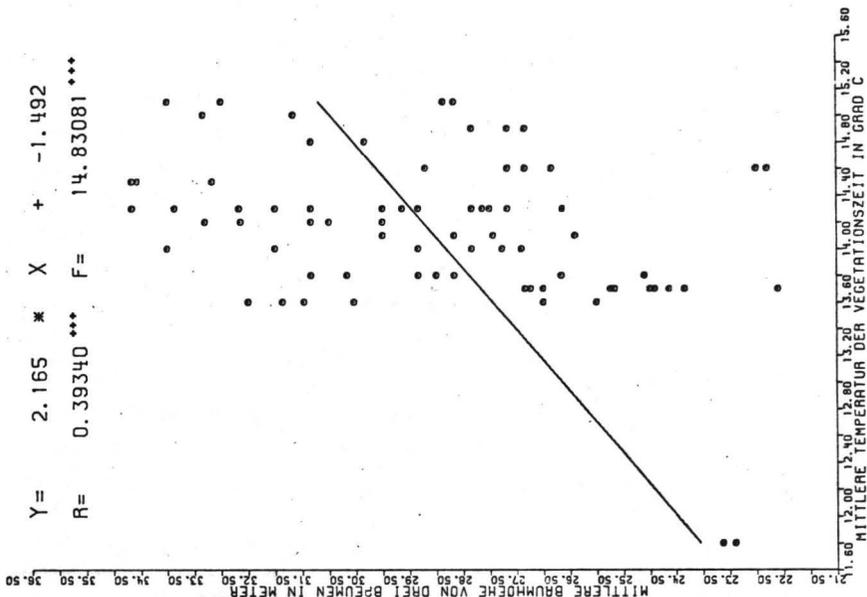


Abb. 13

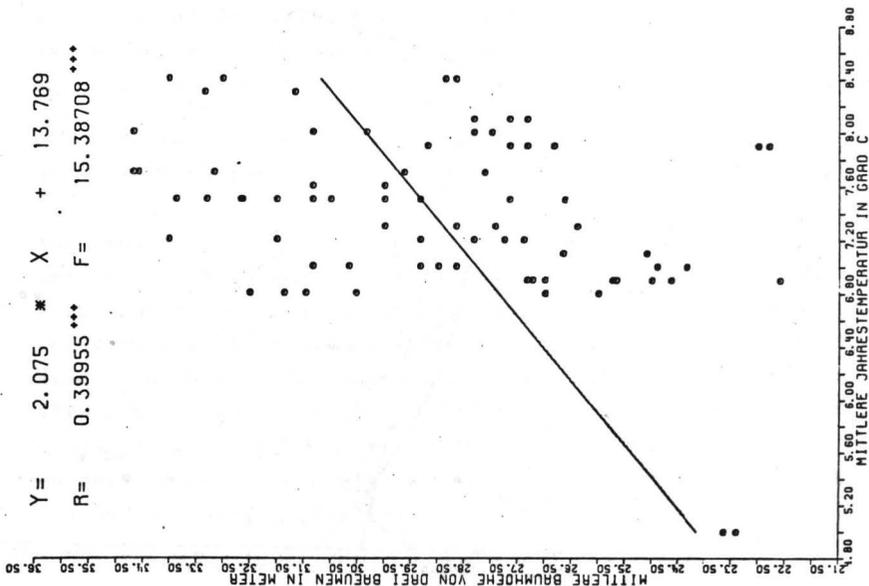


Abb. 15

Regressionsgleichungen

$Y = 27.987 + 0.0874 X$
 $Y = 6.621 + 3.297 X - 0.116 X^2$
 $Y = 129.26 - 21.103 X + 1.863 X^2 - 0.0462 X^3$

$R = 0.070^{NS}$
 $R = 0.312^+$
 $R = 0.451^{+++}$

$Z = 0.400^{NS}$
 $Z = 4.256^+$
 $Z = 6.643^{+++}$

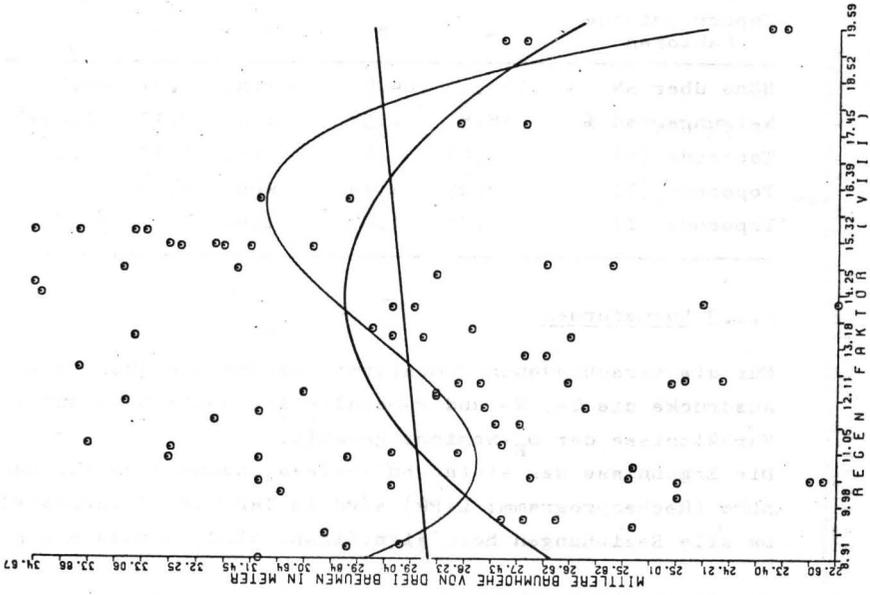
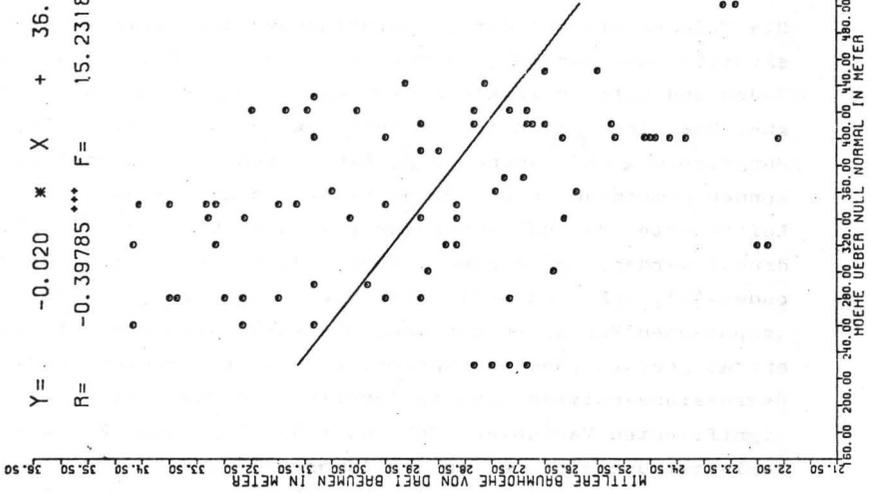


Abb. 16

$Y = -0.020 * X + 36.150$
 $R = -0.39785^{+++} F = 15.23180^{+++}$



5.2.2 Topographische Parameter

Die Topographie übt durch Beeinflussung des Kleinklimas hinsichtlich des Wasser-, Wärme- und Strahlungshaushalts von Boden und Luft indirekte Wirkungen auf das Pflanzenwachstum aus. Die wichtigsten topographischen Merkmale sind Höhe, Hangrichtung und Hangneigung. Exposition und Hangposition können gemeinsam in relativen Einheiten als Strahlung (S), Luftfeuchte (F) und Temperatur (T) durch Codierung ausgedrückt werden. Im Folgenden werden diese Codes als Topocodes-(S), -(F) und -(T) bezeichnet. Die Beziehung der topographischen Variablen zur Baumhöhe wurde wiederum auf Linearität geprüft (Rechenprogramm: LIPR), die Ergebnisse der Regressionsanalysen sind in Tabelle 26 dargestellt. Die signifikanten Variablen (Höhe über NN, Topocode-(F)) wurden geplottet und sind in den Abbildungen 16 und 17 dargestellt.

Tabelle 26

Ergebnisse der Linearitätsprüfung zwischen topographischen Faktoren und Baumhöhe

Topographische Faktoren	\bar{x}	s	Typ	s_R	r
Höhe über NN	358.	64.0	lin.	2.91	-0.398 ⁺⁺⁺
Neigungsgrad %	18.8	12.5	lin.	3.17	+0.0448 ^{NS}
Topocode (S)	2.46	1.4	lin.	3.17	+0.0149 ^{NS}
Topocode (F)	3.29	1.14	kub.	3.03	0.333 ⁺
Topocode (T)	2.78	1.07	lin.	3.17	+0.0523 ^{NS}

5.2.3 Humusformen

Für die verschiedenen Humusformen wurden als quantitative Ausdrücke die C-, N- und P-Gehalte sowie die C/N- und C/P-Verhältnisse der O_H -Schicht gewählt.

Die Ergebnisse der einfachen Regressionsanalysen zur Baumhöhe (Rechenprogramm: LIPR) sind in Tabelle 27 dargestellt. Da alle Beziehungen hoch signifikant sind, wurden sie ge-

Abb. 17

$$Y = 28,342 + 0,237 X$$

$$Y = 28,089 + 0,438 X - 0,0338 X^2$$

$$Y = 15,173 + 17,192 X - 6,244 X^2 + 0,695 X^3$$

R

0,085^{NS}0,086^{NS}0,333⁺

F

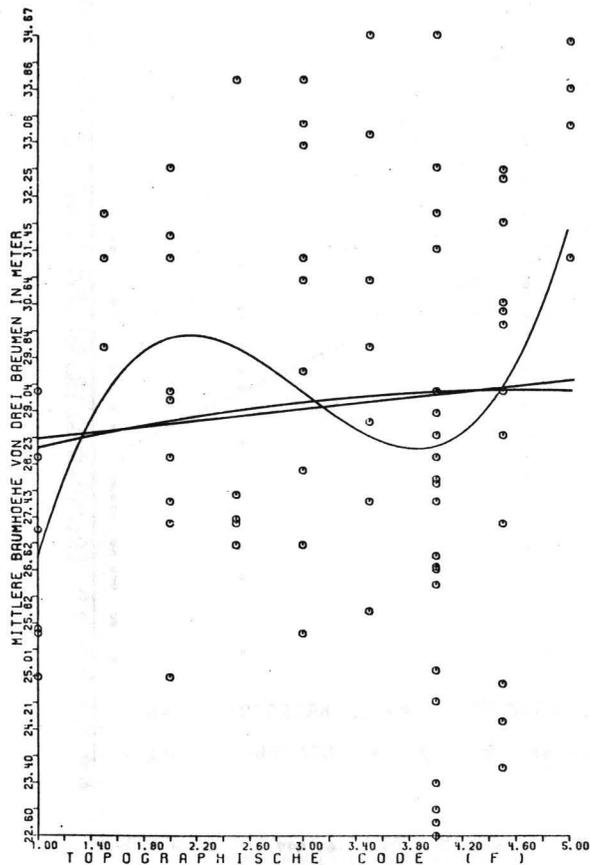
0,586^{NS}0,296^{NS}3,254⁺

Abb. 18

$$Y = -0.551 * X + 51.125$$

$$R = -0.55774^{***} \quad F = 36.57437^{***}$$

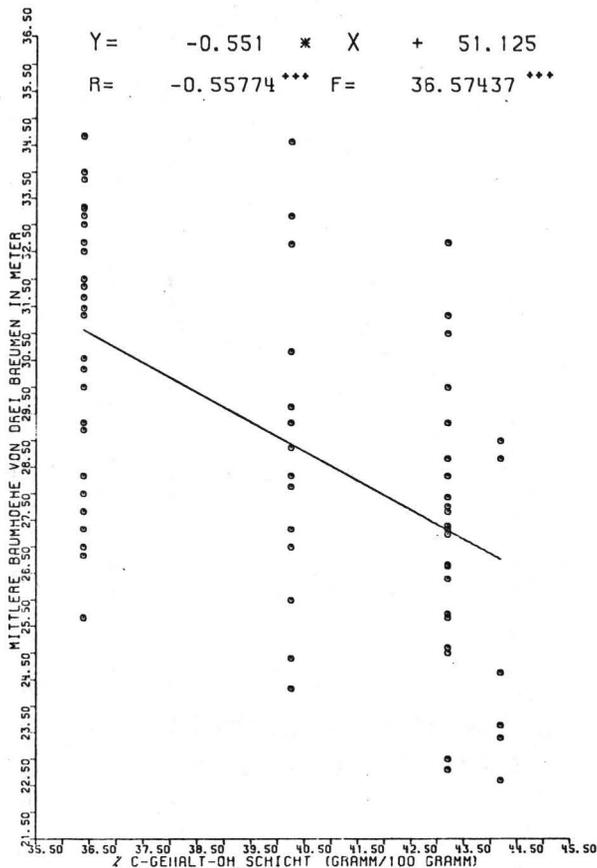


Abb. 19

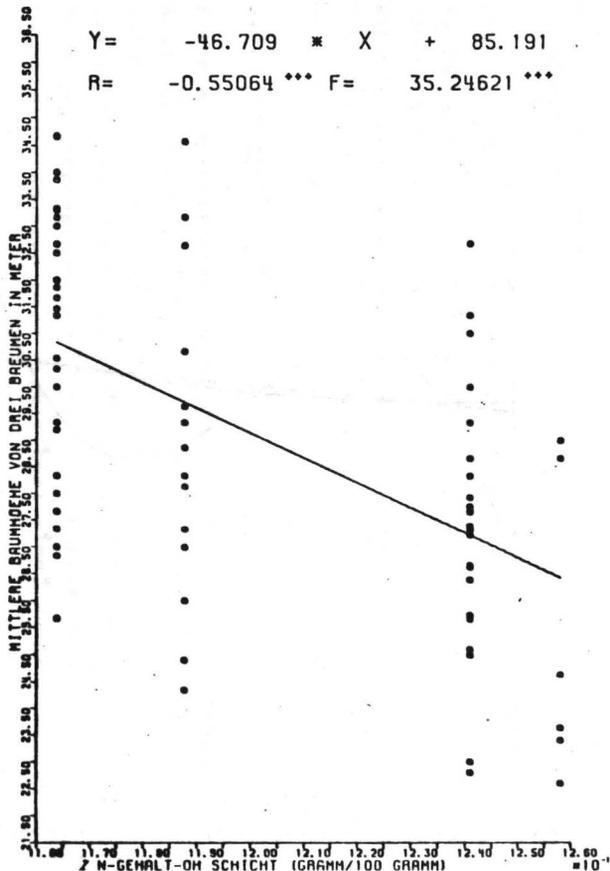


Abb. 20

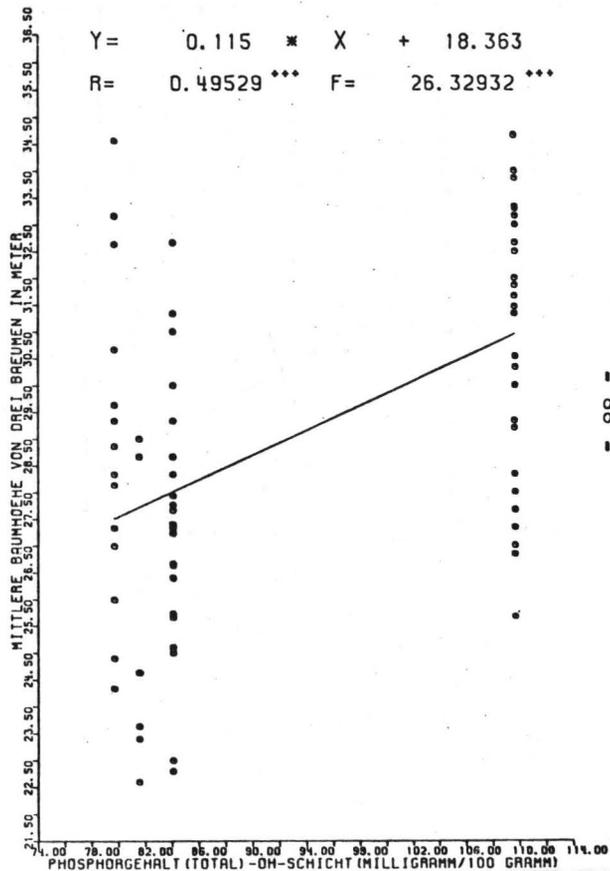


Abb. 21

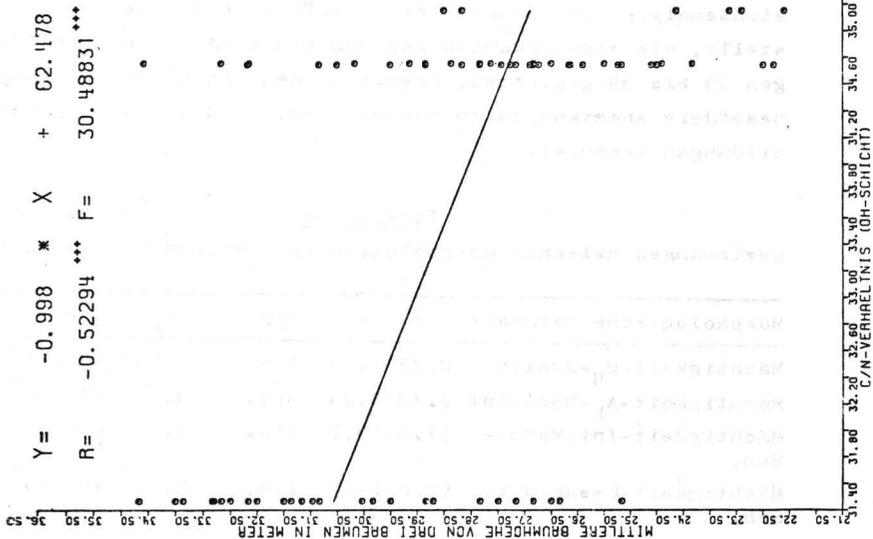
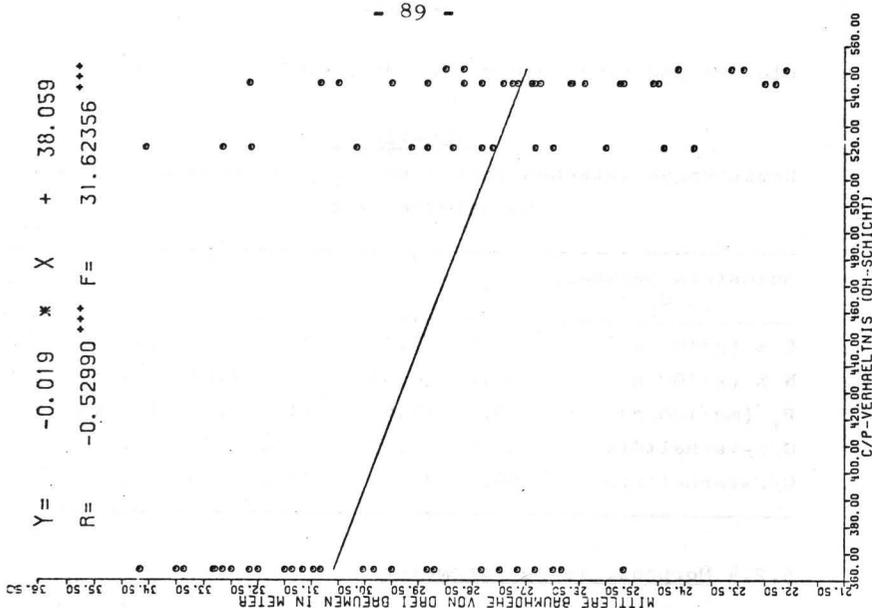


Abb. 22



plottet und sind in der Abbildung 18 bis 22 wiedergegeben.

Tabelle 27

Beziehungen zwischen charakteristischen Kennzeichen der Humusformen zur Baumhöhe

Humusform-Merkmale von O_H	\bar{x}	s	Typ	s_R	r
C % (g/100 g)	39.9	3.19	lin.	2.64	-0.558 ⁺⁺⁺
N % (g/100 g)	1.20	0.0372	lin.	2.65	-0.55 ⁺⁺⁺
P_t (mg/100 g)	93.7	13.6	lin.	2.76	+0.495 ⁺⁺⁺
C/N-Verhältnis	33.4	1.65	lin.	2.71	-0.523 ⁺⁺⁺
C/P-Verhältnis	466.	87.2	lin.	2.69	-0.530 ⁺⁺⁺

5.2.4 Morphologische Parameter

In den Profilbeschreibungsbögen bzw. im Labor wurden folgende morphologische Merkmale festgehalten: Textur, Humusgehalt in Prozent, Lagerungsdichte, Durchlässigkeit, Trockenraumdichte, Hohlraumvolumen, Luftkapazität, pH, und zwar jeweils für die einzelnen Bodenschichten. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Baumhöhe sind in Tabelle 28 zusammengestellt, die signifikanten Beziehungen sind in den Abbildungen 23 bis 35 geplottet. Soweit zu den einzelnen Beziehungen besondere Anmerkungen zu machen sind, sind sie auf diesen Abbildungen vermerkt.

Tabelle 28

Beziehungen zwischen morphologischen Faktoren und Baumhöhe

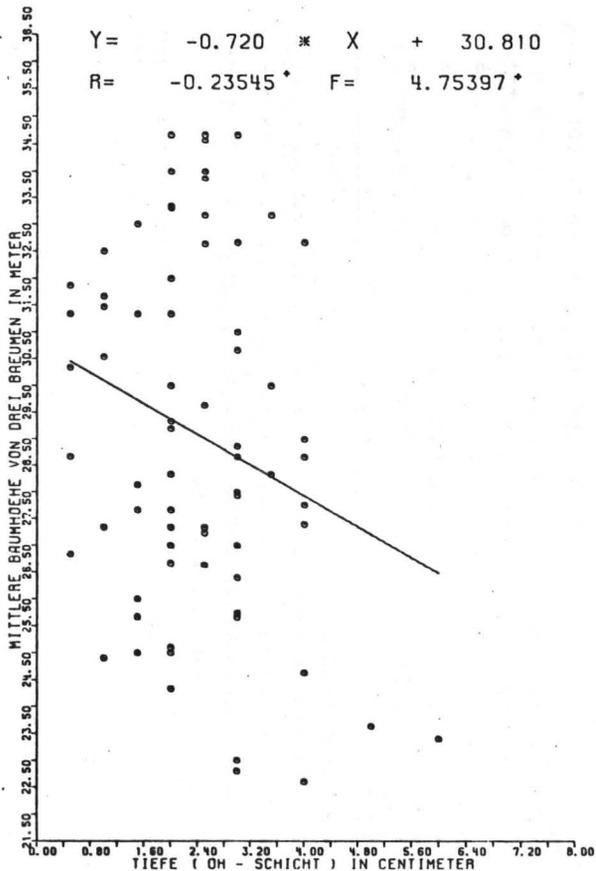
Morphologische Merkmale	\bar{x}	s	Typ	s_R	r
Mächtigkeit- O_H -Schicht	2.35	1.03	lin.	3.09	-0.235 ⁺
Mächtigkeit- A_h -Horizont	7.80	3.23	lin.	3.13	+0.166 ^{NS}
Mächtigkeit-Int.Wurz.-Sch.	51.3	19.7	lin.	3.16	+0.0837 ^{NS}
Mächtigkeit-Gesamtwurz.Sch.	87.6	21.3	lin.	3.15	+0.114 ^{NS}

Humus % A _h	6.87	2.87	lin.	3.12	-0.186 ^{NS}
Ton % A _h	11.6	5.53	lin.	3.16	+0.085 ^{NS}
Schluff % A _h	33.5	16.0	quadr.	3.08	0.261 ^{NS}
Ton + Schluff % A _h	45.1	19.9	quadr.	3.07	0.273 ⁺
Ton %-Int.Wurz.sch.	15.2	5.53	lin.	3.14	+0.144 ^{NS}
Schluff %-Int.Wurz.sch.	35.5	13.7	lin.	3.17	+0.053 ^{NS}
Ton+Schluff %-Int.Wurz.sch.	50.8	16.9	lin.	3.16	+0.090 ^{NS}
Ton %-Ext.Wurz.sch.	17.6	10.7	quadr.	3.08	0.265 ^{NS}
Schluff %-Ext.Wurz.sch.	31.1	14.8	lin.	3.07	+0.255 ⁺
Ton+Schluff %-Ext.Wurz.sch.	48.7	21.5	lin.	3.09	+0.231 ⁺
L.D. Code-A _h	1.97	0.499	lin.	3.12	+0.192 ^{NS}
L.D. Code-Int.Wurz.sch.	2.40	0.769	lin.	3.01	+0.320 ⁺⁺
L.D. Code-Ext.Wurz.sch.	3.24	0.985	lin.	3.00	+0.326 ⁺⁺
W.D.K. A _h	3.97	0.354	lin.	3.17	-0.0555 ^{NS}
W.D.K. Int.Wurz.sch.	3.91	0.516	lin.	3.14	-0.142 ^{NS}
W.D.K. Ext.Wurz.sch.	3.31	1.10	lin.	3.09	-0.231 ⁺
TRG-A _h	1.15	0.189	lin.	3.11	+0.206 ^{NS}
TRG-Int.Wurz.sch.	1.41	0.172	lin.	3.06	+0.271 ⁺
TRG-Ext.Wurz.sch.	1.65	0.172	kub.	2.97	0.386 ⁺⁺
GPV-A _h	44.5	4.04	lin.	3.16	-0.110 ^{NS}
GPV-Int.Wurz.sch.	39.8	4.05	lin.	3.10	-0.218 ⁺
GPV-Ext.Wurz.sch.	36.8	3.09	quadr.	3.08	0.266 ^{NS}
LK %-A _h	30.1	6.58	lin.	3.06	-0.270 ⁺
LK % Int.Wurz.sch.	17.2	6.92	lin.	3.07	-0.257 ⁺
LK % Ext.Wurz.sch.	11.0	7.53	lin.	2.94	-0.374 ⁺⁺⁺
pH-A _h	3.10	0.213	lin.	3.17	-0.0274 ^{NS}
pH-Int.Wurz.sch.	3.76	0.226	lin.	3.17	-0.0065 ^{NS}
pH-Ext.Wurz.sch.	3.75	0.282	lin.	3.17	-0.0761 ^{NS}

Erläuterungen:

Int.Wurz.sch. = Intensivwurzelschicht; Ext.Wurz.sch. = Extensivwurzelschicht; L.D. = Lagerungsdichte; W.D.K. = Wasserdurchlässigkeitsklasse; TRG = Trockenraumgewicht; GPV = Gesamtporenvolumen; LK = Luftkapazität

Abb. 23



Anmerkung: Im Untersuchungsgebiet ist der biologische Bodenzustand um so ungünstiger, je mächtiger der O_H -Horizont ist.

Abb. 24

Regressionsgleichungen

$$Y = 28.300 + 0.0182 X$$

$$Y = 33.488 - 0.226 X + 0.00241 X^2$$

R

0.115^{NS}

F

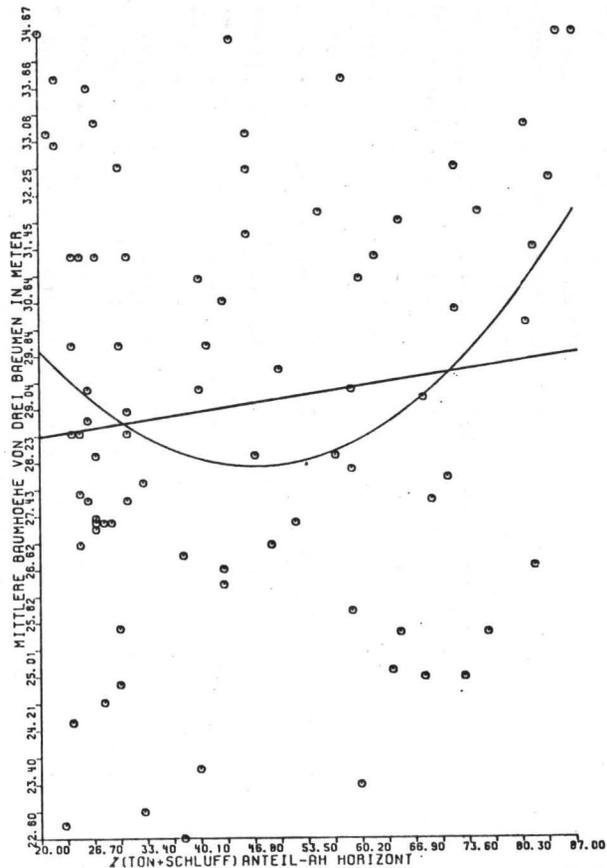
1.068^{NS}0.273^{*}3.170^{*}

Abb. 25

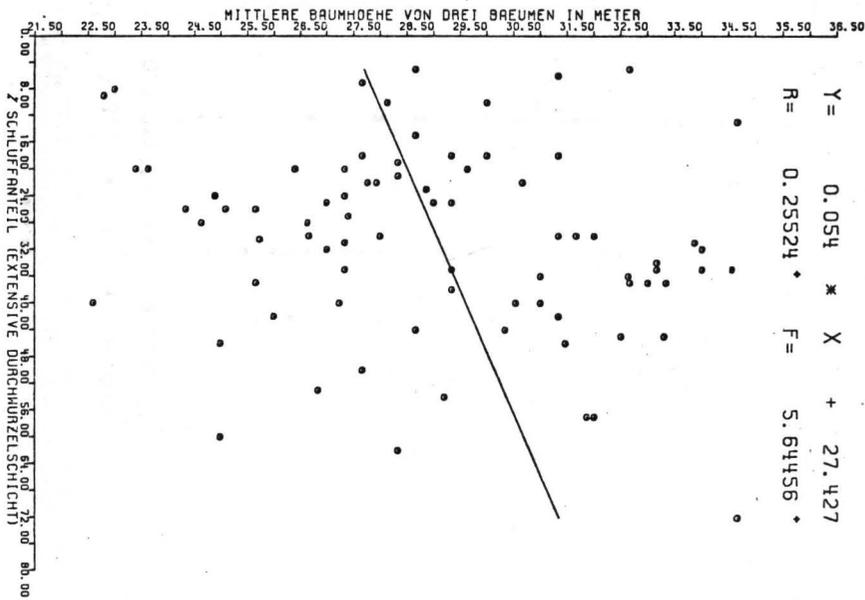


Abb. 26

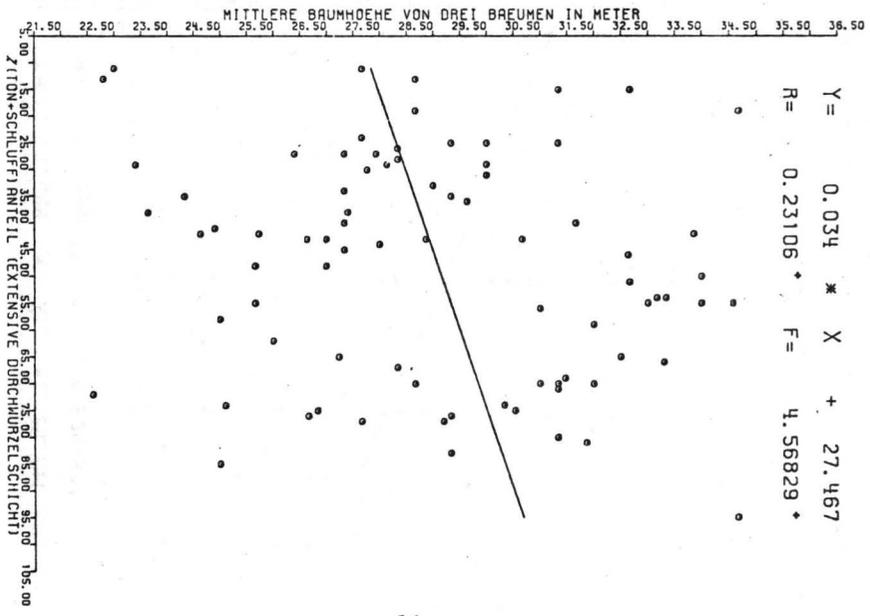


Abb. 28

$$Y = 1.044 X + 25.741$$

$$R = 0.32588^{**} \quad F = 9.62415^{**}$$

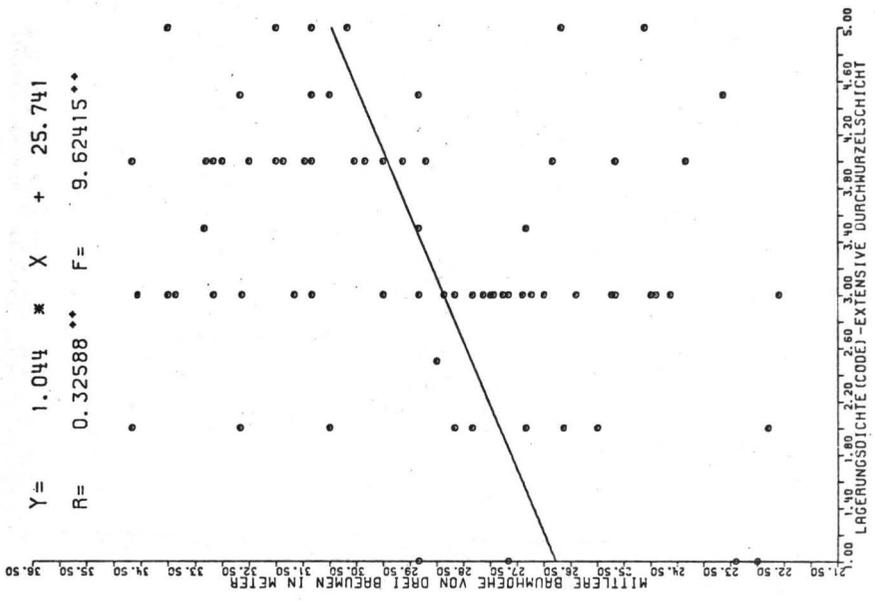


Abb. 27

$$Y = 1.313 X + 25.975$$

$$R = 0.31981^{**} \quad F = 9.22834^{**}$$

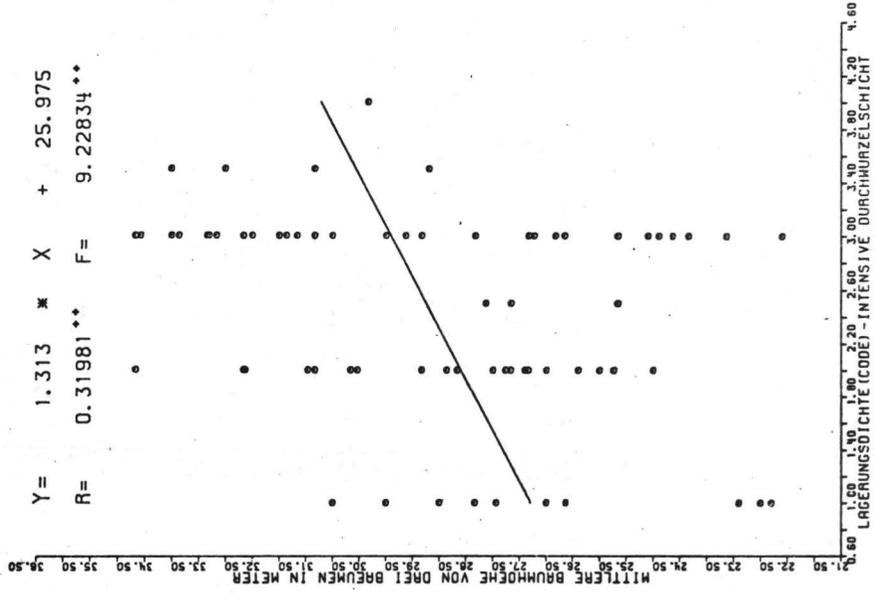


Abb. 29

$$Y = -0.663 * X + 31.316$$

$$R = -0.23149 * F = 4.58647 *$$

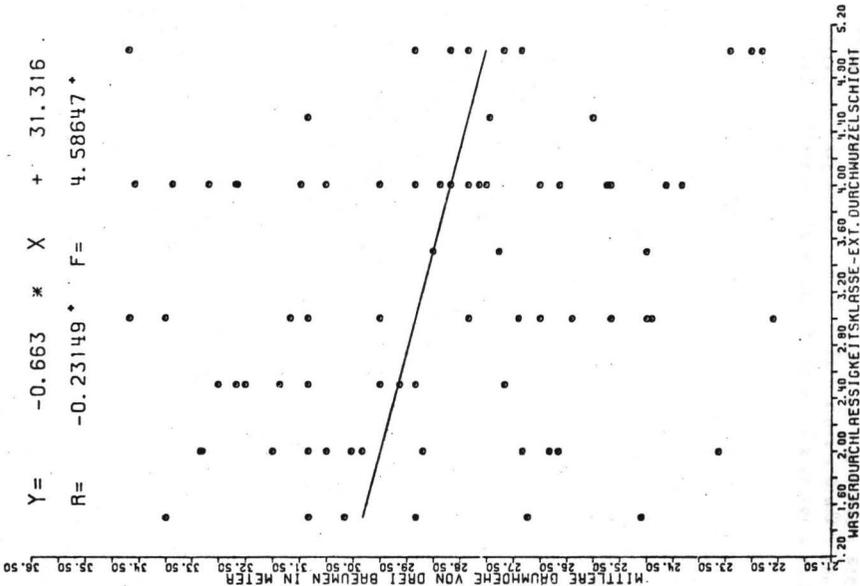


Abb. 30

$$Y = 4.971 * X + 22.118$$

$$R = 0.27141 * F = 6.44117 *$$

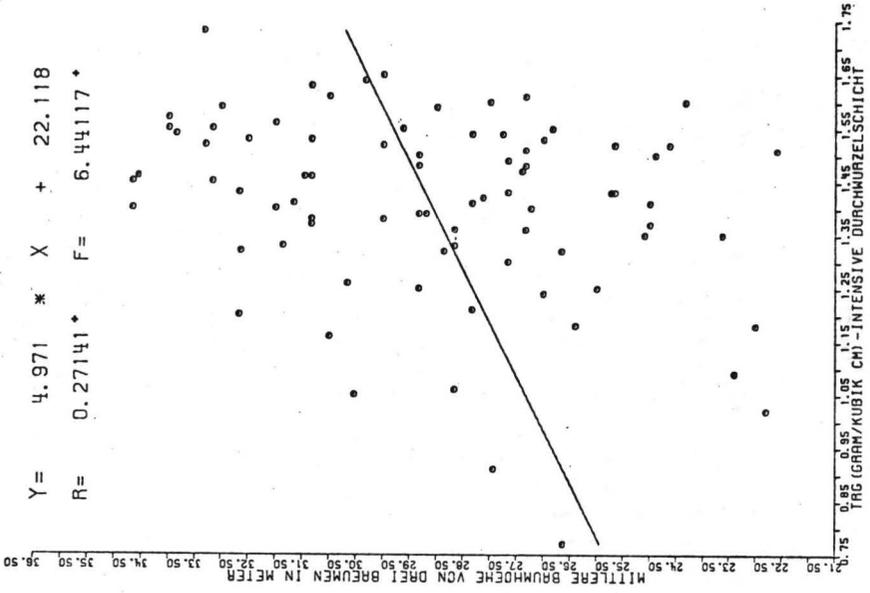


Abb. 31

Regressionsgleichungen

$Y = 19.558 + 5.810 X$

$Y = 20.553 + 4.419 X + 0.473 X^2$

$Y = 105.64 - 199.83 X + 154.53 X^2 - 37.175 X^3$

R	F
0.317**	8.968**
0.318*	4.433*
0.386**	4.540**

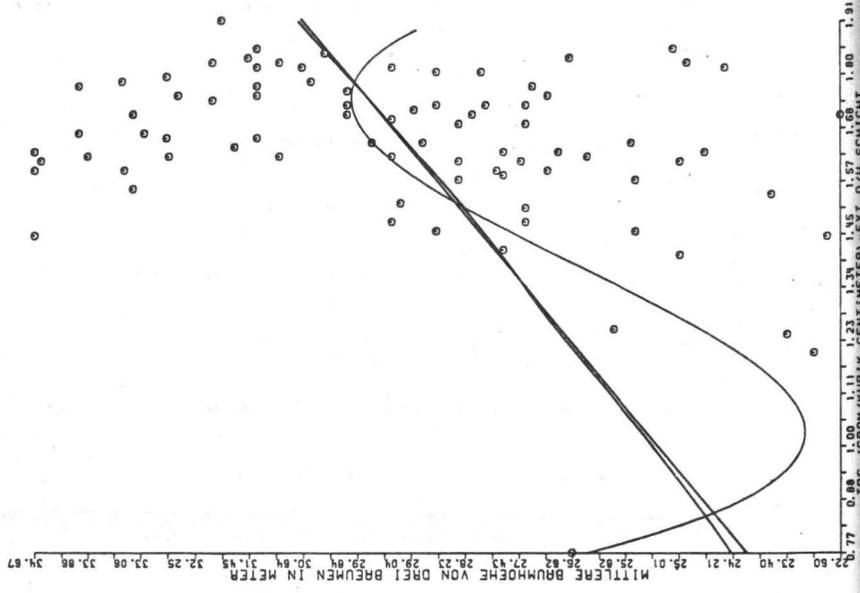
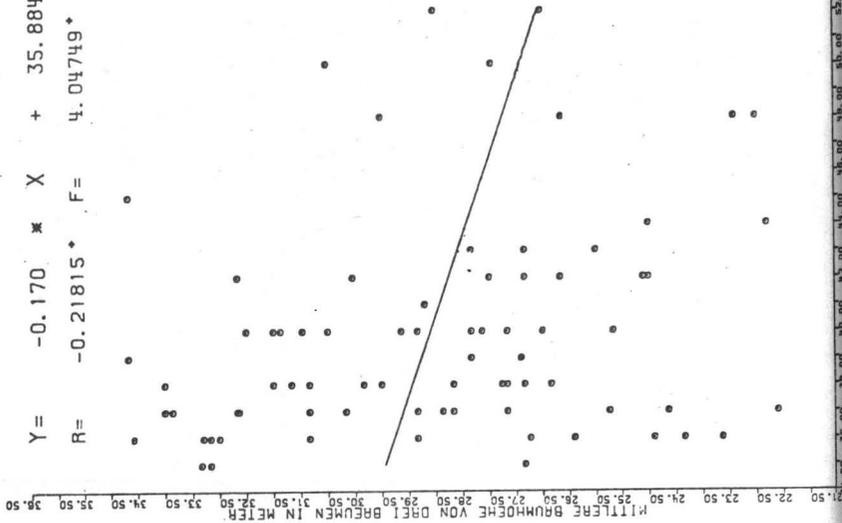


Abb. 32

$Y = -0.170 * X + 35.884$

$R = -0.21815 * F = 4.04749 *$



... auf 34.00 ... auf 33.00 ... auf 32.00 ... auf 31.00 ... auf 30.00 ... auf 29.00 ... auf 28.00 ... auf 27.00 ... auf 26.00 ... auf 25.00 ... auf 24.00 ... auf 23.00 ... auf 22.00 ... auf 21.00 ... auf 20.00 ... auf 19.00 ... auf 18.00 ... auf 17.00 ... auf 16.00 ... auf 15.00 ... auf 14.00 ... auf 13.00 ... auf 12.00 ... auf 11.00 ... auf 10.00 ... auf 9.00 ... auf 8.00 ... auf 7.00 ... auf 6.00 ... auf 5.00 ... auf 4.00 ... auf 3.00 ... auf 2.00 ... auf 1.00 ... auf 0.00 ... auf -1.00 ... auf -2.00 ... auf -3.00 ... auf -4.00 ... auf -5.00 ... auf -6.00 ... auf -7.00 ... auf -8.00 ... auf -9.00 ... auf -10.00 ... auf -11.00 ... auf -12.00 ... auf -13.00 ... auf -14.00 ... auf -15.00 ... auf -16.00 ... auf -17.00 ... auf -18.00 ... auf -19.00 ... auf -20.00 ... auf -21.00 ... auf -22.00 ... auf -23.00 ... auf -24.00 ... auf -25.00 ... auf -26.00 ... auf -27.00 ... auf -28.00 ... auf -29.00 ... auf -30.00 ... auf -31.00 ... auf -32.00 ... auf -33.00 ... auf -34.00 ... auf -35.00 ... auf -36.00 ... auf -37.00 ... auf -38.00 ... auf -39.00 ... auf -40.00 ... auf -41.00 ... auf -42.00 ... auf -43.00 ... auf -44.00 ... auf -45.00 ... auf -46.00 ... auf -47.00 ... auf -48.00 ... auf -49.00 ... auf -50.00 ... auf -51.00 ... auf -52.00 ... auf -53.00 ... auf -54.00 ... auf -55.00 ... auf -56.00 ... auf -57.00 ... auf -58.00 ... auf -59.00 ... auf -60.00 ... auf -61.00 ... auf -62.00 ... auf -63.00 ... auf -64.00 ... auf -65.00 ... auf -66.00 ... auf -67.00 ... auf -68.00 ... auf -69.00 ... auf -70.00 ... auf -71.00 ... auf -72.00 ... auf -73.00 ... auf -74.00 ... auf -75.00 ... auf -76.00 ... auf -77.00 ... auf -78.00 ... auf -79.00 ... auf -80.00 ... auf -81.00 ... auf -82.00 ... auf -83.00 ... auf -84.00 ... auf -85.00 ... auf -86.00 ... auf -87.00 ... auf -88.00 ... auf -89.00 ... auf -90.00 ... auf -91.00 ... auf -92.00 ... auf -93.00 ... auf -94.00 ... auf -95.00 ... auf -96.00 ... auf -97.00 ... auf -98.00 ... auf -99.00 ... auf -100.00

Abb. 34

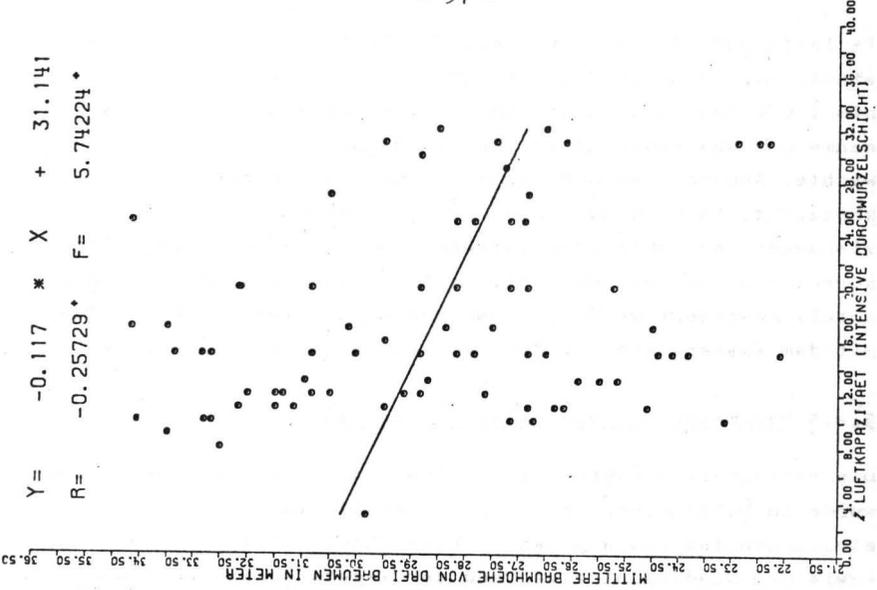
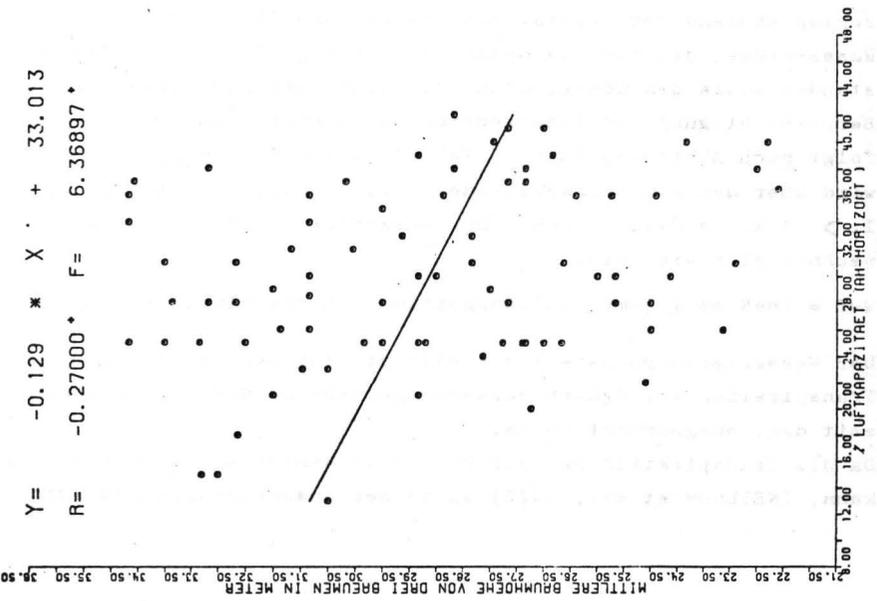


Abb. 33



Es fällt auf, daß ein Großteil der Beziehungen genau gegenseitig zu dem verläuft, was man eigentlich erwartet. So nimmt die Baumhöhe zu mit Anstieg der Lagerungsdichte, Abnahme der Wasserdurchlässigkeit, Zunahme des Trockenraumgewichts, Abnahme des Hohlraumvolumens und Abnahme der Luftkapazität. Es wird zu prüfen sein, in wie weit alle diese Beziehungen indirekte Korrelationen sind, die über die positive Korrelation der Baumhöhe mit ansteigendem Ton- und Schluff-Anteil gesteuert werden. Diese Beziehung wiederum kann sowohl mit dem Wasser- wie mit dem Nährstoffangebot gekoppelt sein.

5.2.5 Parameter des Bodenwasserhaushalts

Die verfügbare Wasserkapazität des Bodens für den Wurzelraum wurde in Millimetern (l/qm) ausgedrückt (in den Zusammenstellungen ist sie als nWK mm bezeichnet). Mit ihrer Hilfe sowie dem Niederschlag während der Vegetationsperiode (mmVZ) wurde ein Wasserversorgungsfaktor (Wvf) auf Grund folgender Annahmen berechnet.

Es wird davon ausgegangen, daß nach der Schneeschmelze im Frühjahr die Feldkapazität erreicht ist, der Boden also mit dem maximalen Wert an verfügbarem Wasser (nWK mm) in die Vegetationsperiode hineingeht. Addiert man zur nWK den Niederschlag während der Vegetationszeit, so erhält man die maximale Wassermenge, die für die Gesamtverdunstung ($I + E + T$) des Bestandes sowie den Oberflächenabfluß zur Verfügung steht. Die Berücksichtigung von Interzeption und Oberflächenabfluß erfolgt nach Abbildung 10 bzw. Tabelle 24, die Evaporation wird über den Feuchtigkeitsindex F.I. berücksichtigt (bei F.I. > 15 keine Evaporation). Der Wasserversorgungsfaktor berechnet sich wie folgt:

$$Wvf = (nWK \text{ mm} + (\text{mmVZ} - \text{Interzeption} - \text{Hangabfluß})) \times \frac{F.I.}{15}$$

Der Wasserversorgungsfaktor stellt die für den Bestand zur Transpiration verfügbare Wassermenge während der Vegetationszeit dar, ausgedrückt in mm.

Da die Transpiration bei der Fichte im Winter weiterlaufen kann, (NEILSON et al., 1972) wurde der Wasserversorgungsfaktor

Abb. 35

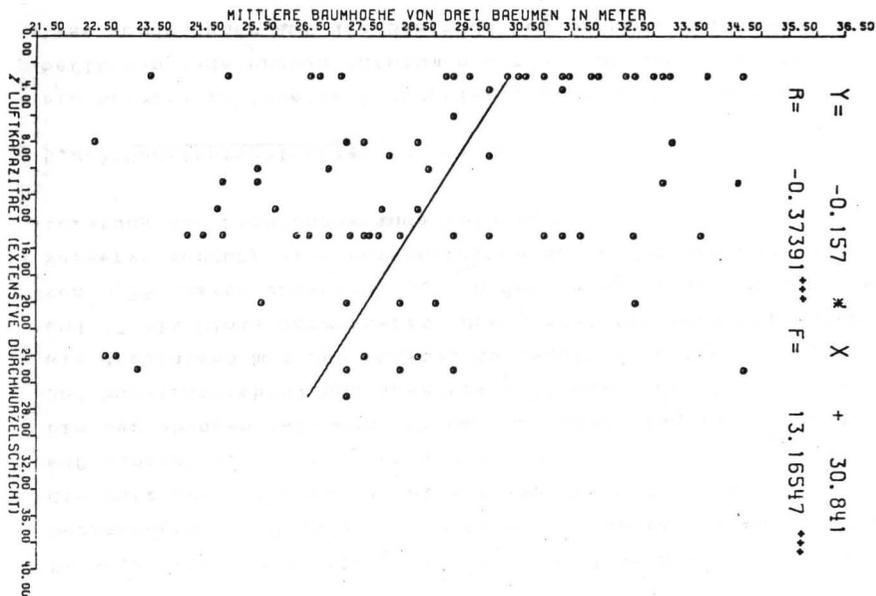
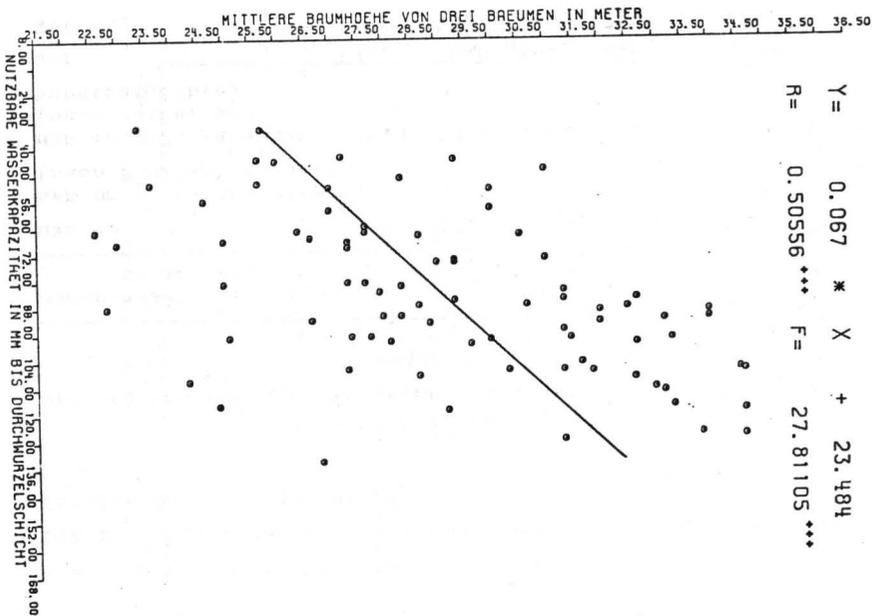


Abb. 36



auch für das ganze Jahr berechnet (Wvf mmj).

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse zur Baumhöhe sind in Tabelle 29 zusammengestellt.

Tabelle 29

Die Beziehungen der Parameter des Bodenwasserhaushalts zur Baumhöhe

Bodenwasserhaushaltsparameter	\bar{x}	s	Typ	s_R	r
nWK mm	73.8	22.9	lin.	2.89	+0.411 ⁺⁺⁺
nWK mm + Zu-/Abschlag (nach HÄRTMANN et al.)	76.9	23.1	lin.	2.86	+0.431 ⁺⁺⁺
nWK mm + Zu-/Abschlag (nach Relief und Substratdichte)	84.4	23.9	lin.	2.74	+0.506 ⁺⁺⁺
Wvf	246.	70.6	kub.	2.88	0.444 ⁺⁺⁺
Wvf mmj	457.	148.	kub.	2.99	0.366 ⁺⁺⁺
Wasser-Code-I	8.48	2.15	lin.	2.11	+0.747 ⁺⁺⁺
Wasser-Code-II	8.35	1.91	lin.	2.08	+0.756 ⁺⁺⁺

Es zeigt sich, daß alle geprüften Parameter hoch signifikante Beziehungen zur Baumhöhe aufweisen. Die beste Beziehung gibt die nutzbare Wasserkapazität mit den Zu- und Abschlügen gemäß Kapitel 4.6.2 bzw. der Wassercode gemäß Kapitel 4.6.3. Die Beziehungen zwischen nWK mm + Zu-/Abschlag (nach Relief und Substratdichte) und Wassercode II sowie der Baumhöhe sind als diejenigen mit der engsten Korrelation in Abbildung 36 und 37 als Plots dargestellt. Die Korrelationskoeffizienten von 0,75 lassen erkennen, daß in dem Untersuchungsgebiet die Wasserversorgung eine entscheidende Rolle für die Zuwachsleistung der Fichtenbestände spielt.

5.2.6 Nadelspiegelwerte

Wie bereits in Tabelle 2 dargelegt, sind nicht von allen Probenflächen Nadelproben entnommen worden. Die Regressionsanalyse wurde daher auf die Bestände beschränkt, von denen Nadel-

Abb. 37

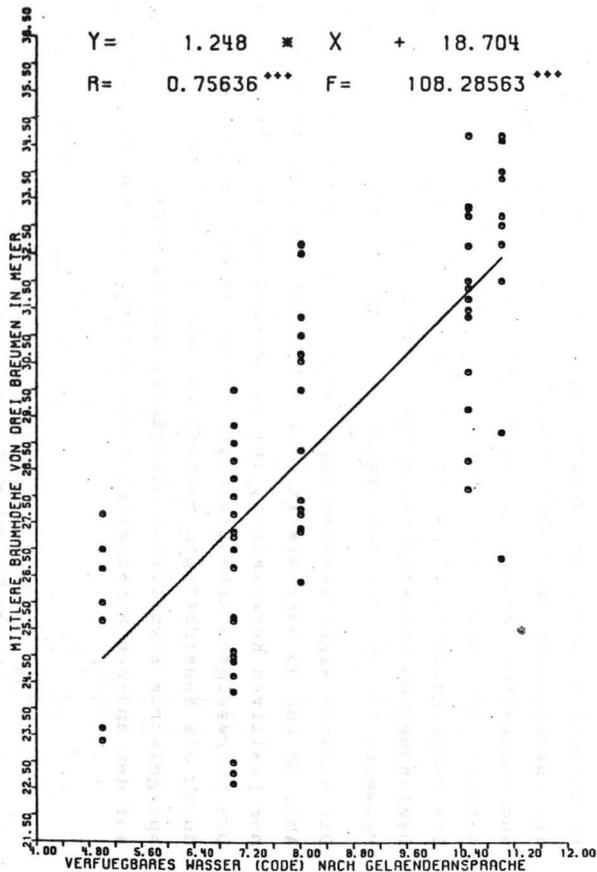


Abb. 38

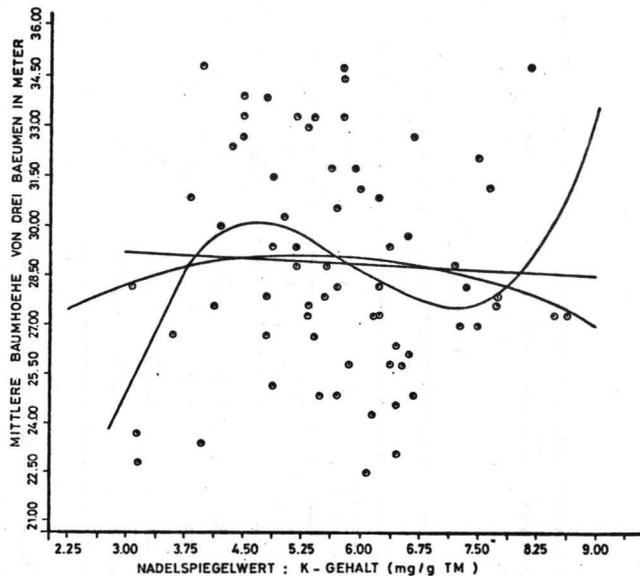
Regressionsgleichungen

$$Y = 29.534 - 0.119 X$$

$$Y = 24.253 + 1.798 X - 0.166 X^2$$

$$Y = -33.606 + 34.555 X - 6.059 X^2 + 0.338 X^3$$

R	F
0.046 ^{NS}	0.150 ^{NS}
0.115 ^{NS}	0.466 ^{NS}
0.344 ⁺	3.034 ⁺



analysen vorlagen (72 Bestände). Die Ergebnisse der Regressionsanalyse sind in Tabelle 30 zusammengestellt.

Tabelle 30

Beziehungen zwischen Nadelspiegelwerten und Baumhöhe

Nadelspiegel- werte	\bar{x}	s	Typ	s_R	r
Asche % TM	4.53	0.605	lin.	3.17	-0.219 ^{NS}
N mg/g TM	11.4	0.990	lin.	3.25	+0.0203 ^{NS}
P mg/g TM	1.95	2.20	lin.	3.23	-0.101 ^{NS}
K mg/g TM	5.70	1.25	kub.	3.10	0.344 ⁺
Ca mg/g TM	4.75	1.67	kub.	3.05	0.383 ⁺
Mg mg/g TM	1.23	0.255	lin.	3.24	+0.0816 ^{NS}

Obwohl die N-Gehalte im Grenzbereich der Unterversorgung (8-13 mg N/g) liegen, Zuwachsdepressionen durch N-Mangel also auftreten könnten, besteht keine Beziehung zwischen N-Spiegelwert und Baumhöhe. Dies war nicht unbedingt zu erwarten, da die Nadelspiegelwerte anders als die bodenkundlichen Daten die Auswirkungen der Stickstoffzufuhr mit den Niederschlägen, die mit ca. 20 kg N pro ha und Jahr ökologisch bedeutsam ist, reflektieren sollten. Aus welchen Gründen auch immer scheint die Aussagekraft der N-Spiegelwerte bei der Fichte im Untersuchungsgebiet recht begrenzt zu sein, solange sie den Grenzbereich nicht nach unten oder oben überschreiten.

Die P-Spiegelwerte liegen im Bereich des Höchstsertrags, eine Beziehung zum Wachstum ist daher nicht zu erwarten. Auch die Mg-Werte liegen über dem Grenzbereich der Unterversorgung.

Die schwach signifikanten Regressionen für K und Ca sind in Abb. 38 und 39 dargestellt. Bei K besteht die Tendenz zu einer positiven Korrelation, bei Ca dagegen zu einer negativen. Die aufgezeigten Abhängigkeiten werden jedoch weitgehend durch die Substrattypen beeinflusst: auf Basalt liegen die K-Spiegelwerte signifikant niedriger, die Ca-Werte höher als auf den anderen Substraten; diese Stratifizierung des Materials

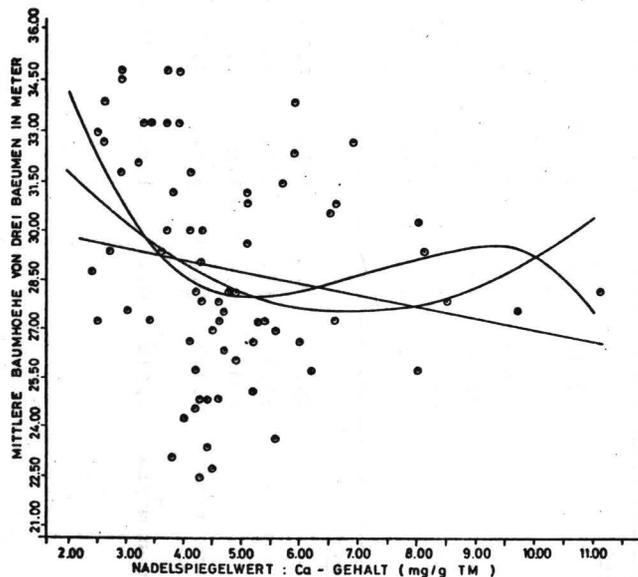
Regressionsgleichungen

R	F
0.189 ^{NS}	2.603 ^{NS}
0.307 ⁺	3.599 ⁺
0.383 ⁺	3.899 ⁺

$$Y = 30.589 - 0.363 X$$

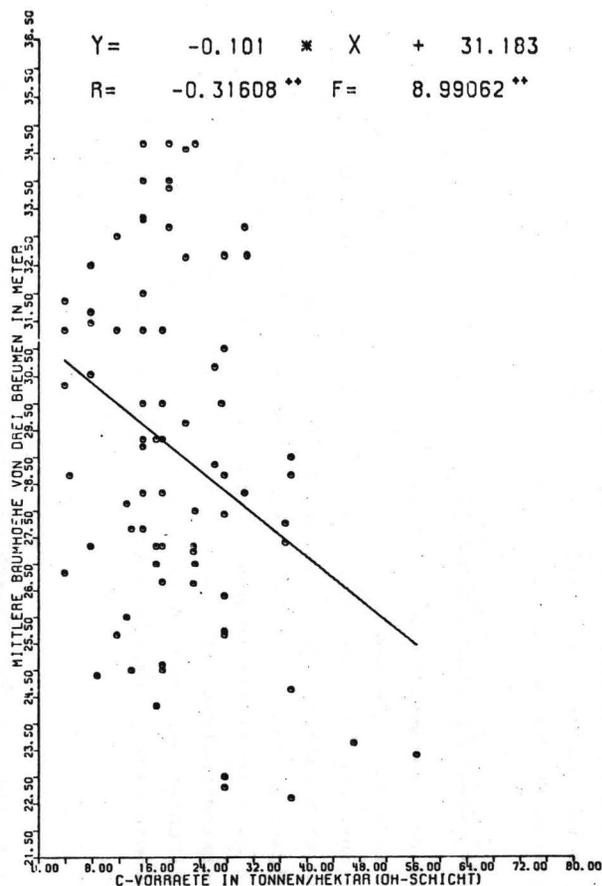
$$Y = 36.052 - 2.458 X + 0.177 X^2$$

$$Y = 48.59 - 9.782 X + 1.472 X^2 - 0.0689 X^3$$



$$Y = -0.101 * X + 31.183$$

$$R = -0.31608^{**} \quad F = 8.99062^{**}$$



Anmerkung: Der C-Vorrat im O_H nimmt genauso wie die Mächtigkeit des O_H mit schlechter werdendem biologischem Bodenzustand zu. Die Beziehung spiegelt also die Auswirkung des biologischen Bodenzustandes wider.

läßt keine Verallgemeinerung der gefundenen Relationen zu. Der Befund, daß mit steigenden Ca-Spiegelwerten die Wachstumsleistung abnimmt, hat sich jedoch schon in verschiedenen Untersuchungen des Instituts ergeben.

5.2.7 Bodenchemische Parameter

Die Bodenparameter, ausgedrückt als Nährstoffvorräte (in verschiedenen Einheiten), als Volumina und Gewichte von organischer Substanz und Boden, sowie als C/N-Verhältnisse wurden ebenfalls mit der Baumhöhe korreliert. Die Rechnungen erfolgten getrennt für die verschiedenen Horizonte bzw. Schichten wie auch in verschiedenen Kombinationen. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse sind in Tabelle 31 zusammengestellt. Die signifikanten Beziehungen sind in den Abbildungen 40 bis 65 als Computerplots einschließlich etwaiger Anmerkungen wiedergegeben.

Tabelle 31

Beziehungen zwischen bodenchemischen Parametern und Baumhöhe

Bodenvariable	\bar{x}	s	Typ	s_R	r
<u>O_H-Schicht:</u>					
C/N	33.3	1.75	quadr.	2.58	0.590 ⁺⁺⁺
C t/ha	20.3	9.84	lin.	3.01	-0.316 ⁺⁺
N t/ha	0.604	0.276	lin.	3.06	-0.271 ⁺
Humus t/ha	50.0	24.2	lin.	3.09	-0.235 ⁺
Humus m ³ /ha	235.	103.	lin.	3.09	-0.235 ⁺
P _t kg/ha	45.7	18.8	lin.	3.17	-0.069 ^{NS}
<u>A_n-Horizont:</u>					
C/N	29.6	3.9	kub.	2.71	0.536 ⁺⁺⁺
C t/ha	31.4	15.2	lin.	3.17	+0.0094 ^{NS}
N t/ha	1.06	0.507	lin.	3.15	+0.133 ^{NS}
Bodengewicht t/ha (1/100)	0.463	0.230	lin.	3.17	+0.0544 ^{NS}
Bodenvolumen m ³ /ha (1/100)	0.516	0.217	lin.	3.17	+0.05 ^{NS}

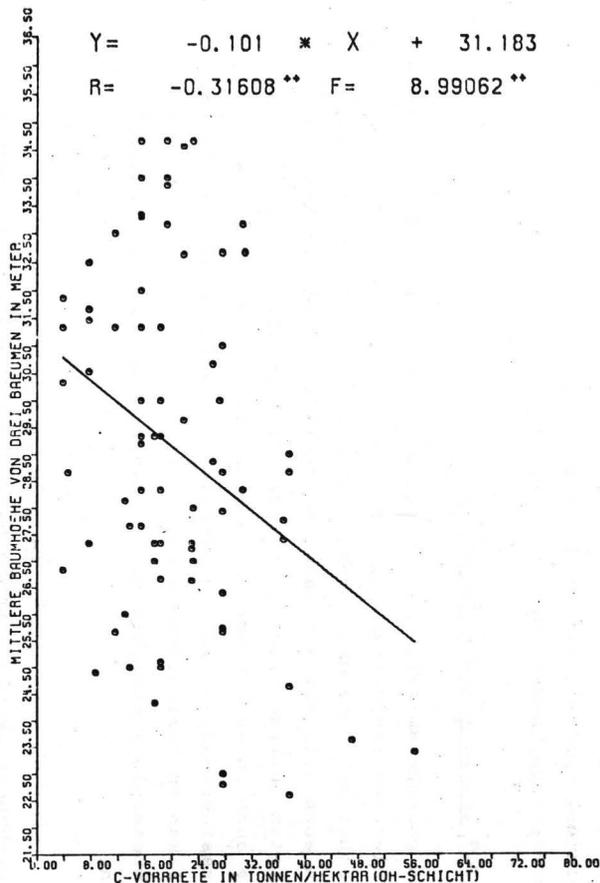
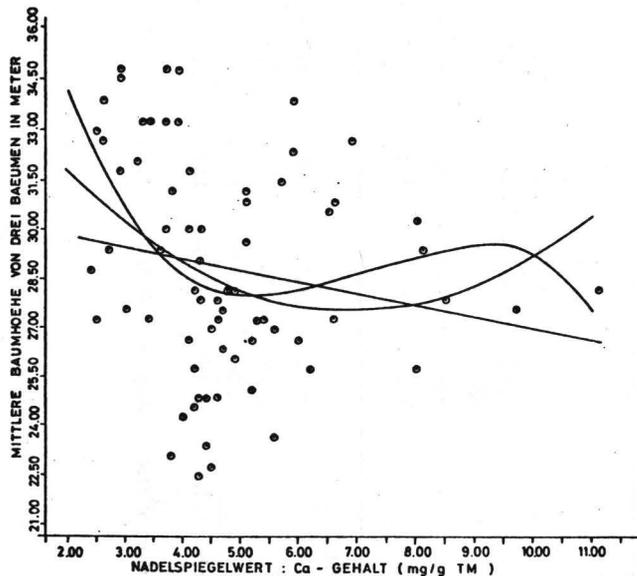
Regressionsgleichungen

R	F
0.189 ^{NS}	2.603 ^{NS}
0.307 ⁺	3.599 ⁺
0.383 ⁺	3.899 ⁺

$$Y = 30.589 - 0.365 X$$

$$Y = 36.052 - 2.458 X + 0.177 X^2$$

$$Y = 48.59 - 9.782 X + 1.472 X^2 - 0.0689 X^3$$



$$Y = -0.101 * X + 31.183$$

$$R = -0.31608^{**} \quad F = 8.99062^{**}$$

Anmerkung: Der C-Vorrat im O_H nimmt genauso wie die Mächtigkeit des O_H mit schlechter werdendem biologischem Bodenzustand zu. Die Beziehung spiegelt also die Auswirkung des biologischen Bodenzustandes wider.

läßt keine Verallgemeinerung der gefundenen Relationen zu. Der Befund, daß mit steigenden Ca-Spiegelwerten die Wachstumsleistung abnimmt, hat sich jedoch schon in verschiedenen Untersuchungen des Instituts ergeben.

5.2.7 Bodenchemische Parameter

Die Bodenparameter, ausgedrückt als Nährstoffvorräte (in verschiedenen Einheiten), als Volumina und Gewichte von organischer Substanz und Boden, sowie als C/N-Verhältnisse wurden ebenfalls mit der Baumhöhe korreliert. Die Rechnungen erfolgten getrennt für die verschiedenen Horizonte bzw. Schichten wie auch in verschiedenen Kombinationen. Die Ergebnisse der Regressionsanalyse sind in Tabelle 31 zusammengestellt. Die signifikanten Beziehungen sind in den Abbildungen 40 bis 65 als Computerplots einschließlich etwaiger Anmerkungen wiedergegeben.

Tabelle 31

Beziehungen zwischen bodenchemischen Parametern und Baumhöhe

Bodenvariable	\bar{x}	s	Typ	s_R	r
<u>O_H-Schicht:</u>					
C/N	33.3	1.75	quadr.	2.58	0.590 ⁺⁺⁺
C t/ha	20.3	9.84	lin.	3.01	-0.316 ⁺⁺
N t/ha	0.604	0.276	lin.	3.06	-0.271 ⁺
Humus t/ha	50.0	24.2	lin.	3.09	-0.235 ⁺
Humus m ³ /ha	235.	103.	lin.	3.09	-0.235 ⁺
P _t kg/ha	45.7	18.8	lin.	3.17	-0.069 ^{NS}
<u>A_n-Horizont:</u>					
C/N	29.6	3.9	kub.	2.71	0.536 ⁺⁺⁺
C t/ha	31.4	15.2	lin.	3.17	+0.0094 ^{NS}
N t/ha	1.06	0.507	lin.	3.15	+0.133 ^{NS}
Bodengewicht t/ha (1/100)	0.463	0.230	lin.	3.17	+0.0544 ^{NS}
Bodenvolumen m ³ /ha (1/100)	0.516	0.217	lin.	3.17	+0.05 ^{NS}

P _t kg/ha	300.	149.	lin.	3.12	+0.182 ^{NS}
P _{Al} kg/ha	17.1	9.55	lin.	3.13	+0.168 ^{NS}
P _{Fe} kg/ha	66.4	57.5	lin.	3.15	+0.120 ^{NS}
P _{Ca} kg/ha	6.38	3.15	lin.	3.12	+0.191 ^{NS}
P _{Occl.} kg/ha	107.	48.2	kub.	3.07	0.297 ^{NS}
P _{Org.} kg/ha	94.5	52.2	lin.	3.16	+0.104 ^{NS}
Na kval/ha	0.855	0.396	kub.	3.02	0.341 ⁺
K kval/ha	1.29	0.704	lin.	3.08	+0.244 ⁺
Ca kval/ha	7.09	4.04	lin.	3.11	+0.199 ^{NS}
Mg kval/ha	2.10	0.944	kub.	3.00	0.360 ⁺
Fe kval/ha	4.57	2.49	lin.	3.17	+0.055 ^{NS}
Mn kval/ha	2.14	3.52	lin.	3.16	+0.0973 ^{NS}
Al kval/ha	44.4	19.8	lin.	3.17	-0.0169 ^{NS}
AK _e (Na+K+Ca+Mg+Fe+Mn+Al) kval/ha	63.9	28.3	kub.	3.13	0.233 ^{NS}
AK _e (H+Na+K+Ca+Mg+Fe+Mn+Al) kval/ha	80.0	36.3	lin.	3.16	+0.0815 ^{NS}
Na kg/ha (1/100)	0.197	0.091	kub.	3.02	0.344 ⁺
K kg/ha (1/100)	0.506	0.275	lin.	3.08	+0.245 ⁺
Ca kg/ha (1/100)	1.42	0.810	lin.	3.11	+0.199 ^{NS}
Mg kg/ha (1/100)	0.256	0.115	kub.	3.00	0.360 ⁺
Fe kg/ha (1/100)	1.30	0.686	lin.	3.17	+0.0481 ^{NS}
Mn kg/ha (1/100)	0.588	0.967	lin.	3.16	+0.0974 ^{NS}
Al kg/ha (1/100)	3.99	1.78	lin.	3.17	-0.0169 ^{NS}

Intensivwurzelschicht:

Bodengewicht t/ha (1/100)	57.2	27.0	kub.	3.08	0.288 ^{NS}
Bodenvolumen m ³ /ha (1/100)	40.4	17.7	kub.	3.09	0.281 ^{NS}
P _t kg/ha (1/100)	17.3	9.30	lin.	3.12	+0.185 ^{NS}
P _{Al} kg/ha (1/100)	1.43	1.14	lin.	3.13	+0.166 ^{NS}
P _{Fe} kg/ha (1/100)	3.01	1.98	lin.	3.13	+0.170 ^{NS}
P _{Ca} kg/ha (1/100)	0.505	0.242	lin.	3.12	+0.188 ^{NS}
P _{Occl.} kg/ha (1/100)	9.52	4.39	lin.	3.12	+0.183 ^{NS}
P _{Org.} kg/ha (1/100)	2.80	2.47	lin.	3.14	+0.140 ^{NS}
Na kval/ha	5.90	2.76	lin.	3.09	+0.235 ⁺
K kval/ha	9.96	5.25	lin.	3.11	+0.198 ^{NS}

Ca kval/ha	25.3	23.8	kub.	3.04	0.325 ⁺
Mg kval/ha	10.2	10.7	quadr.	3.06	0.286 ⁺
Fe kval/ha	3.28	1.79	lin.	3.12	+0.188 ^{NS}
Mn kval/ha	15.6	9.13	lin.	3.17	+0.0782 ^{NS}
Al kval/ha	226.	103.	lin.	3.17	+0.0657 ^{NS}
AK _e (Na+...+Al) kval/ha	299.	141.	lin.	3.16	+0.0926 ^{NS}
AK _e (H+Na+...+Al) kval/ha (1/100)	4.18	2.96	lin.	3.17	+0.0189 ^{NS}
Na kg/ha (1/100)	1.36	0.635	lin.	3.09	+0.235 ⁺
K kg/ha (1/100)	3.89	2.05	lin.	3.11	+0.198 ^{NS}
Ca kg/ha (1/100)	5.07	4.77	kub.	3.04	0.325 ⁺
Mg kg/ha (1/100)	1.24	1.30	quadr.	3.06	0.286 ⁺
Fe kg/ha (1/100)	0.917	0.500	lin.	3.12	+0.188 ^{NS}
Mn kg/ha (1/100)	4.27	2.51	lin.	3.17	+0.0782 ^{NS}
Al kg/ha (1/100)	20.3	9.24	lin.	3.17	+0.0656 ^{NS}

Extensivwurzelschicht:

Bodengewicht t/ha (1/100)	47.2	23.0	lin.	2.91	+0.256 ⁺
Bodenvolumen m ³ /ha (1/100)	28.3	13.5	lin.	2.94	+0.220 ^{NS}
P _t kg/ha (1/100)	12.1	7.87	quadr.	2.83	0.358 ⁺
P _{Al} kg/ha (1/100)	0.403	0.274	lin.	3.01	+0.0654 ^{NS}
P _{Fe} kg/ha (1/100)	1.76	1.89	lin.	2.96	+0.178 ^{NS}
P _{Ca} kg/ha (1/100)	0.30	0.277	kub.	2.85	0.36 ⁺
P _{Occl.} kg/ha (1/100)	8.16	4.82	quadr.	2.80	0.383 ⁺⁺
P _{Org.} kg/ha (1/100)	1.46	1.05	quadr.	2.84	0.356 ⁺
Na kval/ha	5.45	4.17	quadr.	2.68	0.472 ⁺⁺⁺
K kval/ha	10.4	9.28	kub.	2.70	0.469 ⁺⁺⁺
Ca kval/ha	41.7	83.4	lin.	2.97	+0.166 ^{NS}
Mg kval/ha	18.0	31.5	lin.	3.01	+0.0191 ^{NS}
Fe kval/ha	2.69	2.47	lin.	2.78	+0.385 ⁺⁺
Mn kval/ha	11.3	8.39	kub.	2.73	0.452 ⁺⁺
Al kval/ha	186.	156.	lin.	2.97	+0.164 ^{NS}
AK _e (Na+...+Al) kval/ha	278.	217.	kub.	2.74	0.442 ⁺⁺
AK _e (H+Na+...+Al) kval/ha (1/100)	3.84	3.65	quadr.	2.70	0.459 ⁺⁺⁺

Na kg/ha (1/100)	1.25	0.96	quadr.	2.67	0.472 ⁺⁺⁺
K kg/ha (1/100)	4.06	3.63	kub.	2.70	0.469 ⁺⁺⁺
Ca kg/ha (1/100)	8.35	16.7	lin.	2.97	+0.166 ^{NS}
Mg kg/ha (1/100)	2.19	3.83	lin.	3.01	+0.0191 ^{NS}
Fe kg/ha (1/100)	0.751	0.691	lin.	2.78	+0.385 ⁺⁺
Mn kg/ha (1/100)	3.09	2.30	kub.	2.73	0.452 ⁺⁺
Al kg/ha (1/100)	16.7	14.0	lin.	2.97	+0.164 ^{NS}

O_H + A_h Schicht:

C t/ha	52.5	19.7	lin.	3.14	-0.155 ^{NS}
N t/ha	1.69	0.586	lin.	3.17	-0.017 ^{NS}
P _t kg/ha (1/1000)	0.354	0.160	lin.	3.14	+0.157 ^{NS}

A_h + Intensivwurzelschicht:

Bodengewicht t/ha (1/1000)	6.60	2.87	lin.	3.12	+0.179 ^{NS}
Bodenvolumen m ³ /ha (1/1000)	4.79	1.88	lin.	3.15	+0.124 ^{NS}
Na kval/ha	6.75	2.88	lin.	3.08	+0.239 ⁺
K kval/ha	11.2	5.57	lin.	3.10	+0.218 ⁺
Ca kval/ha	32.4	25.7	kub.	3.02	0.343 ⁺
Mg kval/ha	12.3	10.9	quadr.	3.05	0.296 ⁺
Fe kval/ha	7.9	3.51	lin.	3.15	+0.130 ^{NS}
Mn kval/ha	17.7	11.5	lin.	3.16	+0.0918 ^{NS}
Al kval/ha	271.	109.	lin.	3.17	+0.0589 ^{NS}
AK _e (Na+...+Al) kval/ha (1/100)	3.63	1.52	lin.	3.16	+0.0918 ^{NS}
AK _e (H+Na+...+Al) kval/ha (1/100)	4.98	3.10	lin.	3.17	+0.0276 ^{NS}
Na kg/ha (1/100)	1.55	0.661	lin.	3.08	+0.239 ⁺
K kg/ha (1/100)	4.4	2.19	lin.	3.10	+0.218 ⁺
Ca kg/ha (1/100)	6.49	5.15	kub.	3.02	0.343 ⁺
Mg kg/ha (1/100)	1.50	1.33	quadr.	3.05	0.296 ⁺
Fe kg/ha (1/100)	2.21	0.982	lin.	3.15	+0.130 ^{NS}
Mn kg/ha (1/100)	4.86	3.16	lin.	3.16	+0.0919 ^{NS}
Al kg/ha (1/100)	24.3	9.77	lin.	3.17	+0.0589 ^{NS}
P _{Al} kg/ha (1/100)	1.61	1.18	lin.	3.13	+0.174 ^{NS}
P _{Fe} kg/ha (1/100)	3.70	2.26	lin.	3.12	+0.180 ^{NS}
P _{Ca} kg/ha (1/100)	0.57	0.252	lin.	3.11	+0.203 ^{NS}

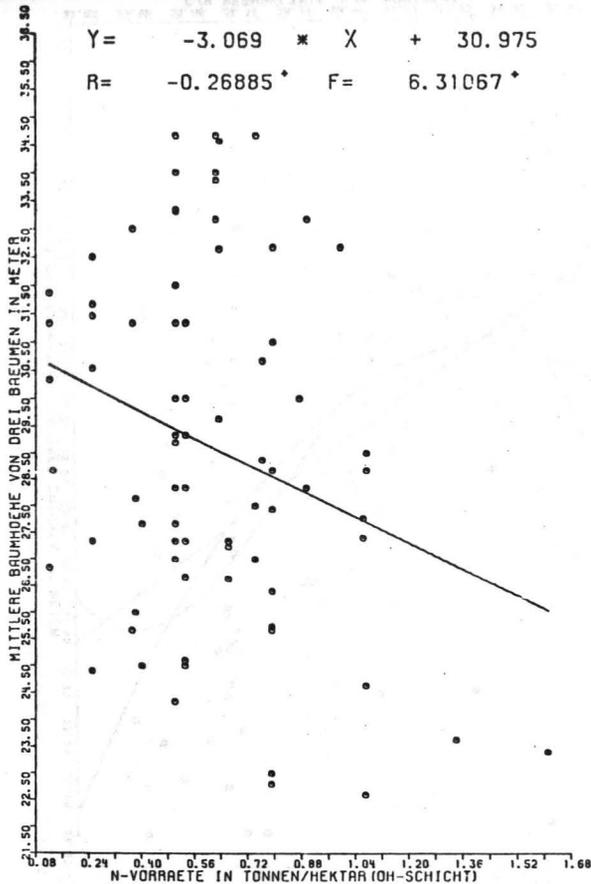
P _{Occl.} kg/ha (1/100)	10.61	4.55	lin.	3.11	+0.196 ^{NS}
P _{Org.} kg/ha (1/100)	3.77	2.67	lin.	3.14	+0.149 ^{NS}

O_H + A_h + Intensivwurzelschicht:

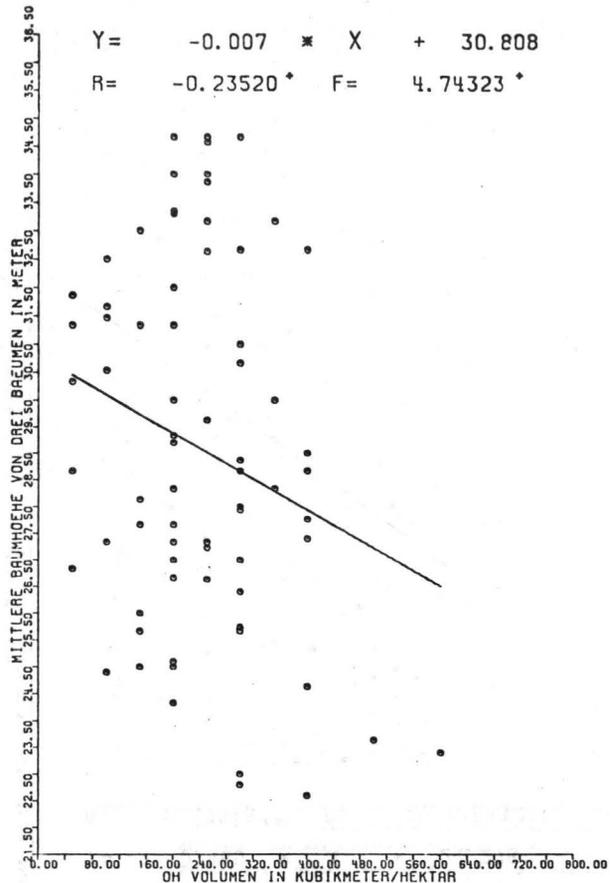
P _t kg/ha (1/100)	20.8	9.83	lin.	3.11	+0.201 ^{NS}
------------------------------	------	------	------	------	----------------------

A_h + Intensiv- + Extensivwurzelschicht:

Bodengewicht t/ha (1/1000)	10.5	3.28	lin.	2.79	+0.479 ⁺⁺⁺
Bodenvolumen m ³ /ha (1/1000)	7.13	2.02	lin.	2.90	+0.408 ⁺⁺⁺
Na kval/ha	11.3	4.62	quadr.	2.58	0.590 ⁺⁺⁺
K kval/ha	19.9	10.3	quadr.	2.75	0.507 ⁺⁺⁺
Ca kval/ha	67.	94.2	lin.	3.10	+0.221 ⁺
Mg kval/ha	27.2	32.7	kub.	3.02	0.339 ⁺
Fe kval/ha	10.2	4.51	lin.	2.98	+0.343 ⁺⁺
Mn kval/ha	27.0	14.2	quadr.	2.84	0.461 ⁺⁺⁺
Al kval/ha	425.	169.	lin.	3.03	+0.298 ⁺⁺
AK _e (Na+...+Al) kval/ha (1/100)	5.94	2.46	quadr.	2.88	0.435 ⁺⁺⁺
AK _e (H+Na+...+Al) kval/ha (1/100)	8.16	5.17	kub.	2.83	0.474 ⁺⁺⁺
Na kg/ha (1/100)	2.59	1.06	quadr.	2.58	0.590 ⁺⁺⁺
K kg/ha (1/100)	7.76	4.02	quadr.	2.75	0.507 ⁺⁺⁺
Ca kg/ha (1/100)	13.42	18.87	lin.	3.10	+0.221 ⁺
Mg kg/ha (1/100)	3.31	3.98	kub.	3.03	0.339 ⁺
Fe kg/ha (1/100)	2.84	1.26	lin.	2.98	+0.343 ⁺⁺
Mn kg/ha (1/100)	7.43	3.91	quadr.	2.84	0.461 ⁺⁺⁺
Al kg/ha (1/100)	38.2	15.2	lin.	3.03	+0.298 ⁺
P _{Al} kg/ha (1/100)	1.94	1.18	kub.	2.98	0.372 ⁺⁺
P _{Fe} kg/ha (1/100)	5.16	3.20	kub.	3.00	0.356 ⁺
P _{Ca} kg/ha (1/100)	0.819	0.358	lin.	2.95	+0.367 ⁺⁺⁺
P _{Occl.} kg/ha (1/100)	17.4	6.19	lin.	2.80	+0.469 ⁺⁺⁺
P _{Org.} kg/ha (1/100)	4.98	3.09	lin.	3.08	+0.241 ⁺
P _m (Al+Fe+Ca+Org.) kg/ha (1/100)	12.9	7.57	lin.	3.06	+0.269 ⁺



Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb.40; der N-Vorrat im O_H ist über das C/N Verhältnis an den C-Vorrat geknüpft. Die Korrelation ist also indirekt.



Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb.40.

Regressionsgleichungen

$Y = 39.586 - 0.353 X$	R	F
$Y = 80.422 - 3.097 X + 0.0453 X^2$	0.437^{***}	18.856^{***}
$Y = -172.54 + 22.557 X - 0.812 X^2 + 0.00943 X^3$	0.493^{***}	12.668^{***}
	0.536^{***}	10.494^{***}

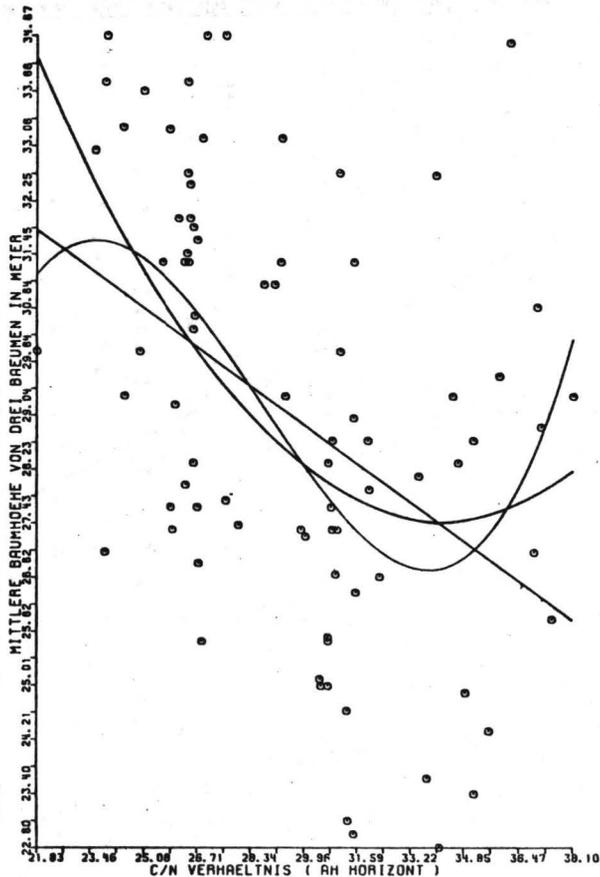
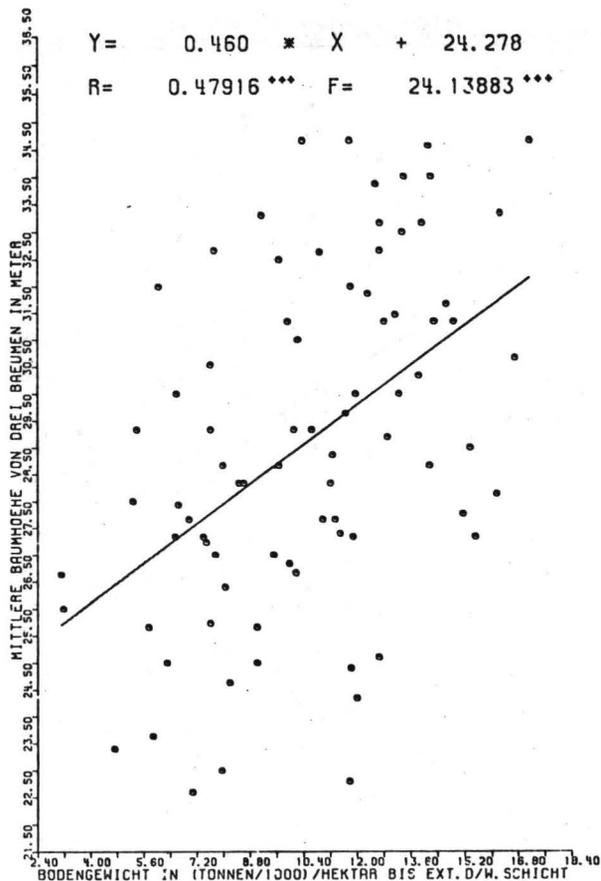


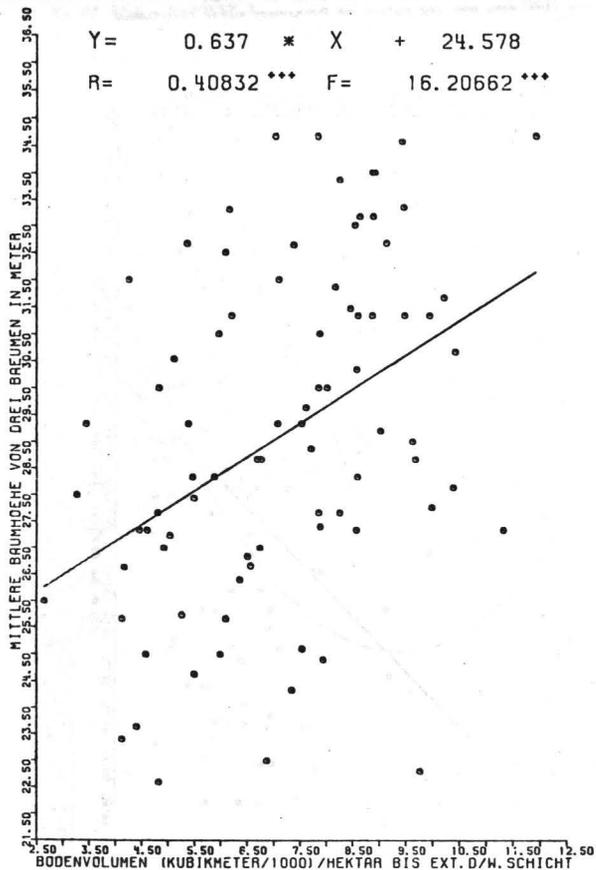
Abb. 44

$Y =$	0.460	\times	X	$+$	24.278
$R =$	0.47916^{***}	$F =$	24.13883^{***}		



Anmerkung: Die Beziehung spiegelt den Einfluß der Durchwurmelungstiefe wider.

Abb.45



Anmerkung: Siehe Anmerkung zu Abb.44.

Regressionsgleichungen

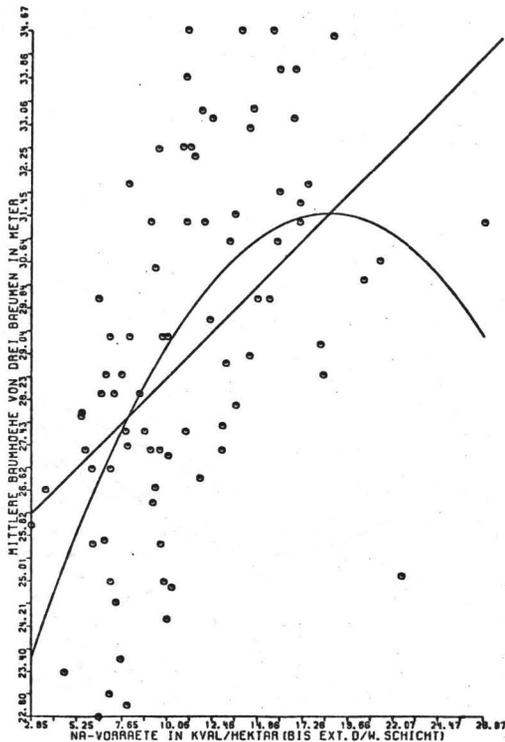
$$Y = 25.184 + 0.349 X$$

$$Y = 20.558 + 1.174 X - 0.0316 X^2$$

R

$$0.512^{***} \quad 28.353^{***}$$

$$0.590^{***} \quad 21.125^{***}$$



Anmerkung: Gemäß Abb.53 besteht eine positive Beziehung zwischen der effektiven Austauschkapazität und der Baumhöhe. Da die Anteil der austauschbaren Kationen an der AK_e nur geringfügig schwanken, schlägt die Beziehung zwischen AK_e und Baumhöhe auf die austauschbaren Kationenvorräte durch. Die Beziehungen sind also indirekt und lassen nicht unbedingt auf eine direkte Wirkung der einzelnen Ionen schließen.

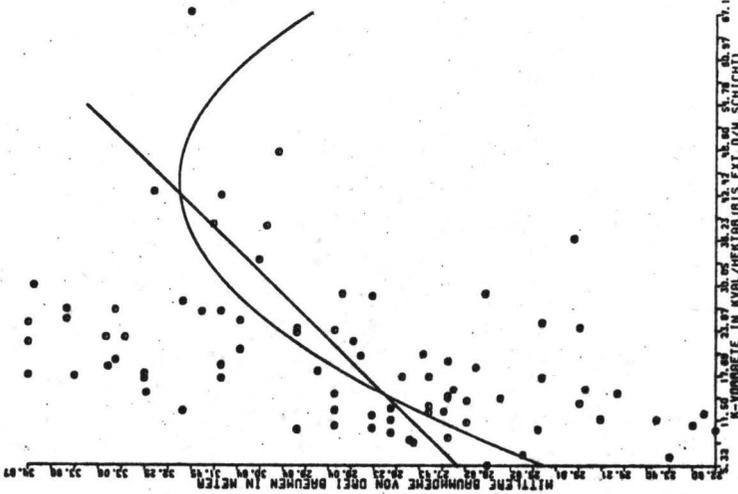
Abb. 47

Regressionsgleichungen

$$Y = 26.513 + 0.131 X$$

$$Y = 25.74 + 0.379 X - 0.00432 X^2$$

R	Z
0.427***	17.820***
0.507***	13.638***



Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb. 46. Bei dem Nährstoff Kalium könnte die Beziehung natürlicherweise auch direkter Art sein, indem nämlich die positive Beziehung nur AK über die gleichmäßig entstehenden Vorräte...

Abb. 48

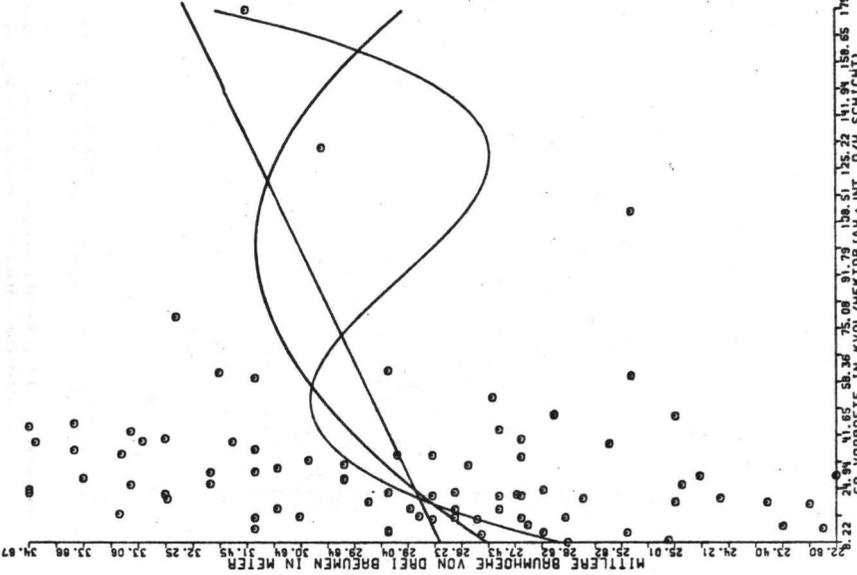
Regressionsgleichungen

$$Y = 28.399 + 0.0223 X$$

$$Y = 27.173 + 0.0811 X - 0.000398 X^2$$

$$Y = 24.96 + 0.244 X - 0.00327 X^2 + 0.000012 X^3$$

R	Z
0.182 NS	2.735 NS
0.254 NS	2.743 NS
0.343	3.457



CA-VORRETE IN KVRL/HEKTAR (ANT. INT. D/4. SCHICHT)

Abb. 49

Regressionsgleichungen

$$Y = 28,860 + 0,00937 X$$

$$Y = 27,515 + 0,103 X - 0,000661 X^2$$

$$Y = 25,818 + 0,262 X - 0,0036 X^2 + 0,0000134 X^3$$

$$R = 0,099^{NS}$$

$$R = 0,262^{NS}$$

$$R = 0,339^+$$

$$F = 0,796^{NS}$$

$$F = 2,900^{NS}$$

$$F = 3,375^+$$

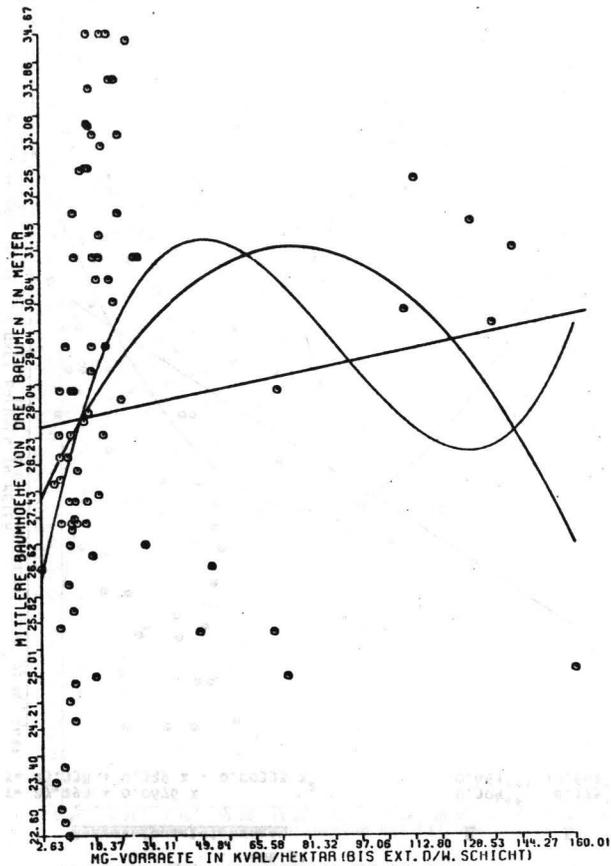
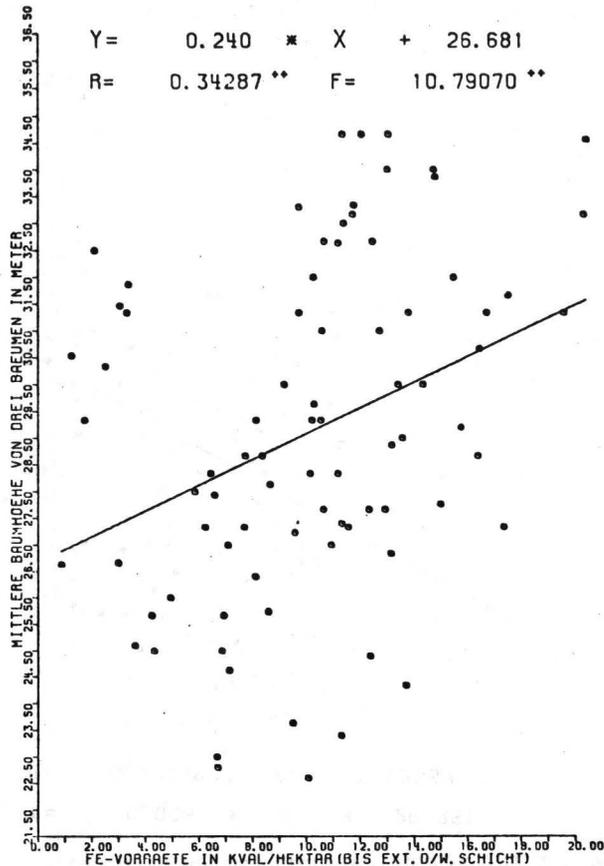


Abb. 50

$$Y = 0,240 * X + 26,681$$

$$R = 0,34287^{**} \quad F = 10,79070^{**}$$



Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb. 46.

Abb. 51

Regressionsgleichungen

$$Y = 27.293 + 0.0676 X$$

$$Y = 23.338 + 0.329 X - 0.00335 X^2$$

R

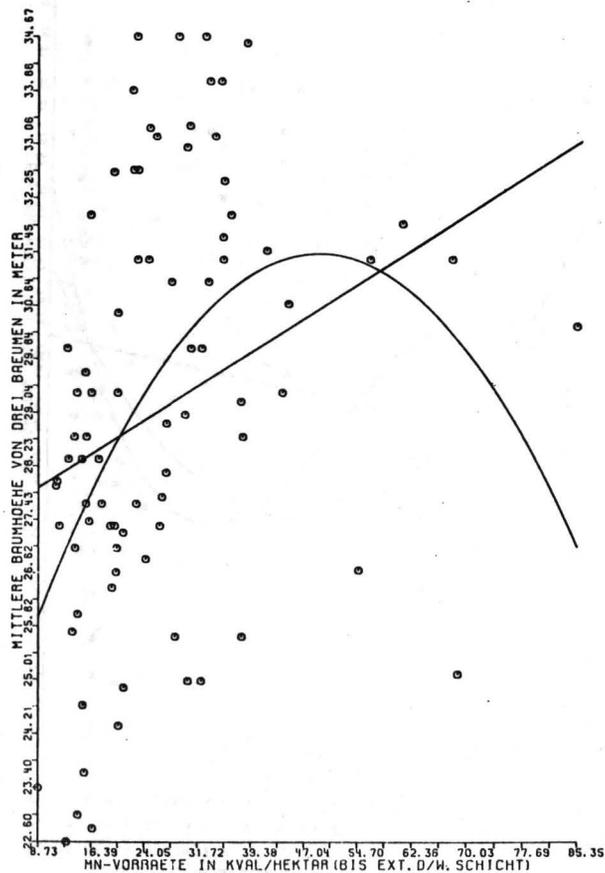
$$0.304^{**}$$

$$0.461^{***}$$

F

$$8.175^{**}$$

$$10.662^{***}$$

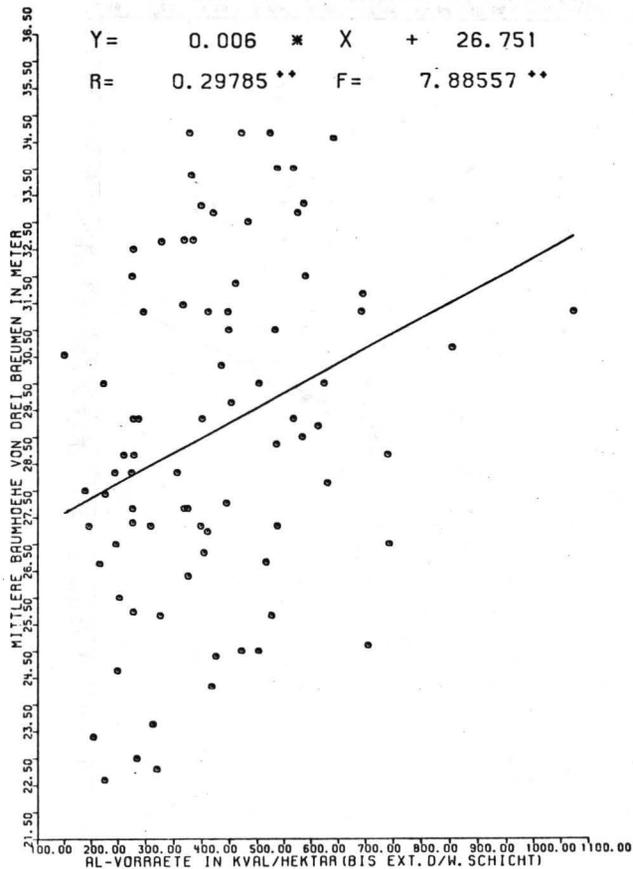


Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb.46.

Abb. 52

$$Y = 0.006 * X + 26.751$$

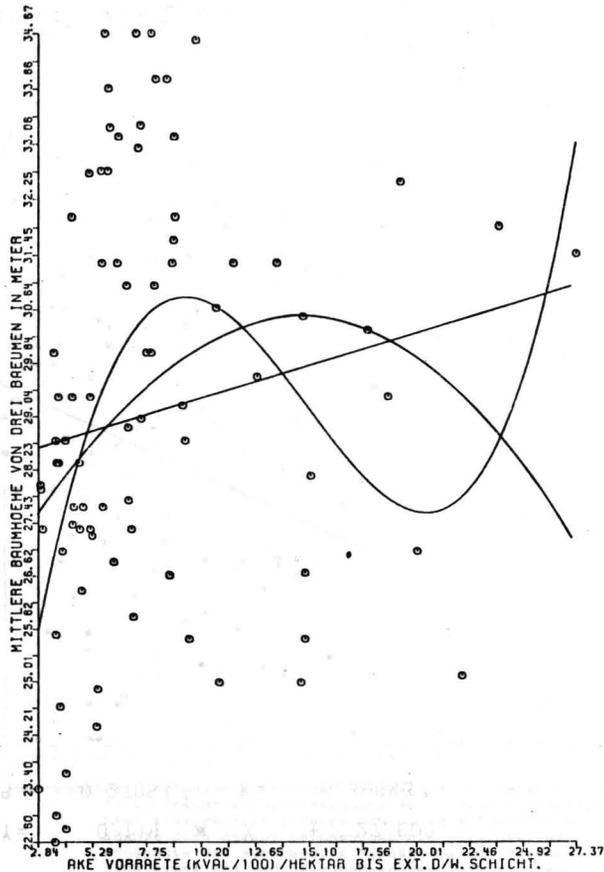
$$R = 0.29785^{**} \quad F = 7.88557^{**}$$



Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb.46.

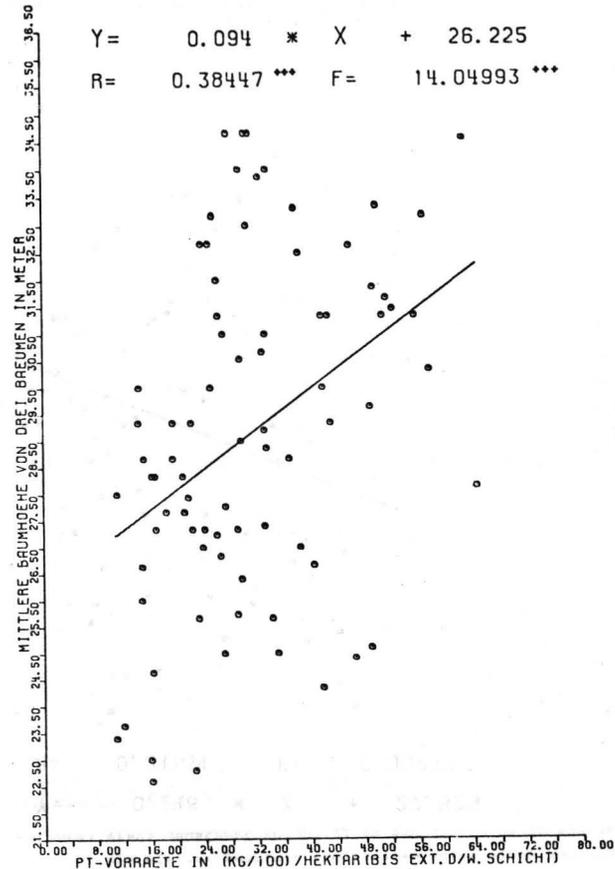
Regressionsgleichungen

$Y = 28,323 + 0,0978 X$	$0,160^{NS}$	$2,107^{NS}$
$Y = 26,037 + 0,616 X - 0,0209 X^2$	$0,282^+$	$3,409^+$
$Y = 19,330 + 2,869 X - 0,222 X^2 + 0,00494 X^3$	$0,474^{+++}$	$7,535^{+++}$



Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb.47.

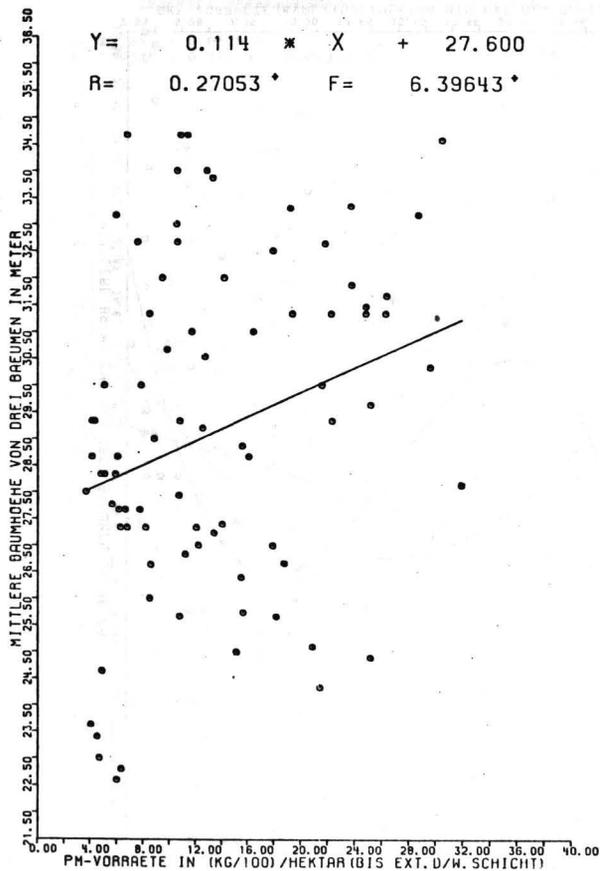
Abb. 54



$Y =$	$0,094$	$*$	X	$+$	$26,225$
$R =$	$0,38447$	$***$	$F =$	$14,04993$	$***$

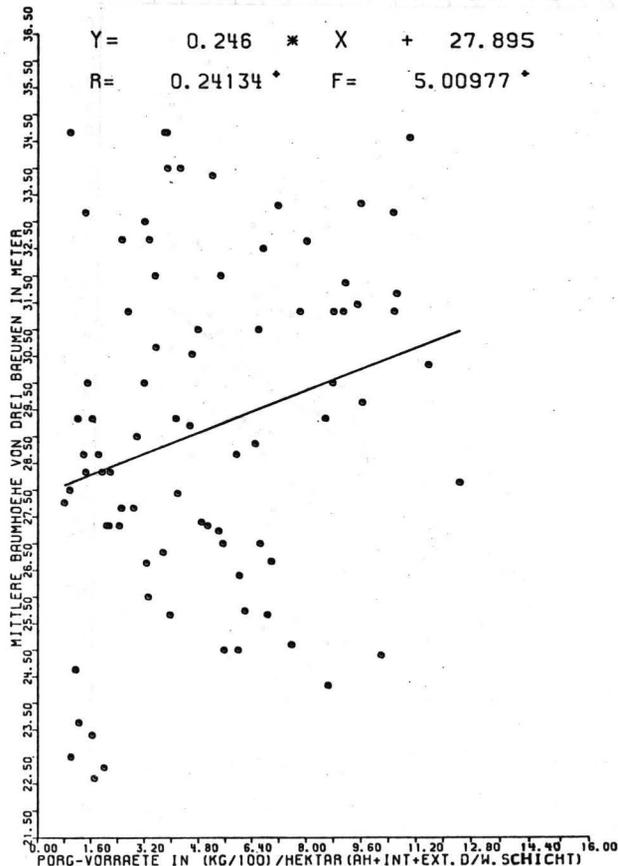
Anmerkung: Die Beziehung entspricht den Erwartungen.

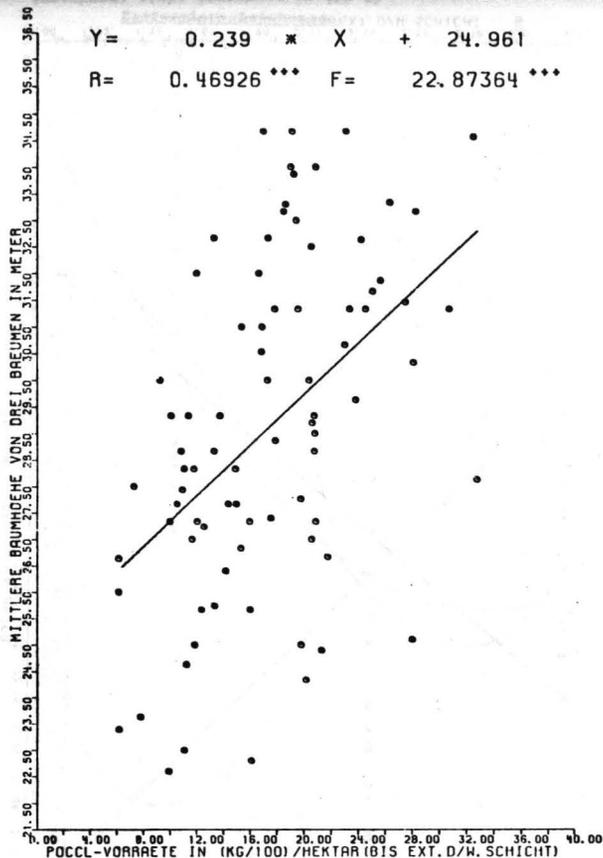
Abb. 55



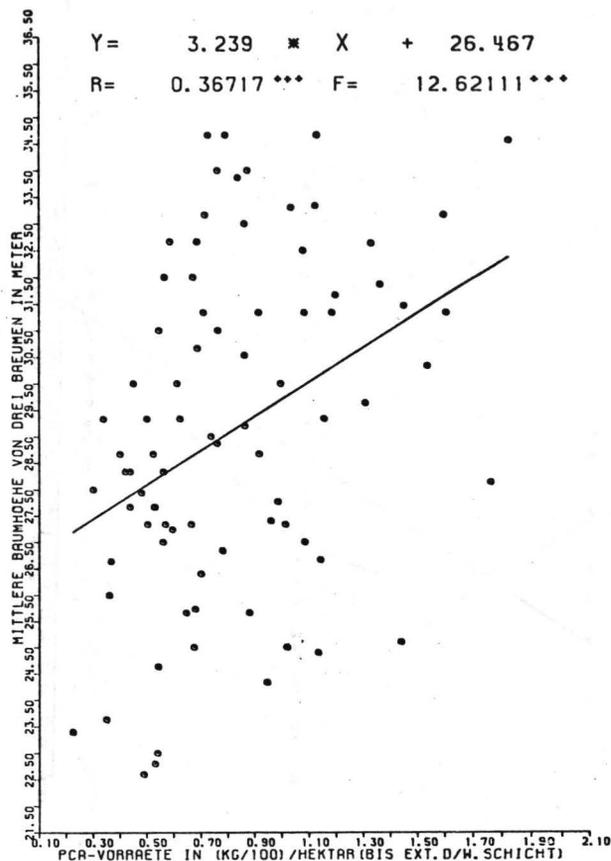
Anmerkung: Die Tatsache, daß die Beziehung zwischen mobilisierbaren P-Vorräten und der Baumhöhe geringer ist als für die Gesamt-P-Vorräte, ist von der ökologischen Definition des mobilisierbaren Phosphats wenig sinnvoll; sie könnte indirekt sein, vgl. Anmerkung zu Abb. 57.

Abb. 56





Anmerkung: Das okkludierte Phosphat sollte aus ökologischer Sicht in überhaupt keiner Beziehung zur Baumhöhe stehen. Wenn hier eine relativ strenge Beziehung aufscheint, so könnte dies darauf beruhen, daß die okkludierten Phosphate mit zunehmender Verrottung und Pseudovergleyung des Bodens zunehmen, das Auftreten von Staunässe als zusätzliche Wasserversorgung seinerseits in einer positiven Beziehung zum Zuwachs steht.



Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb. 57, in den sauren Böden entsprechen die als Ca-Phosphate ermittelten Werte einem säurelöslichen Anteil der okkludierten Phosphate.

Abb.59

Regressionsgleichungen

$$Y = 22.888 + 2.942 X$$

$$Y = 13.370 + 12.129 X - 2.0662 X^2$$

$$Y = 37.940 - 23.732 X + 14.494 X^2 - 2.431 X^3$$

R

$$0.535^{+++}$$

F

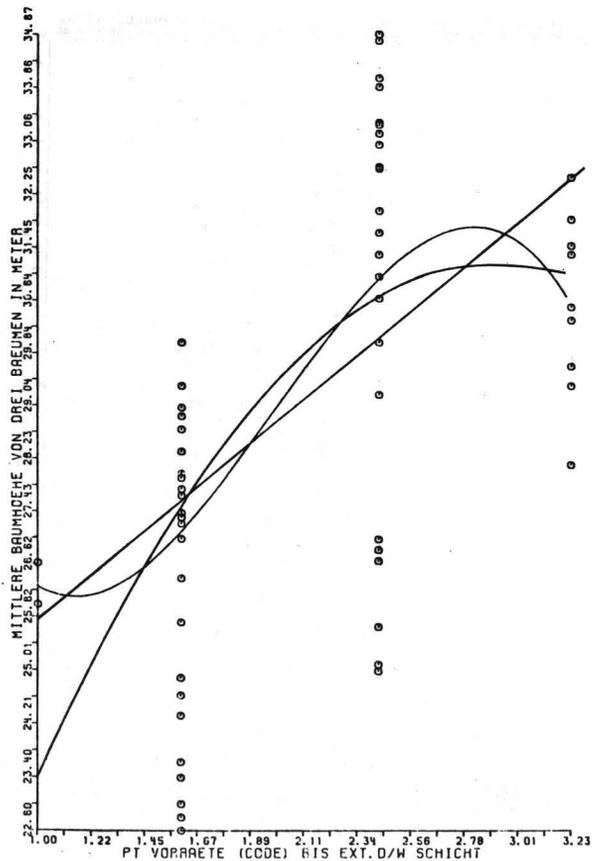
$$32.110^{+++}$$

$$0.582^{+++}$$

$$20.258^{+++}$$

$$0.610^{+++}$$

$$15.421^{+++}$$



Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb.54.

Abb.60

Regressionsgleichungen

$$Y = 24.731 + 2.721 X$$

$$Y = 15.091 + 14.356 X - 3.118 X^2$$

R

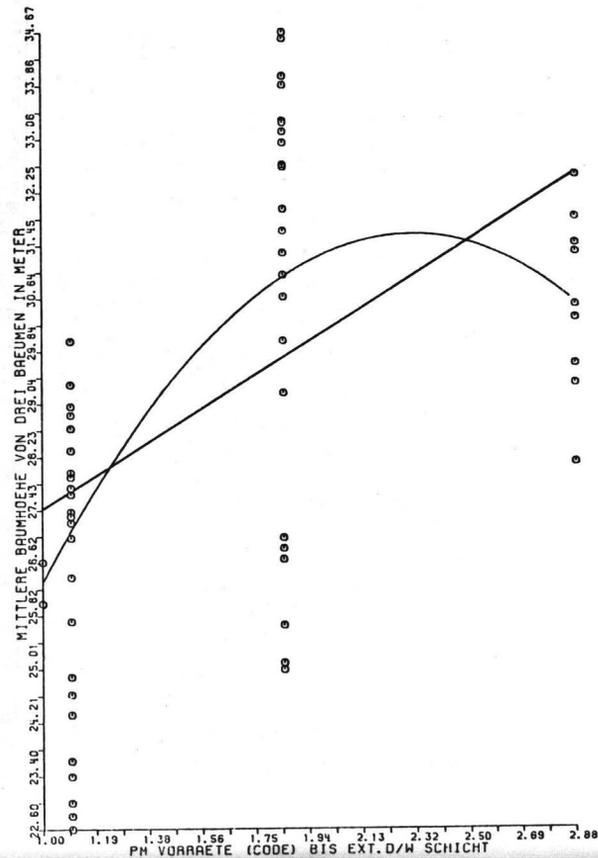
$$0.494^{+++}$$

F

$$25.897^{+++}$$

$$0.610^{+++}$$

$$23.474^{+++}$$

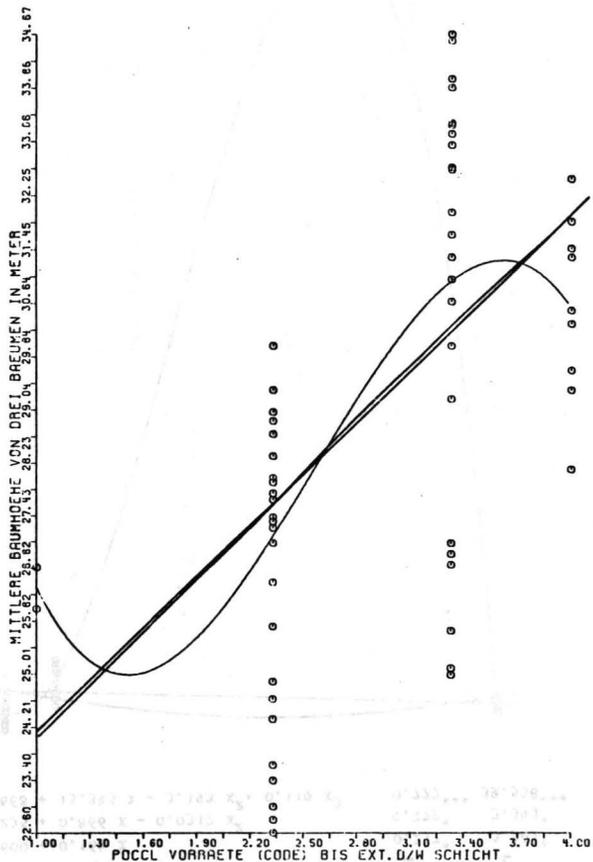


Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb.55.

Abb. 61

Regressionsgleichungen

$Y = 21.57 + 2.597 X$	$R = 0.551^{+++}$	$F = 34.811^{+++}$
$Y = 21.394 + 2.729 X - 0.0236 X^2$	$R = 0.551^{+++}$	$F = 17.189^{+++}$
$Y = 39.616 - 22.424 X + 10.501 X^2 - 1.363 X^3$	$R = 0.611^{+++}$	$F = 15.468^{+++}$

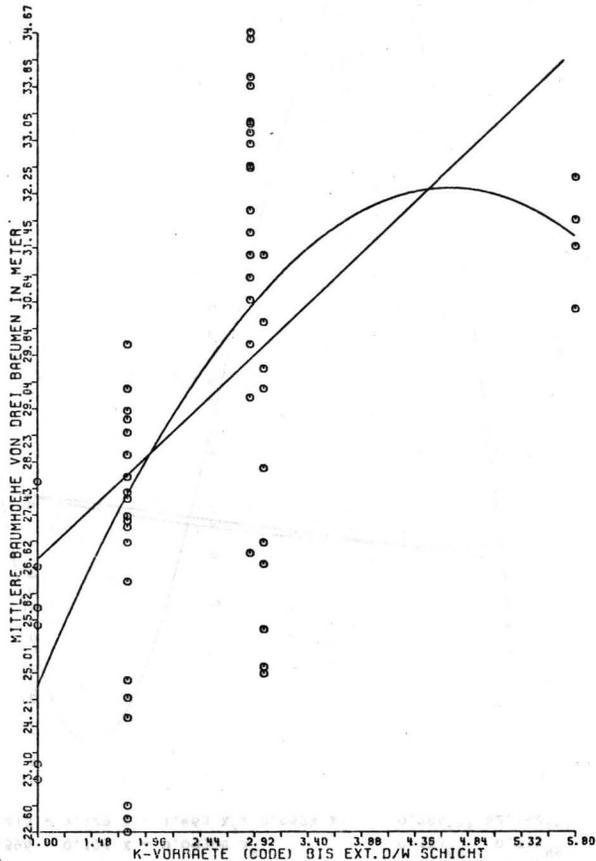


Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb. 57.

Abb. 62

Regressionsgleichungen

$Y = 25.147 + 1.602 X$	$R = 0.504^{+++}$	$F = 27.184^{+++}$
$Y = 20.150 + 5.226 X - 0.560 X^2$	$R = 0.597^{+++}$	$F = 21.881^{+++}$



Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb. 47.

Abb. 63

Regressionsgleichungen

$$Y = 28.600 + 0.164 X$$

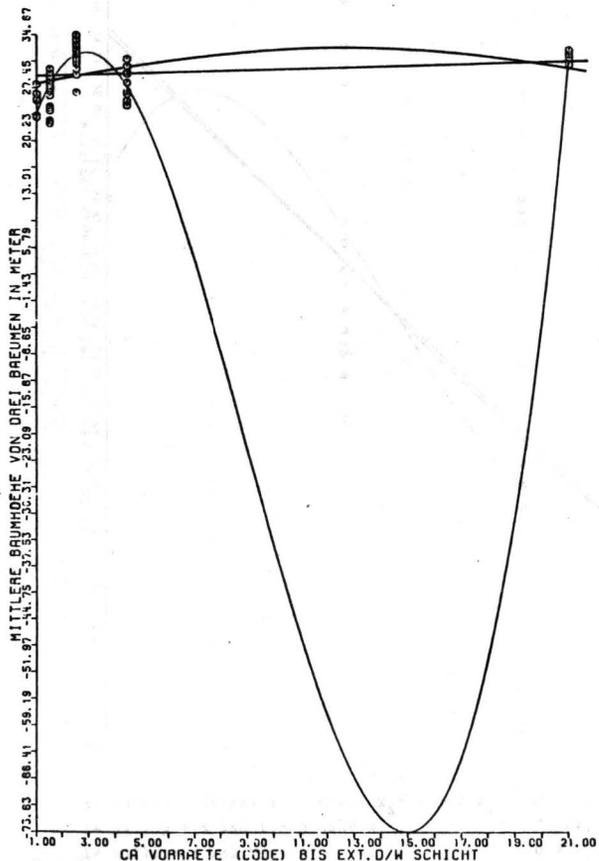
$$Y = 27.235 + 0.866 X - 0.0317 X^2$$

$$Y = 11.668 + 15.345 X - 3.193 X^2 + 0.119 X^3$$

R

0.217⁺

F

3.961⁺0.279⁺3.343⁺0.777⁺⁺⁺39.538⁺⁺⁺

Anmerkung: vgl. mit Abb. 48; die kubische Regression ist ein extremes Beispiel für die in Kapitel 3.3.3 gemachte

Abb. 64

Regressionsgleichungen

$$Y = 28.716 + 0.113 X$$

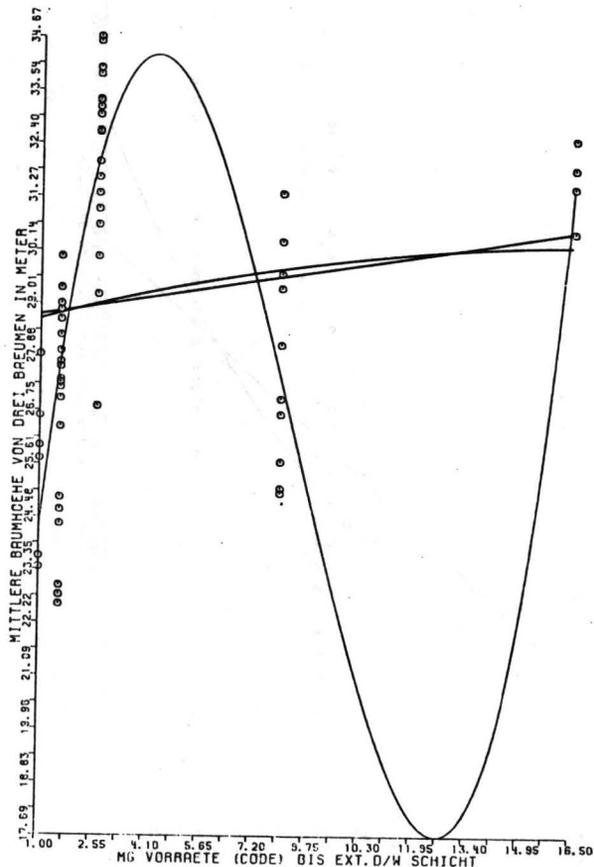
$$Y = 28.596 + 0.175 X - 0.00398 X^2$$

$$Y = 16.213 + 9.429 X - 1.463 X^2 + 0.0574 X^3$$

R

0.131^{NS}

F

1.406^{NS}0.133^{NS}0.713^{NS}0.786⁺⁺⁺42.152⁺⁺⁺

Anmerkung: vgl. Abb. 49 sowie Anmerkung zu Abb. 63.

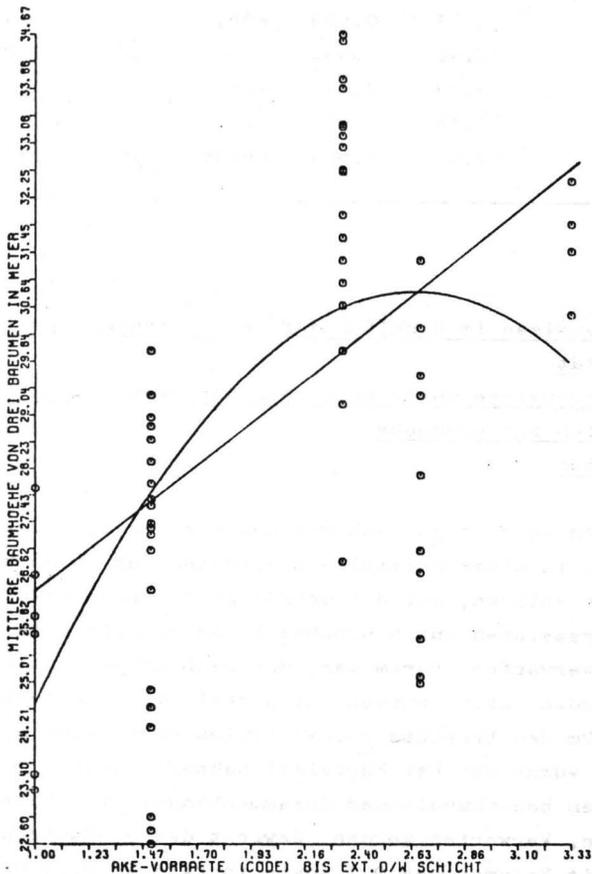
Abb.65

Regressionsgleichungen

$$Y = 23.793 + 2.654 X$$

$$Y = 14.890 + 12.082 X - 2.283 X^2$$

R	F
0.508 ^{***}	27.768 ^{***}
0.580 ^{***}	20.008 ^{***}



Anmerkung: siehe Anmerkung zu Abb.53.

O_H + A_h + Intensiv- + Extensivwurzelschicht:

P _t kg/ha (1/100)	30.8	12.9	lin.	2.93	+0.384 ⁺⁺⁺
P _m kg/ha (1/100)	13.8	7.49	lin.	3.06	+0.270 ⁺

Trophie-Code:

P _t -Code	2.12	0.574	kub.	2.55	0.610 ⁺⁺⁺
P _m -Code	1.61	0.573	quadr.	2.53	0.610 ⁺⁺⁺
P _{occl.} -Code	2.91	0.669	kub.	2.55	0.611 ⁺⁺⁺
K-Code	2.48	0.992	quadr.	2.56	0.597 ⁺⁺⁺
Ca-Code	3.18	4.19	kub.	2.03	0.777 ⁺⁺⁺
Mg-Code	3.58	3.67	kub.	1.99	0.786 ⁺⁺⁺
AK _e -Code	2.01	0.604	quadr.	2.60	0.580 ⁺⁺⁺

5.3 Parameterauslese im Hinblick auf Kennzeichnung der Standortsqualität

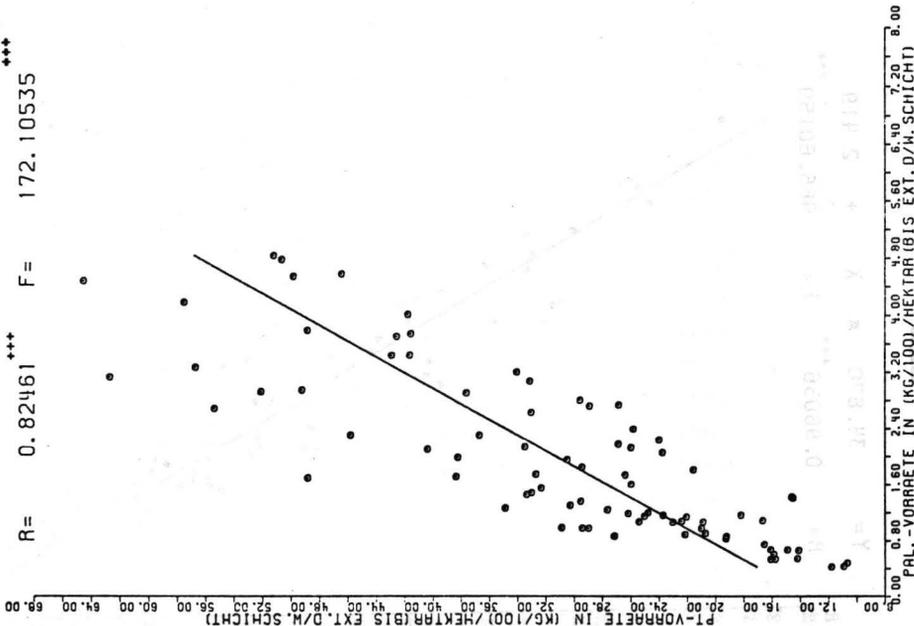
5.3.1 Parameterauslese unter Beachtung der Signifikanz der Regression zur Baumhöhe

5.3.1.1 Vorgehen

In einem ersten Schritt geschah die Auslese der unabhängigen Parameter, die in einer multiplen Regression zur Baumhöhe verrechnet werden sollten, auf der Grundlage der Ergebnisse der einfachen Regressionen zur Baumhöhe: Nicht signifikante Parameter wurden verworfen. Parameter, die nach diesen Kriterien ausgelesen worden waren, wurden auf Korrelationen untereinander geprüft. Um dem Ergebnis der multiplen Regression nicht vorzugreifen, wurde nur bei Korrelationskoeffizienten $> 0,8$ und eindeutigen bodenkundlichen Zusammenhängen eine Entscheidung getroffen. Verworfen wurden: Gewicht des O_H-Horizonts (korreliert mit Volumen des O_H) sowie Vorräte an P_{Al}, P_{Fe}, P_{Ca} und P_{Org} (korreliert mit P_t, vgl. Abb. 66 - 69).

Um den Effekt der Nadelspiegelwerte festzustellen und mit der Aussagekraft der Nährstoffvorräte im Boden zu vergleichen, wurden die Nadelspiegelwerte alle belassen, unabhängig davon,

Y = 9.032 * X + 13.263 ***
 R = 0.82461 ***
 F = 172.10535



Y = 3.838 * X + 111.031 ***
 R = 0.95007 ***
 F = 750.95919 ***

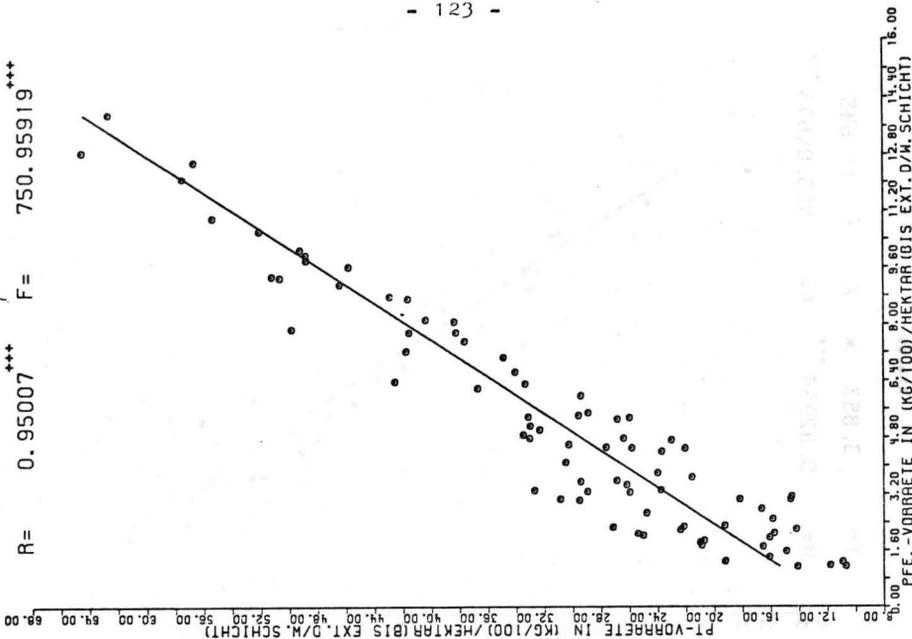


Abb. 68

Y = 34.670 * X + 2.419 ***
R = 0.96056 *** F = 966.60159 ***

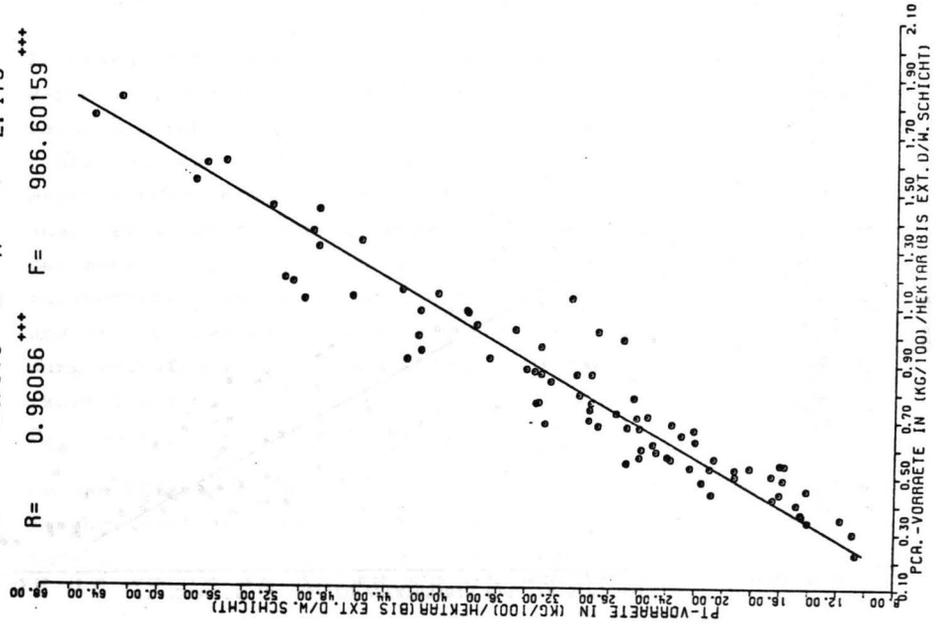
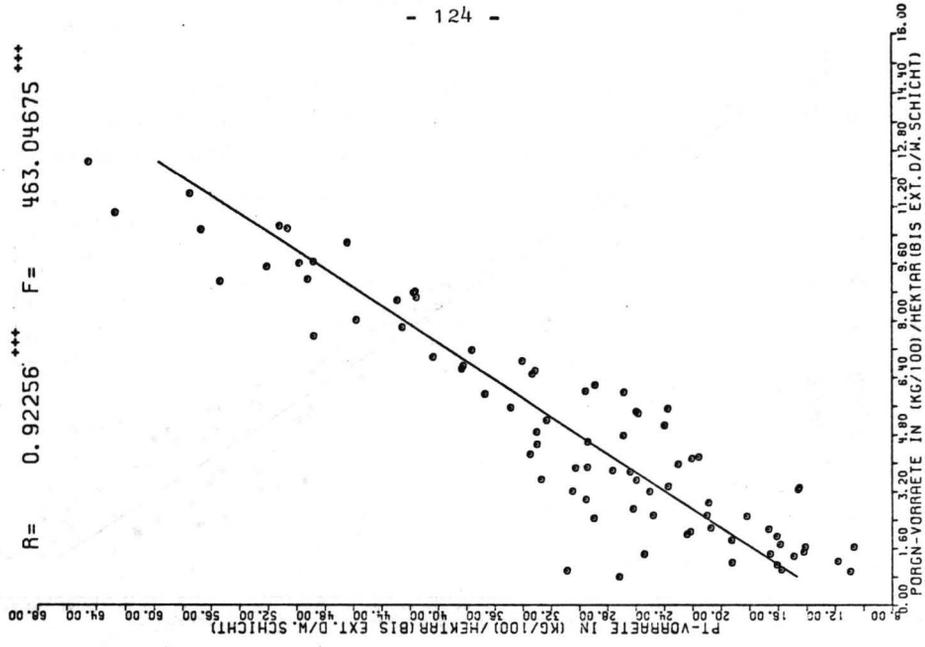


Abb. 69

Y = 3.853 * X + 11.645 ***
R = 0.92256 *** F = 463.04675 ***



ob sie bei der einfachen Regression eine signifikante Beziehung zur Baumhöhe aufwiesen.

Von der ursprünglichen Zahl von 220 unabhängigen Parametern sind nach dieser ersten Auslese 51 Parameter verblieben, die im folgenden aufgeführt sind. Mit ihnen wurde eine erste multiple Regression zur Baumhöhe berechnet:

Lfd. Nr.	Parameter	Regression zur Baumhöhe (Typ)
<u>Klimatische Parameter:</u>		
1	mittlerer Jahresniederschlag (mmj)	kub.
2	mittlerer Niederschlag - Vegetationszeit (mmVZ)	quadr.
3	mittlere Jahrestemperatur ($t_j^{\circ}\text{C}$)	lin.
4	mittlere Temperatur - Vegetationszeit ($tVZ^{\circ}\text{C}$)	lin.
5	Regenfaktor VIII (RF-VIII)	kub.
<u>Topographische Parameter:</u>		
6	Höhe ü. NN	lin.
7	Topocode (F)	kub.
<u>Mumusform-Parameter:</u>		
8	$O_H\text{-C} \%$ TM	lin.
9	$O_H\text{-N} \%$ TM	lin.
10	$O_H\text{-P}_t$ mg/100 g TM	lin.
11	$O_H\text{-C/N}$ Verhältnis	lin.
12	$O_H\text{-C/P}$ Verhältnis	lin.
<u>Morphologische Parameter:</u>		
13	Mächtigkeit O_H -Schicht	lin.
14	Ton + Schluff $A_H \%$	quadr.
15	Schluff Ext.W.Sch. $\%$	lin.
16	Ton + Schluff Ext.W.Sch. $\%$	lin.
17	Lagerungsdichte Code Int.W.Sch.	lin.
18	Lagerungsdichte Code Ext.W.Sch.	lin.
19	Wasserdurchlässigkeitsklasse Ext.W.Sch.	lin.
20	TRG Int.W.Sch.	lin.
21	TRG Ext.W.Sch.	kub.
22	GPV $\%$ Int.W.Sch.	lin.

23	Luftkapazität - A_h %	lin.
24	Luftkapazität - Int.W.Sch. %	lin.
25	Luftkapazität - Ext.W.Sch. %	lin.
	<u>Parameter des Bodenwasserhaushalts:</u>	
26	nWK mm + Zu-/Abschlag (nach Relief und Substratdichte)	lin.
27	Wasser-Code II (W C II)	lin.
	<u>Nadelspiegelwerte:</u>	
28	Asche %	lin.
29	N mg/g	lin.
30	P mg/g	lin.
31	K mg/g	kub.
32	Ca mg/g	kub.
33	Mg mg/g	lin.
	<u>Bodenchemische Parameter:</u>	
34	O_H -C/N	quadr.
35	O_H -C t/ha	lin.
36	O_H -N t/ha	lin.
37	O_H -Vol./ha	lin.
38	A_h -C/N	kub.
39	Ca-Vorrat (A_h +Int.W.Sch.) kval/ha	kub.
40	Bodengewicht (A_h +Int.-+Ext.W.Sch.) t/ha	lin.
41	Bodenvolumen (A_h +Int.-+Ext.W.Sch.)m ³ /ha	lin.
42	Na-Vorrat (A_h +Int.-+Ext.W.Sch.) kval/ha	quadr.
43	K-Vorrat (A_h +Int.-+Ext.W.Sch.) kval/ha	quadr.
44	Mg-Vorrat (A_h +Int.-+Ext.W.Sch.) kval/ha	kub.
45	Fe-Vorrat (A_h +Int.-+Ext.W.Sch.) kval/ha	lin.
46	Mn-Vorrat (A_h +Int.-+Ext.W.Sch.) kval/ha	quadr.
47	Al-Vorrat (A_h +Int.-+Ext.W.Sch.) kval/ha	lin.
48	AK _e -Vorrat (A_h +Int.-+Ext.W.Sch.)kval/ha	kub.
49	P _t -Vorrat (O_H + A_h +Int.-+Ext.W.Sch.)kg/ha	lin.
50	P _m -Vorrat (O_H + A_h +Int.-+Ext.W.Sch.)kg/ha	lin.
51	P _{occl.} -Vorrat (O_H + A_h +Int.-+Ext.W.Sch.) kg/ha	lin.

Da Faktoren, die quadratische bzw. kubische Beziehungen zur Baumhöhe aufweisen, dadurch in lineare Beziehungen umgewandelt werden, indem die Zahlenwerte in die entsprechende Potenz erhoben werden (vgl. Kapitel 3.3.3), erhöht sich die Zahl der Variablen auf 77.

5.3.1.2 Ergebnis der multiplen Regressionsanalyse

5.3.1.2.1 Regression unter Einbeziehung der Nadelspiegelwerte

Wie bereits erwähnt, sind nicht von allen Probeflächen Nadelproben entnommen worden. Dementsprechend wird zunächst von den 72 Beständen, von denen Nadelproben vorliegen, die multiple Regressionsanalyse unter Einbeziehung der Nadelspiegelwerte durchgeführt. Für die zur Potenz erhobenen Variablen mußten zur Vermeidung eines Overflow im Computer die Zahlenwerte um mehrere Zehnerpotenzen entsprechend der nachfolgenden Zusammenstellung verkleinert werden.

transformierte Faktoren	dividiert durch
mmj^2	10000
mmj^3	10000000
nmVZ^2	1000
RF-VIII^3	100
% Ton + Schluff - A_h^2	100
$O_H - C/N^2$	100
$A_h - C/N^2$	100
$A_h - C/N^3$	1000
Ca-Vorrat ($A_h + \text{Int. W. Sch.}$) kval/ha^2	100
Ca-Vorrat ($A_h + \text{Int. W. Sch.}$) kval/ha^3	1000
Mg-Vorrat ($A_h + \text{Int.} + \text{Ext. W. Sch.}$) kval/ha^3	100

Die Regressionsanalyse wurde mit dem Programm BMD 02 R durchgeführt, das schrittweise eine multiple lineare Regression berechnet. Bei jedem Schritt wird eine weitere Variable in die Regressionsgleichung aufgenommen und auf Signifikanz bei $P = 0,05$ geprüft. Die jeweils hinzugenommene Variable ist die-

Tab. 32: STEP NUMBER 75
VARIABLE REMOVED 35

MULTIPLE R .9867
STD. ERROR OF EST. 1.2738

ANALYSIS OF VARIANCE

	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F RA
REGRESSION	59	720.076	12.205	7.52
RESIDUAL	12	19.470	1.622	

VARIABLES IN EQUATION

VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE
----------	-------------	------------	-------------

		(CONSTANT -66.29979)		
Wasser Code II	2	.87910	.46251	3.6128
nWKmm+Zu-/Abschl.	3	-.04469	.04169	1.1493
Höhe ü NN	4	-.03273	.01547	4.4751
tj _c	5	5.86418	4.82189	1.4790
tvZ _c	6	-8.36742	4.72589	3.1348
mmj	7	.09531	.16932	.3169
mmVZ ₂	10	.47776	.23167	4.2528
mmVZ ₂	11	-.66687	.35116	3.6063
RF-VIII	12	-.35199	1.60503	.0481
RF-VIII ₃	14	.05369	.26076	.0424
T.C.(F) ₂	16	-.45842	.43752	1.0978
T.C.(F) ₃	17	.11949	.07374	2.6254
Tiefe-OH	18	23.15960	6.43889	12.9372
L.D.Int.D/W	19	-2.98190	1.26677	5.5410
L.D.Ext.D/W	20	.59233	.67531	.7694
TRG-Int.D/W	21	-8.31034	7.71529	1.1602
TRG-Ext.D/W ₂	23	14.17812	10.65640	1.7702
TRG-Ext.D/W ₃	24	-7.95235	4.60455	2.9827
Schluff%Ext.	25	-.10619	.13519	.6170
(T+Schluff)%-Ah	26	-.13872	.19952	.4834
(T+Sch-Ah)% ₂	27	-.01475	.17051	.0075
(T+Sc)%-Ext.	28	.13818	.10229	1.8249
GPV-%Int.	29	-.13937	.13351	1.0897
LK %-Ah	30	-.25524	.07762	10.8131
LK %-Int.	31	.11586	.09839	1.3868
LK %-Ext.	32	.24691	.25692	.9236
WDLK Klasse-Ext.	33	-1.71288	1.36572	1.5730
C/N-Humusform.	34	-1.73560	1.30811	1.7604
C %-Humusform.	36	.68305	.61145	1.2479
Bodengewicht.	39	4.38136	1.91005	5.2617
Bodenvolumen.	40	-4.97561	2.52714	3.8765
C Ton/ha(OH)	43	-2.76577	.74804	13.6704
C/N-Ah ₃	46	8.42211	2.40619	12.2513
C/N-Ah ₂	48	-2.65302	.77992	11.5714
Pm Vorrat.	50	.23634	.17991	1.7258
Poccl.Vorrat.	51	-.95034	.38039	6.2416
Ca KVal/ha ₂	52	-.16780	.17456	.9240
Ca KVal/ha ₃	53	.43443	.24209	3.2202
Ca KVal/ha ₂	54	-.02176	.00942	5.3355
Na KVal/ha	56	.02749	.02080	1.7462
K KVal/ha ₂	57	1.08440	.46002	5.5569
K KVal/ha	58	-.01261	.00534	5.5718
Mg KVal/ha ₂	59	.11439	.10995	1.0823
Mg KVal/ha ₂	60	-.00214	.00097	4.8305
Fe KVal/ha	62	.04589	.21168	.0470
Mn KVal/ha ₂	63	-.72010	.29467	5.9721
Mn KVal/ha	64	.00800	.00301	7.0719

Al KVal/Ha	65	-.01670	.00977	2.9234
Ake KVal/Ha ₃	66	-.19570	.62204	.0990
Ake KVal/Ha ₃	68	.00234	.00108	4.9377
Nadel-Asche%	69	-3.46365	1.59157	4.7361
Nadel-N	70	-.29637	.37931	.6105
Nadel-P	71	.16132	.27984	.3323
Nadel-Ca	73	1.08000	1.29865	.6916
Nadel-Mg	74	-2.39862	1.69450	2.0037
Nadel-K ₂	75	.05166	.21491	.0578
Nadel-K ₂	76	.00172	.02292	.0056
Nadel-Ca ₃	77	-.09626	.11330	.7218
Nadel-Ca ₃	78	.00342	.00673	.2580

F-LEVEL OR TOLERANCE INSUFFICIENT FOR FURTHER COMPUTATION

VARIABLES NOT IN EQUATION

VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER	
mmj ₂	7	-.16373	.0001	.3030
mmj	8	-.10887	.0000	.1319
RF-VIII ²	13	.39531	.0000	2.0374
Topo C(F)	15	.10110	.0003	.1136
TRG-Ext.	22	-.24354	.0000	.6936
C/P-OH	35	.01371	.0001	.0021
NS-OH	37	-.01322	.0000	.0019
Pt-H/Form ₃₈	38	-.00472	-.0000	-.0002
C/N-OH ²	41	.01543	.0000	.0026
C/N-OH ²	42	.01190	.0000	.0016
N Ton/H	44	-.16665	.0000	.3142
OH-Vol/H	45	-.21415	.0000	.5287
C/N-AH ²	47	-.41970	.0000	2.3519
Pt Kg/H	49	.12734	.0000	.1813
Na KVal	55	-.11346	.0007	.1434
MgKVal ₃	61	.29839	.0002	1.0752
Ake ²	67	-.41384	.0000	2.2732
Nadel-K	72	.41484	.0001	2.2865

Tabelle 33:

SUMMARY TABLE

STEP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE		INCREASE IN RSQ	F VALUE TO ENTER OR REMOVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED
	ENTERED	REMOVED	R	RSQ			
1 W.C-II	2		.7665	.6875	.5875	99.7075	1
2 N%-OH	37		.8126	.6603	.0728	14.7936	2
3 mmVZ	10		.8308	.6903	.0299	6.5674	3
4 LK-Ah	30		.8449	.7139	.0237	5.5446	4
5 LK-Int.	31		.8564	.7334	.0195	4.8206	5
6 nWKmm+Zu-/Absch.3	69		.8652	.7485	.0151	3.9055	6
7 Nadel-Asche%	69		.8736	.7631	.0146	3.9437	7
8 Nadel-Ca ³	78		.8825	.7788	.0157	4.4609	8
9 LK-Ext.	32		.8904	.7928	.0140	4.1831	9
10 Höhe ü NN	4		.8947	.8004	.0077	2.3499	10
11 Poccl.Vorrat.	51		.8994	.8088	.0084	2.6336	11
12 T.C.(F) ²	17		.9034	.8161	.0073	2.3285	12
13 T.C.(F) ²	16		.9110	.8299	.0138	4.6890	13
14 mmVZ ²	11		.9161	.8393	.0094	3.3385	14
15 Pm Vorrat.	50		.9190	.8445	.0052	1.8818	15
16 C Ton(OH)/Ha	43		.9233	.8524	.0080	2.9641	16
17 Mg KVal ²	61		.9260	.8575	.0051	1.9281	17
18 (T+Sch)%-Ah	26		.9296	.8641	.0066	2.5589	18
19 K KVal/Ha	57		.9320	.8687	.0046	1.8046	19
20 Nadel-K ³	76		.9353	.8747	.0061	2.4732	20
21 K KVal/Ha ²	58		.9378	.8794	.0047	1.9524	21
22 Mg KVal/Ha ²	60		.9400	.8836	.0042	1.7561	22
23 C/P-OH	35		.9423	.8880	.0043	1.8634	23
24 C/N-Humysform	34		.9469	.8965	.0086	3.8934	24
25 Nadel-K ²	75		.9479	.8985	.0020	.8961	25
26 Nadel-Mg.	74		.9489	.9005	.0020	.8866	26
27 WDLKklasse-Ext.33	33		.9505	.9035	.0031	1.4045	27
28 (T+Sc)%-Ah	27		.9517	.9057	.0022	.9862	28
29 Schluff%-Ext.	25		.9527	.9077	.0020	.9022	29
30 GPV%-Int.	29		.9536	.9093	.0016	.7196	30
31 Mn KVal/Ha ²	64		.9544	.9109	.0016	.7216	31
32 Mn KVal/Ha	63		.9549	.9118	.0009	.4063	32
33 TRG-Int. ³	21		.9553	.9127	.0009	.3824	33
34 TRG-Ext.	24		.9561	.9141	.0015	.6266	34

35 N KVal/Ha ²	56	•9570	•9159	•0017	•7384	35
36 Bodengewicht.	39	•9574	•9166	•0008	•3287	36
37 Nadel-Ca ²	77	•9581	•9179	•0013	•5230	37
38 Nadel-Ca	73	•9610	•9235	•0056	2•3968	38
39 Ake KVal/Ha	66	•9615	•9244	•0009	•3908	39
40 Al KVal/Ha	65	•9620	•9254	•0010	•4256	40
41 Fe KVal/Ha	62	•9625	•9263	•0009	•3790	41
42 RF-VIII ⁵	14	•9628	•9270	•0007	•2689	42
43 t _j C	5	•9640	•9292	•0022	•8656	43
44 GPV ₃ -Int.....	29	•9640	•9292	-•0000	•0009	42
45 mmj	9	•9647	•9307	•0015	•6178	43
46 Pm Vorrat.....	50	•9647	•9307	-•0000	•0022	42
47 Nadel-P	71	•9659	•9329	•0022	•9147	43
48 Tiefe-OH	18	•9673	•9356	•0027	1•1301	44
49 (T+Sch)%-Ext.	28	•9682	•9374	•0018	•7333	45
50 RF-VIII	12	•9695	•9399	•0025	1•0558	46
51 C/N-Ah ₃	46	•9724	•9456	•0057	2•5039	47
52 C/N-Ah ₃	48	•9752	•9511	•0055	2•5784	48
53 Bodenvolumen.	40	•9760	•9526	•0015	•7129	49
54 Pm Vorrat.	50	•9775	•9555	•0029	1•3542	50
55 L.D.Int.	19	•9781	•9567	•0012	•5725	51
56 Ca KVal/Ha ³	54	•9785	•9574	•0007	•3063	52
57 Ake KVal/Ha ³	68	•9793	•9591	•0017	•7282	53
58 Ca KVal/Ha ²	53	•9826	•9654	•0064	3•1303	54
59 tVZ C	6	•9830	•9664	•0009	•4470	55
60 Na KVal/Ha ²	56	•9830	•9664	-•0000	•0030	54
61 L.D.Ext.	20	•9835	•9672	•0008	•4017	55
62 Ca KVal/Ha	52	•9838	•9679	•0007	•3470	56
63 N%-OH.....	37	•9838	•9679	-•0000	•0023	55
64 TRG-Ext.	23	•9840	•9683	•0004	•1823	56
65 Na KVal/Ha ²	56	•9844	•9690	•0007	•3120	57
66 Nadel-P.....	71	•9844	•9690	-•0000	•0031	56
67 GPV ₃ -Int.	29	•9848	•9699	•0009	•3996	57
68 Mg KVal/Ha ³	61	•9848	•9699	-•0000	•0003	56
69 LK ₃ -Ext.....	32	•9848	•9699	-•0000	•0022	55
70 Mg KVal/Ha	59	•9856	•9714	•0015	•7864	56
71 Nadel-N	70	•9859	•9720	•0007	•3331	57
72 LK%-Ext.	32	•9862	•9725	•0005	•2364	58
73 C%-Humusform.	36	•9865	•9731	•0006	•2522	59
74 Nadel-P	71	•9868	•9737	•0006	•2479	60
75 C/P-CH.....	35	•9867	•9737	-•0000	•0021	59

Tabelle 34:

STEP NUMBER 66
VARIABLE ENTERED 70

MULTIPLE R .9716
STD. ERROR OF EST. 1.2502

ANALYSIS OF VARIANCE

	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F RATIO
REGRESSION	52	761.315	14.641	9.367
RESIDUAL	29	45.325	1.563	

VARIABLES IN EQUATION
VARIABLE COEFFICIENT STD. ERROR F TO REMOVE

VARIABLES NOT IN EQUATION
VARIABLE PARTIAL CORR. TOLERANCE F TO ENTER

VARIABLES IN EQUATION				VARIABLES NOT IN EQUATION			
VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE	VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER
(CONSTANT	-148.75306						
W.C.-II	.69892	.33226	4.4248	mmj ²	.41347	.0000	5.7740
nWKmm+Zu-/Absch	-.00296	.02225	.0177	R.F.VIII ¹²	-.32133	.0001	3.2240
Höhe ü.NN	-.03503	.00783	20.0333	T.C.(F)	-.04738	.0005	.0630
tj ₀ C	-7.47206	2.82637	6.9891	Tiefe-OH ¹⁸	-.10809	.0000	.3310
tVZ ₀ C	5.34098	2.84091	3.5345	TRG-Ext	-.16659	.0001	.7992
mmj ₃	-.15669	.04748	10.8925	WDLKK-Ex ³³	.00434	.0492	.0005
mmj ₇	.00000	.00000	.0000	C%-H/for ²⁶	-.00535	.0041	.0008
mmVZ ₂	1.42302	.33147	18.4300	N%-H/F	-.00509	.0123	.0007
mmVZ ₁₁	-.00211	.00050	18.0254	Pt-H/F	-.00351	.0006	.0003
R.F.VIII ²	.04519	.05294	.7287	C/N-OH ₂	-.00056	.0000	.0000
R.F.VIII ³	-.00173	.00224	.5985	C/N-OH ⁴²	-.00411	.0000	.0018
T.C.(F) ²	-.50767	.29496	2.9625	N T/H(OH) ⁴⁴	-.17202	.0001	.8538
T.C.(F) ³	.09694	.05393	3.2304	C/N-An ⁴⁷	.04032	.0000	.0456
L.D.-Int.	-.84901	.69956	1.4729	Poccl.	.51	.0006	.7592
L.D.-Ext.	.05483	.50576	.0118	Ake KVal ⁵⁸	.07105	.0001	.1421
TRG-Int.	-1.28216	3.48424	.1211				

LIST OF RESIDUALS		CASE RESIDUAL				CASE RESIDUAL			
		1	2	3	4	5	6	7	8
23	TRG-Ext. ²	2.6426	6.17556	10.03901	2.6426	6.17556	10.03901	2.6426	6.17556
24	TRG-Ext. ³	4.0608	2.60066	-5.24068	4.0608	2.60066	-5.24068	4.0608	2.60066
25	(Sch.)-%-Ext.	0.4518	0.0764	-0.1518	0.4518	0.0764	-0.1518	0.4518	0.0764
26	(T+Sch)%-Ah ²	0.2910	0.0813	-0.0745	0.2910	0.0813	-0.0745	0.2910	0.0813
27	(T+Sch)%-Ah ²	0.0022	0.0084	-0.0022	0.0084	-0.0022	0.0084	0.0022	0.0084
28	(T+Sch)%-Ext.	0.0746	0.0384	0.0746	0.0384	0.0746	0.0384	0.0746	0.0384
29	GPV-Int.	0.0938	0.09203	0.0938	0.09203	0.0938	0.09203	0.0938	0.09203
30	LK-Ah	0.04251	0.6324	0.04251	0.6324	0.04251	0.6324	0.04251	0.6324
31	LK-Int.	0.14852	0.7907	0.14852	0.7907	0.14852	0.7907	0.14852	0.7907
32	LK-Ext.	0.0442	0.0746	0.0442	0.0746	0.0442	0.0746	0.0442	0.0746
33	Z/N-Rumusform	2.66224	2.56624	-2.66224	2.56624	-2.66224	2.56624	2.66224	2.56624
34	Z/P-Rumusform	0.4450	0.99450	0.4450	0.99450	0.4450	0.99450	0.4450	0.99450
35	Z/P-Rumusform	1.26339	0.9976	1.63103	0.9976	1.63103	0.9976	1.26339	0.9976
39	Godengewicht	2.8647	1.26253	-2.13670	2.8647	1.26253	-2.13670	2.8647	1.26253
40	Godenvolumen	8.4223	3.5045	-1.01705	8.4223	3.5045	-1.01705	8.4223	3.5045
43	S-Ton/ha(OH)	0.3150	0.90810	0.3150	0.90810	0.3150	0.90810	0.3150	0.90810
45	DH-Vol/ha	8.3714	0.0028	2.62745	8.3714	0.0028	2.62745	8.3714	0.0028
46	Z/N-Ah	0.0081	0.26400	-1.01705	0.0081	0.26400	-1.01705	0.0081	0.26400
48	Z/N-Ah ³	6.077	2.6400	2.2580	6.077	2.6400	2.2580	6.077	2.6400
49	tt-Vorrat.	0.6077	0.26400	-1.01705	0.6077	0.26400	-1.01705	0.6077	0.26400
50	tm-Vorrat.	0.9451	3.6724	3.9597	0.9451	3.6724	3.9597	0.9451	3.6724
52	Ca Kval/ha	1.3646	0.8298	-0.9693	1.3646	0.8298	-0.9693	1.3646	0.8298
53	Ca Kval/ha	2.9463	0.0121	0.0207	2.9463	0.0121	0.0207	2.9463	0.0121
54	Ca Kval/ha	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
55	Ca Kval/ha ²	1.7182	0.6378	0.9042	1.7182	0.6378	0.9042	1.7182	0.6378
56	Ca Kval/ha	0.1395	0.01395	-0.1365	0.1395	0.01395	-0.1365	0.1395	0.01395
57	Ca Kval/ha	3.6680	0.28988	2.8988	3.6680	0.28988	2.8988	3.6680	0.28988
58	Ca Kval/ha	0.0372	0.0372	0.0154	0.0372	0.0372	0.0154	0.0372	0.0372
59	Ca Kval/ha ²	1.6117	0.16117	0.1633	1.6117	0.16117	0.1633	1.6117	0.16117
60	Ca Kval/ha ²	0.0249	0.0249	-0.0739	0.0249	0.0249	-0.0739	0.0249	0.0249
61	Ca Kval/ha	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
62	Ca Kval/ha	4.8345	1.8345	0.4040	4.8345	1.8345	0.4040	4.8345	1.8345
63	Ca Kval/ha ²	0.6812	0.18578	-1.5333	0.6812	0.18578	-1.5333	0.6812	0.18578
64	Ca Kval/ha ²	0.0195	0.0195	0.0140	0.0195	0.0195	0.0140	0.0195	0.0195
65	Al Kval/ha	2.0612	0.0631	0.0905	2.0612	0.0631	0.0905	2.0612	0.0631
66	Al Kval/ha	1.2978	0.55854	-0.3629	1.2978	0.55854	-0.3629	1.2978	0.55854
67	Al Kval/ha	0.6892	0.02412	0.07002	0.6892	0.02412	0.07002	0.6892	0.02412

F-LEVEL OR TOLERANCE INSUFFICIENT FOR FURTHER COMPUTATION

Tabelle 35:

SUMMARY TABLE

STEP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE		INCREASE IN RSQ	F VALUE TO ENTER OR REMOVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED
	ENTERED	REMOVED	R	RSQ			
1	Wasser Code-II	7	.7564	.5721	.5721	106.9488	1
2	N%-Humusform	37	.7814	.6105	.0385	7.8003	2
3	mmVZ	10	.7892	.6229	.0123	2.5482	3
4	mmVZ ²	11	.7996	.6394	.0166	3.5417	4
5	Höhe ü NN	4	.8120	.6593	.0199	4.4368	5
6	K KVal/Ha	57	.8261	.6825	.0231	5.4640	6
7	LK-Int.	31	.8370	.7005	.0181	4.4627	7
8	nWKmm+Zu-/Absch.	3	.8481	.7192	.0187	4.6662	8
9	C Ton/Ha(OH)	43	.8570	.7345	.0153	4.1388	9
10	K KVal/Ha ²	58	.8664	.7506	.0162	4.5987	10
11	tj ^o C	5	.8777	.7703	.0197	6.0017	11
12	C/P-Humusform	35	.8883	.7891	.0187	6.1270	12
13	LK-Ah	30	.8971	.8049	.0158	5.5085	13
14	Mg KVal/Ha ³	61	.9018	.8132	.0084	.0000	14
15	Al KVal/Ha	65	.9042	.8175	.0043	1.5557	15
16	OH-Vol/Ha	45	.9064	.8215	.0040	1.4386	16
17	Bodenvolumen	40	.9084	.8252	.0038	1.3755	17
18	T.C.(F) ³	17	.9110	.8298	.0046	1.6974	18
19	LK-Ext.	32	.9134	.8343	.0045	1.6811	19
20	T.C.(F) ²	16	.9165	.8400	.0057	2.1683	20
21	T.C.(F)	15	.9227	.8515	.0114	4.6225	21
22	TRG-Ext.	24	.9258	.8572	.0057	2.3532	22
23	Bodengewicht	39	.9277	.8606	.0034	1.4326	23
24	(T+Sch)%-Ah	26	.9303	.8654	.0048	2.0336	24
25	mmj ³	9	.9316	.8679	.0025	.0000	25
26	mmj	7	.9389	.8816	.0137	6.3547	26
27	N%-Humusform.....	37	.9389	.8816	-.0000	.0002	25
28	(T+Sch)% ² Ext.	28	.9408	.8850	.0035	1.6633	26
29	TRG-Ext. ²	23	.9430	.8893	.0042	2.0588	27
30	Mn KVal/Ha	63	.9450	.8930	.0038	1.8746	28

31 Mg KVal/Ha ²	60	.9476	.8979	.0049	2.4970	29
32 R.F.VIII ³	14	.9487	.9000	.0021	1.0533	30
33 Fe KVal/Ha	62	.9499	.9023	.0023	1.1788	31
34 tVZ ⁰ C	6	.9514	.9052	.0029	1.4945	32
35 T.C.(F).....	15	.9514	.9052	-.0000	.0050	31
36 Mg KVal/Ha	59	.9525	.9072	.0020	1.0763	32
37 Ake KVal/Ha ²	66	.9538	.9098	.0026	1.3779	33
38 Ca KVal/Ha ²	53	.9548	.9116	.0018	.9342	34
39 Pm-Vorrat.	50	.9560	.9138	.0023	1.2129	35
40 (T+Sch)%-Ah ²	27	.9565	.9149	.0010	.5451	36
41 C/N-Ah ²	48	.9573	.9164	.0015	.7779	37
42 R.F.VIII ³	14	.9573	.9164	-.0000	.0001	36
43 C/N-Ah	46	.9636	.9286	.0122	7.5485	37
44 Mn KVal/Ha.....	63	.9636	.9286	-.0000	.0031	36
45 Pt-Vorrat.	49	.9645	.9303	.0017	1.0993	37
46 C/N-Humusform	34	.9655	.9322	.0019	1.1917	38
47 (Sch)%-Ext.	25	.9659	.9330	.0008	.4944	39
48 GPV-Int.	29	.9662	.9336	.0006	.3800	40
49 C%-Humusform	36	.9665	.9340	.0004	.2499	41
50 (T+Sch)%-Ext.....	28	.9665	.9340	-.0000	.0023	40
51 R.F.VIII ²	13	.9666	.9343	.0003	.1729	41
52 Ca KVal/Ha ³	54	.9667	.9346	.0002	.0000	42
53 Ca KVal/Ha	52	.9683	.9376	.0030	1.8291	43
54 Mn KVal/Ha	63	.9688	.9386	.0010	.6099	44
55 L.D.Int.	19	.9692	.9394	.0009	.5101	45
56 Na KVal/Ha ²	55	.9698	.9405	.0010	.5973	46
57 Na KVal/Ha ²	56	.9704	.9416	.0012	.6712	47
58 K KVal/Ha ³	58	.9704	.9416	-.0000	.0001	46
59 R.F.VIII ³	14	.9708	.9425	.0008	.4996	47
60 Ake KVal/Ha ²	67	.9710	.9429	.0004	.2521	48
61 Mn KVal/Ha ²	64	.9713	.9433	.0004	.2494	49
62 K KVal/Ha ²	58	.9714	.9436	.0003	.1496	50
63 TRG-Int.	21	.9715	.9437	.0001	.0724	51
64 C%-Humusform.....	36	.9715	.9437	-.0000	.0030	50
65 (T+Sch)%-Ext.	28	.9715	.9438	.0001	.0294	51
66 L.D.Ext.	20	.9715	.9438	.0000	.0118	52

jenige, durch die die Summe der Abweichungsquadrate am meisten reduziert wird.

Einschließlich der abhängigen Variablen wurden 78 Variable in der schrittweisen Regressionsanalyse geprüft (zum Vergleich: DELLA-BIANCA und OLSON (1961) prüften 63 Boden- und Standortvariable, ebenso MADER und OWEN (1961), die in ihre Berechnung ebenfalls chemische Bodeneigenschaften eingeschlossen haben). Von den 77 unabhängigen Variablen wurden durch das Rechenprogramm in 75 Schritten 59 Variable ausgewählt. Das Ergebnis für den letzten Schritt ist in Tabelle 32 zusammengestellt. In Tabelle 33 sind die Ergebnisse aller 75 Regressionsschritte zusammengestellt.

Die 59 in der Gleichung enthaltenen Variablen (n) erklären 97,37 % der Gesamtvariation in der Baumhöhe (Bestimmtheitsmaß $B = R^2$) bei einem Korrelationskoeffizienten (R) von 0,9867⁺⁺⁺ und einem F-Wert von 7,522⁺⁺⁺; der Standardschätzfehler der Baumhöhe (s_y) beträgt 1,2738 m oder 4,4 % der mittleren Baumhöhe.

5.3.1.2.2 Multiple Regressionsanalyse mit Bodenvorräten

Bei Weglassen der Nadelspiegelwerte konnten alle 82 Standorte in die multiple Regressionsanalyse einbezogen werden. Ferner konnte im Gegensatz zu der vorstehend beschriebenen Regressionsanalyse die wegen Nichtlinearität potenzierten Zahlenwerte ohne Verkleinerung verrechnet werden. Einschließlich der abhängigen Variablen wurden 68 Variable in die multiple Regressionsanalyse eingegeben. Von den 67 unabhängigen Variablen wurden 52 Variable durch die schrittweise multiple Regression in 66 Schritten ausgewählt. Die Ergebnisse sind ähnlich wie im vorhergegangenen Kapitel in den Tabellen 34 und 35 dargestellt:

Die in die Regressionsgleichung aufgenommenen $n = 52$ Variable decken 94,38 % der Gesamtvariation in der Baumhöhe ab (B) mit einem Korrelationskoeffizienten R von 0,9715⁺⁺⁺ und einem F-Wert von 9,367⁺⁺⁺; der Standardschätzfehler s_y beträgt 1,2502.

Insgesamt konnte mit der großen Anzahl von Variablen ein sehr hohes Bestimmtheitsmaß erreicht werden. Dies zeigt, daß der Untersuchungsansatz generell richtig war. Entsprechend den Ergebnissen der schrittweisen Regression ist für das Wachstum der Fichte in erster Linie die Wasserversorgung entscheidend, in zweiter Linie die Stickstoffversorgung, an den weiteren Stellen folgen Merkmale, die durch Interkorrelationen bereits keine eindeutige Aussage mehr zulassen. Mit den beiden erstgenannten Merkmalen wird jedoch bereits ein Korrelationskoeffizient von um 0,8 erreicht.

5.3.2 Parameterauslese unter Beachtung von Interkorrelationen

5.3.2.1 Vorgehen

Für das weitere Vorgehen bei der Parameterauslese war der entscheidende Gesichtspunkt, daß zur Erleichterung der Interpretation nach Möglichkeit nur noch Parameter enthalten sein sollten, die einen ganz bestimmten Wachstumsfaktor repräsentieren. Diese Parameter sollten ferner diesen Wachstumsfaktor möglichst ausschließlich repräsentieren, also möglichst geringe Korrelationen zu anderen in der Regressionsgleichung aufgenommenen Parametern aufweisen. Als Unterziele wurde die leichte Bestimmbarkeit bzw., um den Bedingungen der Standortskartierung näher zu kommen, die leichte Schätzbarkeit eines Parameters gewählt.

Als Grundlage für die Parameterauslese wurden Korrelationsmatrizen berechnet. Die Korrelationsmatrizen sind auszugsweise in den Tabellen 36 - 44 wiedergegeben.

Bei den Nadelspiegelwerten (Tab. 36) sind Phosphor und Kalium positiv schwach mit Stickstoff korreliert. Dies zeigt, daß doch eine gewisse Berechtigung besteht, allgemein von einer Trophie des Standorts zu reden. Dagegen ist der Calcium-Gehalt negativ korreliert mit dem Kalium-Gehalt, eine Erscheinung, die wegen ihres stoffwechselphysiologischen Hintergrunds auch als Antagonismus bezeichnet wird.

Die Parameter zur Charakterisierung des Bodenwasserhaushalts (Tabelle 37) sind erwartungsgemäß durchweg eng miteinander korreliert.

Dasselbe gilt für die Parameter, die eine Aussage über die Humusform zulassen (Tabelle 38). Die negativen Korrelationen des P_t -Gehalts zu allen anderen Parametern kommen dadurch zustande, daß der P-Gehalt von dem Anteil mineralischen Bodenskeletts in den Auflagehumus-Horizonten bestimmt wird. Je höher diese Beimischung ist, desto niedriger ist der C-Gehalt, damit aber auch der N-Gehalt sowie die C/N- und C/P-Verhältnisse.

Die Phosphat-Vorräte (Tabelle 39) zeigen durchweg sehr straffe Korrelationen.

In den Merkmalen, mit denen die Eigenschaften der A_n-Horizonte erfaßt werden (Tab. 40), gibt es eine ganze Reihe von bodenkundlich zu erwartenden Korrelationen, so z.B. die Abnahme des Humusgehalts mit der Mächtigkeit, die Zunahme des Trockenraumgewichts mit der Mächtigkeit, die Abnahme des Trockenraumgewichts mit zunehmendem Humusgehalt, die positive Korrelation zwischen Ton- und Schluffgehalt, die Beziehungen, die Gesamtporenvolumen, Luftkapazität und Wasserdurchlässigkeitsklasse zu den jeweils anderen Merkmalen aufweisen. Dagegen sind die Beziehungen des pH-Werts z.B. zum Humusgehalt oder zum Trockenraumgewicht indirekt und nicht ohne weiteres zu erklären.

Die zur Charakterisierung der Intensivwurzelschicht (Tab. 41) sowie der Extensivwurzelschicht (Tab. 42) herangezogenen Merkmale verhalten sich gleichsinnig wie im A_n-Horizont.

In Tabelle 43 ist die Korrelationsmatrix der klimatischen und bodenphysikalischen Parameter dargestellt. Hingewiesen sei auf die sehr engen Beziehungen zwischen Vegetationszeit-Niederschlag und Jahresniederschlag, zwischen Vegetationszeit-Temperatur und Jahrestemperatur, zwischen Feuchtigkeitsindex und den Niederschlagsdaten, zwischen Regenfaktor VIII und den Niederschlagsdaten sowie dem Feuchtigkeitsindex, sowie zwischen den Luftkapazitäten und Wasserdurchlässigkeitsklassen zu den Lagerungsdichten. Die gefundenen Korrelationen zwischen den

Tabelle 36:

Korrelationsmatrix der Nadelspiegelwerte

Variable	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5
Stickstoff mg/g TM	1	1				
Phosphor mg/g TM	2	0,270 ⁺	1			
Kalium mg/g TM	3	0,297 ⁺	0,147	1		
Calcium mg/g TM	4	0,0389	0,00204	-0,380 ⁺⁺	1	
Magnesium mg/g TM	5	-0,115	-0,0244	0,0545	0,179	1

n = 72
Tabellenwert für r
+++ = 0,379
++ = 0,302
+ = 0,232

Tabelle 37:

Korrelationsmatrix der Wasserhaushaltsparameter

Variable	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5
nWK mm	1	1				
nWK mm + Zu- Abschlag nach Hartman	2	0,820 ⁺⁺⁺	1			
nWK mm ± Zu- Abschlag nach Relief und Substratdichte	3	0,778 ⁺⁺⁺	0,921 ⁺⁺⁺	1		
Wvf	4	0,470 ⁺⁺⁺	0,392 ⁺⁺⁺	0,396 ⁺⁺⁺	1	
Wvf mmj	5	0,316 ⁺⁺	0,276 ⁺	0,283 ⁺⁺	0,973 ⁺⁺⁺	1

n = 82

Tabellenwert für r

+++ = 0,357

++ = 0,283

+ = 0,217

Tabelle 38:

Korrelationsmatrix der Parameter der Humusformen

Variable	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5
C/N	1	1				
C/P	2	0,995 ⁺⁺⁺	1			
C-Gehalt (%)	3	0,941 ⁺⁺⁺	0,966 ⁺⁺⁺	1		
N-Gehalt (%)	4	0,847 ⁺⁺⁺	0,887 ⁺⁺⁺	0,976 ⁺⁺⁺	1	
P _t -Gehalt (mg/100 g)	5	-0,993 ⁺⁺⁺	-0,978 ⁺⁺⁺	-0,895 ⁺⁺⁺	-0,779 ⁺⁺⁺	1

n = 82

Tabellenwert für r

+++ = 0,357

++ = 0,283

+ = 0,217

Tabelle 39:

Korrelationsmatrix der Phosphatvorräte (kg/ha)

Variable	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7
P _t	1	1						
P _m	2	0,952 ⁺⁺⁺	1					
P _{occl.}	3	0,937 ⁺⁺⁺	0,786 ⁺⁺⁺	1				
P _{Al}	4	0,825 ⁺⁺⁺	--	0,638 ⁺⁺⁺	1			
P _{Fe}	5	0,950 ⁺⁺⁺	--	0,809 ⁺⁺⁺	0,798 ⁺⁺⁺	1		
P _{Ca}	6	0,960 ⁺⁺⁺	--	0,933 ⁺⁺⁺	0,687 ⁺⁺⁺	0,926 ⁺⁺⁺	1	
P _{org.}	7	0,922 ⁺⁺⁺	--	0,738 ⁺⁺⁺	0,918 ⁺⁺⁺	0,951 ⁺⁺⁺	0,826 ⁺⁺⁺	1

n = 82
 Tabellenwerte für r
 +++ = 0,357
 ++ = 0,283
 + = 0,217
 -- = Korrelationskoeffizient nicht vorhanden (nicht gerechnet)

Tabelle 40:

Korrelationsmatrix der Parameter des A_h-Horizonts

Variable	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tiefe (cm)	1	1										
Humus %	2	-0,299 ⁺⁺	1									
L.D.	3	-0,184	-0,125	1								
T.R.G.	4	0,348 ⁺⁺	-0,662 ⁺⁺⁺	0,076	1							
pH	5	-0,092	0,221 ⁺	-0,079	-0,400 ⁺⁺⁺	1						
Ton %	6	-0,206	0,236 ⁺	0,217 ⁺	-0,290 ⁺⁺	0,383 ⁺⁺⁺	1					
Schluff %	7	-0,342 ⁺⁺	0,201	0,181	-0,245 ⁺	0,237 ⁺	0,627 ⁺⁺⁺	1				
Ton + Schluff %	8	-0,332 ⁺⁺	0,226 ⁺	0,205	-0,277 ⁺	0,296 ⁺⁺	0,781 ⁺⁺⁺	0,976 ⁺⁺⁺	1			
GPV %	9	-0,246 ⁺	0,687 ⁺⁺⁺	-0,272 ⁺	-0,511 ⁺⁺⁺	0,148	0,394 ⁺⁺⁺	0,491 ⁺⁺⁺	0,503 ⁺⁺⁺	1		
LK %	10	0,009	0,56 ⁺⁺⁺	-0,402 ⁺⁺⁺	-0,255 ⁺	-0,188	-0,364 ⁺⁺⁺	-0,223 ⁺	-0,26 ⁺	0,565 ⁺⁺⁺	1	
WDLKK	11	0,092	0,222 ⁺	-0,599 ⁺⁺⁺	-0,246 ⁺	0,144	-0,247 ⁺	-0,173	-0,207	0,204	0,395	1

n = 82

Tabellenwerte für r

+++ = 0,357

++ = 0,263

+ = 0,217

-
143
-L.D. = Lagerdichte (Klasse); TRG = Trockenraumgewicht (gm/cm³); GPV = Gesamtporenvolumen;

L.K. = Luftkapazität; WDLKK = Wasserdurchlässigkeitsklasse

Tabelle 41:

Korrelationsmatrix der Parameter der Intensivwurzelschicht

Variable	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tiefe	1	1									
L.D.	2	0,054	1								
TRG	3	0,163	0,581 ⁺⁺⁺	1							
pH	4	0,332 ⁺⁺	-0,322 ⁺⁺	-0,389 ⁺⁺⁺	1						
Ton %	5	-0,24 ⁺	0,399 ⁺⁺⁺	0,057	-0,317 ⁺⁺	1					
Schluff %	6	-0,229 ⁺	0,363 ⁺⁺⁺	0,058	-0,426 ⁺⁺⁺	0,449 ⁺⁺⁺	1				
Ton + Schluff %	7	-0,264 ⁺	0,424 ⁺⁺⁺	0,066	-0,448 ⁺⁺⁺	0,69 ⁺⁺⁺	0,956 ⁺⁺⁺	1			
GPV %	8	-0,134	-0,569 ⁺⁺⁺	-0,403 ⁺⁺⁺	0,105	0,042	0,265 ⁺	0,229 ⁺	1		
LK %	9	0,107	-0,84 ⁺⁺⁺	-0,468 ⁺⁺⁺	0,406 ⁺⁺⁺	-0,629 ⁺⁺⁺	-0,386 ⁺⁺⁺	-0,518 ⁺⁺⁺	0,567 ⁺⁺⁺	1	
WDLKK	10	0,243 ⁺	-0,608 ⁺⁺⁺	-0,396 ⁺⁺⁺	0,490 ⁺⁺⁺	-0,460 ⁺⁺⁺	-0,462 ⁺⁺⁺	-0,524 ⁺⁺⁺	0,206	0,566 ⁺⁺⁺	1

n = 82

Tabellenwerte für r

+++ = 0,357

++ = 0,293

+ = 0,217

1
1
1

Tabelle 42:

Korrelationsmatrix der Parameter der Extensivwurzelschicht

Variable	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6
L.D.	1	1					
TRG	2	0,626 ⁺⁺⁺	1				
Schluff %	3	0,409 ⁺⁺⁺	0,158	1			
Ton + Schluff %	4	0,586 ⁺⁺⁺	0,295 ⁺⁺	0,891 ⁺⁺⁺	1		
LK %	5	-0,865 ⁺⁺⁺	-0,530 ⁺⁺⁺	-0,468 ⁺⁺⁺	-0,677 ⁺⁺⁺	1	
WDLKK	6	-0,823 ⁺⁺⁺	-0,516 ⁺⁺⁺	-0,425 ⁺⁺⁺	-0,626 ⁺⁺⁺	0,830 ⁺⁺⁺	1

n = 82

Tabellenwerte für r

+++ = 0,357

++ = 0,283

+ = 0,217

Tabelle 43:

Korrelationsmatrix der klimatischen und bodenphysikalischen Parameter

Variable	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nWK mm ± Zu-/Abschlag	1	1									
Wasser Code	2	0,735 ⁺⁺⁺	1								
mmj	3	0,202	0,079	1							
mmVZ	4	0,205	0,1224	0,908 ⁺⁺⁺	1						
t _j °C	5	0,524 ⁺⁺⁺	0,481 ⁺⁺⁺	0,21	0,289 ⁺⁺	1					
tVZ°C	6	0,485 ⁺⁺⁺	0,468 ⁺⁺⁺	0,213	0,286 ⁺⁺	0,982 ⁺⁺⁺	1				
F.I.	7	0,103	-	0,891 ⁺⁺⁺	0,975 ⁺⁺⁺	0,075	0,066	1			
Vegetationsperiode	8	0,144	-	0,230 ⁺	0,234 ⁺	0,580 ⁺⁺⁺	0,575 ⁺⁺⁺	0,108	1		
R.F.VIII	9	0,11	-0,015	0,859 ⁺⁺⁺	0,804 ⁺⁺⁺	-0,108	-0,119	0,865 ⁺⁺⁺	0,006	1	
Topocode (F)	10	0,323 ⁺⁺	0,127	-0,069	-0,134	-0,005	-0,046	-0,123	0,052	0,151	1
W Ü NN	11	-0,351 ⁺⁺	-0,352 ⁺⁺	0,312 ⁺⁺	0,192	-0,636 ⁺⁺⁺	-0,596 ⁺⁺⁺	0,329 ⁺⁺	-0,377 ⁺⁺⁺	0,398 ⁺⁺⁺	-0,242
Mächtigkeit-O _H	12	-0,325 ⁺⁺	-0,238 ⁺	-0,033	0,135	-0,323 ⁺⁺	-0,331 ⁺⁺	0,226 ⁺	-0,302 ⁺⁺	0,184	-0,01
Gesamtiefe	13	0,579 ⁺⁺⁺	-	0,128	0,187	0,182	0,206	0,149	-0,064	0,099	-0,04
L.D.Int.	14	0,472 ⁺⁺⁺	0,489 ⁺⁺⁺	0,01	0,003	0,137	0,105	-0,017	0,117	0,014	0,20
L.D. Ext.	15	0,353 ⁺⁺⁺	0,424 ⁺⁺⁺	-0,018	-0,066	-0,055	-0,081	-	-	0,005	0,205
TRG-Int.	16	0,303 ⁺⁺	0,372 ⁺⁺⁺	-0,08	0,027	0,192	0,173	-0,011	0,129	-0,095	-0,013
TRG-Ext.	17	0,287 ⁺⁺	0,38 ⁺⁺⁺	-0,023	0,023	0,08	0,068	-	-	-0,049	0,055
L.K. % Int.	18	-0,282 ⁺	-0,401 ⁺⁺⁺	-0,015	0,063	-0,065	-0,042	0,074	-0,136	0,013	-0,217
L.K. % Ext.	19	-0,284 ⁺⁺	-0,452 ⁺⁺⁺	-0,002	0,089	0,018	0,045	-	-	-0,023	-0,174
WDLKK-Ext.	20	-0,189	-0,302 ⁺⁺	0,166	0,19	0,105	0,128	-	-	0,119	-0,12

11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

n = 82

Tabellenwerte für r

+++ = 0,357

++ = 0,283

+ = 0,217

- = Korrelationskoeffizient nicht
vorhanden (nicht gerechnet)

1										
0,119	1									
-0,011	0,125	1								
-0,156	-0,358 ⁺⁺⁺	-0,026	1							
0,012	-0,216	-	0,641 ⁺⁺⁺	1						
-0,171	-0,106	0,123	0,581 ⁺⁺⁺	0,377 ⁺⁺⁺	1					
-0,042	-0,177	-	0,409 ⁺⁺⁺	0,626 ⁺⁺⁺	0,519 ⁺⁺⁺	1				
0,085	0,386 ⁺⁺⁺	-0,157	-0,84 ⁺⁺⁺	-0,636 ⁺⁺⁺	-0,468 ⁺⁺⁺	-0,431 ⁺⁺⁺	1			
0,003	0,192	-	-0,622 ⁺⁺⁺	-0,865 ⁺⁺⁺	-0,342 ⁺⁺	-0,53 ⁺⁺⁺	0,679 ⁺⁺⁺	1		
0,015	0,17	-	-0,603 ⁺⁺⁺	-0,823 ⁺⁺⁺	-0,396 ⁺⁺⁺	-0,516 ⁺⁺⁺	0,607 ⁺⁺⁺	0,83 ⁺⁺⁺	1	

Tabelle 44:

Korrelationsmatrix der morphologischen Variablen und Nährstoffvorräte

Variable	Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nWK ± Zu-/Abschlag	1	1									
Wasser-Code	2	0,735 ⁺⁺⁺	1								
Mächtigkeit-O _H	3	-0,325 ⁺⁺	-0,238 ⁺	1							
C t/h	4	-0,363 ⁺⁺⁺	-0,312 ⁺⁺	0,898 ⁺⁺⁺	1						
N t/h	5	-0,342 ⁺⁺	-0,264 ⁺	0,998 ⁺⁺⁺	0,995 ⁺⁺⁺	1					
O _H -Vol	6	-0,325 ⁺⁺	-0,238 ⁺	1,000 ⁺⁺⁺	0,987 ⁺⁺⁺	0,998 ⁺⁺⁺	1				
Gesamt-Bodengewicht	7	0,627 ⁺⁺⁺	0,574 ⁺⁺⁺	-0,096	-0,119	-0,107	-0,096	1			
Gesamt-Bodenvolumen	8	0,591 ⁺⁺⁺	0,501 ⁺⁺⁺	-0,062	-0,072	-0,067	-0,061	0,96 ⁺⁺⁺	1		
P _t kg/ha	9	0,54 ⁺⁺⁺	0,57 ⁺⁺⁺	-0,368 ⁺⁺	-0,369 ⁺⁺⁺	-0,374 ⁺⁺⁺	-0,368 ⁺⁺⁺	0,632 ⁺⁺⁺	0,546 ⁺⁺⁺	1	
P _m kg/ha	10	0,415 ⁺⁺⁺	0,471 ⁺⁺⁺	-0,392 ⁺⁺⁺	-0,386 ⁺⁺⁺	-0,396 ⁺⁺⁺	-0,392 ⁺⁺⁺	0,393 ⁺⁺⁺	0,303 ⁺⁺	0,952 ⁺⁺⁺	1
P _{occl.} kg/ha	11	0,614 ⁺⁺⁺	0,616 ⁺⁺⁺	-0,305 ⁺⁺	-0,313 ⁺⁺	-0,312 ⁺⁺	-0,305 ⁺⁺	0,828 ⁺⁺⁺	0,752 ⁺⁺⁺	0,937 ⁺⁺⁺	0,78
Ca kval/ha	12	0,167	0,276 ⁺	-0,323 ⁺⁺	-0,323 ⁺⁺	-0,321 ⁺⁺	-0,323 ⁺⁺	0,161	0,118	0,348 ⁺⁺	0,34
Na kval/ha	13	0,521 ⁺⁺⁺	0,641 ⁺⁺⁺	-0,15	-0,173	-0,158	-0,15	0,736 ⁺⁺⁺	0,629 ⁺⁺⁺	0,664 ⁺⁺⁺	0,50
K kval/ha	14	0,39 ⁺⁺⁺	0,485 ⁺⁺⁺	-0,364 ⁺⁺⁺	-0,366 ⁺⁺⁺	-0,364 ⁺⁺⁺	-0,364 ⁺⁺⁺	0,505 ⁺⁺⁺	0,400 ⁺⁺⁺	0,644 ⁺⁺⁺	0,54
Mg kval/ha	15	0,129	0,124	-0,392 ⁺⁺⁺	-0,371 ⁺⁺⁺	-0,383 ⁺⁺⁺	-0,392 ⁺⁺⁺	0,156	0,071	0,459 ⁺⁺⁺	0,42
Fe kval/ha	16	0,318 ⁺⁺	0,406 ⁺⁺⁺	0,264 ⁺	0,219 ⁺	0,247 ⁺	0,264 ⁺	0,524 ⁺⁺⁺	0,512 ⁺⁺⁺	0,180	0,59
Mn kval/ha	17	0,394 ⁺⁺⁺	0,411 ⁺⁺⁺	-0,365 ⁺⁺⁺	-0,354 ⁺⁺	-0,36 ⁺⁺⁺	-0,365 ⁺⁺⁺	0,457 ⁺⁺⁺	0,351 ⁺⁺	0,653 ⁺⁺⁺	0,58
Al kval/ha	18	0,379 ⁺⁺⁺	0,401 ⁺⁺⁺	-0,087	-0,091	-0,091	-0,087	0,654 ⁺⁺⁺	0,58 ⁺⁺⁺	0,641 ⁺⁺⁺	0,52
AK _e kval/ha	19	0,205	0,20	-0,411 ⁺⁺⁺	-0,388 ⁺⁺⁺	-0,405 ⁺⁺⁺	-0,411 ⁺⁺⁺	0,28 ⁺	0,20	0,637 ⁺⁺⁺	0,61

11	12	13	14	15	16	17	18	19
----	----	----	----	----	----	----	----	----

n = 82

Tabellenwerte für r

+++ = 0,357

++ = 0,283

+ = 0,217

++ 1

++ 0,301⁺⁺ 1

++ 0,772⁺⁺⁺ 0,202 1

++ 0,691⁺⁺⁺ 0,49⁺⁺⁺ 0,759⁺⁺⁺ 1

++ 0,446⁺⁺⁺ 0,624⁺⁺⁺ 0,366⁺⁺⁺ 0,773⁺⁺⁺ 1

+ 0,299⁺⁺ -0,244⁺ 0,509⁺⁺⁺ 0,014 -0,471⁺⁺⁺ 1

++ 0,659⁺⁺⁺ 0,48⁺⁺⁺ 0,721⁺⁺⁺ 0,813⁺⁺⁺ 0,685⁺⁺⁺ -0,061 1

++ 0,712⁺⁺⁺ 0,019 0,829⁺⁺⁺ 0,543⁺⁺⁺ 0,169 0,515⁺⁺⁺ 0,592⁺⁺⁺ 1

++ 0,608⁺⁺⁺ 0,58⁺⁺⁺ 0,444⁺⁺⁺ 0,767⁺⁺⁺ 0,862⁺⁺⁺ -0,347⁺⁺ 0,725⁺⁺⁺ 0,453⁺⁺⁺ 1

Klimadaten sind charakteristisch für das Berglandklima Mitteleuropas. Interessant ist die Beziehung zwischen Topo-Code und Bodenwasserangebot II (nWK mm + Zu-/Abschlag nach Relief und Substratdichte), die zeigt, daß die Berücksichtigung der topographischen Merkmale bei der Bemessung der Zu- und Abschläge berechtigt ist. Ein weiteres charakteristisches Merkmal für das Berglandklima Mitteleuropas ist die negative Korrelation der Höhenlage zu den Temperaturdaten sowie der Dauer der Vegetationsperiode; die Beziehung zum Jahresniederschlag ist zwar positiv, jedoch zur nutzbaren Wasserkapazität (nWK mm + Zu-/Abschlag) sowie zum Wasser-Code negativ. Die Mächtigkeit des O_H -Horizonts ist negativ mit den Temperaturen und der Vegetationszeit, dagegen positiv mit dem Feuchtigkeitsindex korreliert und spiegelt die Änderung in der Humusform wider. Die Gesamttiefe des Wurzelraumes ist wie zu erwarten positiv mit der nutzbaren Wasserkapazität korreliert.

Die morphologischen Parameter und Nährstoffvorräte sind gemeinsam in Tabelle 44 wiedergegeben. Die Korrelationsmatrix weist hier sehr viele hochsignifikante Korrelationen aus. Eine Schlüsselstellung hierbei nehmen die Parameter 7 Bodengewicht und 8 Bodenvolumen ein, die zu allen Vorratsvariablen mit Ausnahme des C-, N-, Ca-, Mg-Vorrats sowie der effektiven Austauschkapazität hochsignifikante Beziehungen zeigen. Die Interkorrelationen zwischen den verschiedenen Vorratsgrößen erklären sich also über das Bodengewicht bzw. das Bodenvolumen. Die fehlenden Beziehungen zum C und N erklären sich daraus, daß für das Ausmaß der Akkumulationen dieser Elemente nicht die Bodenmenge, sondern die Humusmenge verantwortlich ist. Die fehlende Beziehung zu Ca, Mg und AK_e ist ein charakteristisches Merkmal der stark versauerten Waldböden; die Vorräte an diesen Variablen hängen sehr viel mehr vom pH-Wert des Bodens ab, der seinerseits einen erheblichen Tiefengradienten aufweist und dadurch die Vorräte weitgehend von der Bodenmenge unabhängig macht.

Unter Beachtung der eingangs gegebenen Zielsetzungen wurden aufgrund der Korrelationsmatrizen folgende Variablen ausgewählt:

Abb. 70

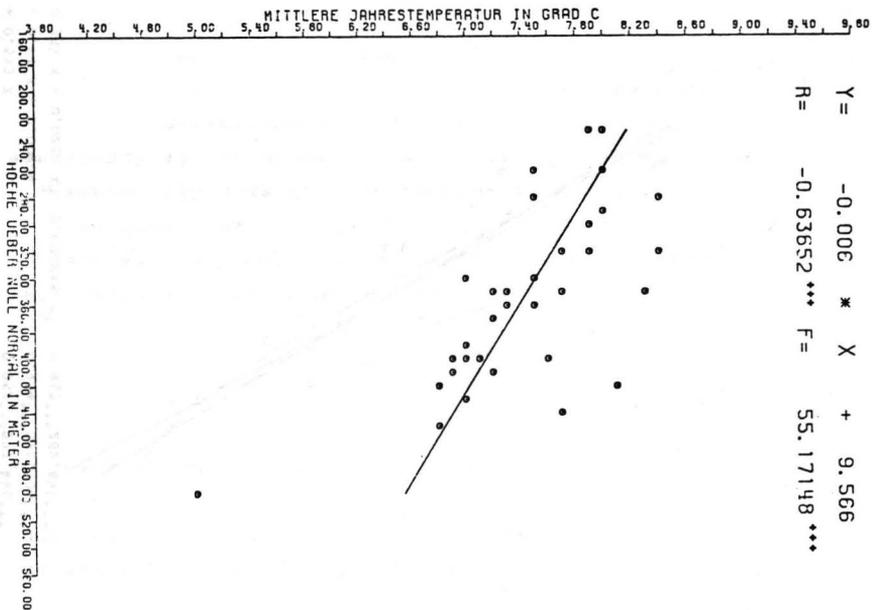


Abb. 71

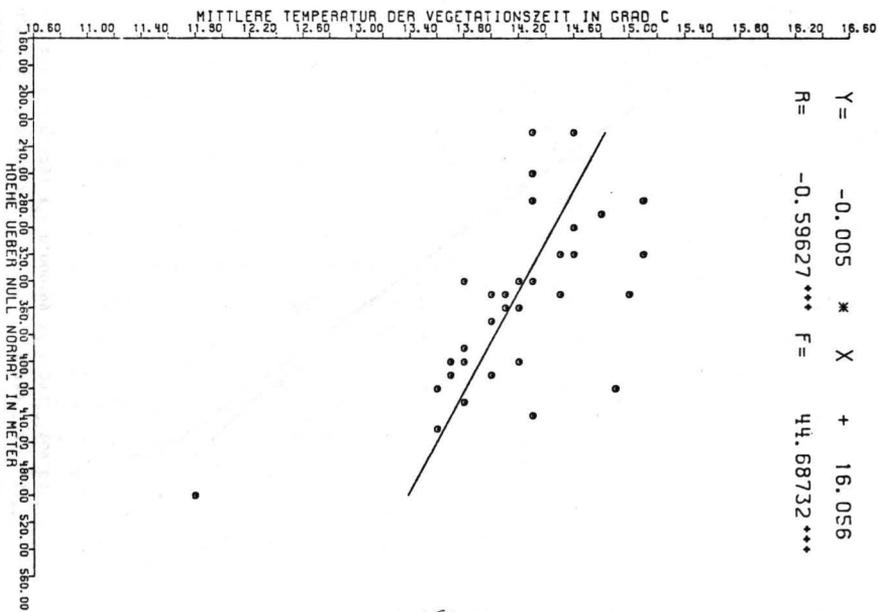


Abb.72

Regressionsgleichungen

$$Y = -3.681 + 0.553 X$$

$$Y = -1.557 + 0.41 X + 0.00204 X^2$$

$$Y = 5.433 - 0.334 X + 0.0252 X^2 - 0.000215 X^3$$

R

$$0.952^{+++} 777.448^{+++}$$

$$0.954^{+++} 396.306^{+++}$$

$$0.957^{+++} 282.844^{+++}$$

F

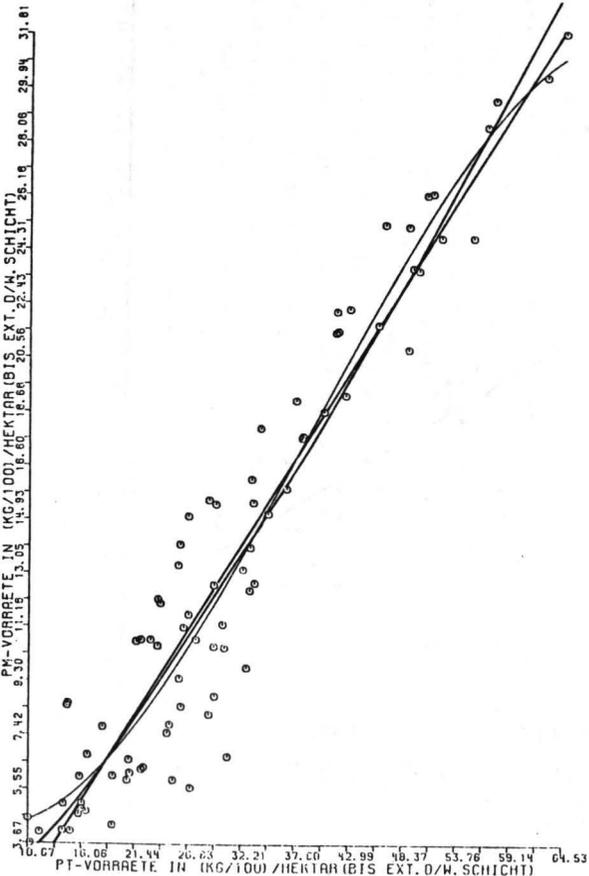


Abb.73

Regressionsgleichungen

$$Y = 3.534 + 0.449 X$$

$$Y = 1.708 + 0.572 X - 0.00176 X^2$$

$$Y = -4.742 + 1.258 X - 0.0231 X^2 + 0.000199 X^3$$

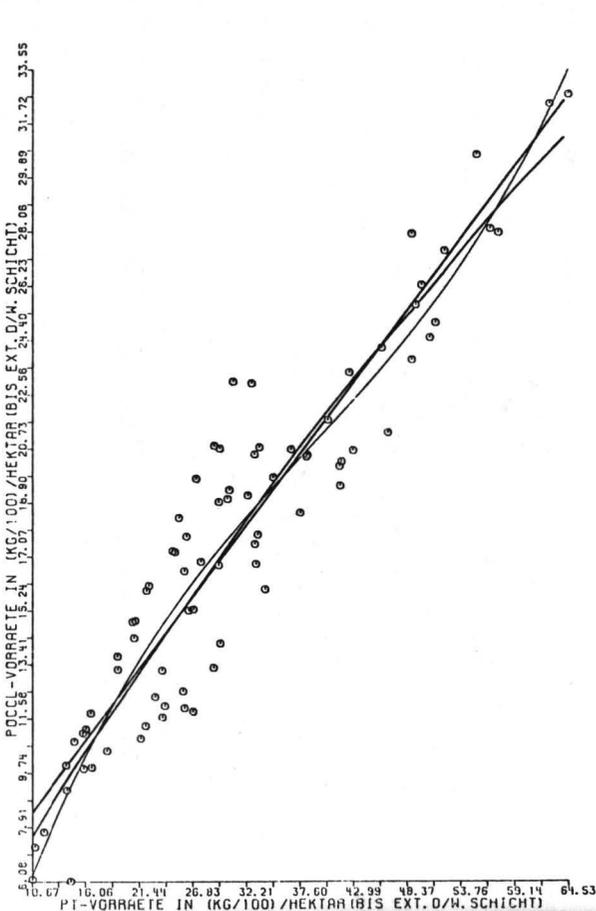
R

$$0.937^{+++} 580.192^{+++}$$

$$0.939^{+++} 294.437^{+++}$$

$$0.943^{+++} 209.886^{+++}$$

F



1. Vegetationszeit-Niederschlag zur Charakterisierung der Niederschlagsverhältnisse.
2. Höhe über NN zur Charakterisierung der Temperaturverhältnisse (vgl. Abb. 70 und 71); für die Auswahl der Höhe war zusätzlich noch entscheidend, daß sich die Höhenlage für die einzelnen Standorte leicht ermitteln läßt, während die Temperaturdaten aus den Meßergebnissen der nächstliegenden meteorologischen Station über die Höhenabhängigkeit der Temperatur erschlossen wurden. Zudem steht die Höhenlage in einer engeren Beziehung zur Baumhöhe als die Temperaturparameter.
3. Wasser-Code als Maß für das Bodenwasserangebot (anstatt nWK).
4. Topo-Code
5. Mächtigkeit des O_H -Horizonts
- 6., 7. Lagerungsdichte in Intensiv- und Extensivwurzelschicht.
- 8.-10. Luftkapazität im A_h -Horizont, Intensiv- und Extensivwurzelschicht.
11. Wasserdurchlässigkeitsklasse der Extensivwurzelschicht
12. C/N-Verhältnis im O_H -Horizont
13. Bodenvolumen (anstatt Bodengewicht)
- 14.-18. Element-Vorräte an C in t/ha und P_m in kg/ha sowie an Ca, K und Mg in kval/ha. Zur Auswahl von P_m vergleiche Abb. 72 und 73.

Der Umfang der unabhängigen Parameter wurde durch diese Auslese auf 18 verringert.

5.3.2.2 Ergebnis der multiplen Regression

Zunächst wurde mit den 18 ausgelesenen Parametern erneut eine multiple Regression gerechnet, wobei wiederum die Parameter mit quadratischen bzw. kubischen Beziehungen zur Baumhöhe entsprechend transformiert wurden, wodurch sich die Gesamtzahl der unabhängigen Variablen auf 26 erhöhte. Die Ergebnisse (vgl. Tab. 45) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Gesamtzahl der Variablen:	26
Zahl der Variablen in der Regression:	24

Tabelle 45:

STEP NUMBER 24
 VARIABLE ENTERED 11
 MULTIPLE R .9116
 STD. ERROR OF EST. 1.5468

ANALYSIS OF VARIANCE
 DF SUM OF SQUARES MEAN SQUARE F RATIO
 REGRESSION 24 670.262 27.928 11.672
 RESIDUAL 57 136.378 2.393

VARIABLE	VARIABLES IN EQUATION				VARIABLES NOT IN EQUATION			
	COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE	VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER	
(CONSTANT	-69.05587)							
M-CODE 2	.70477	.19607	12.9201	MO-VOL 17	-.00863	.2101	.0042	
M-U-WN 3	-.00792	.00445	3.1628	MG-2KL 26	-.04279	.0007	.1027	
M-MVZ 4	.43016	.08330	26.6662					
MVZ-2 5	-.56458	.11284	25.0320					
I-CODE 6	10.04229	3.88609	6.6779					
TU-C-2 7	-4.00678	1.38214	8.4041					
TU-C-3 8	.47677	.15141	9.9153					
JHTIER 9	4.12526	2.24441	3.3783					
LU-INT 10	-.72228	.50906	2.0132					
LD-EXT 11	.10025	.43211	.0538					
LK-AM 12	-.07126	.03245	4.8214					
LK-INT 13	.04171	.05684	.5386					
LK-EXT 14	-.05261	.05973	.7758					
MDK-EA 15	.43055	.40320	1.1403					
C/N-OR 16	.30652	.26680	1.3200					
CTON/H 18	-.35481	.24949	4.9454					
PMKG/H 19	.10905	.04216	6.6887					
CAKVAL 20	-.07440	.05749	1.6747					
CAKV-2 21	1.32644	.91265	2.1124					
CAKV-3 22	-.00522	.00373	1.9627					
K-KVAL 23	.22679	.09063	6.2624					
K-2KVL 24	-.00197	.00118	2.7964					
MG-KVL 25	.00676	.02744	.0606					
MG-2KVL 27	-.00095	.00047	.9534					

SUMMARY TABLE

STEP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE	INCREASE IN RSW	F VALUE TO ENTER OR REMOVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED
	ENTERED	REMOVED				
1	W-CODE	2	.7564	.5721	106.9488	1
2	C/N-OM	16	.7732	.5979	5.0758	2
3	N-MAV	4	.7805	.6091	2.2426	3
4	MVZ2	5	.7963	.6341	5.2599	4
5	H-J-MN	3	.8069	.6511	3.6349	5
6	K-KVAL	23	.8201	.6726	4.9429	6
7	LD-TMT	10	.8283	.6861	3.1862	7
8	CTON/H	18	.8392	.7043	4.4370	8
9	LK8-AM	12	.8515	.7251	5.4413	9
10	MG*JKI	27	.8633	.7453	5.6338	10
11	DHTIEF	9	.8697	.7564	3.1749	11
12	PMKG/H	19	.8760	.7675	3.2926	12
13	K*2KVI	24	.8796	.7738	1.8389	13
14	LK8INT	13	.8820	.7779	1.2489	14
15	TO-C*3	8	.8844	.7822	1.2445	15
16	TO-C*2	7	.8944	.7999	5.7506	16
17	T-CODE	6	.9019	.8134	4.6307	17
18	CAKV*2	21	.9053	.8196	2.1773	18
19	CAKV*3	22	.9063	.8214	.6122	19
20	CAKVAL	20	.9088	.8260	1.6127	20
21	MG-KVI	25	.9093	.8269	.3100	21
22	WDK-EX	15	.9097	.8275	.2066	22
23	LK8EXT	14	.9115	.8308	1.1258	23
24	LD-EXT	11	.9116	.8309	.0538	24

Bestimmtheitsmaß $B = 83,1 \% ; R = 0,9116^{+++}$
 $F = 11,672^{+++}$

Standardschätzfehler $s_y = 1,547$

Die Reduzierung in der Zahl der in der Regressionsgleichung berücksichtigten Parameter von 40 auf 17 hat zwar einen nicht unbeträchtlichen Rückgang im Bestimmtheitsmaß zur Folge, doch ist $B = 83 \%$ immer noch als sehr befriedigend zu bezeichnen.

Bei dem Versuch, einen Wachstumsfaktor möglichst nur durch einen einzigen Parameter auszudrücken, muß man zwar Abstriche im Bestimmtheitsmaß hinnehmen, die jedoch gegen die leichtere Datengewinnung und die größere Übersichtlichkeit der Beziehung abzuwägen sind.

In weiteren Rechengängen wurde geprüft, wie sich das Ergebnis der multiplen Regression durch den Austausch einiger Variabler verändert.

Austausch von P_m durch P_t :

Zur Vermeidung der für die Ermittlung des mobilisierbaren Phosphatvorrats erforderlichen Laborarbeit wurde der Austausch von P_m durch die Vorräte an Gesamt-P geprüft. Ergebnis:

Gesamtzahl der Variablen: 26
Zahl der Variablen in der Regression: 25
Bestimmtheitsmaß $B = 82,9 \% ; R = 0,9107^{+++}$
 $F = 10,89^{+++}$

Standardschätzfehler $s_y = 1,5676$

Die nur unwesentliche Verringerung im Bestimmtheitsmaß zeigt, daß P_m durch P_t ersetzt werden kann.

Ersatz des Wasser-Codes durch die nutzbare Wasserkapazität:

Ergebnis:

Gesamtzahl der Variablen: 26
Zahl der Variablen in der Regression: 25
Bestimmtheitsmaß $B = 79,7 \% ; R = 0,8928^{+++}$
 $F = 8,801^{+++}$

Standardschätzfehler $s_y = 1,7095$

Ersatz des Wasser-Codes durch nWK und von P_m durch P_t :

Ergebnis:

Gesamtzahl der Variablen: . 26
Zahl der Variablen in der Regression: 23
Bestimmtheitsmaß $B = 79,6 \%$; $R = 0,892^{+++}$
 $F = 9,814^{+++}$
Standardschätzfehler $s_y = 1,686$

Danach eignet sich der Wasser-Code doch ungleich besser in einer multiplen Regression als die individuellen Werte jedes Standorts für die nWK. Dies dürfte jedoch nur z.T. ein rechnerischer Effekt aufgrund von Mittelwertbildung sein. Die kleinräumige Ansprache am Bodenprofil kann wegen der hohen räumlichen Variabilität eines Standorts sowie der ausge dehnten Flächendurchwurzelung im Baumholzalter leicht dazu führen, daß das zufällig ausgewählte Bodenprofil nicht die mittleren Verhältnisse widerspiegelt. Da die Code-Bildung sich nach der Ansprache der ökologischen Feuchtestufen (Gelände-wasserhaushalt) richtete, typisiert die Mittelwertbildung die integrale Geländeansprache, sie verringert also den Einfluß untypischer (evtl. nur lokaler) Bodenausbildung.

Ersatz der Nährstoffparameter im Boden durch Nadelspiegelwerte:

Ersetzt man die bodenkundlich definierten Nährstoffparameter (C/N-Verhältnis, Vorräte an C, P_m , Ca, K und Mg) durch die entsprechenden Nadelspiegelwerte (N, P, K, Ca, Mg sowie Aschegehalt) so bleibt die ursprüngliche Anzahl von 18 Variablen erhalten. Nach den Transformationen erhält man eine Variablenanzahl von 25. Bei der schrittweisen multiplen Regressionsanalyse wurden hiervon 22 Variable ausgelesen (siehe Tabelle 46). Diese erklären 79,6 % der Gesamtvariation in der Baumhöhe. Ersetzt man in dieser Regressionsgleichung den Wasser-Code durch die nWK, so wird $B = 76,6 \%$ ($R = 0,8754^{+++}$, $F = 7,304^{+++}$, $s_y = 1,878$). Vergleicht man die verschiedenen Ansätze, so ergibt sich insgesamt eine recht erfreuliche Stabilität der gefundenen Beziehung zwischen Wachstumsfaktoren und Baumhöhe der Fichte. Von bodenkundlicher Sicht aus ist insbesondere hervorzuheben, daß durch eine entsprechende Berechnung und Ausdrucks-

Tabelle 46:

STEP NUMBER 22
 VARIABLE ENTERED 11

MULTIPLE R .8924
 STD. ERROR OF EST. 1.7529

ANALYSIS OF VARIANCE

	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F RATIO
REGRESSION	22	589.980	26.772	8.713
RESIDUAL	49	150.566	3.073	

VARIABLES IN EQUATION

VARIABLES NOT IN EQUATION

VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE	VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER
(CONSTANT	-24.08312)						
W-CODE 2	.77099	.22950	11.2860	TC-C*2 7	-.15809	.0003	1.2304
H-U-NN 3	-.01530	.00618	6.1265	NADELP 19	.00942	.6224	.0043
N-MMVZ 4	.33202	.10077	10.8556	K**2 23	-.10575	.0001	.5429
MMVZ*2 5	-.00042	.00014	9.8163				
T-COJE 6	-1.51333	.68291	4.9107				
TC-C*3 8	.04821	.02222	4.7097				
OHIEF 9	-.92462	.29063	8.0507				
LU-INT 10	-.44891	.58923	.5804				
LU-EXT 11	-.16361	.50602	.1045				
LK*-AM 12	-.11175	.03960	7.9639				
LK*INT 13	.07591	.06150	1.5234				
LK*EXT 14	-.16658	.07911	4.4339				
WDA-EX 15	.56650	.49143	1.3289				
BC-VOL 16	.10075	.17439	.3338				
ADCH-3 17	-.01333	.32031	.5590				
NADELN 18	.19288	.27526	.4910				
NADELK 20	-1.01289	.75906	1.7806				
NADECA 21	.33784	1.07261	.0992				
NADEMO 22	-.46445	1.10075	.1780				
K**3 24	.00981	.00715	1.8806				
CA**2 25	-.04459	.09306	.2895				
CA**3 26	.00397	.00483	.6744				

158

SUMMARY TABLE

STEP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE		INCREASE IN RSG	F VALUE TO ENTER OR FEYCVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED
	ENTERED	REMOVED	R	RSG			
1	W-CODE 2		.7665	.5875	.5875	99.7075	1
2	LK3-AH 12		.7776	.6046	.0171	2.9333	2
3	N-MMVZ 4		.7947	.6315	.0263	4.9644	3
4	H-U-NN 3		.8099	.6560	.0245	4.7630	4
5	MMVZ*2 5		.8245	.6798	.0235	4.9202	5
6	ONTLEF 9		.8435	.7114	.0316	7.1133	6
7	LD-INT 10		.8558	.7323	.0205	4.9920	7
8	ASCHEX 17		.8597	.7391	.0063	1.6452	8
9	CA**3 26		.8644	.7472	.0081	1.9813	9
10	LK3EXT 14		.8670	.7517	.0044	1.0399	10
11	WOK-EX 15		.8714	.7594	.0077	1.9248	11
12	LK3INT 13		.8755	.7665	.0071	1.7917	12
13	NADELN 18		.8775	.7701	.0036	.9065	13
14	NADECA 21		.8780	.7710	.0009	.2243	14
15	NADELK 20		.8785	.7718	.0008	.1937	15
16	K**5 24		.8805	.7753	.0035	.8628	16
17	T-CODE 6		.8810	.7762	.0003	.2127	17
18	TO-C*3 8		.8904	.7929	.0167	4.2337	18
19	BU-VOL 16		.8911	.7940	.0011	.2806	19
20	CA**2 25		.8917	.7952	.0012	.2909	20
21	NADEM6 22		.8922	.7960	.0003	.1950	21
22	LD-EXT 11		.8924	.7964	.0004	.1045	22

Tabelle 47:

STEP NUMBER 19
VARIABLE ENTERED 21

MULTIPLE R .9124
STD. ERROR OF EST. 1.4534

ANALYSIS OF VARIANCE

	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F RATIO
REGRESSION	17	671.451	39.497	18.698
RESIDUAL	64	135.188	2.112	

VARIABLES IN EQUATION

VARIABLES NOT IN EQUATION

VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE
----------	-------------	------------	-------------

VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER
----------	---------------	-----------	------------

(CONSTANT -22.38997)

W-CODE 2	.08220	.18001	.2085
M-U-NN 3	-.01297	.00389	11.0895
N-MMVZ 4	.29125	.06737	18.6910
MMVZ*2 5	-.00037	.00009	16.1629
T-CODE 6	-1.53012	.50620	9.1369
TO-C*3 8	.04907	.01680	8.5357
OHTEF 9	-.52633	.21908	5.7732
LK%-AH 10	-.05155	.02821	3.3393
LK%INT 11	.09570	.03790	6.3774
LK%EXT 12	-.02974	.03617	.6760
C/N-OH 13	-.07162	.15018	.2274
BO-VOL 14	.07026	.12560	.3129
PMCODE 15	2.11996	1.01412	4.3699
K-CODE 17	.56079	2.72470	.0424
K**2 18	.45373	.65673	.4774
CA**3 21	-.05362	.09644	.3091
MGCODE 22	-.72247	.17730	16.6039

TO-C*2 7	-.17735	.0004	2.0458
PM**2 16	.08302	.0002	.4373
CACODE 19	.00072	.0000	.0000
CA**2 20	.00104	-.0000	-.0001
MG**2 23	.00103	-.0000	-.0001
MG**3 24	.00061	-.0000	-.0000

160

F-LEVEL OR TOLERANCE INSUFFICIENT FOR FURTHER COMPUTATION

SUMMARY TABLE

STEP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE		INCREASE IN RSQ	F VALUE TO ENTER OR REMOVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED
	ENTERED	REMOVED	R	RSQ			
1	W-CODE	2	.7564	.5721	.5721	106.9488	1
2	C/N-OH	13	.7732	.5979	.0258	5.0758	2
3	K-CODE	17	.7825	.6124	.0145	2.9115	3
4	MGCODE	22	.8326	.6932	.0808	20.2893	4
5	PM**2	16	.8459	.7156	.0224	5.9878	5
6	N-MMVZ	4	.8577	.7357	.0201	5.6952	6
7	MMVZ*2	5	.8702	.7573	.0216	6.5928	7
8	H-U-NN	3	.8805	.7754	.0180	5.8649	8
9	LK*INT	11	.8848	.7829	.0076	2.5097	9
10	OHTIEF	9	.8914	.7946	.0117	4.0316	10
11	LK*AH	10	.8965	.8037	.0092	3.2662	11
12	T-CODE	6	.8974	.8053	.0016	.5545	12
13	TO-C*3	8	.9093	.8268	.0215	8.4237	13
14	PMCODE	15	.9103	.8286	.0019	.7304	14
15		PM**2 16	.9103	.8286	.0000	.0037	13
16	LK*EXT	12	.9111	.8301	.0015	.5778	14
17	K**2	18	.9116	.8310	.0009	.3512	15
18	BO-VOL	14	.9119	.8316	.0006	.2321	16
19	CA**3	21	.9124	.8324	.0008	.3091	17

weise von bodenkundlichen Parametern bei den Nährstoffen dieselbe Aussagekraft erreicht werden kann, wie sie die Nadelspiegelwerte liefern. Bei gleichem Erklärungsvermögen hinsichtlich der Zuwachsleistung haben die bodenkundlichen Parameter als Vorräte einen zusätzlichen Informationsgehalt, der z.B. als Entscheidungshilfe bei der Bemessung von Düngergaben oder bei der Gewinnung von Aussagen über Nährstoffexporte vom Standort herangezogen werden kann.

5.3.3 Parameterauslese unter bestimmten Fragestellungen

5.3.3.1 Verwendung des Trophie-Codes

Für die Standortkartierung liegt es nahe, nicht nur soweit als möglich auf die Durchführung von Laboruntersuchungen zu verzichten und dafür aus der Standortsaufnahme Schätzgrößen abzuleiten, sondern zur weiteren Vereinfachung die aufgefundenen Standorteinheiten durch die Zuweisung bestimmter Parameter zu charakterisieren. Das hierbei gewählte Vorgehen ist im Abschnitt 4.8.2 erörtert worden, es führte zur Bildung von Trophie-Codes, die jeweils einer Standorteinheit bzw. Trophiestufe einen bestimmten Zahlenwert zuweisen. Es wurde daher geprüft, mit welcher Genauigkeit die Baumhöhe der Fichte sich mit einem Kollektiv von möglichst wenigen, sich direkt aus der Standortsbeschreibung ergebenden Parametern erklären läßt. Folgende Parameter wurden einbezogen: Wasser-Code, Höhenlage, Vegetationszeit-Niederschlag, Topo-Code, Mächtigkeit des O_H -Horizonts, Luftkapazitäten in A_h -, Intensiv- und Extensivwurzelschicht, C/N im O_H , Bodenvolumen, Nährstoffcodes hinsichtlich P_m , K, Ca und Mg. Es ergaben sich damit 14 Parameter, nach der Transformation 23 Variable, die wiederum der schrittweisen multiplen Regressionsanalyse mit folgendem Ergebnis unterworfen wurden (vgl. Tab. 47):

Gesamtzahl der Variablen:	23
Zahl der Variablen in der Regression:	17
Bestimmtheitsmaß	$B = 83,24\%$; $R = 0,9124^{+++}$ $F = 18,698^{+++}$
Standardschätzfehler	$s_y = 1,4534$

Durch die Codierung der Nährstoffe wurde also genauso wie beim Bodenwasser eine bessere Korrelation zur Baumhöhe erzielt als bei Verwendung der aus dem einzelnen Profil abgeleiteten Werte für die Probeflächen. Ökologisch läßt sich dieses Resultat so deuten, daß ein Baum durch die Flächenausdehnung seines Wurzelsystems über ein Mosaik von Bodenformen integriert, so daß der über die Standortseinheit gemittelte Code die Einwirkungsintensität eines Wachstumsfaktors besser wiedergibt.

Am Beispiel dieser Beziehung sei die Anwendbarkeit multipler Regressionsgleichungen als Schätzfunktionen für die Ermittlung der Höhenwuchsleistung demonstriert. Im Untersuchungsgebiet berechnet sich die Höhenwuchsleistung der Fichte im Alter 80 (H_{080}) auf einem bestimmten Standort nach folgender Gleichung (vgl. ZECH und CEPEL, 1972):

$$H_{080} = - 22.39 + 0.0822 \text{ Wasser-Code} - 0.013 \text{ H ü NN} + 0.291 \text{ mmVZ} - 0.00037 \text{ mmVZ}^2 - 1.53 \text{ Topo-Code} + 0.0491 \text{ Topo-Code}^3 - 0.5264 \text{ Mächtigkeit } O_H - 0.0516 \text{ LK \% } A_h + 0.0957 \text{ LK \% Int.W.Sch.} - 0.0297 \text{ LK \% Ext.W.Sch.} - 0.0716 \text{ C/N } O_H + 0.0703 \text{ Bodenvolumen} + 2.12 \text{ P}_m \text{ Code} + 0.5608 \text{ K Code} + 0.4538 \text{ K Code}^2 - 0.0536 \text{ Ca Code}^3 - 0.7225 \text{ Mg Code.}$$

In Abb. 74 sind für jede der untersuchten Probeflächen die positiven oder negativen Abweichungen des berechneten Schätzwerts von der gemessenen Höhenwuchsleistung abgetragen. In der Abbildung sind ferner als Linien Abweichungen von $\pm 5\%$ sowie $\pm 10\%$ eingetragen. Man kann aus der Abbildung ersehen, daß 95% aller Probeflächen innerhalb eines Abweichungsrahmens von $\pm 10\%$ der gemessenen Höhenwuchsleistung liegen, und immerhin noch 75% in einem Abweichungsrahmen von $\pm 5\%$. Man ersieht ferner, daß im Bereich geringer Bonitäten negative Abweichungen häufig sind, d.h. die berechnete Wuchsleistung ist kleiner als die gemessene. Denselben Effekt stellten ZECH und CEPEL (1972) an ihrem Material (*Pinus brutia* in Südanatolien) fest. Die Aussagekraft der Schätzgleichung wird umso besser, je besser die Bonität ist.

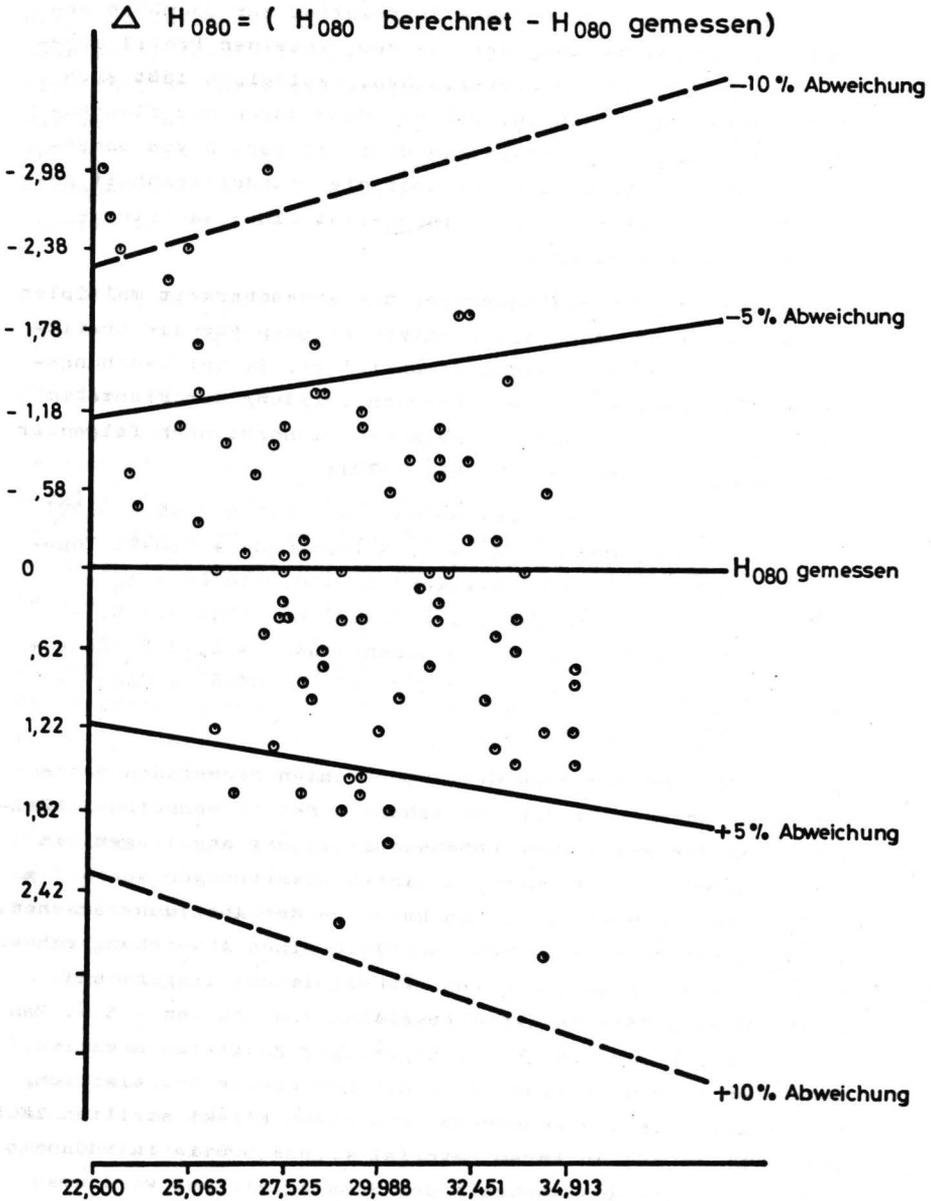


Abb: 74 Abweichung des mittels der Gleichung (s. 5.3.3.1) berechneten Höhenschätzwertes von H_{080} - Meßwert .

5.3.3.2 Berücksichtigung ausschließlich edaphischer Parameter

Zur Prüfung, welchen Einfluß die edaphischen Parameter alleine haben, wurde eine multiple Regression mit folgenden unabhängigen Variablen gerechnet: Wasser-Code, C/N-Verhältnis im O_H , Vorräte an N, P_t , P_m , Ca, Na, K, Mg, Fe, Mn, Al und AK_e . Mit den Transformationen stieg die Zahl der Variablen von 13 auf 22. Alle Variablen mit Ausnahme der Mn-Vorräte wurden in die Regressionsgleichung aufgenommen (Tabelle 48).

Die Variablen erklären 70,66 % der Gesamtvariation in der Baumhöhe. Der Wasser-Code alleine erklärte 57,2 % der Gesamtvariation, hieraus wird die Bedeutung der Wasserversorgung im Vergleich zur Trophie deutlich.

Ein Grund für die oft unzureichende Signifikanz von Nährstoffparametern bei der Erklärung des Baumwachstums ist die Korrelation zwischen zahlreichen Bodenmerkmalen und dem Nährstoffzustand des Bodens (RALSTON, 1964). Dies gilt auch für Parameter des Bodenwasserhaushalts. Die Abbildungen 75 bis 82 zeigen die Interdependenzen zwischen der verfügbaren Wasserkapazität und den Vorräten an austauschbaren Kationen. Die Ergebnisse stimmen mit denen von VOIGT (1959) überein, der ähnliche Beziehungen mit den Gehalten an austauschbaren Kationen ((Ca + Mg + K) in mval/100 g) gefunden hat. STOECKELER (1960) weist darauf hin, daß der Gehalt des Bodens an Schluff und Ton mit der Nährstoffversorgung korreliert ist, gleichzeitig aber auch mit der verfügbaren Wasserkapazität. Man kann in dieser Interkorrelation einen Grund dafür sehen, daß die Parameter zur Beschreibung der Nährstoffversorgung zusätzlich zu Parametern des Bodenwasserhaushalts nur relativ wenig zur Beschreibung der Baumhöhe bei der Fichte beitragen.

In einem weiteren Rechengang wurden nur die Parameter zur Kennzeichnung der Hauptnährstoffe N, P, K, Ca und Mg geprüft. Es blieben damit 6 Parameter (Wasser-Code, C/N-Verhältnis im O_H , P_m , K, Ca, Mg-Codes) übrig, die nach den Transformationen 12 Variable ergaben.

Ergebnis:

Tabelle 48:

STEP NUMBER 20
VARIABLE ENTERED 10

MULTIPLE R .8406
STD. ERROR OF EST. 1.9698

ANALYSIS OF VARIANCE

	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F RATIO
REGRESSION	20	569.964	28.498	7.345
RESIDUAL	61	236.676	3.880	

VARIABLES IN EQUATION

VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE
----------	-------------	------------	-------------

(CONSTANT	29.45365)		
W-CODE 2	.69524	.23207	14.8806
C/N-UH 3	-.27805	.19571	2.0184
HTOH/H 4	-.97908	1.06013	.8529
PTKG/H 5	.10750	.08973	1.4355
PMKG/H 6	-.18384	.12574	2.1375
CAKVAL 7	-.26785	.09565	7.8428
CAKVAL 8	4.47383	1.68952	7.0119
CAKVAL 9	-.02070	.00789	6.8854
NA-KVL 10	-.10094	.53517	.0356
NA-2KL 11	.01581	.01257	1.5835
A-KVAL 12	.31115	.34717	.8032
A-2KVL 13	-.00499	.00374	1.7812
HG-KVL 14	-.02491	.13135	.0360
HG-2KL 15	.06222	.20461	.0925
HG-3KL 16	-.00618	.00927	.4446
FE-KVL 17	.08667	.12392	.4892
AL-KVL 20	-.01498	.00579	6.6909
AKEKVL 21	1.09664	.87721	4.6748
AKEVAL 22	-.17321	.08162	4.5031
AKEVAL 23	.00524	.00225	5.4206

VARIABLES NOT IN EQUATION

VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER
----------	---------------	-----------	------------

MN-KVL 18	-.00216	.0940	.0003
MN-2KL 19	.01053	.1154	.0067

SUMMARY TABLE

STEP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE	INCREASE IN RSD	F VALUE TO ENTER UN REMOVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED
	ENTRFD	REMOVED				
1	W-CUDE	2	.7564	.5721	106.9488	1
2	C/N-OH	3	.7732	.0258	5.0758	2
3	PMG/H	6	.7770	.6038	1.1542	3
4	PTKG/H	5	.7888	.6223	3.7697	4
5	MG*3KL	16	.7926	.4287	1.2136	5
6	K-KVAL	12	.7986	.6378	1.9887	6
7	AL-KVI	20	.8009	.4414	.7406	7
8	K*2KVI	13	.8029	.6446	.6516	8
9	CAKVAL	7	.8056	.4490	.9113	9
10	AKE*3	23	.8116	.4587	2.0093	10
11	NA*2KI	11	.8147	.6638	1.0627	11
12	NTUN/H	4	.8166	.4668	.6180	12
13	FE-KVI	17	.8169	.6674	.1278	13
14	AKENVI	21	.8180	.4690	.3355	14
15	AKE*2	22	.8200	.6724	.6669	15
16	CAK*2	8	.8202	.4726	.0821	16
17	CAK*3	9	.8400	.7057	7.1577	17
18	MG*2KI	15	.8404	.7063	.1401	18
19	MG-KVI	14	.8405	.7064	.0178	19
20	NA-KVI	10	.8406	.7066	.0356	20

Abb. 75

Regressionsgleichungen

$$Y = 6.174 + 0.292 X$$

$$Y = 1.572 + 0.414 X - 0.000743 X^2$$

$$Y = 95.304 - 3.480 X + 0.049 X^2 - 0.000198 X^3$$

$$R \quad F$$

$$0.540^{***} \quad 32.968^{***}$$

$$0.542^{***} \quad 16.385^{***}$$

$$0.602^{***} \quad 14.759^{***}$$

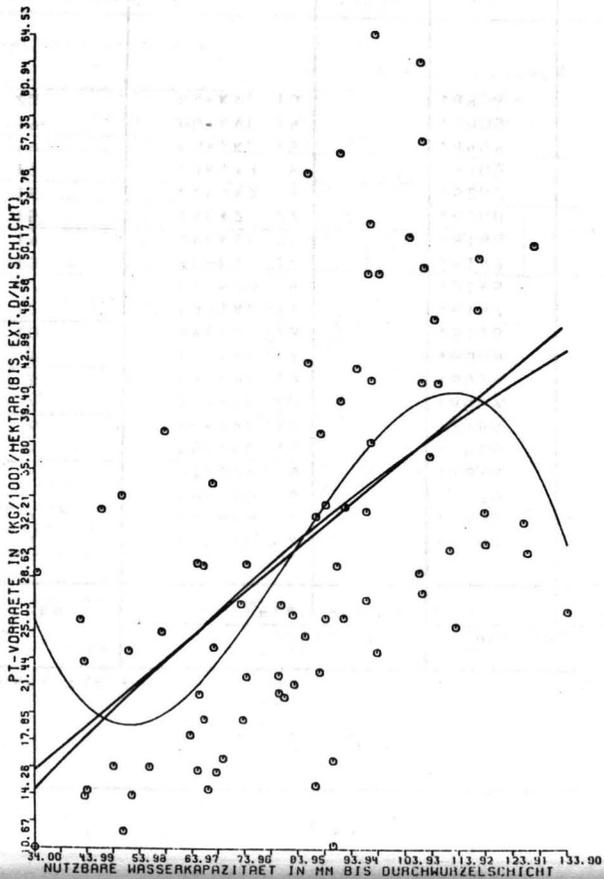


Abb. 76

Regressionsgleichungen

$$Y = 2.353 + 0.130 X$$

$$Y = 3.661 + 0.0956 X + 0.000211 X^2$$

$$Y = 58.567 - 2.186 X + 0.0293 X^2 - 0.000116 X^3$$

$$R \quad F$$

$$0.415^{***} \quad 16.683^{***}$$

$$0.416^{***} \quad 8.256^{***}$$

$$0.493^{***} \quad 8.349^{***}$$

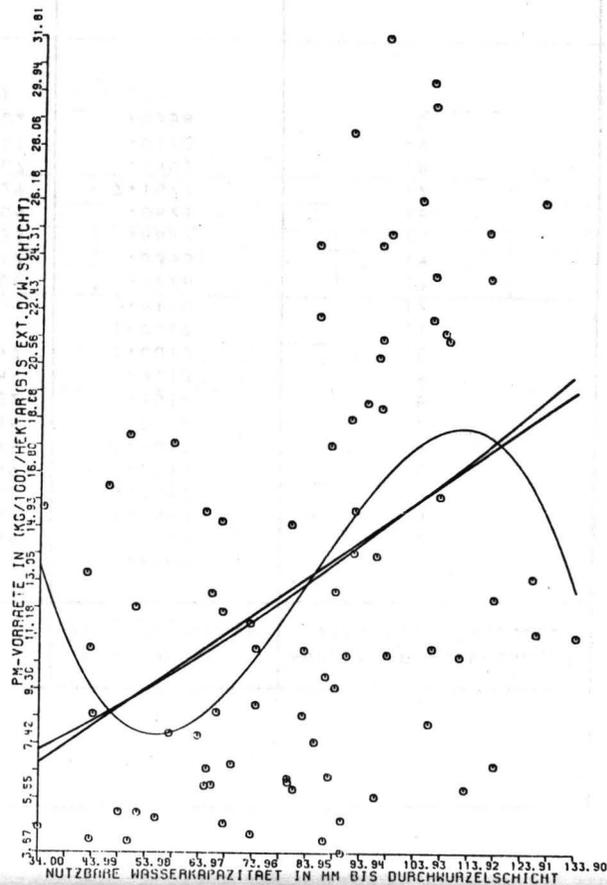


Abb. 76

$Y = 2.690 * X + 54.046$
 $R = 0.52083^{***}$ $F = 30.15065^{***}$

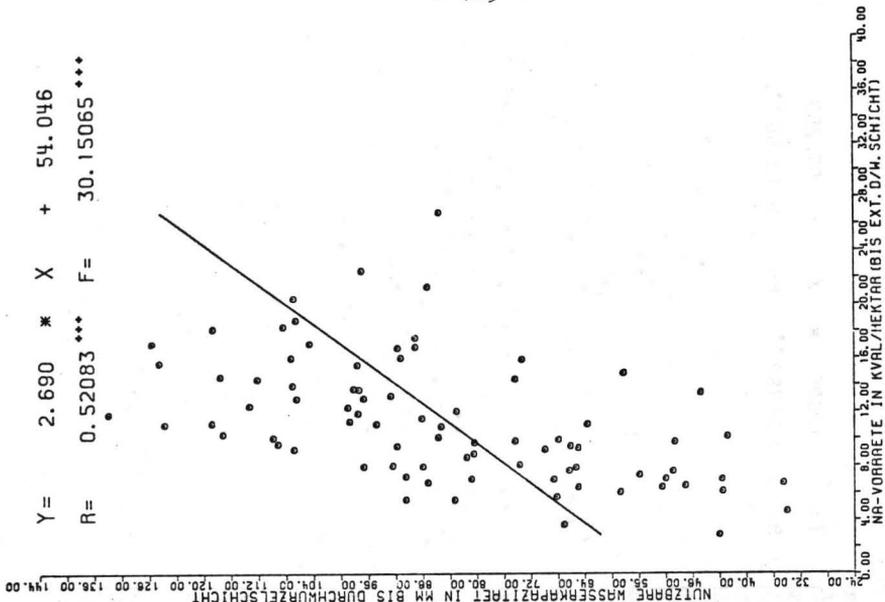
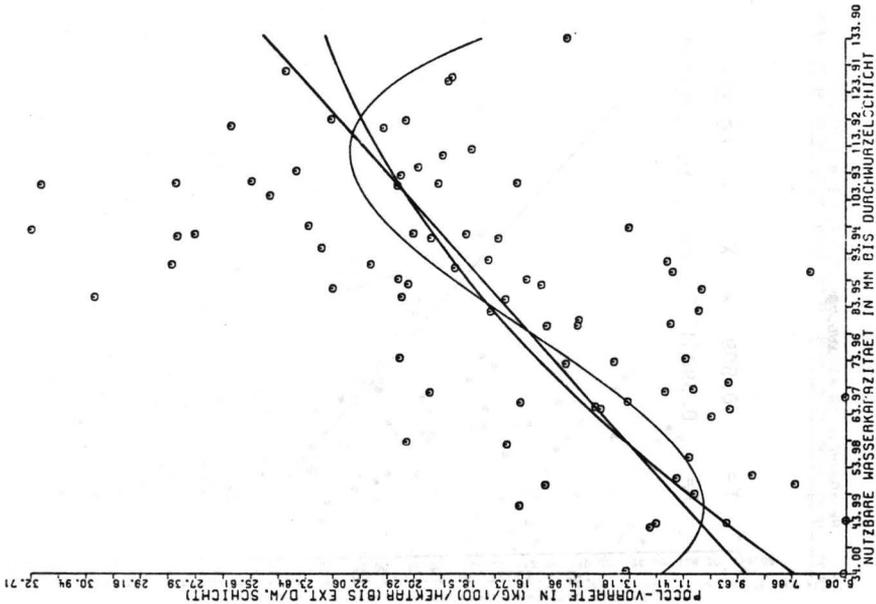


Abb. 77

Regressionsgleichungen

$Y = 3.949 + 0.159 X$ $R = 0.614^{***}$ $F = 48.490^{***}$
 $Y = -1.911 + 0.315 X - 0.000946 X^2$ 0.622^{***} 24.931^{***}
 $Y = 36.024 - 1.261 X + 0.0192 X^2 - 0.0000803 X^3$ 0.660^{***} 20.110^{***}



POCCL-VORARETE IN (KG/100)/HEKTAR (BIS EXT./D.H. SCHICHT)

Abb. 80

$$Y = 1.685 * X + 67.259$$

$$R = 0.31792^{**} \quad F = 9.10766^{**}$$

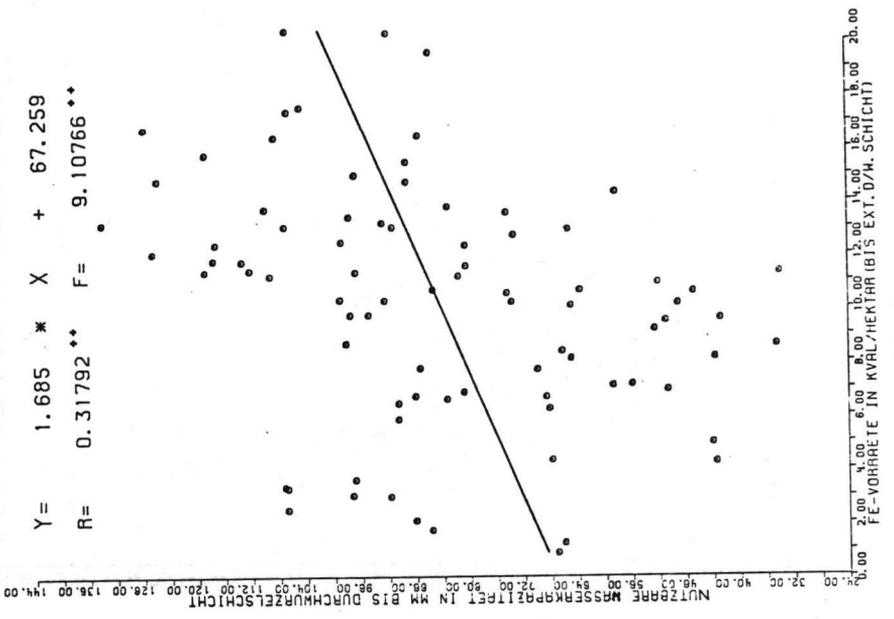


Abb. 79

$$Y = 0.909 * X + 66.331$$

$$R = 0.39031^{***} \quad F = 14.55751^{***}$$

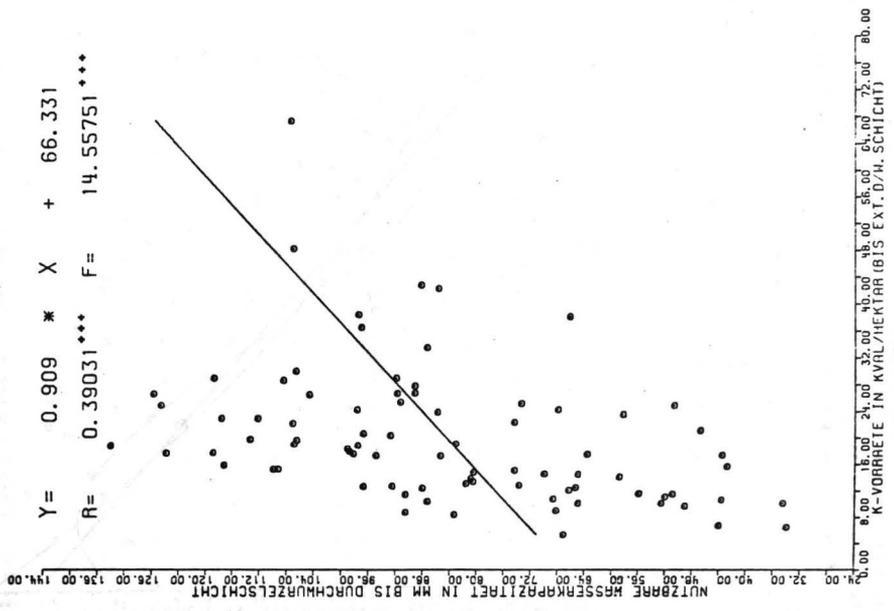


Abb. 81

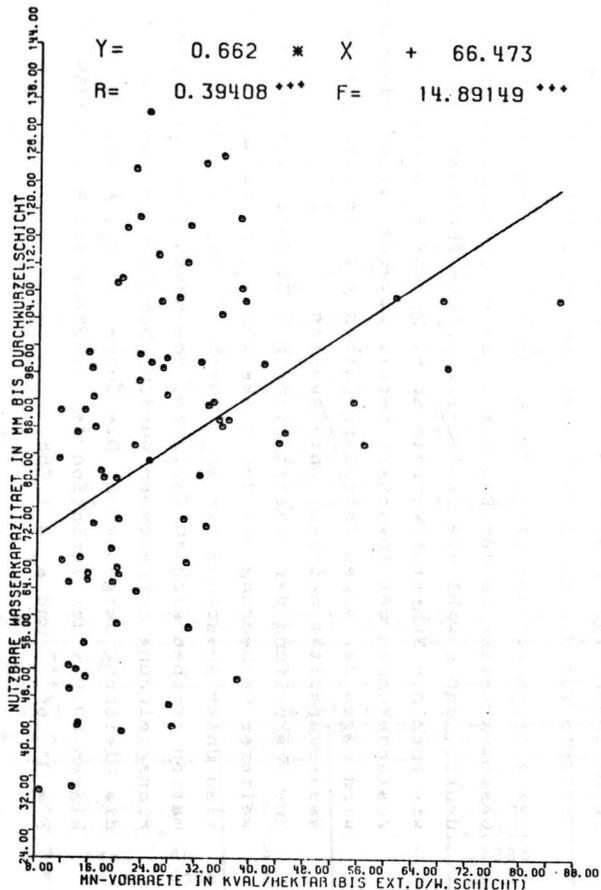
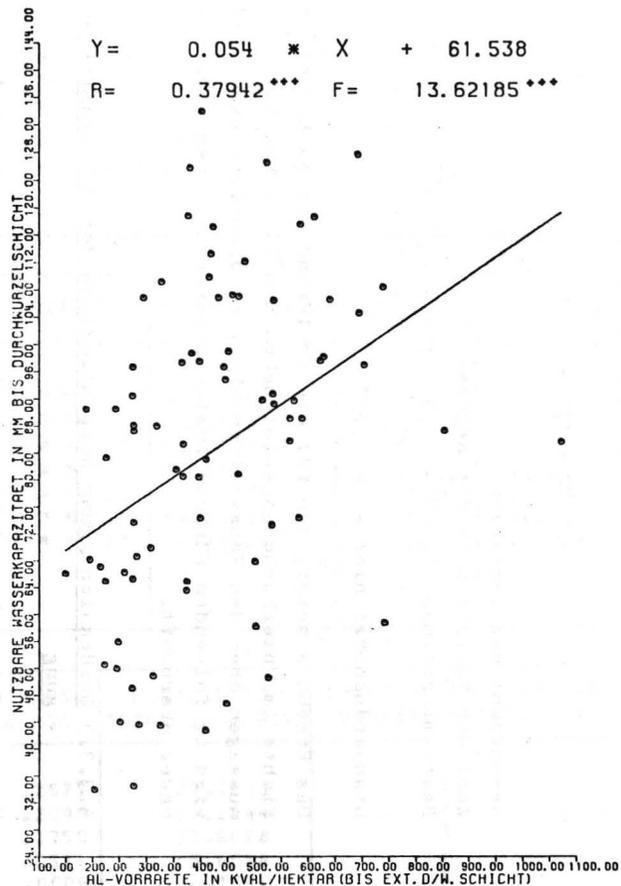


Abb. 82



Gesamtzahl der Variablen: 12
Zahl der Variablen in der Regression: 7
Bestimmtheitsmaß $B = 72,3 \%$; $R = 0,8503^{+++}$
 $F = 27,598^{+++}$
Standardschätzfehler $s_y = 1,7375$

Das Ergebnis zeigt, daß für die Erklärung des Wachstums der Fichte im Untersuchungsgebiet neben dem Wasserhaushalt auch Aussagen über den Nährstoffhaushalt erforderlich sind. Dies wird im folgenden für die austauschbaren Kationen noch genauer überprüft.

5.3.3.3 Berücksichtigung ausschließlich der Nährstoffversorgung

Wegen der Interkorrelationen zwischen Wasserkapazität nWK und Nährstoffparametern wurde ein Rechengang mit ausschließlicher Berücksichtigung der letzteren durchgeführt. Verwendet wurden die Nährstoff-Codes für P_m , K , Ca , Mg und AK_e . Mit den Transformationen ergaben sich aus den 5 Parametern insgesamt 12 Variable für die multiple Regression (vgl. Tab. 49).

Die 4 Trophie-Codes (AK_e , Mg , K und P_m) erklären 69,9 % der Gesamtvariation in der Baumhöhe. Dieses Ergebnis zeigt eindeutig, daß sowohl die Speicherkapazität für Kationen (AK_e) wie auch die Nährstoffvorräte an K , Mg und P_m wesentlich am Zustandekommen des Zuwachses beteiligt sind. Ihre Bedeutung wird wegen der engen Interkorrelation mit der verfügbaren Wasserkapazität meistens unterschätzt.

Zur Überprüfung der Aussortierung des Ca -Codes wurde ein weiterer Rechengang mit den Codes für P_m , K , Ca und Mg , d.h. also unter Ausschluß der AK_e , durchgeführt. Nach Transformation ergaben sich 10 Variable, von denen 5 in die Regressionsgleichung aufgenommen wurden. Der Ca -Code wurde nicht in die Gleichung aufgenommen. Die Codes für P_m , K und Mg erklären 69,9 % der Variation der Baumhöhe mit $R = 0,8359^{+++}$, $F = 35,266^{+++}$ und $s_y = 1,788$.

Tabelle 49:

STEP NUMBER 5
VARIABLE ENTERED 2

MULTIPLE R .8362
STD. ERROR OF EST. 1.7867

ANALYSIS OF VARIANCE

	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F RATIO
REGRESSION	5	564.029	112.806	35.338
RESIDUAL	76	242.610	3.192	

VARIABLES IN EQUATION				VARIABLES NOT IN EQUATION					
VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE	VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER		
(CONSTANT	24.11348								
n-Code	2	-2.36647	6.03047	.1540	K-Code	4	-.08981	.J001	.6098
n-Code 2	3	1.33254	1.35284	.9702	Ca-Code	6	-.08975	.0000	.6090
n-Code 2	5	.50634	.07399	46.8288	Ca 2 7		-.08972	.0000	.5086
g-Code	9	-1.51313	.19081	62.8873	Ca 2 8		-.08974	.0001	.6089
ke-Code	12	3.35894	1.97237	2.9002	Mg 2 10		-.09037	.0000	.6175
					Mg 2 11		-.08966	.0000	.6078
					Ake 2 13		.08982	.0001	.6100

F-LEVEL OR TOLERANCE INSUFFICIENT FOR FURTHER COMPUTATION

SUMMARY TABLE

STEP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE		INCREASE IN RSQ	F VALUE TO ENTER OR REMOVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED	
	ENTERED	REMOVED	R	RSQ				
1	Ake-Code	12		.5076	.2577	.2577	27.7691	1
2	Mg-Code	9		.6801	.4625	.2049	30.1144	2
3	K 2 Code	5		.7985	.6376	.1750	37.6628	3
4	Pm 2 Code	3		.8358	.6986	.0611	15.6028	4
5	Pm-Code	2		.8362	.6992	.0006	.1540	5

5.3.3.4 Berücksichtigung ausschließlich von Geländedaten

Für den Fall, daß im Rahmen einer forstlichen Standortskartierung bodenchemische Analysen nicht durchgeführt werden können, wird im folgenden ein Regressionsansatz geprüft, in dem ausschließlich aus Geländebeobachtungen ableitbare Parameter Verwendung finden. Hierfür wurden folgende 11 Parameter ausgewählt:

Lfd. Nr.	Parameter
1	Wasser-Code
2	Vegetationszeitniederschlag (mmVZ)
3	Höhe über NN
4	C/N O_H
5	Mächtigkeit O_H -Schicht
6	Luftkapazität- A_h %
7	Luftkapazität-Int.W.Sch. %
8	Luftkapazität-Ext.W.Sch. %
9	Lagerungsdichte-Int.W.Sch.
10	Lagerungsdichte-Ext.W.Sch.
11	Wasserdurchlässigkeitsklasse-Ext.W.Sch.

Da die Regressionsgleichung des Vegetationszeitniederschlags zur Baumhöhe quadratisch ist, ergibt sich mit der daraus folgenden Datentransformation eine Gesamtzahl von 12 Variablen. Die multiple Regressionsanalyse (Rechenprogramm: MULTR.) (s. Tabelle 50) hatte folgendes Ergebnis:

Gesamtzahl der Variablen: 12
Zahl der Variablen in der Regression: 12
Bestimmtheitsmaß $B = 71,5\%$; $R = 0,845^{+++}$
 $F = 14,39^{+++}$
Standardschätzfehler $s_y = 1,827$

Diese Auswertung zeigt, daß in dem untersuchten Standortskollektiv die die Durchwurzelung der Fichte entscheidend beeinflussenden bodenphysikalischen Parameter wie Lagerungs-

Tabelle 50:

MULTIPLE REGRESSION.....HESSFEN

SELECTION..... 1

VARIABLE NO.	MEAN	STANDARD DEVIATION	CORRELATION X VS Y	REGRESSION COEFFICIENT	STD. ERROR OF REG. COEF.	COMPUTED T VALUE
Wasser Code 1	8.34756	1.91274	.75636	.87243	.15126	5.76775
OH-C/N 2	33.41431	1.65309	-.52294	-.16628	.17056	-1.97493
mmVZ ₂ 3	342.14634	39.98553	.18026	.26640	.07973	3.34134
mmVZ 4	118643.46269	29390.13403	.16080	-.00034	.00011	-3.16096
Höhe ü NN 5	358.04878	63.96289	-.39785	-.01115	.00399	-2.79490
LD-Int. 6	2.39634	.76875	.31981	-.59323	.54161	-1.09529
LK%-Ah 7	30.06098	0.58111	-.27000	-.08256	.03578	-2.30722
Tiefe-OH 8	2.34756	1.03246	-.22545	-.64675	.25807	-2.50614
LK%-Int. 9	17.21951	6.92111	-.26729	.05795	.06040	.75938
WDLK-Ext. 10	3.31098	1.10174	-.23149	.40066	.39972	1.00235
LK%-Ext. 11	10.47561	7.52933	-.37391	-.07416	.06543	-1.13342
LD-Ext. 12	3.23780	.98515	.32588	.29923	.46828	.63899
DEPENDENT 1	29.12070	3.15571				
INTERCEPT		-16.34632				
MULTIPLE CORRELATION (R)		.84532+++	$R^2 = 71.5\%$			
STD. ERROR OF ESTIMATE.		1.82672				
<u>ANALYSIS OF VARIANCE FOR THE REGRESSION</u>						
SOURCE OF VARIATION	DEGREES OF FREEDOM	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARES	F VALUE		
ATTRIBUTABLE TO REGRESSION	12	476.39445	48.03287	14.39449 +++		
DEVIATION FROM REGRESSION	69	230.24561	3.33689			
TOTAL	81	706.64006				

dichte, Luftkapazität und Wasserdurchlässigkeit, die selbst hohe Interkorrelationen aufweisen, von erheblicher Bedeutung für die Zuwachsleistung der Fichte sind. Über die Regulierung der Tiefe der Durchwurzelung sind diese bodenphysikalischen Parameter auch eng sowohl mit der nutzbaren Wasserkapazität wie mit den Nährstoffvorräten korreliert, die proportional der Durchwurzelungstiefe zunehmen.

5.3.3.5 Substratabhängigkeit

Das geologische Substrat als Ausgangsmaterial der Bodenbildung hat großen Einfluß auf die Bodenentwicklung. Dies zeigt die zum Teil sehr strenge Substratgebundenheit von Bodentypen wie Ranker, Rendzina, Braunerde oder Parabraunerde. Die Substratgebundenheit macht sich auch bei ökologischen Bodenmerkmalen deutlich bemerkbar und hat dazu geführt, daß in Gebieten mit geringer Klimadifferenzierung die forstlichen Standortstypen nach dem Substrat gruppiert werden (z.B. in Niedersachsen, OTTO, 1972; Ontario, HILLS, 1954). Die vom Substrat beeinflussten ökologischen Merkmale können sich auf Luft-, Wasser- und Nährstoffhaushalt erstrecken; ein Beispiel für die Auswirkung auf das Baumwachstum diskutiert LUTZ (1959) anhand von Standorten auf Serpentin, Quarzit und Kalkstein.

Liegt eine erhebliche Substratabhängigkeit von ökologischen Bodenmerkmalen vor, so wird die Aussage über die Beziehungen zwischen Standortfaktoren und Wachstum durch eine entsprechende Stratifizierung des Materials verbessert. Ein Beispiel hierfür gibt ZAHNER (1958), der das Wachstum auf sandigen Küstensedimenten mit denjenigen auf Löß vergleicht. Im folgenden soll der Frage einer substrattypischen Differenzierung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Standorte mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse nach Stratifizierung des Materials in Standorte auf Buntsandstein, sowie Standorte auf Tonschiefer, Grauwacke und Quarzit nachgegangen werden.

5.3.3.5.1 Buntsandstein

Zunächst wurde erneut die Linearitätsprüfung mit Hilfe des Rechenprogramms LIPR durchgeführt: berechnet wurden die einfachen Regressionen zwischen der Baumhöhe als Zielgröße und jeder einzelnen unabhängigen Variablen. Unter Berücksichtigung der Interkorrelation von Daten (aufgrund der Korrelationsmatrix) wurden folgende 15 Parameter für die weitere Analyse ausgewählt:

Lfd. Nr.	Parameter	Regression zur Baumhöhe (Typ)
1	Wasser-Code II	lin.
2	Regenfaktor IV	kub.
3	C/N - O_H	lin.
4	Mächtigkeit O_H -Schicht	quadr.
5	Luftkapazität- A_h %	lin.
6	Luftkapazität-Int.W.Sch. %	lin.
7	Luftkapazität-Ext.W.Sch. %	lin.
8	Wasserdurchlässigkeitsklasse-Ext.W.Sch.	lin.
9	pH - Ext.W.Sch.	kub.
10	C t/ha ($O_H + A_h$)	lin.
11	Bodenvolumen ($A_h + \text{Int.} + \text{Ext.W.Sch.}$)m ³ /ha	lin.
12	P_m -Vorrat ($O_H + A_h + \text{Int.} + \text{Ext.W.Sch.}$)kg/ha (1/100)	lin.
13	Ca-Vorrat ($A_h + \text{Int.} + \text{Ext.W.Sch.}$)kval/ha (1/100)	lin.
14	K-Vorrat ($A_h + \text{Int.} + \text{Ext.W.Sch.}$)kval/ha (1/100)	quadr.
15	Mg-Vorrat ($A_h + \text{Int.} + \text{Ext.W.Sch.}$)kval/ha (1/100)	quadr.

Die multiple Regressionsanalyse zeigte folgendes Ergebnis:

Gesamtzahl der Variablen: 22
 Zahl der Variablen in der Regression: 19
 Bestimmtheitsmaß $B = 82,95\%$; $R = 0,9108^{+++}$
 $F = 11,268^{+++}$

Standardschätzfehler $s_y = 1,6087$

Tabelle 51:

STEP NUMBER 21
VARIABLE ENTERED 20

MULTIPLE R .9108
STD. ERROR OF EST. 1.6087

ANALYSIS OF VARIANCE

	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F RATIO
REGRESSION	19	554.077	29.162	11.268
RESIDUAL	44	113.871	2.588	

VARIABLES IN EQUATION

VARIABLES NOT IN EQUATION

VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE	VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER
(CONSTANT	-35.55187)						
Wasser Code-II 2	.87925	.22196	15.6916	WDLK-Ext. 6	.00089	.1400	.0000
LK%-Ah 3	-.05867	.03667	2.5593	RF-IV ³ / 18	-.12503	.0031	.6834
LK%-Int 4	.04491	.04856	.8555	pH-Ext 22	-.08073	.0000	.2821
LK%-Ext 5	.02349	.05121	.2105				
C/N-OH 7	.37062	.35481	1.0910				
Boden Volumen 8	.04452	.22998	.0375				
C Ton/ha 9	-.48876	.32384	2.2778				
Pm-Vorrat 10	-.06752	.04102	2.7099				
Ca-Vorrat 11	-.10201	.03511	8.4401				
K-Vorrat ₂ 12	-.37846	.37354	1.0265				
K-Vorrat ₁ 13	.00097	.00643	.0227				
Mg-Vorrat ₂ 14	1.18801	.55116	4.6461				
Mg-Vorrat ₁ 15	-.01500	.01274	1.3872				
RF-IV ₂ 16	1.67633	.82135	4.1655				
RF-IV ₁ /1000 17	-47.41532	25.45687	3.4692				
Tiefe-OH ₂ 19	3.85813	2.62683	2.1572				
Tiefe-OH ₁ 20	-.02608	.15796	.0273				
pH-Ext ₃ 21	11.40210	8.06648	1.9980				
pH-Ext ₂ 23	-.27104	.17716	2.3405				

F-LEVEL OR TOLERANCE INSUFFICIENT FOR FURTHER COMPUTATION

SUMMARY TABLE

STEP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE		INCREASE IN RSG	F VALUE TO ENTER OR REMOVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED
	ENTERED	REMOVED	R	RSG			
1 W.C.-I ₁	2		.7725	.5967	.5967	91.7286	1
2 pH-Ext ³	23		.7983	.6372	.0405	6.8134	2
3 LK%-Ah	3		.8098	.6558	.0185	3.2326	3
4 WDLK-Ext	6		.8208	.6737	.0180	3.2534	4
5 Ng-Vorrat	14		.8366	.7000	.0262	5.0712	5
6 C Ton/Ha	9		.8435	.7115	.0115	2.2680	6
7 Tiefe-OH	19		.8594	.7385	.0270	5.7927	7
8 C/N-OH	7		.8708	.7582	.0197	4.4882	8
9 Pm-Vorrat	10		.8746	.7649	.0067	1.5333	9
10 RF-IV ₂	16		.8795	.7736	.0037	2.0329	10
11 RF-IV ²	17		.8860	.7849	.0113	2.7368	11
12 Ca-Vorrat	11		.8894	.7910	.0061	1.4826	12
13 K-Vorrat ²	13		.8976	.8057	.0147	3.7896	13
14 pH-Ext	21		.9026	.8147	.0090	2.3818	14
15 LK%-Int	4		.9072	.8231	.0084	2.2679	15
16 Ng-Vorrat ²	15		.9082	.8249	.0018	.4906	16
17 K-Vorrat	12		.9102	.8285	.0036	.9730	17
18 LK%-Ext	5		.9106	.8293	.0007	.1907	18
19 WDLK-Ext.....6		6	.9106	.8293	-.0000	.0000	17
20 Boden Volumen	8		.9107	.8294	.0002	.0406	18
21 Tiefe-OH ²	20		.9108	.8295	.0001	.0273	19

Tabelle 52:

STEP NUMBER 24
VARIABLE ENTERED 3

MULTIPLE R .9493
STD. ERROR OF EST. 1.3511

ANALYSIS OF VARIANCE

	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F RATIO
REGRESSION	20	549.705	27.485	15.057
RESIDUAL	33	60.238	1.825	

VARIABLES IN EQUATION

VARIABLES NOT IN EQUATION

VARIABLE		COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE	VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER
(CONSTANT		-43.74005)						
Wasser Code	2	.84533	.22748	13.8095	T.C. ²	7	-.04043	.0052 .0525
Höhe ü NN	3	.00083	.00689	.0144	LD-Ext	11	-.00420	.1893 .0006
mmVZ	4	.35945	.08647	17.2304	C/N-OH	16	.00362	.1164 .0004
mmVZ ²	5	-.45945	.11713	15.3967	Ca-Vorrat ²	21	.02613	.0004 .0219
T.Code ₂	6	-1.58556	.63865	6.1636	K-Vorrat ²	24	-.00081	.0047 .0000
T.Code ₃	8	.05305	.02125	6.2330	Mg-Vorrat ²	26	-.01012	.0002 .0033
Tiefe-OH	9	1.32793	1.58373	.6986				
L.D.-Int.	10	-.88697	.52219	2.8851				
L.K.-Ah	12	-.07357	.03631	4.1055				
L.K.-Int	13	.03491	.06501	.2383				
L.K.-Ext	14	-.01901	.07082	.0720				
WDLK-Ext	15	.41713	.47373	.7753				
Boden Volumen	17	-.09923	.21717	.1690				
C Ton/Ha	18	-.25674	.16683	2.3683				
Pm-Vorrat	19	-.06493	.05743	1.2803				
Ca-Vorrat	20	-.06798	.07093	.9187				
Ca-Vorrat ³	22	-.00652	.01386	.1077				
K-Vorrat	23	-.34028	.17548	3.7603				
Mg-Vorrat ₂	25	1.00247	.29664	11.4204				
Mg-Vorrat ₃	27	-.03294	.01625	4.1094				

F-LEVEL OR TOLERANCE INSUFFICIENT FOR FURTHER COMPUTATION

SUMMARY TABLE

STEP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE		INCREASE IN R53	F VALUE TO ENTER OR REMOVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED
	ENTERED	REMOVED	R	R53			
1 Wasser Code	2		.7917	.6268	.6268	87.3269	1
2 LK%-Ah	12		.8148	.6639	.6371	5.6307	2
3 WDLK-Ext	15		.3297	.6385	.0246	3.9432	3
4 C/N-OH	16		.8403	.7061	.0177	2.9446	4
5 LK%-Ext	14		.3546	.7303	.0242	4.3079	5
6 T.Code	6		.8651	.7484	.0181	3.3810	6
7 Ca-Vorrat ³	22		.8736	.7632	.0147	2.8634	7
8 Mg-Vorrat ³	25		.8831	.7798	.0167	3.4076	8
9 K-Vorrat ²	24		.8888	.7399	.0101	2.1061	9
10 mmVZ ²	4		.8979	.8062	.0163	3.6132	10
11 mmVZ ²	5		.9174	.8417	.0355	9.4193	11
12 C Ton/Ha	18		.9258	.8571	.0154	4.4327	12
13 L.D.Int ³	10		.9352	.8746	.0175	5.5809	13
14 T.Code ³	8		.9430	.8892	.0146	5.1217	14
15 Pm-Vorrat ³	19		.9456	.8941	.0049	1.7578	15
16 Mg-Vorrat ³	27		.9466	.8961	.0020	.7256	16
17 Ca-Vorrat	20		.9474	.8977	.0015	.5415	17
18 K-Vorrat ²	23		.9485	.8996	.0020	.6952	18
19 K-Vorrat ²24		24	.9485	.8996	-.0000	.0004	17
20 Tiefe-OH	9		.9488	.9001	.0005	.1768	18
21 LK%-Int	13		.9491	.9003	.0006	.2143	19
22 Boden Volumen	17		.9493	.9012	.0004	.1416	20
23 C/N-OH.....16		16	.9493	.9012	-.0000	.0001	19
24 Höhe ü NN	3		.9493	.9012	.0000	.0144	20

STEP NUMBER 29
 VARIABLE ENTERED 13

Tabelle 53:

MULTIPLE R .9391
 STD. ERROR OF EST. 1.5497

ANALYSIS OF VARIANCE

	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F RATIO
REGRESSION	23	537.900	23.387	9.739
RESIDUAL	30	72.043	2.401	

VARIABLES IN EQUATION

VARIABLES NOT IN EQUATION

VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE	VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER
(CONSTANT	-38.56264						
Wasser Code 2	.38384	.23842	17.2020	H.U.NN 3	.00352	.1457	.0004
mmVZ 2	.32617	.09831	11.0076	T.Code 2 7	-.01068	.0003	.0033
mmVZ 2	-.42984	.13154	10.6790	Nadel-N 20	-.01094	.4862	.0035
T.Code 3	-1.35991	.73954	3.5832	Nadel-K 22	.06253	.0003	.1140
T.Code 3	.03606	.02456	2.1559				
Tiefe-OH 9	4.57711	2.71394	2.8444				
LD-Int 10	-.80397	.60126	1.7873				
LD-Ext 11	-.12196	.57725	.0446				
LK%-An 12	-.15399	.04109	14.0451				
LK%-Int 13	.01322	.07116	.0345				
LK%-Ext 14	-.23293	.08092	8.2903				
WDLK-Ext 15	1.60994	.57586	7.8160				
C/N-OH 16	.16027	.37873	.1791				
Boden Volumen 17	.15104	.18449	.6702				
C Ton/Ha 18	-.53421	.30307	3.8441				
Nadel-Asche% 19	-.35855	1.00363	.1275				
Nadel-P 21	-.33265	1.52625	.0662				
Nadel-Ca 23	2.97882	2.75235	1.1713				
Nadel-Mg 24	-1.83562	1.19715	1.9638				
Nadel-K 25	-.10651	.12793	.6932				
Nadel-K 26	.01247	.01333	.8756				
Nadel-Ca 27	-.49754	.44218	1.2718				
Nadel-Ca 28	.02741	.02263	1.4671				

SUMMARY TABLE

ST-EP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE		INCREASE IN REQ	F VALUE TO ENTER OR REMOVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED
	ENTERED	REMOVED	R	REQ			
1	Wasser Code	2	.7917	.6268	.6268	87.3269	1
2	LK%-Ah	12	.8143	.8639	.0371	5.6307	2
3	WDLK-Ext	15	.8297	.6885	.0246	3.9432	3
4	C/N-OH	19	.3403	.7061	.0177	2.9446	4
5	LK%-Ext	14	.8546	.7303	.0242	4.3070	5
6	T.Code	6	.3651	.7484	.0131	3.3910	6
7	Nadel-Ca ₂	28	.8745	.7648	.0164	3.2103	7
9	Nadel-Ca ₂	27	.3333	.7802	.0154	3.1538	8
9	Nadel-N	26	.8906	.7932	.0130	2.7697	9
10	T.Code	8	.8938	.7393	.0056	1.1957	10
11	LD-Int	10	.8976	.8057	.0068	1.4775	11
12	Boden Volumen	17	.3012	.9121	.0064	1.3977	12
13	C Ton/Ha	18	.9037	.8167	.0046	.9972	13
14	Tiefe-OH	9	.3123	.8323	.0157	3.6405	14
15	Höhe über NN	3	.9161	.8392	.0069	1.6285	15
15	Nadel-Mg	24	.9233	.3434	.0042	.9337	16
17	Nadel-Ca	23	.9237	.8441	.0007	.1703	17
18	LD-Ext	11	.9232	.8449	.0008	.1737	18
19	Nadel-Asche%	19	.9237	.8459	.0010	.2253	19
20	Nadel-K	25	.9239	.8462	.0003	.0684	20
21	Nadel-P	21	.9200	.8464	.0001	.0001	21
22	mmVZ ₂	5	.9200	.3464	.0001	.0127	22
23	mmVZ	4	.9277	.8792	.0028	8.1391	23
24	LD-Ext.....	11	.9375	.3792	-.0000	.0019	22
25	Nadel-N.....	20	.9376	.8792	-.0000	.0000	21
26	Nadel-K ₂	25	.9339	.9315	.0024	.5405	22
27	Höhe über NN.....	3	.9329	.8810	-.0000	.0000	21
28	LD-Ext	11	.9390	.8817	.0002	.0096	22
29	LK%-Int	13	.9391	.8819	.0001	.0045	23

Vergleicht man dieses Ergebnis mit dem vergleichbaren Resultat für das Gesamtkollektiv (Kapitel 5.3.2.2), so ergibt sich zwar keine Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes, jedoch wird mit Hilfe von 14 Standortparametern annähernd dasselbe Ergebnis erzielt (vgl. Tab. 51) wie beim Gesamtkollektiv unter Verwendung von 17 Parametern (vgl. Tab. 45).

Analog dem Vorgehen bei dem Gesamtkollektiv wurde die Linearitätsprüfung getrennt für die 54 Standorte durchgeführt, für die Nadelspiegelwerte vorliegen. Ziel ist auch hier der Vergleich der Aussagekraft von Nadelspiegelwerten und Nährstoffvorräten im Boden. Die in der multiplen Regressionsanalyse jeweils verwendeten Variablen können aus Tabelle 52 entnommen werden.

In einer ersten multiplen Regression wurde der Wasserhaushalt durch den Wasser-Code II, der Nährstoffhaushalt durch die Bodenvorräte charakterisiert. Ergebnis:

Gesamtzahl der Variablen: 26
Zahl der Variablen in der Regression: 20
Bestimmtheitsmaß $B = 90,12 \%$; $R = 0,9493^{+++}$
 $F = 15,057^{+++}$
Standardschätzfehler $s_y = 1,3511$

Verglichen mit dem Ergebnis in Kapitel 5.3.2.2 (Tab. 45) ergibt sich eine erhebliche Verbesserung der Straffheit der multiplen Regression (B steigt von 83 auf 90 %).

Ersetzt man den Wasser-Code durch die nWK mm \pm Zu-/Abschlag, so weist die Regressionsgleichung ein Bestimmtheitsmaß von 86,5 % auf (beim Gesamtkollektiv 79,7 %).

Ersetzt man die Bodenvorräte durch die Nadelspiegelwerte (vgl. Tabelle 53), so ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß der multiplen Regression von 88,2 % gegenüber 79,6 % beim Gesamtkollektiv. Die Überlegenheit der Bodenvorräte im Vergleich zu den Nadelspiegelwerten ist ähnlich wie beim Gesamtkollektiv. Zur Überprüfung der den Wasserhaushalt ausdrückenden Parameter wurde schließlich noch der Wasser-Code wieder durch die nWK ersetzt, das Bestimmtheitsmaß der multiplen Regression ergibt sich zu 83,4 % gegenüber 76,6 % beim Gesamtkollektiv. Die Überlegenheit des Wasser-Codes gegenüber der nWK ist bei den Buntsandsteinstandorten nicht anders als beim Gesamtkollektiv.

5.3.3.5.2 Tonschiefer, Grauwacke und Quarzit

Auf Grund der Linearitätsprüfung und der Korrelationsmatrix wurden bei dieser Gruppe folgende 12 Parameter für die weitere Verrechnung ausgewählt:

Lfd. Nr.	Parameter	Regression zur Baumhöhe (Typ)
1	Wasser-Code II	lin.
2	Regenfaktor IV	kub.
3	C/N - O_H	lin.
4	Mächtigkeit O_H -Schicht	lin.
5	Mächtigkeit A_h -Horizont	lin.
6	pH - Ext.W.Sch.	lin.
7	Luftkapazität-Ext.W.Sch. %	lin.
8	Topo-Code (T)	lin.
9	Topo-Code (F)	lin.
10	P_m -Vorrat ($O_H + A_h + \text{Int.} + \text{Ext.W.Sch.}$) kg/ha (1/100)	lin.
11	Ca-Vorrat ($A_h + \text{Int.} + \text{Ext.W.Sch.}$) kval/ha (1/100)	lin.
12	K-Vorrat ($A_h + \text{Int.} + \text{Ext.W.Sch.}$) kval/ha (1/100)	lin.

Als Ergebnis der multiplen Regressionsanalyse ergibt sich:

Gesamtzahl der Variablen: 14

Zahl der Variablen in der Regression: 13

Bestimmtheitsmaß $B = 93,75\%$; $R = 0,9683$
 $F = 4,617^{NS}$

Standardschätzfehler $s_y = 1,3677$

Die Beziehung zeigt zwar ein hohes Bestimmtheitsmaß, doch ist wegen der geringen Zahl der Standorte ($n = 18$) der F-Wert nicht signifikant. Aus den Tabellen 54 und 55 ergibt sich, daß dieses Ergebnis in 17 Auswahlritten erzielt wurde, daß jedoch von Schritt 13 bis zu Schritt 17 kein wesentlicher Anstieg im Bestimmtheitsmaß mehr erzielt wurde (von 93,27 auf

Tabelle 54:

STEP NUMBER 17
VARIABLE ENTERED 6

MULTIPLE R .9683
STD. ERROR OF EST. 1.3677

ANALYSIS OF VARIANCE

	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F RATIO
REGRESSION	13	112.281	8.637	4.617
RESIDUAL	4	7.483	1.871	

VARIABLES IN EQUATION

VARIABLES NOT IN EQUATION

VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	F TO REMOVE
----------	-------------	------------	-------------

VARIABLE	PARTIAL CORR.	TOLERANCE	F TO ENTER
----------	---------------	-----------	------------

(CONSTANT 93.19547)

Wasser Code	2	1.00175	.46421	4.6559
Tiefe-OH	3	1.55749	1.31732	1.3979
LK%-Ext	4	.11407	.23393	.2378
C/N-OH	5	-1.27655	.67851	3.5397
Pm-Vorrat	6	.03126	.17967	.0303
Ca-Vorrat	7	.00403	.01239	.2057
K-Vorrat	8	.02197	.04460	.2425
Topo Code(T)	9	.33024	1.11546	.6877
Topo Code(F)	10	.22970	.77859	.0870
R.F.IV ₃	11	-3.76740	4.80377	.6151
R.F.IV ₇	13	8.34236	8.72023	.9152
Tiefe-Ah	14	-.28600	.42140	.4606
pH-Ext.	15	-1.46997	2.24400	.4291

RF-IV² 12

-.65066

.0000

2.2025

LIST OF RESIDUALS:

CASE	RESIDUAL	CASE	RESIDUAL
1	-.35349	10	-1.12765
2	-.38148	11	-.08142
3	-.52460	12	.08365
4	.51485	13	-.41054
5	.98983	14	.95000
6	.33465	15	.44918
7	.77228	16	-.15982
8	-1.32940	17	-.53382
9	.29712	18	.51070

F-LEVEL OR TOLERANCE INSUFFICIENT FOR FURTHER COMPUTATION

186

Tabelle 55:

SUMMARY TABLE

STEP NUMBER	VARIABLE		MULTIPLE		INCREASE IN RSQ	F VALUE TO ENTER OR REMOVE	NUMBER OF INDEPENDENT VARIABLES INCLUDED
	ENTERED	REMOVED	R	RSQ			
1	LK%-Ext	4	.7160	.5127	.5127	16.8323	1
2	pH-Ext	15	.8279	.6854	.1727	8.2370	2
3	Tiefe-OH	3	.8655	.7491	.0637	3.5565	3
4	R.F.IV ³	13	.8845	.7824	.0332	1.9650	4
5	Wasser Code	2	.9114	.8306	.0482	3.4165	5
6	C/N-OH	5	.9394	.8825	.0519	4.8612	6
7	Topo Code(T)	9	.9605	.9226	.0401	5.1748	7
8	Pm-Vorrat	6	.9619	.9252	.0026	.3151	8
9	R.F.IV	11	.9632	.9277	.0025	.2744	9
10	LK%-Ext.....	4	.9632	.9277	-.0000	.0021	8
11	Tiefe-Ah	14	.9650	.9313	.0036	.4203	9
12	K-Vorrat	8	.9658	.9328	.0015	.1576	10
13	Pm-Vorrat.....	6	.9658	.9327	-.0000	.0042	9
14	LK%-Ext	4	.9667	.9346	.0018	.1971	10
15	Ca-Vorrat	7	.9674	.9353	.0013	.1199	11
16	Topo Code(F)	10	.9680	.9370	.0012	.0936	12
17	Pm-Vorrat	6	.9683	.9375	.0005	.0303	13

93,75). Da bereits mit den ersten 7 Auswahlritten ein Bestimmtheitsmaß von 92,26 % erreicht wird, wären im Grunde genommen die bis zu diesem Schritt in die multiple Regression aufgenommenen Variablen für eine hinreichend genaue Beschreibung der Beziehungen zwischen Standortsfaktoren und Wachstum ausreichend.

Verglichen mit dem Gesamtkollektiv ($B = 83,1 \%$, vgl. Tab. 45) ist die Aussagekraft der multiplen Regression bei Beschränkung auf die Standorte auf Tonschiefer, Grauwacke und Quarzit wesentlich erhöht ($B = 93,7 \%$).

Ersetzt man den Wasser-Code II durch die nWK, so ergibt sich:
Gesamtzahl der Variablen: 14

Zahl der Variablen in der Regression: 12

Bestimmtheitsmaß $B = 92,0 \%$; $R = 0,959$

$F = 4,786^+$

Standardschätzfehler $s_y = 1,385$

Beim Tonschiefer bringt also die Einführung des Wasser-Codes im Gegensatz zu Buntsandstein (und des Gesamtkollektivs) keine wesentliche Verbesserung des Ergebnisses. Dieses Ergebnis soll jedoch wegen der geringen Anzahl der Tonschieferstandorte nicht weiter interpretiert werden.

6. Diskussion

Will man die festgestellten statistischen Beziehungen zwischen Baumwachstum und Standortparametern mit den Ergebnissen anderer Autoren vergleichen, so ist zuallererst die örtliche Gebundenheit der jeweils gefundenen Beziehungen zu beachten. Besonders CARMEAN (1971) hat darauf hingewiesen, daß sowohl als Resultat unterschiedlicher Wachstumsansprüche der Baumarten und unterschiedlicher Standortverhältnisse wie auch aufgrund der statistischen Auswertungsverfahren die Ergebnisse nicht über den Untersuchungsraum und die untersuchte Baumart hinaus extrapoliert werden dürfen.

Das Ergebnis, daß die Bodenwasserversorgung vorrangige Bedeutung für das Fichtenwachstum hat, stimmt mit der Erwartung überein. Die Bedeutung des Wasserangebots wurde auch von zahlreichen anderen Autoren festgestellt (z.B. GUPTA, 1960; HORTON und LEES, 1961; MACLEAN und BEDELL, 1955; KRAMER und KOZLOWSKI, 1960; STRANSKY und WILSON, 1964). In den multiplen Regressionen ist dagegen die Niederschlagshöhe als wachstumsentscheidender Parameter zurückgedrängt, obwohl ähnlich wie bei KOCH (1958) und NEBE (1968) auch im Untersuchungsgebiet eine signifikante Beziehung zur Baumhöhe besteht. Die Beziehung ist jedoch nicht linear, sondern hat ein Maximum bei 900 mm Jahresniederschlag bzw. 380 mm Vegetationszeitniederschlag. Wegen der engen Korrelation zwischen Niederschlagshöhe und Temperatur (Verknüpfung über die Höhenlage) entziehen sich solche Optimumkurven jedoch einer eindeutigen Interpretation.

Auch die positive Korrelation der Baumhöhe zur Lagerungsdichte des Bodens sowie die negative zur Durchlässigkeit und zur Luftkapazität dürften indirekt durch die Bodenwasserversorgung verursacht sein. FOIL und RALSTON (1967) haben bereits darauf hingewiesen, daß bei lockerer Lagerung des Bodenmaterials die Durchlässigkeit und Luftkapazität erhöht ist, die Mengen an verfügbarem Wasser und Nährstoffen jedoch auf suboptimales Niveau gedrückt werden kann. Der Befund steht auch schon deshalb nicht im Widerspruch zu den bekannten hohen Ansprüchen der Fichte an die Luftversorgung im Wurzelraum, weil staunasse Standorte, also Böden mit hoher Lagerungsdichte sowie geringer Durchlässigkeit und Luftkapazität, absichtlich nicht in das untersuchte Kollektiv aufgenommen worden waren. Unterstellt man für die Beziehungen zwischen Fichtenwachstum und den genannten bodenphysikalischen Merkmalen Optimumkurven, so weist das untersuchte Standortskollektiv nur einen Ast einer solchen Optimumkurve auf.

Hiermit stimmt auch überein, daß in Übereinstimmung mit zahlreichen Autoren (z.B. HEINSELMANN, 1961; HERMANN und PETERSEN, 1969) eine positive Beziehung zwischen Baumhöhe und Bodenvolumen bzw. Bodengewicht im Wurzelraum gefunden wurde. Beide Parameter werden in erster Linie von der Durchwurzelungstiefe bestimmt,

die ihrerseits wieder vorwiegend von Lagerungsdichte und Luftkapazität abhängig ist. Dichtgelagerte Horizonte mit geringer Luftkapazität **treten** also als Teil des Wurzelraums überhaupt nicht auf und bleiben somit auch außerhalb des regressionsanalytisch bestrichenen Datenbereichs.

Unerwartet war, besonders nach den Ergebnissen von REHFUESS (1967, 1968, 1969), das weitgehende Fehlen signifikanter Beziehungen zwischen Baumhöhe und Nadelspiegelwerten. Eine Ursache hierfür mag darin liegen, daß im Kollektiv extreme Standortsverhältnisse mit geringen Wuchsleistungen nicht vertreten waren. Unter den weit verbreiteten mittleren Standortsverhältnissen scheinen jedenfalls bei der Fichte die aus der Bodenansprache ableitbaren Nährstoffvorräte im Boden als Standortparameter den Nadelspiegelwerten überlegen zu sein. Sie zeigen einen größeren Streuungsrahmen, differenzieren also stärker zwischen den einzelnen Standorten.

Wie schon bei COILE (1933) wurden im Untersuchungsgebiet bei der Fichte keine Beziehungen zwischen Baumhöhe und pH gefunden. Dies hängt mit der engen pH-Spanne der Standorte, also der fehlenden Differenzierung in diesem Merkmal, zusammen. Bei substratweiser Verrechnung wurde dennoch für Buntsandstein eine nichtlineare, für Tonschiefer eine lineare Beziehung signifikant, ähnlich wie in den Untersuchungen von LAFORD (1958) und PAGE (1970).

Die Beziehungen zwischen Baumhöhe und den Vorräten an austauschbaren Kationen sowie der effektiven Austauschkapazität sind größtenteils nicht linear. Die Nichtlinearität ist allerdings teilweise, besonders beim Ca und Mg, rechnerisch durch ungleichmäßige Datenverteilung zustande gekommen. Die positive Beziehung zwischen den K-Vorräten und der Baumhöhe weist auf die Bedeutung des Kaliums für die Fichte hin (vgl. auch EVERS et al., 1968). Die Beziehung legt die Vermutung nahe, daß ein Kaliumvorrat von etwa 40 kval/ha im Wurzelraum unter den gegebenen Bedingungen bodensaurer Standorte die für ein ungehindertes Fichtenwachstum ausreichende Standortsausstattung

darstellt. Höhere K-Vorräte könnten bei der insgesamt niedrig liegenden effektiven Austauschkapazität zu einer Unterbevorratung an anderen Kationen führen. Hierauf deuten indirekt die positiven Beziehungen zwischen Baumhöhe und den Vorräten an Na, Fe, Mn und Al hin. Alle diese Elemente sind auf den bodensauren Standorten in überreichem Ausmaß vorhanden und nähern sich eher der Toxizitätsschwelle. Die Beziehung dürfte dadurch zustande kommen, daß die Vorräte dieser Kationen mit steigender Austauschkapazität zunehmen, die selbst positiv mit der Baumhöhe korreliert ist. Es scheint demnach, daß auf den bodensauren Standorten durch die pH-Abhängigkeit der effektiven Austauschkapazität bereits die untere Grenze der Bevorratung an austauschbaren Kationen annähernd erreicht wird. Dies ist wesentlich im Hinblick auf die Beurteilung weiterer pH-Absenkungen im Boden durch die sauren Niederschläge.

7. Zusammenfassung

7.1 Ziel der Untersuchung war die Entwicklung eines Verfahrens zur Quantifizierung der Standortsansprache, besonders der Bodenansprache, sowie die Überprüfung der ökologischen Aussagekraft der Standortparameter am Beispiel des Wachstums der Fichte in der Buchen-Mischwaldzone des Hessischen Berglands. Es wurden 41 Standorte mit je 2 Probeflächen auf Buntsandstein, Ton-schiefer, Grauwacke und Quarzit ausgewählt, für die die Ergebnisse der hessischen Standortskartierung sowie er-tragskundliche Erhebungen der Hessischen Forsteinrich-tungsanstalt vorlagen.

7.2 Folgende Daten wurden erhoben bzw. aus erhobenen Daten abgeleitet:

Nadelspiegelwerte für N, P, K, Ca, Mg

Topographische und Klimadaten: Höhe, Exposition, Inkli-nation, Hanglänge, Niederschläge und Temperaturen je als Jahres- und Vegetationszeit-Mittelwert, Dauer der Vege-tationszeit, Feuchtigkeitsindex (Klimadaten aus Klima-atlas).

Bodenkundliche Daten: Qualitative Bodenbeschreibung an einem Bodeneinschlag; an einem ausgewählten Teilkollektiv Laboruntersuchungen zur Feststellung von: Trockenraum-dichte, spezifischem Gewicht, Porenverteilung, Korngrößen-verteilung, pH, Gehalte an C, N, P und austauschbaren Kationen, Austauschkapazität, Phosphatformen; Berechnung von: Luftkapazität, nutzbare Wasserkapazität, C/N- und C/P-Verhältnis, Nährstoffvorräten, Bodenvolumen, Bodenge-wicht je getrennt für Auflagehumus (nur ein Teil der Da-ten), A_n-Horizonte, Intensivwurzelschicht und Extensiv-wurzelschicht. Um aus den für das Teilkollektiv erhobenen Labordaten analoge Daten für das Gesamtkollektiv berech-nen zu können, wurde die qualitative Bodenansprache, z.B. von Bodenart und Humosität, quantifiziert und statistische

Beziehungen zwischen den Bodenparametern abgeleitet.

- 7.3 Die Überprüfung der ökologischen Aussagekraft der Standortparameter erfolgte regressionsanalytisch mit der Baumhöhe im Alter 80 als Zielgröße. Als weitere Kriterien dienten bei der Parameterauslese sowohl statistische Eigenschaften der Daten (Interkorrelationen) wie auch ökologische, bodenkundliche und praktische Überlegungen (Repräsentation eines Wachstumsfaktors durch möglichst wenige Parameter, Erhebbarkeit eines Parameters im Rahmen der forstlichen Standortkartierung).
- 7.4 Insgesamt wurden 220 Standortparameter erhoben. Nach regressionsanalytischer Ausscheidung von 176 Parametern erklären die verbleibenden 44 Parameter (einschließlich Transformationen 59 unabhängige Variable) in einer multiplen Regression 97,37 % der Gesamtvariation der Höhe der Fichte im Alter 80. Bei sachgerechter Parameterauswahl erzielt man mit etwa 20 Parametern noch Bestimmtheitsmaße von > 80 %, mit etwa 10 Parametern noch Bestimmtheitsmaße von > 70 %. Stratifizierung nach dem Ausgangsgestein der Bodenbildung erhöht die Straffheit der statistischen Beziehungen.
- 7.5 Wegen der Interkorrelation der Parameter untereinander lassen sich Aussagen über die relative Bedeutung der verschiedenen Wachstumsfaktoren für die Fichte nur mit Vorbehalten machen. Anerkennt man die partiellen Bestimmtheitsmaße in der multiplen Regression der Parameter zur Baumhöhe als Maß, so hat das Bodenwasserangebot die größte Bedeutung, gefolgt von den Nährstoffen, bei denen Stickstoff an erster Stelle steht.

8. Summary

- 8.1: There is a need for a reliable method of estimating the productive capacity of land for timber irrespective of the present plant cover. A generalized summary of the pertinent literature indicates the progress to date in devising such a method and in converting it into practical use. It is obvious that no universally applicable simple method is possible, but through the knowledge of basis factors the information can be worked out satisfactorily for more or less homogeneous climatic zones. To help meet this need in the Hesse Province of the Federal Republic of Germany, site quality for Norway Spruce (*Picea abies* KARST.) was studied in relation to land and climatic factors.
- 8.2: The aim of this study was to develop methods of deriving quantitative site parameters from qualitative site descriptions and to select the parameters best adapted to assess quantitatively the top height growth of Norway Spruce in the hilly region of Hesse. Investigations were carried out in colored sandstone (Buntsandstein), clay-slate, shale, schicht (Tonschiefer), greywacke (Grauwacke) and quartzite (Quarzit) geological formation regions for which the results of site mappings as well the yield data collected by the Forest Management Organization of the Hesse Forest Department were available. Joint observations on stands and sites were made on 82 sample plots from 41 sites of almost even aged, normally stocked and pure stands of Spruce representing an advance stage of tree growth. Height and age were determined for 3 predominant and dominant trees on each plot. Simultaneously the needle samples were collected from such trees. Productive capacity (site index) for each plot was determined in the conventional manner as the total height at age 80 years. This parameter was used as the indicator for the site dependent growth potential. Top height ranged between 21.3 and 38.4 meter.
- 8.3: Numerous topographic features viz. altitude above mean sea level, aspects, slope-steepness, position and length were recorded for each plot. The climatic data e.g. average rainfall: yearly and for the growth period, average temperature:

yearly and for the growth period, air humidity index and the growth period were interpolated from climatic tables.

A soil pit (1.5 m x 0.8 m with varied depth depending on the root penetration) enabled the soil profile description. The extent of the humus rich top soil (A_h), intensive and extensive rooting zones and the surface organic layer (Humus types) were taken to be of particular importance.

Gravimetric and volumetric (cylinder cores) samples were taken from the pit side walls for chemical and physical analysis. The sampling of humus layers was done through Kubiena boxes. Laboratory determinations constituted:

Needle analysis: Ash content, N, P, K, Ca and Mg elements.

Soil analysis: From 21 sites representing the whole pool samples have been collected from the humus layer (O horizon), A_h -horizon, intensive root layer and extensive root layer. The samples were analysed for: pH, content of C, N, P, phosphat fractions, exchange capacity (total and effective), exchangeable cations (H, Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Al), soil texture, bulk density, pore space and pF-curve. Calculation of other values like aeration, available water capacity, C:N and C:P ratios, nutrient stores per ha, soil volume and weight were made separately for humus layer (only a part of the data), A_h -horizon, intensive and extensive root layers and combined together to get the total capacity. The data from analysed samples have been used to find out relations to soil features laid out in the soil description. These relations have been used to calculate the data for the samples not analysed. Nutrient stores have finally been codified.

8.4: The site parameters so derived were grouped as follows:

1. Climatic parameter
2. Topographic parameter
3. Parameter of humus types
4. Morphological parameter
5. Parameter of soil water supply
6. Parameter of needle analysis
7. Soil chemical parameter

These parameters are considered to be easily recognizable, measurable and mappable by standard field methods ordinarily used in soil-site surveys or derivable from site maps.

8.5: Statistical treatment of data and correlations between site factors and height growth were carried out by Computer using the following types of analysis:

- Analysis of variance: (a) one way variance analysis
(b) pairwise mean value comparison and variance analysis

Test of linearity: Simple regression analysis.

Correlationmatrix

Plots of dependent variable versus independent variables.

Multiple regression analysis.

8.6: In total 220 site parameters were raised for regression analysis with tree height. Of the 220 site parameters considered in the initial trial by simple regression analysis, 51 promising one (including transformations 77 variables) were evaluated in detailed multiple regression solution. Additional variables included the transformations of primary parameters into squares and cubes whose relations with tree height were quadratic or cubic. The multiple regression analysis showed that 44 parameters (including transformations 59 independent variables) explain 97,37 % ($R = 0,9867$) of the total variation in height growth of Norway Spruce in age 80.

The interrelations and hand screening finally reduced the number of parameters to 14. The parameters of needle analysis did not promise significantly to reflect the trophy status of the sites. These parameters are:

Water code (WC)

Elevation above mean sea level (H ü NN)

Average rainfall for the period of growth (mm VZ)

Topographic code - F (TC-F)

Thickness of O_H -layer (OH-depth)

A_h - aeration (LK- A_h)

Aeration-intensive root layer (LK-Int.)

Aeration-extensive root layer (LK-Ext.)

C/N ratio of O_H -layer (C/N-OH)

Soil volume up to rooting zone (Soil Vol.)

Mobilizable phosphate code (Pm-Code)

K-Code

Ca-Code

Mg-Code.

The data were analysed once collectively and once separately for geological substratum. The studies have resulted in the development of a series of regression equations.

The best expression of the estimate of site index in general for the entire area with 14 parameters (including transformations 17 variables) is in the equation:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_{17}x_{17}$$

$$\begin{aligned} \text{Site Index (H}_{080}\text{)} = & -22.39 + 0.0822(\text{WC}) - 0.013(\text{H ü NN}) + 0.291(\text{mm VZ}) \\ \text{(S.I.)} & - 0.00037(\text{mm VZ})^2 - 1.53(\text{TC-F}) + 0.0491(\text{TC-F})^3 \\ & - 0.5264(\text{OH-depth}) - 0.0516(\text{LK-Ah}) + 0.0957(\text{LK-Int.}) \\ & - 0.0297(\text{LK-Ext.}) - 0.0716(\text{C/N-OH}) + 0.0703(\text{Soil Vol.}) \\ & + 2.12(\text{Pm-Code}) + 0.5608(\text{K-Code}) + 0.4538(\text{K-Code})^2 \\ & - 0.0536(\text{Ca-Code})^3 - 0.7225(\text{Mg-Code}). \end{aligned}$$

The standard error of the estimate of this equation with the mean site index (29.12m) is 1.4534m with R = 0.9124 and 83.24 % of the total variation in site index is associated with 14 parameters.

In colored sandstone regions the site index can be estimated with 15 parameters viz:

- Water code,
- Rainfall factor IV (RF-IV),
- C/N-OH,
- OH-depth,
- LK-Ah,
- LK-Int.,
- LK-Ext.,
- pH-Ext.,
- C t/ha (O_H+A_h),
- Soil Vol.,
- Pm stores (1/100) kg/ha (Pm-stores),
- Ca stores (1/100) kval/ha (Ca-stores),
- K stores (1/100) kval/ha (k-stores),
- Mg stores (1/100) kval/ha (Mg-stores).

The multiple regression equation

$$\begin{aligned} \text{S.I.} = & -35.552 + 0.879(\text{WC}) - 0.0587(\text{LK-Ah}) + 0.0449(\text{LK-Int.}) + 0.0235 \\ & (\text{LK-Ext.}) + 0.371(\text{C/N-OH}) + 0.0445(\text{Soil Vol.}) - 0.489(\text{C t/ha}) \\ & - 0.0675(\text{Pm-stores}) - 0.102(\text{Ca-stores}) - 0.3785(\text{K-stores}) + \\ & 0.00097(\text{K-stores})^2 + 1.188(\text{Mg-stores}) - 0.015(\text{Mg-stores})^2 \\ & + 1.676(\text{RF-IV}) - 47.415(\text{RF-IV}^2/1000) + 3.858(\text{OH-depth}) - 0.0261 \\ & (\text{OH-depth})^2 + 11.402(\text{pH-Ext.}) - 0.271(\text{pH-Ext.})^3 \end{aligned}$$

accounted for 82.95 % of the total variation in tree height with R = 0.9108. The standard error of estimate was about 5.5 % (± 1.608 m) at average site index 29.375 meter.

The site index of Norway Spruce on clay slates, greywacke and quartzite formations can be predicted by the equation:

$$S.I. = 64.286 + 0.804(WC) + 1.2(OH\text{-depth}) + 0.569(LK\text{-Ext.}) - 1.32 \\ (C/N\text{-OH}) + 0.765(Topo\text{-code}) + 1.4095(RF\text{-IV})^3 - 1.667(pH\text{-Ext.})$$

The variables in the equation explain 92.26 % of the total variation in tree height with $R = 0.9605$ and standard error of estimate 3.4 % (± 0.963 m) at average site index 28.215 m.

The regression equations may be used to estimate the site index of the lands in Hesse province with and without substratum distinction. By the use of these equations, it is possible to calculate the effect of any one variable on site index with all other variables controlled.

8.7: The multiple regression equations allow to calculate the height growth of Norway Spruce with relatively high accuracy. The multiple correlation coefficients (R) of these equations are 0.9124, 0.9108 and 0.9605. This indicates that a high degree of success is attained by using the equation to estimate the site index of any comparable areas. In most of the cases the significant variables included in the equation showed that the estimated values were within the error limit of ± 10 %.

8.8: Interpretation of all the data advances the premise that the available water supply was the most important factor in determining the productive capacity of a site for Norway Spruce, which accounted most of the variances in site index. This factor appears to gain its importance on account of joint effects of texture, structure, depth, stoniness, organic matter content, compactness, topographic features and subsoil permeability which are directly or indirectly related to the nutrient and air supply of the soil and hence influence plant growth. The humus forms and nutrient supply were of second importance while microclimatic factors of third and soil aeration of next consequence. Based on the general regression equation for the entire area, these factors are ranked in order of largest partial coefficient of determination as under:

Available water supply (Water code)	: 57.2 %
Trophy (nutrient stores and humus forms)	: 15.0 %
Microclimate: Topography (Elevation and code)	: 4.5 %
Rainfall for growth period	: 4.2 %
Soil aeration	: <u>2.3 %</u>
Total	: <u>83.2 %</u>

8.9: The chief characteristics regulating the growth of trees can easily be disclosed by site mappings. The site mapping units need additions with respect to the climatic, topographic and soil physical features. After making necessary refinements in site mappings, the quantitative site parameters can easily be derived from site maps and thus the site quality can directly be estimated from such maps using the appropriate regression equations.

9. Literaturübersicht

1. AALTONEN, V.T. (1937): Über die bodenkundliche Bonitierung der Waldstandorte. I. Comm. inst. forest. fenn. 25, 1.
2. ANDERSON, M.L. (1950): The selection of tree species. London, Oliver and Boyd.
3. ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE (1971): Kartieranleitung. Herausgegeben von der Bundesanstalt für Bodenforschung und den Geologischen Landesämtern der Bundesrepublik Deutschland. Redaktion: F. Kohl, München, 2. Auflage, Hannover, 1971.
4. AREND, J.L. und GYSEL, L.W. (1951): Some effects of soil and topography on oak yields in southern Michigan. Lake States For. Exp. Sta. Techn. Note 365: 1 p.
5. ASTHALTER, K. (1972): Einige Grundlagen der forstlichen Standortsgliederung in Hessen; Vorträge der Tagung der Arbeitsgemeinschaft für forstliche Vegetationskunde, dritte Folge, als Manuskript vervielfältigt, Bonn, 1972.
6. AUTEN, J.T. (1935): Successful forest planting requires better site appraisals. Jour. For. 33: 861-864 pp.
7. AUTEN, J.T. (1945a): Some soil factors associated with site quality for planted black locust and black walnut. Jour. For. 43: 592-598 pp.
8. AUTEN, J.T. (1945b): Prediction of site index for yellow-poplar from soil and topography. Jour. For. 43: 662-668 pp.
9. BARON, H. (1954): Die kolorimetrische Bestimmung der Mikro-nährstoffe Kobalt, Molybdän, Eisen, Zink, Mangan und Kupfer nebeneinander im Rauhfutter. Landw. Forsch. 6: 13-20 pp.
10. BAUMGARTNER, A. (1956): Untersuchungen über den Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Waldes. Ber. Dt. Wetterd., 5, Nr. 28.
11. BLAKE, G.R. (1965): "Particle density". In methods of soil analysis (Black, C.A. et al. Eds.) pp. 371-73. Amer. Soc. Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
12. BMD (1973): Biomedical Computer Programs,
Health Sciences Computing Facility,
Department of Biomathematics,
School of Medicine
University of California, Los Angeles,
University of California Press
January 1, 1973.
13. BROADFOOT, W.M. (1960): Field guide for evaluating Cottonwood sites. Sou. For. Exp. Sta. Occ. Pap. 178: 6 pp.
14. BRUCE, D. und SCHUMACHER, F.X. (1950): Forest mensuration. New York, McGraw Hill. 1950.

15. CARMEAN, W.H. (1970): Site quality for Eastern Hardwoods. The Silviculture of Oaks and associated species. U.S. D.A. Forest Serv. Res. Pap. NE-144: 36-56 pp.
16. CARMEAN, W.H. (1971): Soil site relationships of the upland Oaks. Oak Symp. Proc., U.S.D.A. For. Serv. N.E. For. Expt. Sta. Upper Darby, Pa.: 23-29 pp.
17. CHANG, S.C. und JACKSON, M.L. (1957): Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84: 133-144 pp.
18. CHAPMAN, N.D. und LIEBIG, JR., C.F. (1940): Nitrate concentration and iron balance in relation to citrus nutrition. Hilgardia, 13: 141-173 pp.
19. COILE, T.S. (1933): Ecology 14: 323-333 pp.
20. COILE, T.S. (1938): Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 3: 43 und 274-279 pp.
21. COILE, T.S. (1952): Soil and growth of forests. Advanc. Agron. 4: 329-398 pp.
22. COILE, T.S. (1960): Summary of soil-site evaluation. Proc. Eighth. Annual For. Symp. (P.Y. Burns Ed.), pp. 77-85: Louisiana State Univ. Press Baton, Rouge, Louisiana.
23. COOPER, A.W. (1960): An example of the role of microclimate in soil genesis. Soil Sci. 90: 109-120 pp.
24. DAHL, E. et al. (1961): Soil factors and the growth of Scotch Pine: A statistical reinterpretation of data presented by Viro (1955). Soil Sci. 92: 367-371 pp.
25. DAY, W.R. (1955): Forest hygiene in Great Britain. Univ. of Toronto For. Bul. No. 4
26. DELLA-BIANCA, L. und OLSON, D.F. Jr. (1961): Soil site studies in Piedmont hardwood and Pine-hardwood Upland forests. For. Sci., vol. 7, no. 4: 320-329 pp.
27. DEUTSCHER WETTERDIENST-ZENTRALAMT (1959): Tabellen des Dt. Wetterdienstes, Zeitraum 1891-1955; Die Karte über die Niederschlagshöhen, Maßstab 1:200.000, Zeitraum 1891-1955. Hess. Minister für Landwirtschaft und Forsten Abtl. Wasserwirtschaft (Gewässerkundliches Kartenwerk Hessen, 1959).
28. EINPAHR, D. und MCCOMB, A.L. (1951): Site index of Oaks in relation to soil and topography in north-eastern Iowa. Jour. For. 49: 719-723 pp.
29. EVERS, F.H. et al. (1968): Die Zusammenhänge zwischen Stickstoff-, Phosphor- und Kalium-Mengen (in kg/ha) und den C/N-, C/P- und C/K-Verhältnissen der Oberböden von Waldstandorten. Mittl. d. Vereins f. Forstl. Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung, Nr. 18, S. 59-71.
30. FINNEY, H.R. et al. (1962): The influence of micro-climate on the morphology of certain soils of the Allegheny Plateau of Ohio. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 26: 287-292 pp.

31. FOIL, R.R. und RALSTON, C.W. (1967): The establishment and growth of loblolly pine seedlings on compacted soils. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., Vol. 31: 565-568 pp.
32. FORSTEINRICHTUNGS- UND VERSUCHSANSTALT GIESSEN (1963): Leitfaden zur Standortserkundung im hessischen Staatswald (LS 63).
33. GAISER, R.N. (1951): Relation between topography, soil characteristics and the site index of White Oak in southeastern Ohio. U.S. Forest Serv. Cent. States For. Exp. Sta. Tech. Pap. Nr. 121.
34. GAISER, R.N. und MERZ, R.W. (1951): Stand density as a factor in estimating white oak site index. Jour. For. 49: 572-574 pp.
35. GAMBI, G. (1960): Monti e Boschi, 11: 78-83 pp.
36. GEBHARDT, F. (1968): Programm-Information PI-4-2, Januar 1968. Statistik Programm. DRZ. Deutsches Rechenzentrum, 6100 Darmstadt, Rheinstraße 75.
37. GEIGER, R. (1925): Untersuchungen über das Bestandsklima (2 Teile). Forstw. Cbl. 47: 629-644, 848-854 pp.
38. GEIGER, R. (1927): Untersuchungen über das Bestandsklima (4 Teile). Forstw. Cbl. 48: 337-349, 495-505, 523-532, 749-758 pp.
39. GEIGER, R. (1927): Messungen des Expositionsclimas (3 Teile). Forstw. Cbl. 49: 665-675, 853-859, 914-923 pp.
40. GEIGER, R. (1928): Messungen des Expositionsclimas (3 Teile). Forstw. Cbl. 50: 73-85, 437-448, 633-644 pp.
41. GEIGER, R. (1929): Messungen des Expositionsclimas (3 Teile). Forstw. Cbl. 51: 37-51, 305-315, 637-656 pp.
42. GEIGER, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. Vieweg 1961, S. 438.
43. GEIGER, R. (1965): The climate near the ground. (Translated from 4th ed.), 611 p. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.
44. GEIGER, R. et al. (1952): Untersuchungen zum Wärme- und Wasserhaushalt junger Fichtenbestände. Forstw. Cbl. 71: 322-349 pp.
45. GESSEL, S.P. (1949): Correlation between certain soil characteristics and site for Douglas-fir in Northwestern Washington. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 14: 333-337 pp.
46. GILBERT, G.E. und WOLFE, J.N. (1959): Soil moisture investigations at Neotoma, a forest bioclimatic laboratory in central Ohio. Ohio Jour. Sci. 59: 38-46 pp.
47. GUPTA, M. (1960): Relationship of moisture regime and texture-depth index with site index for black spruce in the boreal forests of Ontario. M.F. thesis, Univ. of Toronto.
48. HAIG, I.T. (1929): Colloidal content and related soil factors as indicators of site quality. Yale Univ. School For. Bul. 24.

49. HARTGE, K.H. (1965): Die Bestimmung von Porengrößenvolumen und Porengrößenverteilung. Z. f. Kulturtechnik u. Flurberein. 6: 193-206 pp.
50. HARTMANN, F.K. et al. (1959): Untersuchungen reliefbedingter kleinklimatischer Fragen in Geländequerschnitten der hochmontanen und montanen Stufe des Mittel- und Südwestharzes. Berichte des Dt. Wetterdienstes Nr. 50, Bd. 7, 39 pp.
51. HEIBERG, S.O. und WHITE, D.P. (1956): A site evaluation concept, Jour. For. 54: 7-10 pp.
52. HEINSELMAN, M.L. (1961): Black spruce on the peatlands of former glacial Lake Agassiz and adjacent areas in Minnesota: a study of forest sites: bog processes and bog types. Ph.D. Thesis, Univ. of Minn. Diss. Abst.no. 61-3673. Univ. Microfilms, Ann. Arbor, Mich.
53. HEINSELMAN, M.L. und ZASADA, Z.A. (1955): A review of literature relating to quaking aspen sites. Lake States For. Exp. Sta. Pap. No. 32.
54. HERMANN, R.K. und PETERSEN, R.G. (1969): Root development and height increment of Ponderosa Pines in Pumice soils of Central Oregon. For. Sci. 15: 226-237 pp.
55. HEWLETT, J.D. (1961): Soil moisture as a source of base flow from steep mountain watersheds. U.S.D.A. Forest Serv. Southeast. Forest Exp. Sta., Pap. 132: 11 pp.
56. HILLS, G.A. (1952): The classification and evaluation of site for forestry. Ontario Dept. Lands and Forests, Div. of Research. Res. Rept. No. 24.
57. HILLS, G.A. (1954): Field methods for investigating site. Res. Manual Dep. Lds. For. (Ont.) Site 4: 120 pp.
58. HODGKINS, E.J. (1960): Forest Site classification in the southeast: an evaluation, 8th ann. For. Symp., South. For. Soils, La. St. Univ. Press (Baton Rouge): 34-48 pp.
59. HORTON, K.W. und LEES, J.C. (1961): Black spruce in the foothills of Alberta. Forest Research Branch. Can. Dept. of Forest. Tech. Note 110: 54 pp.
60. HOUBA, A. (1972): Príspevek ke vztahu mezi vlastnosti pud a bonitami jedle v predhóri Ceskomoravske vrchoviny (Ein Beitrag zur Beziehung zwischen Bodeneigenschaften und Bonität der Tanne im Vorlande der Böhmisches-Mährischen Höhe). Lesn. Praha. Jg. 18, 9. S. 769-792.
61. HSU, P.H. (1963): Effect of initial pH, phosphate and silicate on the determination of aluminium with aluminon. Soil Sci. 96: 230-238 pp.
62. KHANNA, P. und ULRICH, B. (1967): Phosphatfraktionierung im Boden und isotopisch austauschbares Phosphat verschiedener Phosphatfraktionen. Z. Pflanzenern. u. Bodenkunde 117: 53-65 pp.
63. KLIMAATLAS VON HESSEN (1949/50): 1:1.000.000, Bad Kissingen.

64. KLIMAKUNDE DES DEUTSCHEN REICHES, Band II. Tabellen. Berlin 1939.
65. KOCH, H.G. (1958): Der Holzzuwachs der Waldbäume in verschiedenen Höhenlagen Thüringens in Abhängigkeit von Niederschlag und Temperatur. Arch. Forstw. 7: 27-49 pp.
66. KRAMER, P.J. und KOZLOWSKI, T.T. (1960): Physiology of trees. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York.
67. LAFORD, A. (1958): Some soils, vegetation and site relationships of the climatic and sub-climatic black spruce forest in Northeastern America. First N.A. Forest Soils Conf. Proc. 67-74 pp.
68. LEMIEUX, G.J. (1961): For. Br. Can. Tech. Note 112: 11 pp.
69. LEMMON, P.E. (1955): Factors affecting productivity of some lands in the Willamette Basin of Oregon for Douglas-fir timber. Jour. For. 53: 323-330 pp.
70. LORENZ, R.W. und SPAETH, J.N. (1947): The growth of conifers on Prairie soil. Jour. For. 45: 253-256 pp.
71. LOWRY, G.L. (1975): Black spruce site quality as related to soil and other site conditions. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 39: 125-131 pp.
72. LUTZ, H.J. (1959): Geology and soil in relation to forest vegetation. In "First North American Forest Soils Conference" (T.D. Stevens and R.L. Cook, eds.), pp. 75-85. Agric. Exp. Sta., Michigan State Univ., E. Lansing, Mich.
73. MACLEAN, D.W. und BEDELL, G.H.D. (1955): Northern clay belt growth and yield survey. Forest Branch, Res. Div., Can. Dept. of Northern Affairs and Natur. Resour. Tech. Note 20: 31 pp.
74. MADER, D.L. (1963a): Volume growth measurement - An analysis of function and characteristics in site evaluation. Jour. For. vol. 61, Nr. 3: 193-198 pp.
75. MADER, D.L. (1963b): Soil variability - a serious problem in soil-site studies in the north-east. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 27: 707-709 pp.
76. MADER, D.L. und OWEN, D.F. (1961): Relationships between soil properties and red pine growth in Massachusetts. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 25: 62-65 pp.
77. MCCOMB, A.L. und KAPEL, F.J. (1942): Effect of subsoil acidity and fertility on the growth of seedling black locust and green ash. Plant Physiol. 17: 7-15 pp.
78. MEHLICH, A. (1942): Soil Sci. 53(115); J. Assoc. Off. Agric. Chem. 36 (445), 1953.
79. MOOSMAYER, H.U. und SCHÖPFER, W. (1972): Beziehungen zwischen Standortsfaktoren und Wuchsleistung der Fichte. Allg. Forst- u. J. Ztg., 143. Nr. 10: 203-215 pp.
80. NEBE, W. (1968): Über Beziehungen zwischen Klima und Wachstum der Fichten (*P. abies*) in ihrem europäischen Verbreitungsgebiet. Arch. für Forstwes. Bd. 17 H. 12. S. 1219-1238.

81. NEBE, W. und RZEŹNIK, Z. (1967): Über das Höhenwachstum und den Ernährungszustand von Fichtenbeständen auf grundwasserfreien Standorten Nordostpolens. Arch. für Forstwes. Bd. 16. H. 6/9. S. 641-646.
82. NEILSON, R.E. et al. (1972): Photosynthesis in Sitka Spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.) II. Response to temperature. Jour. Appl. Ecol. 9: 721-745 pp.
83. ODEN, Sven (1915): Eine neue Methode zur mechanischen Bodenanalyse. Intern. Mitt. Bodenk. 6: 257-331 pp.
84. OTTO, H.J. (1972): Die Ergebnisse der Standortskartierung im pleistozänen Flachland Niedersachsens - Grundlage waldbaulicher Leitvorstellungen. Dissertation Univ. Göttingen.
85. PAGE, G. (1970): Site evaluation studies in western Newfoundland: preliminary results for some topographic and basic soil factors. Can. Forest. Serv., Dept. of Fish. and Forest. N-21: 24 pp.
86. PARDE, J. (1959): Rev. for. franc., 11: 50-53 pp.
87. PATERSON, S.S. (1956): The forest areas of the world and its potential productivity. Dissertation an der Universität Göteborg (Sweden): Medd. Göteborgs Univ. Geogr. Inst. Göteborg 51: 216 pp.
88. PATERSON, S.S. (1959): Festschrift till O, Jonasson. Göteborg: 159-168.
89. RALSTON, C.W. (1951): Some factors related to the growth of longleaf pine in the Atlantic Coastal Plain. Jour. For. 49: 408-412 pp.
90. RALSTON, C.W. (1964): Evaluation of forest site productivity. Int. Rev. For. Res., Vol. I, pp. 171-201; Academic Press New York.
91. RALSTON, C.W. (1967): Recognition and mapping of site types for afforestation. Proc. F.A.O. World Symposium on man made forests and their industrial importance. Canberra, Australia, Vol. I: 172-187 pp.
92. REHFUESS, K.E. (1967): Beziehungen zwischen Standort, Ernährungszustand und Wuchsleistung von Tannenbeständen (*Abies alba* Mill.) in Süddeutschland. Habilitationsschrift an der Ludwig-Maximilians-Universität München.
93. REHFUESS, K.E. (1967): Standort und Ernährungszustand von Tannenbeständen (*Abies alba* Mill.) in der Südwestdeutschen Schichtstufenlandschaft. Forstwiss. Cbl. 86. S. 321.
94. REHFUESS, K.E. (1968): Beziehungen zwischen dem Ernährungszustand und der Wuchsleistung südwestdeutscher Tannenbestände (*Abies alba* Mill.). Forstwiss. Cbl. 87. 1. S. 36-58.
95. REHFUESS, K.E. (1968): Zusammenhänge zwischen dem Ernährungszustand und der Bonität nordostbayerischer Tannenbestände (*Abies alba* Mill.). Forstwiss. Cbl. 87. 5: 276-296.

96. REHFUESS, K.E. (1969): Der Ernährungszustand süddeutscher Tannenbestände (*Abies alba* Mill.) in Abhängigkeit von den Nährelementvorräten im Boden. Forstwiss. Cbl. 88. S. 359-372.
97. RENGGER, M. (1971): Die Ermittlung der Porengrößenverteilung aus der Körnung, dem Gehalt an organischer Substanz und der Lagerungsdichte. Z. f. Pflanzenernähr., Bodenkunde. 130: 53-67 pp.
98. RENNI, P.J. (1962): Methods of assessing forest site capacity. Trans. Internatl. Soc. Soil Sci., comm. IV and V, New Zealand: 770-785 pp.
99. RICHARDS, L.A. (1941): A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. Soil Sci. 51: 377 pp.
100. RIEHM, H., ULRICH, B. und ULRICH, M. (1954): Schnelle Bestimmung der Kationensorptionskapazität. Landw. Forschung. VI: 95-105 pp.
101. ROBINSON, G.W. (1922): A new method for the mechanical analysis of soils and other dispersions. J. Agr. Sci., 12: 306-321 pp.
102. ROWE, J.S. (1959): Forest regions of Canada. Canada Dept. Northern Affairs and National Resources. Bulletin 123.
103. ROWE, J.S. (1962): Soil, site and land classification. For. Chron. 38: 420-432 pp.
104. RUBNER, K. (1934): Die pflanzengeographisch-ökologischen Grundlagen des Waldbaus. Neudamm.
105. SCHLICHTING, E. und BLUME, H.P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. Hamburg, Paul Parey. 209 pp.
106. SCHÖNHALS, E. (1954): Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Mit Beitrag von Knapp, R. (Natürliche und wirtschaftlich bedingte Pflanzengesellschaften und Wuchsräume in Hessen. Abhandl. d. Hess. Landesamtes f. Bodenforschung. Heft 2.
107. SHRIVASTAVA, M.B. und ULRICH, B. (1976): Schätzung der Wasser- und Luftkapazität von Böden bei der forstlichen Standortskartierung am Beispiel des hessischen Berglands (in Vorbereitung).
108. SEELMANN (1975): Plotten, Software, Subroutine Reglin und Polynom. Ges. f. Datenverarbeitung mbH Göttingen, UNIVAC 1108/EXEC 8 Rev. 1 S. 65-66.
109. STOECKELER, J.H. (1960): Soil factors affecting the growth of Quaking Aspen in the Lake States. Tech. Bull. Minn. Agric. Exp. Sta. 233: 43 pp.
110. STORIE, R.E. und WIESLANDER, A.E. (1948): Rating soils for timber sites. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 13: 499-509 pp.
111. STRANSKY, J.J. und WILSON, D.R. (1964): Terminal elongation of loblolly and shortleaf pine seedlings under soil moisture stress. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 28: 439-440 pp.

112. TAMM, C.O. et al. (1967): Forecasting forest yield from observations of site characteristics - A critical discussion. XIV. IUFRO-Kongreß München Referate II, Sec. 21: 2-21 pp.
113. TARRANT, R.F. (1949): Douglas-fir site quality and soil fertility. Jour. For. 47: 716-720 pp.
114. TSCHINKEL, H.M. (1972): Growth, site factors and nutritional status of Cupressus lucitanica plantations in the highlands of Colombia. Dissertation an der Universität Hamburg.
115. ULRICH, B. (1966): "Kationenaustausch-Gleichgewichte in Böden". Zeitschr. für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 113 (2): 141-159 pp.
116. ULRICH, B. (1975): "Stoffhaushalt von Wald-Ökosystemen".- Vorlesungsskripten. Inst. f. Bdkde u. Waldernährung der Univ. Göttingen, D. 34 Göttingen-Weende, Büsgenweg 2; im Selbstverlag.
117. ULRICH, B. und KHANNA, P.K. (1969): Ökologisch bedingte Phosphatumlagerung und Phosphatformenwandel bei der Pedogenese. Flora, Abt. B. Bd. 158, S. 594-602.
118. ULRICH, B. et al. (1960): Zur analytischen Bestimmung von Gesamtphosphorsäure und laktatlöslicher Phosphorsäure in Bodenproben. Phosphorsäure 20: 344-347 pp.
119. ULRICH, B. et al. (1975): Materialien zu Vorlesung, Übungen und Exkursionen über "Der Boden als Teil der forstlichen Standortansprache, Klassifikation, Vergesellschaftung". Inst. f. Bdkde u. Waldernährung der Univ. Göttingen, D 34 Göttingen-Weende, Büsgenweg 2: 2. Auflage; im Selbstverlag.
120. UNIVAC (1970): IBM. Application Program GH 20-0205-4. System/360 Scientific Subroutine Package (S.S.P.), Version III, Programmer's Manual, 5th Edition, August 1970, Program Number 360a-CM-03X.
121. VOIGHT, G.K. (1959): Plant-soil factors in chemical soil analysis. In "First North American Forest Soils Conference" (T.D. Stevens and R.L. Cook, eds.), pp. 31-41. Agric. Exp. Sta., Michigan State Univ., E. Lansing, Michigan.
122. VUKOREP, I. (1969): Beziehungen zwischen chemischen Bodeneigenschaften und dem Zuwachs von Schwarzpappeln. Dissertation an der Georg-August-Universität, Göttingen.
123. WALKLEY, A. (1935): An examination of methods for determining organic carbon and nitrogen in soils. Jour. Agr. Sci. (England) 25: 598-609 pp.
124. WALKLEY, A. (1947): A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils - Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. Soil Sci. 63: 251-264 pp.

125. WATANABE, F.S. und OLSEN, S.R. (1965): Test of an Ascorbic Acid Method for determining Phosphorus in Water and NaHCO_3 extracts from soil. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 29: 677-678 pp.
126. WECK, T. (1970): An improved CVP-Index for the delineation of the potential productivity zones of the forest lands of India. Ind. For. 96, No. 8: 565-572 pp.
127. WHITE, D.P. (1959): Available water: the key to forest site evaluation. In "First North American Forest Soils Conference" (T.D. Stevens and R.L. Cook, eds.) pp. 6-11. Agric. Exp. Sta., Mich. State Univ., E. Lansing, Mich.
128. WHITE, D.P. und LEAF, A.L. (1956): Forest fertilization. World Forestry Series Bulletin No. 2, State Univ. Coll. Forestry at Syracuse.
129. WRIGHT, R.G. und VAN DYNE, G.M. (1971): Comparative analytical studies of site factor equations. Statistical Ecology, Vol. 3, Many species populations Ecosystems, and system analysis. The Pennsylvania State University Press, University Park and London.
130. ZAHNER, R. (1958): Site quality relationships of pine Forests in southern Arkansas and northern Louisiana. For. Sci. 4: 162-176 pp.
131. ZECH, W. und CEPEL, N. (1970): Beziehungen zwischen der geschätzten nutzbaren Wasserkapazität von Waldböden und dem Höhenwachstum von *Pinus brutia* - Beständen in den mediterranen Subtropen Anatoliens. Zeitschr. f. Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bd. 127, 1, S. 41-49.
132. ZECH, W und CEPEL, N. (1972): Beziehungen zwischen Boden- und Reliefeigenschaften und der Wuchsleistung von *Pinus-brutia*-Beständen in Südanatolien. Istanbul Matbaasi, Manifaturacilar Carsisi, 2 nci Blok, No. 2274 Unkapani-Istanbul.

A N H A N G

Anhang: I

Einordnung der Feuchtezahl nach Topographie und Durchlässigkeit

Exposition	Hangneigung	Hanglage	Hanglänge	Durchlässigkeit- Unterschnitt	Feuchte- zahl	
N bis NNO, N bis NNW	mäßig	O	k	m	3.0	
				d	3.5	
			l	m	3.5	
				d	4.0	
			M	k	m	3.5
				d	4.0	
		l	m	4.0		
			d	4.5		
		U	k	m	4.5	
				d	5.0	
			l	m	5.0	
				d	5.0	
stark/steil	O		k	m	3.5	
				d	4.0	
		l	m	4.0		
			d	4.5		
		D	k	m	4.0	
			d	4.5		
l	m	4.5				
	d	5.0				

		U	k	m	5.0
				d	5.0
			l	m	5.0
				d	5.0
NO bis ONO, ONO bis O, O bis OSO	mäßig	O	k	m	2.0
				d	2.5
			l	m	2.5
				d	3.0
		M	k	m	3.0
				d	3.5
			l	m	3.5
				d	4.0
		U	k	m	4.5
				d	5.0
			l	m	5.0
				d	5.0
	stark/steil	O	k	m	2.5
				d	3.0
			l	m	3.0
				d	3.5
		M	k	m	3.0
				d	3.5
			l	m	3.5
				d	4.0

		U	k	m	4.5
				d	5.0
			l	m	5.0
				d	5.0
NNW bis NW	mäßig	O	k	m	2.5
				d	2.5
			l	m	3.0
				d	3.0
		M	k	m	3.0
				d	3.5
			l	m	3.5
				d	4.0
		U	k	m	4.0
				d	4.5
			l	m	4.5
				d	4.5
	stark/steil	O	k	m	2.5
			.	d	3.0
			l	m	3.0
				d	3.5
		M	k	m	3.5
				d	3.5
			l	m	4.0
				d	4.0

		U	k	m	4.0
				d	4.0
			l	m	4.5
				d	4.5
SO bis SSO, SSO bis S, S bis SSW, SSW bis SW	mäßig	O	k	m	1.0
				d	1.0
			l	m	1.5
				d	1.5
		M	k	m	1.5
				d	2.0
			l	m	2.0
				d	2.5
		U	k	m	3.0
				d	3.0
			l	m	3.5
				d	3.5
	stark/steil	O	k	m	1.0
				d	1.0
			l	m	1.0
				d	1.0
		M	k	m	1.5
				d	1.5
			l	m	2.0
				d	2.0

		U	k	m	2.5
				d	2.5
			1	m	3.0
				d	3.0
NW bis WNW	mäßig	O	k	m	2.0
				d	2.5
			1	m	2.5
				d	3.0
		M	k	m	3.0
				d	3.0
			1	m	3.5
				d	3.5
		U	k	m	3.5
				d	4.0
			1	m	4.0
				d	4.0
	stark/steil	O	k	m	2.5
				d	3.0
			1	m	3.0
				d	3.5
		M	k	m	3.5
				d	3.5
			1	m	4.0
				d	4.0

		U	k	m	4.0
				d	4.0
			l	m	4.5
				d	4.5
WNW bis W	mäßig	O	k	m	1.5
				d	1.5
			l	m	1.5
				d	2.0
		M	k	m	2.0
				d	2.5
			l	m	2.5
				d	3.0
		U	k	m	3.0
				d	3.0
			l	m	3.5
				d	3.5
	steil/stark	O	k	m	1.5
				d	1.5
			l	m	1.5
				d	2.0
		M	k	m	2.0
				d	2.5
			l	m	2.5
				d	3.0

		U	k	m	3.0
				d	3.5
			l	m	3.5
				d	3.5
OSO bis SO	mäßig	O	k	m	2.0
				d	2.0
			l	m	2.0
				d	2.0
		M	k	m	2.0
				d	2.0
			l	m	2.0
				d	2.5
		U	k	m	3.0
				d	3.0
			l	m	3.5
				d	3.5
	stark/steil	O	k	m	1.5
				d	1.5
			l	m	1.5
				d	2.0
		M	k	m	2.0
				d	2.0
			l	m	2.5
				d	2.5

	U	k	m	3.0
			d	3.0
		l	m	3.0
			d	3.0
WSW bis W, SW bis WSW	O	k	m	1.0
			d	1.0
		l	m	1.0
			d	1.5
	M	k	m	1.5
			d	2.0
		l	m	2.0
			d	2.5
	U	k	m	2.5
			d	3.0
		l	m	3.0
			d	3.5
stark/steil	O	k	m	1.5
			d	1.5
		l	m	1.5
			d	2.0
	M	k	m	2.0
			d	2.5
		l	m	2.5
			d	3.0

		U	k	m	3.0
				d	3.5
			l	m	3.5
				d	3.5
Plateau, Rücken und Ebene	schwache Neigung			m	4.0
				d	4.5
Talung/Mulde	alle Typen	O	k	m	5.0
				d	5.0
			l	m	5.0
				d	5.0
		M	k	m	5.0
				d	5.0
			l	m	5.0
				d	5.0
U	k	m	5.0		
		d	5.0		
	l	m	5.0		
		d	5.0		

Symbol-Erklärung: O = Oberhang
M = Mittelhang
U = Unterhang
k = kurz (weniger als 100m)
l = lang (mehr als 100m)
m = Substrat mäßig dicht
d = Substrat dicht
1 = am trockensten
5 = am feuchtesten

Zu- bzw. Abschlag bei der Wasserver-
sorgung

3 = normal
von 3 bis 1 Abschlag
von 3 bis 5 Zuschlag
Einheit 1 = 10 mm bzw. 0.5 = 5 mm

Anhang: II

Zu- bzw. Abschlag bei der Wasserversorgung

a) nach Exposition und Hangneigung:

<u>Exposition</u>	<u>Hangneigung</u>	<u>Zu- bzw. Abschlag (mm)</u>
N bis NNO, NNO bis NO, N bis NNW	mäßig	(+)10
NNW bis NW, NO bis ONO, ONO bis O	stark/steil	(+)15
<hr/>		
NW bis WNW, WNW bis W, O bis OSO	mäßig	----
	stark/steil	(+)5
<hr/>		
OSO bis SO, WSW bis W	mäßig	(-)5
	stark/steil	(-)10
<hr/>		
SO bis SSO, SSO bis S, S bis SSW	mäßig	(-)10
SSW bis SW, SW bis WSW	stark/steil	(-)15
<hr/>		
Plateau/Ebene	flach/schwach geneigt	----
<hr/>		
Tal/Mulde	----	(+)15 Ober kurz (+)5
		lang (+)10
		Mittel kurz (+)10
		lang (+)15
		Unter kurz (+)15
		lang (+)15

b) nach Hanglage und Hanglänge:

<u>Hanglage</u>	<u>Hanglänge</u>	<u>Zu- bzw. Abschlag (mm)</u>
Oberhang	kurz	(-) 5
	lang	(+) 5
Mittelhang	kurz	(+) 5
	lang	(+) 10
Unterhang	kurz	(+) 10
	lang	(+) 15

c) nach Substratdichte:

<u>Substratdichte</u>	<u>Zu- bzw. Abschlag (mm)</u>
locker	----
mäßig	(+) 5
dicht	(+) 10
sehr dicht	(+) 15

Anmerkung: Standort Wörsdorf ohne Zuschlag, weil das ganze Profil gleichmäßig dicht ist.

Anhang: III: Einfluß des Reliefs auf Sonnenstrahlung (S), Lufttemperatur (T) und Luftfeuchtigkeit (F) in Anlehnung an Hartmann, Eimern und Jahn (1959).

Relief		Sonnenstrahlung(S)	Lufttemperatur(T)	Luftfeuchtigkeit(F)
Exposition	Hanglage			
N-NNO, NNO-NO, N-NNW	Ober	4	4	3
	Mittel	4.5	5	4
	Unter	5	5	5
NO-ONO, ONO-O	Ober	3	3	2
	Mittel	4	4	3
	Unter	4.5	4.5	5
O-OSO	Ober	2.5	3	2
	Mittel	3	3	3
	Unter	2.5	2.5	5
OSO-SO	Ober	1	3	2
	Mittel	1	2	2
	Unter	1	2	3

SO-SSO, S-SSO, S-SSW, SSW-SW	Ober	1	2	1
	Mittel	1	1	1
	Unter	1	2	3
SW-WSW, WSW-W	Ober	1	1.5	1
	Mittel	2	1	1.5
	Unter	2	2	3
W-WNW	Ober	2	3	1
	Mittel	3	3	2
	Unter	3.5	3	3
WNW-NW, NW-NNW	Ober	3	3	2
	Mittel	4	3	3
	Unter	5	4	4
Plateau/Ebene	-----	2	3	4
Tal/Mulde	-----	5	5	5

Erklärung: S = Strahlung
1 = am strahlungsreichsten
5 = am strahlungsärmsten
T = Temperatur
1 = am wärmsten
5 = am kältesten
F = relative Luftfeuchtigkeit
1 = am trockensten
5 = am feuchtesten

Anhang: IV

Ergebnisse der Varianzanalyse bei AK_e ($\mu\text{val/g}$) der Trophieklassen BSS-oligo, BSS-meso und Tonsch.-meso

Zone	Anzahl	\bar{X}	Signifikanz
A_h -Horizont	38	99,9	++
Int.- und Ext.-wurzelschicht	78	60,5	+++

Varianzanalytische Prüfung auf Unterschiede bei AK_e ($\mu\text{val/g}$) zwischen den Trophieklassen Meso/Oligo bei BSS

Zone	Anzahl	\bar{X}	Signifikanz
A_h -Horizont	28	89,3	NS
Int.- und Ext.-wurzelschicht	58	52,7	NS

1
223
1

Anhang: V : Einordnung der Probeflächen in Trophieklassen
nach der Profilaufnahme

<u>Substrat</u> <u>Buntsandstein</u>	<u>Trophieklasse</u>	<u>Substrat</u> <u>Tonschiefer, Grauwacke</u> <u>und Quarzit</u>
	gut (I)	
Hofgeismar 31A/162		Frankenberg 50B/385
Hofgeismar 31A/164		Frankenberg 50B/390
Wildeck 42D/48		Frankenberg 50B/393
Wildeck 42D/45		Frankenberg 50B/394
Hersfeld West 48C/329		
Hersfeld West 48C/326		
Neukirchen 107A/464		
Marburg Nord 35A/13		
Marburg Nord 35A/17		
Salmünster 152C/117		
Salmünster 152C/114		
	gut bis mäßig (II)	
Veckerhagen 37C/99		Königstein 77A/19
Veckerhagen 37C/102		Königstein 77A/23
Wildeck 42D/38		Wörsdorf 129/350
Wildeck 42D/42		Wörsdorf 129/353
Hersfeld West 137C/5		Gladenbach 14B/542
Hersfeld West 137C/2		
Neukirchen 107A/467		
Treysa 22A/296		
Treysa 22A/299		
Treysa 233C/504		
Kassel 231/169		
Salmünster 63 A/103		
Salmünster 63A/105		
Marjoß 218C/284		
Marjoß 218C/286		
Marjoß 93B/302		
Marjoß 93B/305		

mäßig (III)

Karlshafen 1o7A/135	Wetter West 45D/5o6
Karlshafen 1o7A/138	Wetter West 45D/51o
Spangenberg 52B/173	Frankenberg 59/183
Spangenberg 52B/177	Altenlotheim 79A/399
Niederbeisheim 88A/47o	Altenlotheim 79A/4o2
Niederbeisheim 88A/472	Altenlotheim 79A/4o5
Heringen 248A/31	Altenlotheim 79A/4o8
Heringen 248A/34	
Neukirchen 1o7A/457	
Neukirchen 1o7A/462	
Rosenthal 27/247	
Rosenthal 27/248	
Marburg Nord 33E/284	
Marburg Nord 33E/286	
Kassel 231/174	
Salmünster 159B/1o8	
Salmünster 159B/112	

mäßig bis schlecht
(IV)

Spangenberg 28oB/189
Heringen 248A/22
Friedewald 94B/49
Friedewald 94B/52
Hersfeld Ost 327B/61
Hersfeld Ost 327B/64
Hersfeld West 1o4A/332
Hersfeld West 1o4A/335
Treysa 233C/5oo
Marburg Nord 35A/159
Marburg Nord 35A/16o
Waldmichelbach 114B/393
Waldmichelbach 114B/394
Waldmichelbach 114B/386
Waldmichelbach 114B/388

schlecht (V)

Oberkaufungen 66D/229	Gladenbach 14B/545
Oberkaufungen 66D/233	Frankenberg 59/186
Spangenberg 28oB/187	
Heringen 248A/2o	

Anhang: VI: Varianzanalyse

Substrat	Variable	Anzahl	\bar{X} (1/100)	Signifikanz
Buntsandstein	P _t kg/ha	64	28.6	+++
	P _m kg/ha	64	11.3	+
	P _{occl.} kg/ha	64	16.7	+++
Tonschiefer, Grauwacke und Quarzit	P _t kg/ha	18	38.9	++
	P _m kg/ha	18	18.7	+++
	P _{occl.} kg/ha	18	19.8	++
Vereinigte Substrate	P _t kg/ha	82	30.8	+++
	P _m kg/ha	82	12.9	+++
	P _{occl.} kg/ha	82	17.4	+++

Anhang: VII

Varianzanalyse: Nährstoffvorräte im Gesasterofil bei verschiedenen Trophieklassen
(geschätzte Werte)

Substrat	Variable	Anzahl	\bar{x}	Signifikanz
Tonschiefer, Grauwacke und Quarzit	Na kval/ha	18	10.7	NS
	K kval/ha	18	26.9	++
	Ca kval/ha	18	162.	+++
	Mg kval/ha	18	68.9	+
	Fe kval/ha	18	4.34	NS
	Mn kval/ha	18	39.2	NS
	Al kval/ha	18	438.	+
	AK _e kval/ha (1/100)	18	7.78	+
Buntsandstein	Na kval/ha	64	11.4	+++
	K kval/ha	64	17.9	+++
	Ca kval/ha	64	40.3	+++
	Mg kval/ha	64	15.5	+++
	Fe kval/ha	64	11.3	+++
	Mn kval/ha	64	23.6	+++
	Al kval/ha	64	421.	+++
	AK _e kval/ha (1/100)	64	5.42	+++

Anhang: VIII: Varianzanalyse

Substrat Variable	Buntsandstein			Tonsch., Grauwacke u. Quarzit			Vereinigte Substrate (BSS + Tonsch. etc.)		
	Anzahl	\bar{X}	Signi- fikanz	Anzahl	\bar{X}	Signi- fikanz	Anzahl	\bar{X}	Signi- fikanz
Na kval/ha	64	11.4	+++	18	10.7	NS	82	11.3	+++
K kval/ha	64	17.9	+++	18	26.9	++	82	19.9	+++
Ca kval/ha	64	40.3	+++	18	162.	+++	82	67.	+++
Mg kval/ha	64	15.5	+++	18	68.9	+	82	27.2	+++
Fe kval/ha	64	11.8	+++	18	4.34	NS	82	10.2	+++
Mn kval/ha	64	23.6	+++	18	39.2	NS	82	27.0	+++
Al kval/ha	64	421.	+++	18	438.	++	82	425.	+++
AK _e kval/ha (1/100)	64	5.42	+++	18	7.78	++	82	5.94	+++

