

Variationsbreite und ökologischer Zustand der Böden im nordwestlichen Sebalder Reichswald, aufgezeigt anhand eines Querschnittes zwischen Gründlach und Schwabachtal

Von

REINHOLD ROSSNER

mit vegetationskundlichen Beiträgen von WINFRIED TÜRK

Mit 41 Abbildungen, 33 Tabellen und 2 Beilagen

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
1 Einleitung	6
2 Stellung des Untersuchungsbereiches im Rahmen der naturräumlichen und standortkundlichen Landschaftsgliederung	7
3 Die Grundlagen der Bodenbildung	10
3.1 Klima	10
3.2 Geologie	11
3.2.1 Burgsandstein	11
3.2.2 Feuerletten	12
3.2.3 Rhät-Lias-Übergangsschichten (Oberer Keuper bis Lias Alpha 2)	13
3.2.4 Arietensandstein (Lias Alpha 3, Obere Hettang-Schichten)	13
3.2.5 Lias Beta und Gamma (Sinemur-Schichten und Untere Pliensbach-Schichten)	14
3.2.6 Lias Delta (Obere Pliensbach-Schichten; Amaltheenton)	14
3.2.7 Lias Epsilon und Zeta (Untere und Obere Toarc-Schichten; Posidonien- Schichten und Jurensis-Mergel)	14
3.2.8 Tertiär und Deckschichten des Quartärs	15
3.3 Relief	17
3.4 Grund- und Stauwasser	18
3.5 Anthropogene Beeinflussung	18
3.6 Potentielle natürliche Vegetation	19
4 Bodengesellschaften und ökologische Kennwerte wichtiger Bodenformen	22
4.1 Methodik und Bewertungskriterien	22
4.1.1 Allgemeine Kennzeichen der Bodenprofile und ihrer Horizonte	22
4.1.2 Physikalische Kennzeichen	23
4.1.3 Physikalisch-chemische und chemische Kennzeichen	23
4.2 Terrestrische Böden	28
4.2.1 Böden aus Mittlerem und Oberem Burgsandstein	28

	Bodeneinheit Nr. 1	28
	Bodeneinheit Nr. 2	29
4.2.2	Tonige Böden aus Letten des Mittleren und Oberen Burgsandsteins sowie aus Feuerletten	30
	Bodeneinheit Nr. 3	30
	Bodeneinheit Nr. 4	31
	Bodeneinheit Nr. 5	39
4.2.3	Böden auf Rhät-Lias-Übergangsschichten (Rhät bis Lias Alpha 3)	49
	Bodeneinheit Nr. 6	49
	Bodeneinheit Nr. 7	57
	Bodeneinheit Nr. 8	67
	Bodeneinheit Nr. 9	68
	Bodeneinheit Nr. 10	69
	Bodeneinheit Nr. 11	77
	Bodeneinheit Nr. 12	83
4.2.4	Böden aus Deckschichten, hervorgegangen aus Gesteinen des Untergrunds	84
	Bodeneinheit Nr. 13	84
	Bodeneinheit Nr. 14	84
4.2.5	Böden aus allochthonen quartären Deckschichten	91
4.2.5.1	Böden aus äolischen Deckschichten	91
	Bodeneinheit Nr. 15	91
	Bodeneinheit Nr. 16	101
	Bodeneinheit Nr. 17	107
	Bodeneinheit Nr. 18	108
	Bodeneinheit Nr. 19	109
	Bodeneinheit Nr. 20	109
4.2.5.2	Böden aus fluviatilen Deckschichten, vor allem Terrassensanden	114
	Bodeneinheit Nr. 21	114
	Bodeneinheit Nr. 22	116
	Bodeneinheit Nr. 23	117
	Bodeneinheit Nr. 24	117
	Bodeneinheit Nr. 25	118
4.3	Semiterrestrische Böden	119
4.3.1	Grundwasserböden und Aueböden	119
	Bodeneinheit Nr. 26	119
	Bodeneinheit Nr. 27	130
	Bodeneinheit Nr. 28	133
	Bodeneinheit Nr. 29	142
4.4	Regionale Verteilung der Bodeneinheiten	142
5	Diskussion des Zustandes des Bodenökosystems in den Forsten	145
5.1	Die Frage der Versauerung der Böden	145
5.2	Die Durchwurzelung	153
5.3	Die Nährstoffe	157
5.3.1	Basen	157
5.3.2	Phosphor und Stickstoff	161
5.3	Der Wasserhaushalt	164
5.4	Schlußbemerkungen	166

6	Zusammenfassung	168
7	Literaturverzeichnis	170

Verzeichnis der Abbildungen, Beilagen und Tabellen

- Abb. 1: Übersichtskarte zur Geologie des zentralen Sebalder Reichswaldes (nach HAARIÄNDER 1966, ergänzt nach Bohrstock-Daten)
- Abb. 2: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalte an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 4a.
- Abb. 3: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 4a (Bodeneinheit Nr. 4).
- Abb. 4: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalte an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 5.
- Abb. 5: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 5 (Bodeneinheit Nr. 5).
- Abb. 6: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 6 (Bodeneinheit Nr. 6).
- Abb. 7: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 6 (Bodeneinheit 6).
- Abb. 8: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 7a (Bodeneinheit Nr. 7).
- Abb. 9: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 7a (Bodeneinheit 7).
- Abb. 10: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 10 (Bodeneinheit Nr. 10).
- Abb. 11: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 10 (Bodeneinheit 10).
- Abb. 12: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 11 (Bodeneinheit Nr. 11).
- Abb. 13: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 11 (Bodeneinheit 11).
- Abb. 14: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 14 (Bodeneinheit Nr. 14).
- Abb. 15: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 14 (Bodeneinheit 14).
- Abb. 16: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 15 (Bodeneinheit Nr. 15).
- Abb. 17: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 15 (Bodeneinheit Nr. 15).
- Abb. 18: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 16 (Bodeneinheit Nr. 16).
- Abb. 19: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 16 (Bodeneinheit Nr. 16).
- Abb. 20: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 20 (Bodeneinheit Nr. 20).
- Abb. 21: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 20 (Bodeneinheit Nr. 20).
- Abb. 22: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 26a (Bodeneinheit Nr. 26).
- Abb. 23: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 26a (Bodeneinheit Nr. 26).
- Abb. 24: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 26b (Bodeneinheit Nr. 26).
- Abb. 25: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 26b (Bodeneinheit Nr. 26).
- Abb. 26: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 28a (Bodeneinheit Nr. 28).
- Abb. 27: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 28a (Bodeneinheit Nr. 28).
- Abb. 28: Schemaprofil der Bodensequenzen und der dafür kennzeichnenden, potentiellen natürlichen Vegetation.

- Abb.29: Mittlerer pH_{CaCl_2} (i.allg Frühjahrswert des Jahres 1983) für den Hauptwurzelraum der Waldböden des Untersuchungsgebietes.
- Abb.30: Basensättigung im Hauptwurzelraum der Waldböden des Untersuchungsgebietes. Angegeben ist die Variationsbreite in % der Kationenaustauschkapazität (AK_1 , T-Wert) und in Absolutwerten (S-Wert in mmol/z/100g Boden).
Die Bewertung des Basengehaltes erfolgte nach v. ZESCHWITZ 1984, die der Elastizität nach MEIWEIS et al. 1984.
- Abb. 31: Calcium-Sättigung an den Austauschern im Hauptwurzelraum der Waldböden. Es werden die jeweiligen Maximalwerte in % der Kationenaustauschkapazität (AK_1) und in Absolutwerten (mmol/z/100g Boden) aufgeführt. Der Grenzwert von 15% für das Auftreten von Säuretoxizität im Feinwurzelsystem wurde ULRICH et al. 1984 entnommen.
- Abb. 32: Maximalwerte der Al-Sättigung im Hauptwurzelraum der Waldböden, angegeben in % der Kationenaustauschkapazität (AK_1).
- Abb. 33: Variationsbreite der Calcium-Sättigungsgrade (in % der Kationenaustauschkapazität) im Unterboden unter dem Hauptwurzelraum für die Waldböden.
- Abb. 34: Effektive Durchwurzelungstiefen W_e der Waldböden des Untersuchungsgebietes.
- Abb. 35: Gehalte an adsorbierten Magnesium-Ionen im Hauptwurzelraum der Waldboden-Profile, angegeben in Absolutwerten (mmol/z/100g Boden) und in %-Anteilen der Kationenaustauschkapazität AK_1 .
- Abb. 36: Variationsbreite der Kationenaustauschkapazität AK_1 im Hauptwurzelraum der Waldböden; die Bewertungskriterien wurden aus Angaben der Literatur abgeleitet.
- Abb. 37: Gehalte an adsorbierten Kalium-Ionen im Hauptwurzelraum der Waldboden-Profile, angegeben in Absolutwerten (mmol/z/100g Boden) und in %-Anteilen der Kationenaustauschkapazität AK_1 .
- Abb. 38: Gesamtphosphor-Vorräte im Hauptwurzelraum der Waldböden; die Bewertungskriterien wurden aus Angaben der Literatur abgeleitet.
- Abb. 39: Gesamtstickstoff-Vorräte im Hauptwurzelraum der Waldböden; die Bewertungskriterien wurden aus Angaben der Literatur abgeleitet.
- Abb. 40: Pflanzenverfügbare Wassermengen im Hauptwurzelraum der Waldböden, dargestellt anhand der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes ($nFKW_e$) (Grobporenanteil mitberücksichtigt); die Bewertungskriterien folgen AG Bodenkunde 1982.
- Abb. 41: Zusammenfassende Einschätzung der untersuchten Waldböden in Hinblick auf ihren Wert für die Vegetation, insbesondere für die Baumvegetation.

Beilagen

Beilage 1: Bodenkarte des zentralen Sebalder Reichswaldes

Beilage 2: Karte der seit 1968 gedüngten Flächen im Zentralteil des Sebalder Reichswaldes.

Tabellen

Tabelle 1: Niederschlags- und Temperaturdaten für verschiedene Meßstationen im Bereich des Untersuchungsgebietes.

Tabelle 2: Bewertung der Elastizität von Waldböden in Abhängigkeit von der Basensättigung (in Anlehnung an MEIWEIS et al. 1984).

Tabelle 3: Bewertung der AK_1

Tabelle 4: Bewertung des Gesamtgehaltes an Stickstoff im Hauptwurzelraum

- Tabelle 5: Richtwerte des Gesamtphosphorgehaltes im Hauptwurzelraum
- Tabelle 6: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 4a (Bodeneinheit Nr. 4).
- Tabelle 7: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 4a (Bodeneinheit Nr. 4).
- Tabelle 8: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 5 (Bodeneinheit Nr. 5).
- Tabelle 9: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 5 (Bodeneinheit Nr. 5) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).
- Tabelle 10: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 6 (Bodeneinheit Nr. 6).
- Tabelle 11: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 6 (Bodeneinheit Nr. 6) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).
- Tabelle 12: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 7a (Bodeneinheit Nr. 7).
- Tabelle 13: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 7a (Bodeneinheit Nr. 7) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).
- Tabelle 14: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 10 (Bodeneinheit Nr. 10).
- Tabelle 15: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 10 (Bodeneinheit Nr. 10) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).
- Tabelle 16: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 11 (Bodeneinheit Nr. 11)
- Tabelle 17: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 11 (Bodeneinheit Nr. 11) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).
- Tabelle 18: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 14 (Bodeneinheit Nr. 14).
- Tabelle 19: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 14 (Bodeneinheit Nr. 14) Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).
- Tabelle 20: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 15 (Bodeneinheit Nr. 15).
- Tabelle 21: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 15 (Bodeneinheit Nr. 15) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).
- Tabelle 22: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 16 (Bodeneinheit Nr. 16).
- Tabelle 23: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 16 (Bodeneinheit Nr. 16) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).
- Tabelle 24: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 20 (Bodeneinheit Nr. 20).
- Tabelle 25: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 20 (Bodeneinheit Nr. 20) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).
- Tabelle 26: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 26a (Bodeneinheit Nr. 26).
- Tabelle 27: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 26a (Bodeneinheit Nr. 26) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).
- Tabelle 28: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 26b (Bodeneinheit Nr. 26).
- Tabelle 29: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 26b (Bodeneinheit Nr. 26) (Elementgehalte in Gew.%).
- Tabelle 30: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 27 (Bodeneinheit Nr. 27).
- Tabelle 31: Adsorptionsverhältnisse des Leitprofils 27 (Bodeneinheit Nr. 27).
- Tabelle 32: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 28a (Bodeneinheit Nr. 28).
- Tabelle 33: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 28a (Bodeneinheit Nr. 28) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha).

Vorwort

Die bodenkundlichen Untersuchungen, die Gegenstand der folgenden Ausführungen sind, wurden im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes zur Erfassung des Zustandes des Ökosystems des Sebalder Reichswaldes durchgeführt. Beteiligt an diesem Programm sind neben dem Institut für Geologie und Mineralogie vor allem die Institute für Botanik und Pharmazeutische Biologie sowie für Zoologie I. Die Ergebnisse dieser Arbeitsgruppen werden separat publiziert.

Die Aufnahmearbeiten und Analysen im Labor wurden vor allem durch die Dipl.-Geol. K. Eberlein, E. Neubauer und B. Schilling ausgeführt. Für Ihre Mitarbeit möchte ich vielmals danken.

Sehr zu Dank verpflichtet bin ich Herrn Dipl.-Biol. W. Türk, Heroldsberg, für seine wertvollen Beiträge und Ergänzungen zur Vegetation und für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Mein Dank gilt vor allem aber auch den Institutionen, die durch Druckkostenzuschüsse die Herausgabe der beiliegenden Farbkarte ermöglichten: dem Sonderfond für wissenschaftliche Arbeiten an der Universität Erlangen-Nürnberg sowie dem Bezirk Mittelfranken. Dem Einsatz des Geschäftsführers des Kreisverbandes Fürth der Schutzgemeinschaft Deutscher Wald, Herrn Dipl.-Ing. Karl Albert, ist ein Zuschuß dieses Verbandes sowie der Firma RUFF-Holz, Fürth zu verdanken.

Danken will ich endlich dem Vorstand der Fränkischen Geographischen Gesellschaft, der sich zur Aufnahme der Abhandlung in deren Publikationsorgan bereit erklärte, sowie Frau Hauck für die redaktionelle Überarbeitung.

1 Einleitung

In den letzten Jahren durchgeführte Bioindikatoruntersuchungen im Ballungsraum Nürnberg-Fürth-Erlangen, speziell die Ermittlung der Schwefelgehalte in Nadeln der Koniferen haben gezeigt, daß u.a. der Westteil des Sebalder Reichswaldes relativ stark von SO_2 -Immissionen betroffen ist (*Bayerisches Landesamt für Umweltschutz* 1983: 234 u.f.; 1985: 240 u.f.; REIGBER & BRAUN 1985: 71). Daß SO_2 zusammen mit anderen Luftverunreinigungen durch nasse Deposition bzw. Niederschlagsdeposition (i.S. von MEIWES et al. 1984) und durch trockene Deposition bzw. Interceptionsdeposition (i.S. von MEIWES et al. 1984) zu einem verstärkten Protoneneintrag in das Waldökosystem führt, ist seit langem bekannt und in der Literatur festgehalten (s. z.B. ULRICH 1984a und b, MATZNER & ULRICH 1984 usw.).

Die Säuredeposition aus Luftverunreinigungen im Bereich der Böden führt zusammen mit der internen Säureproduktion durch Nitrifizierung organischer Substanz (ULRICH 1981a, 1982) zu einer Versauerung der Bodensysteme (PREN-

ZEL 1985). Der Umfang dieser Veränderungen hängt allerdings von den Pufferungsfähigkeiten und Pufferungskapazitäten der mineralischen Substanz der Böden ab (ULRICH 1981b).

Eine starke Absenkung des pH-Wertes eines Bodens (etwa unter pH 4) führt schließlich über die Freisetzung von Kationsäuren zu einer Schädigung des Wurzelsystems der Bäume sowie der Mikroorganismen des Bodens. Im Sinne der Hypothese der ökosystemaren Wirkungskette beim Wald- und Baumsterben (ULRICH & MATZNER 1983) tritt eine Vitalitätsminderung des gesamten Waldökosystems ein. Der Versauerungszustand wird dabei als wichtiger und entscheidender sog. disponierender Stressor (MANION 1981, ULRICH 1984a) vor allem auch für den Baumbestand betrachtet. Kurzfristig wirksame auslösende Stressoren können dann zu akuten Waldschädigungen führen.

Wie erwähnt, hängt der Versauerungszustand von Böden außer von der Immissionssituation wesentlich von den Pufferungseigenschaften ab. Im Falle der Böden des Sebalder Reichswaldes sind wegen der vorherrschend karbonatarmen und -freien, häufig auch silikatarmen (Quarz wird in diesem Sinne zu den Oxiden gerechnet) geologischen Ausgangssubstrate überwiegend schlechte Pufferungsmöglichkeiten zu erwarten.

Die aktuelle Waldschadenssituation läßt im Sebalder Reichswald bei Kalchreuth einen Schadenschwerpunkt erkennen (REIGBER & BRAUN 1985). Damit erscheint es nach der Hypothese der ökosystemaren Wirkungskette beim Waldsterben möglich, daß der Boden ein stark belastender, disponierender Stressor für das Ökosystem ist, so daß akute Schäden in Erscheinung treten können. Es ist nun Gegenstand der folgenden Ausführungen, in einem repräsentativen Querschnitt durch die Bodengesellschaften des Sebalder Reichswaldes aufzuzeigen, inwieweit derartige Verbindungen zwischen Bodenzustand und Waldschädigung bestehen, und ob sich die genannte Hypothese für den vorliegenden, regionalspezifischen Fall verifizieren oder falsifizieren läßt. Insbesondere ist beabsichtigt, die Ergebnisse der Bioindikatoruntersuchungen im Sebalder Reichswald (REIGBER & BRAUN 1985) durch Bodendaten zu ergänzen und soweit möglich Vergleiche mit Ergebnissen dieser Aufnahmen anzustellen.

2 Stellung des Untersuchungsbereiches im Rahmen der naturräumlichen und standortkundlichen Landschaftsgliederung

Das hier behandelte Gebiet erstreckt sich in einem NNE-SSW verlaufende Streifen von der Gründlach über Kalchreuth bis zur Schwabach und erfaßt den Zentralbereich des Sebalder Reichswaldes (s. Abb. 1). Es gehört in seiner *naturräumlichen Stellung* zum nordöstlich Randbereich des zentralen Regnitzbeckens. Speziell ist es in den Grenzbereich des Erlanger Albvorlandes und des Nürnberger Beckens einzuordnen (HÜTTEROTH 1974).

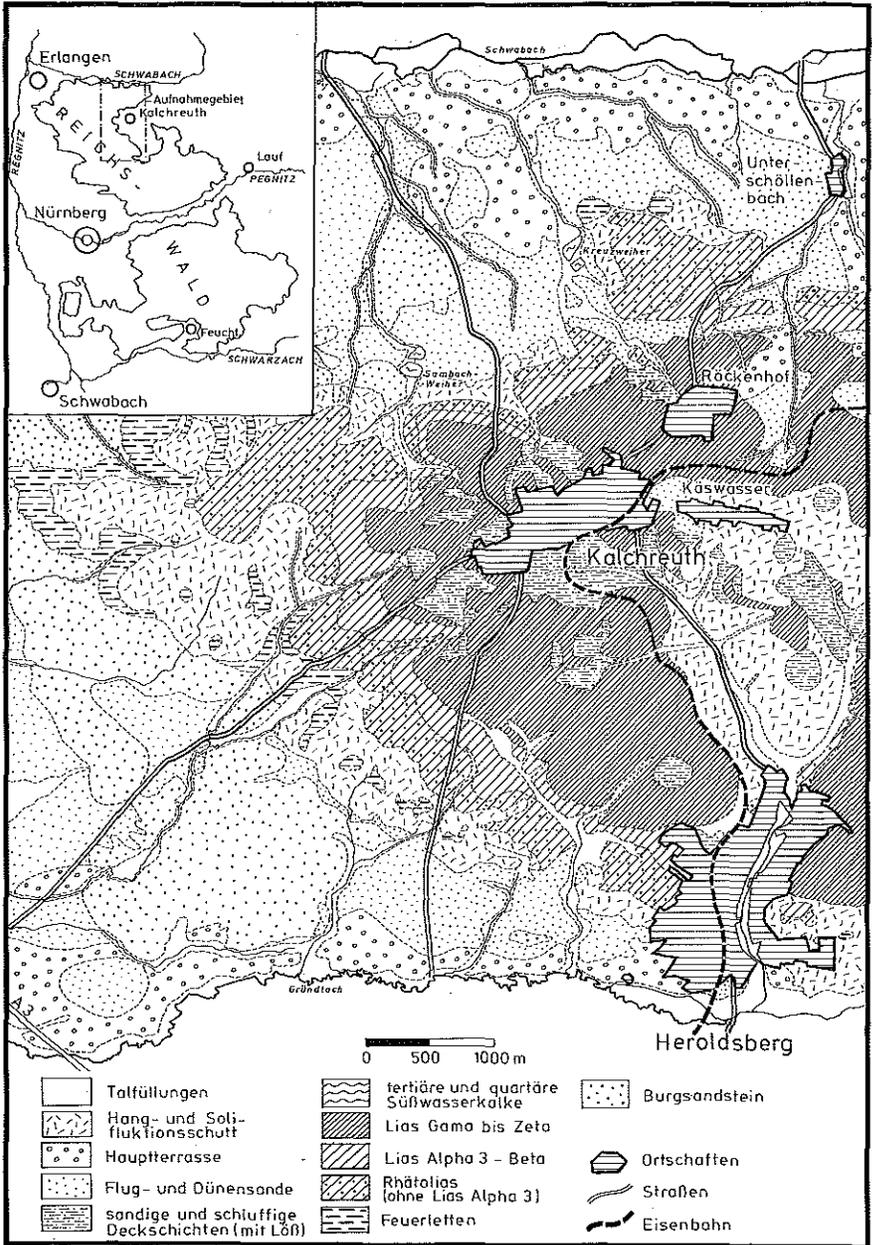


Abb.1: Übersichtskarte zur Geologie des zentralen Seibald Reichswaldes (nach HAARLÄNDER 1966, ergänzt nach Bohrstock-Daten)

Der zum Albvorland gehörige Anteil beginnt am Fuße der Schichtstufe des Rhätolias, die durch schmale Kerbtäler, wie etwa die Teufelsbadstube südwestlich Kalchreuth, aufgegliedert ist. Die den Rhätolias überlagernden Mergel und Tone des Lias (bis Lias Zeta) erzeugen die Morphologie eines kleingliedrigen, flachen Hügellandes, das i.allg. landwirtschaftlich genutzt und nur randlich von Wald eingenommen wird (z.B. südwestlich von Kalchreuth).

Die Ausläufer des Nürnberger Beckens haben den größten Anteil an dem betrachteten Waldabschnitt. Das geologische Hauptcharakteristikum ist hier die weitflächige Bedeckung der anstehenden Schichten des Burgsandsteins und Feuerletens mit fluviatilen Terrassensanden, mit Flugsanden und Dünenanden sowie mit Hangschutt und Solifluktsdecken. Das Relief ist hier eben bis wellig, steigt leicht zum Fuße der Rhätstufe an und ist wesentlich durch eine Reihe von Dünenzügen geprägt. Erst weiter westlich tritt der Burgsandstein als Geländeanstieg in Erscheinung.

Einen ersten Überblick über das bodenkundliche Potential in Verbindung mit klimatischen und geomorphologischen Gegebenheiten vermittelt die standortkundliche Landschaftsgliederung nach WITTMANN (1983). Danach gehören die Böden auf höheren Teilen des Feuerletens, auf Rhät und auf Lias zur standortkundlichen Teillandschaft des nördlichen Albvorlandes innerhalb der sog. Tonlandschaften. Die Leitböden sind schluffig-lehmige und lehmig-sandige bis lehmig-tonige Pelosol-Braunerden, mehr oder weniger pseudovergleyte Braunerden und Pseudogleye. Begleitend können lehmig-tonige Pelosole, tonig-lehmige Pararendzinen, Gleye und Pelosol-Gleye auftreten.

Die mit diesen Bodengesellschaften assoziierten Klimabedingungen lassen sich nach dem Trockenheitsindex (n. REICHEL, s. *Deutscher Wetterdienst* 1952) als mäßig trocken bis mäßig feucht (Trockenheitsindex ca. 31-44), nach der Mittleren Jahrestemperatur (7,5-8,5 °C) als mäßig warm bis mild charakterisieren.

Die Böden auf Burgsandstein und auf tieferen Teilen des Feuerletens sind den (Ton-)Sand-(stein)Landschaften des mittelfränkischen Keuperbeckens, im Detail den Teillandschaften der Regnitz-Senke zuzuordnen. Leitböden sind hier sandige und lehmig-sandige, z.T. tiefgründige Braunerden und Podsol-Braunerden, die begleitet werden von sandigen Podsolen, mehr oder weniger lehmig-sandigen bis tonig-sandigen und lehmig-tonigen Pseudogleyen sowie sandigen und sandig-lehmigen Gleyen. Die klimatischen Verhältnisse sind trockener und wärmer als in der oben genannten standortkundlichen Teillandschaft. Sie sind als mäßig-trocken (Trockenheitsindex ca. 30-36) bzw. als mäßig warm (Mittlere Jahrestemperatur 8-8,5 °C) zu bezeichnen.

Der NW' Sebalder Reichswald liegt also auch vom standortkundlich-klimatologischen Gesichtspunkt her betrachtet im Grenzbereich zweier unterschiedli-

cher Landschaftseinheiten, eine Tatsache, die sich in der Verteilung und im Charakter der Bodeneinheiten im Untersuchungsgebiet (s. unten) bestätigen wird, aufgrund der aber trotzdem keine scharfe Trennlinie zwischen völlig unterschiedlichen Bodengesellschaften erwartet werden darf.

3 Die Grundlagen der Bodenbildung

Nach dem Überblick über die geographisch-bodenkundliche Grundsituation, in die das Gebiet des NW' Sebalder Reichswaldes einzuordnen ist, soll im folgenden auf Details der Bodenbildungsfaktoren und deren Variation eingegangen werden.

3.1 Klima

Klimatisch gesehen gehört der betrachtete Abschnitt des Sebalder Reichswaldes zu den niederschlagsärmsten und relativ warmen Gebieten Bayerns. Kennzeichnend sind warme Sommer und kalte, schneearme Winter. Nach dem thermischen Kontinentalitätsgrad von SCHREFFER (ca. 35) ist der Sebalder Reichswald in den Übergangsbereich subatlantisch bis subkontinental einzuordnen (*Deutscher Wetterdienst* 1952, FISCHER 1985) und als mäßig trocken zu bezeichnen (WITTMANN 1983). Der Mittlere Jahresniederschlag beträgt 719 mm (gemittelt über die Jahre 1951 - 1981), die Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur liegt um 8,4 °C (REIGBER & BRAUN 1985), nach MÜLLER (1977) in dem betrachteten Abschnitt zwischen 8 °C und 8,5°C.

Tabelle 1: Niederschlags- und Temperaturdaten für verschiedene Meßstationen im Bereich des Untersuchungsgebietes

Meßstation	MJN (mm)	gem. üb. d. Jahre	MJT (C)	gem. üb. d. Jahre
Nbg/Kraftshof ¹	639	1974 - 1980	9	1974 - 1980
Nbg/Kraftshof ²	605	1891 - 1950	8,2	1881 - 1940
Nbg/Flughafen ³	-	-	8,2	1881 - 1940
Erlangen ²	618	1931 - 1960	8,4	1931 - 1960
Erlangen ³	658	1891 - 1950	8,2	1881 - 1940
Nbg/Buchenbühl ²	705	1931 - 1960	8,3	1931 - 1940
Nbg/Buchenbühl ³	595	1891 - 1950	8,2	1881 - 1940
Kalchreuth ²	729	1931 - 1960	-	-
Kalchreuth ²	700	1891 - 1950	-	-

- Quellen: 1) Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung Umweltfragen (1982)
 2) Bayerisches Staatsministerium ... (1974)
 3) Deutscher Wetterdienst (1952)

Ein für Bodenbildung und Vegetationsentwicklung wichtiges Datum ist auch die Spanne zwischen der mittleren Januar- und der mittleren Julitemperatur. Sie ist ein Maß für die Kontinentalität des Klimas. In Arbeitsgebiet liegt die Spanne bei ca. 19 °C (s. Klimadaten *Forstamt Nürnberg* 1981), was einer ausgeprägten Kontinentalität entspricht. Entscheiden sind in diesem Zusammenhang die hohen Sommertemperaturen, die durch eine beträchtliche Evapotranspiration den sommerlichen Niederschlägen, insbesondere den Sommerregenschauern entgegenwirken. Neben diesen über das Gebiet des Sebalder Reichswaldes integrierenden Daten bestehen hinsichtlich Niederschlag und Temperatur im Untersuchungsgebiet doch beträchtliche Unterschiede, die auf eine prinzipielle Zunahme des Mittleren Jahresniederschlags und ein Absinken der Mittleren Jahresdurchschnittstemperatur vom W-Rand (Meßstation Erlangen und Nürnberg/Flughafen) zum Kalchreuther Höhenzug (Meßstation Kalchreuth) hinauslaufen. Für einige Meßstationen sind die Werte in Tabelle 1 zusammengestellt.

Weiterhin wirkt sich im Arbeitsgebiet für das Kleinklima die unterschiedliche Exposition in den z.T. nach Süden, z.T. nach Westen und z.T. nach Norden weisenden Hängen des Kalchreuther Höhenzuges aus. Die Folge dieser Unterschiede sind etwas geringere Temperaturen in Bodennähe sowie höhere Durchfeuchtung (infolge geringerer Verdunstung) in den Bereichen nördlich des Kalchreuther Höhenzuges.

Die Bodentemperaturen werden außerdem lokal durch Kaltluftseen beeinflusst, die sich in den Wintermonaten gelegentlich im Bereich der Rhätschluchten oder in feuchten Geländemulden ausbilden.

3.2 Geologie

Die geologischen Verhältnisse in dem hier betrachteten Bereich sind ausführlich bekannt und in den Grundzügen in Abb. 1 niedergelegt. Details können vor allem den Karten und Erläuterungen von HAARLÄNDER (1966) und BERGER (1978) entnommen werden. Im folgenden werden nur die für die mineralische Substanz der Böden als Ausgangsmaterial wichtigen lithologischen Merkmale zusammengefaßt.

3.2.1 Burgsandstein

Abgesehen von einigen kleineren Flächen südlich von Tennenlohe bildet der Burgsandstein des Mittleren Keupers den stratigraphisch tiefsten Anteil des Untergrundes im nordwestlichen Teil des Sebalder Reichswaldes. Im Gebiet der beiliegenden Bodenkarte besitzt vor allem der Obere Burgsandstein (im äußersten Südwesten auch etwas Mittlerer Burgsandstein), häufig verhüllt durch Deckschichten (s. unten), große Verbreitung. Es handelt sich um mittel- bis grobkörnige, graue, rötliche und rotviolette sowie gelbliche Sandsteine, z.T. mit Quarzgeröllen (bis 14 cm Durchmesser, besonders im Oberen Burgsandstein) oder Tongallen. Der Mineralbestand umfaßt hauptsächlich Quarz und in unterschiedli-

chem Maße auch Feldspäte (z.T. Arkosen). Das Bindemittel ist überwiegend tonig, so daß die Gesteine besonders im angewitterten Zustand mürbe erscheinen und leicht zerfallen. Seltener tritt quarzitisches oder dolomitisches Bindemittel auf. Die Abfolgen sind unregelmäßig plattig bis bankig geschichtet oder auch massig und zeigen intern Schrägschichtung. In verschiedenen Niveaus sind rote und grüne Zwischenlettenlinsen unterschiedlicher Mächtigkeit eingelagert. Durchzuverfolgen scheint lediglich der Basisletten des Oberen Burgsandsteins zu sein, doch ist dieser im Gelände schwer zu identifizieren. Karbonatische Einlagerungen in die Letten sind gelegentlich zu beobachten. Der Tonmineralbestand dieser Partien besteht überwiegend aus Illit. Hinzu kommen in geringen Anteilen Smekтите (SALGER 1959, KRUMM 1961).

3.2.2 Feuerletten

Mit unscharfer Grenze geht unter Abnahme der Sandsteineinschaltungen der Burgsandstein zum Hangenden in den Feuerletten über. Dieser besteht vor allem aus roten bis rotvioletten, i.allg. wechselnd feinsandigen Tonen und Tonmergeln, wobei in unregelmäßiger Verteilung auch sekundäre Grünfärbungen (Flecken und Bänder) zu sehen sind. Im angewitterten Zustand sind diese Gesteinsvarietäten bröckelig, quellen allerdings bei Durchfeuchtung und werden zu plastischen und rutschfähigen Massen. Eine Ursache für die letztgenannte Eigenschaft ist u.a. in dem relativ hohen Gehalt an quellfähigen Tonmineralen (Illit-Montmorillonit-Wechselagerungen, z.T. mit Sudoit, s. KRUMM 1961, SALGER 1974) zu sehen. Für den Charakter der Bodenbildungen auf diesem Substrat ist weiterhin die Tatsache entscheidend, daß der mittlere Teil des Feuerlettens Kalk und untergeordnet Dolomit sowohl in feiner Verteilung (Größenordnung um 10 %) (SALGER 1959, KRUMM 1961) als auch in Form von Steinmergelknollen enthält. Konglomerate (s. URULICHS 1966, BERGER 1978:56 u.f.) wurden im engeren Arbeitsgebiet nicht aufgefunden, aber in unmittelbarer Umgebung nachgewiesen (Bubenreuth, Rathsborg bei Erlangen), so daß anzunehmen ist, daß sie auch bei Kalchreuth auftreten. Häufig scheinen dagegen Sandsteineinschaltungen zu sein, obwohl auch sie kaum nachweisbar austreichen. Es handelt sich um fein- bis mittelkörnige Gesteine mit bereits aus dem Burgsandstein bekannter Farbpalette. Das Bindemittel kann tonig oder kalkig sein, wovon auch die Festigkeit bestimmt wird. Die Komponenten umfassen überwiegend Quarz und wechselnde Mengen an Feldspat.

In der bodenkundlich bearbeiteten Zone bei Kalchreuth ist der Feuerletten weithin durch Deckschichten (Flug- und Dünenande, Terrassensande, Hangschutt der Rhätolias-Übergangsschichten) verhüllt und streicht damit insgesamt nur selten an der Oberfläche aus.

Die vom Feuerletten eingenommenen Bereiche bilden morphologisch einen flachen bis mittelsteilen Anstieg, der allmählich in den Steilanstieg des Rhät übergeht. Wegen der unterschiedlichen Permeabilität von Feuerletten und überlagerndem Sandstein wird diese Grenze häufig durch einen Quellhorizont nachge-

zeichnet. Durch die Überdeckung der Grenzregion mit Hangschutt tritt das Wasser allerdings gelegentlich morphologisch etwas tiefer in Form von Schuttquellen aus.

3.2.3 Rhät-Lias-Übergangsschichten (Oberer Keuper bis Lias Alpha 2)

Die Schichtenfolge vom Rhät bis zum tieferen Lias in sandiger, fluviatil-terrestrischer Fazies geht z.T. unter Zunahme sandiger Einschaltungen kontinuierlich aus dem Feuerletten hervor, grenzt z.T. aber auch scharf an das unterlagernde Tonpaket. Diese Gegebenheiten hängen einmal mit der Existenz einer konkordanten, flächenhaft entwickelten Normalfazies, zum anderen mit der Ausbildung einer fluviatilen Rinnenfazies zusammen, die in den Feuerletten diskordant eingreift. Aus diesen faziellen Variationen ergeben sich zusammen mit der starken Schuttüberdeckung der Grenze Oberer - Mittlerer Keuper beträchtliche Probleme bei der Abtrennung dieser beiden Komplexe im Gelände.

Die Abfolge der Rhät-Lias-Übergangsschichten umfaßt lithologisch durchaus nicht nur Sandstein, sondern auch ein wechselndes, aber beträchtliches Kontingent an Tonsteinen. Die plattigen bis gebankten, meist tonig gebundenen Sandsteine sind fein- bis grobkörnig und von weißlicher, gelblichbrauner und grauer Färbung. Die enthaltenen Feldspäte sind meist kaolinisiert. In manchen Partien findet man auch Gerölle mit bis zu 20cm Durchmesser. Die Sandsteine werden in unregelmäßiger Folge von Tonen und tonig-sandigen Einlagerungen durchsetzt. Nur wenige Tonhorizonte wie etwa der Hauptton und z.T. die sog. Oberen Tone können über größere Strecken verfolgt werden. Die Tone sind überwiegend grau, bräunlich oder rot gefärbt. Ein Karbonatgehalt existiert nicht. Der Tonmineralbestand umfaßt häufig einen hohen Anteil an Kaolinit und an zweiter Stelle Illit-Gehalte (SALGER 1959, KRUMM 1961, 1962). SALGER (1974) konnte in der Bohrung Rathsberg den rhätischen Anteil der Übergangsschichten durch eine Montmorillonit-Kaolinit-Fazies charakterisieren. Auf die ehemalige wirtschaftliche Bedeutung der Tone der Rhät-Lias-Übergangsschichten unseres Arbeitsgebietes sei hier verwiesen (HAARLÄNDER 1966:96). Abbauspuren sind besonders im Bereich der Tiegeltonlöcher in der Forstgemarkung Saugarten erhalten.

3.2.4 Arietensandstein (Lias Alpha 3, Obere Hettang-Schichten)

Mit dem Arietensandstein beginnt der Abschnitt durchgehender mariner Sedimentation im Lias des Erlanger Raumes, obwohl bereits an der Basis des Lias Alpha I erste Anzeichen mariner Bedingungen erkennbar sind (v. FREYBERG 1974:16 u.f.).

Die oftmals grobkörnigen, rostbraun verwitternden, gebankten Sandsteine sind im frischen Zustand z.T. karbonatisch, z.T. tonig gebunden und besitzen einen hohen Eisengehalt vor allem in Form von Pyrit. Als Folge dieser Zusammensetzung entwickeln sich im Bereich des anstehenden Arietensandsteins intensiv

rostbraune Braunerden. Morphologisch bildet der Arietensandstein die Dachfläche des Rhätolias vor dem flachen Anstieg zum tonigen Lias Beta.

3.2.5 Lias Beta und Gamma (Sinemur-Schichten und untere Pliensbach-Schichten)

Dieser Abschnitt des Lias umfaßt nun bereits die typischen dunkelgrauen und blau- bis schwarzgrauen schiefrigen Tone und Mergel. Der Kalkgehalt nimmt zum Lias Gamma zu und macht sich dort sowohl in feinverteilter Form als auch durch Einlagerungen mehr oder weniger toniger, fossilreicher Kalksteinplatten bemerkbar, die zusammen mit Toneisenstein- und Phosphoritkonkretionen auch in der Verwitterungszone erhalten bleiben. Feinsandsteinbänkchen sind selten. Die Verwitterungsfarbe der Tonböden ist gelbbraun bis gelbgrau.

An Tonmineralen sind in der Fazies des Lias Beta und Gamma vor allem Illit und Muskovit (ca. 50 - 55 %) und wenig Kaolinit- bzw. Fireclay-Anteile (10 - 15%) vertreten. Der Calcitgehalt liegt bei etwa 10%, der Dolomit- und Magnesitgehalt bei maximal 8% (KRUMM 1962). Im Bereich von Kalchreuth ist mit der Beteiligung von äolischen Deckschichten (vor allem mit der Beimengung von Löß) an der obersten Verwitterungsschicht zu rechnen. Diese machen sich mit einem Anteil von 30 - 50 Gew.-% Schluff an der Korngrößenverteilung der Decksedimente bemerkbar (NEUBAUER 1985: 43). Morphologisch ist der Lias Beta durch einen flachen Anstieg zwischen der Stufe der Rhät-Lias-Übergangsschichten und der Geländestufe des Lias Gamma gekennzeichnet.

3.2.6 Lias Delta (Obere Pliensbach-Schichten; Amaltheenton)

Auch in diesem Abschnitt des Lias herrschen wieder graue bis dunkelblaugraue Mergeltoner und Tone mit zahlreichen, rostbraun verwitternden Toneisensteingeoden sowie Kalk- und Phosphoritknollen vor. Bedingt durch den erhöhten Eisengehalt erscheint auch die Farbe der Verwitterungsschicht hellbraun bis okker.

Der Tonmineralbestand des frischen Gesteins ist durch wenig Kaolinit und Vorherrschen des Illit (ca. 50 - 70% Illit + Muskovit) gekennzeichnet. Der Karbonatgehalt liegt bei 1 - 15% (SALGER 1959, KRUMM 1961). Auch im Bereich des Amaltheentons sind eine Lößkomponente und in geringem Maße wahrscheinlich auch Flugsand in der Verwitterungsschicht enthalten. Der Lias Delta wird überwiegend ackerbaulich genutzt. Er bildet einen flachen Anstieg zwischen den Geländekanten des Lias Gamma und des Lias Epsilon.

3.2.7 Lias Epsilon und Zeta (Untere und Obere Toarc-Schichten; Posidonien-Schichten und Jurensis-Mergel)

Schichten des höheren Lias spielen als Substrat für die Böden des Sebalder Reichswaldes in dem hier behandelten Abschnitt keine Rolle. Sie bilden jedoch

den Untergrund von landwirtschaftlichen Flächen in der Umgebung Kalchreuths, die der Vollständigkeit halber in die Bodenkarte mit einbezogen sind. Die Lithologie des Lias Epsilon umfaßt braungraue, bituminöse Schiefer (sog. Papierschiefer), graue Mergel und eine Reihe von z.T. fossilreichen, bituminösen Kalksteinbänken. Der Gehalt an organischer Substanz ist sehr hoch, weshalb die schieferigen Anteile in manchen Gegenden als Ölschiefer angesprochen werden. Eingelagert sind Phosphoritknollen. Im Gelände kommt der Lias Epsilon häufig durch eine markante, wenn auch nicht allzu hohe Geländestufe zum Ausdruck, die jedoch am S-Rand des Kalchreuther Höhenzuges durch Deckschichten weitgehend verschleiert wird (s. auch BERGER 1978).

3.2.8 Tertiär und Deckschichten des Quartärs

Nach der Aufnahme von HAARLÄNDER (1966) existieren am Nordhang des Kalchreuther Höhenzuges an einigen Stellen Vorkommen von obermiozänen Süßwasserkalken. Diese Quelltuffe liegen im wesentlichen dem Lias Gamma bis Delta auf und haben ihren Kalkgehalt aus dem höheren Lias bezogen. Einen Einfluß auf die Bodenbildung haben die Vorkommen kaum gehabt. Sehr wichtig für Bodenentwicklung und Bodencharakter sind dagegen die quartären Deckschichten, die zwar oft nur in geringen Mächtigkeiten das Anstehende überdecken, in denen sich jedoch die entscheidenden Bodenbildungsvorgänge abspielen. Eine gerade für unseren Zweck gut anwendbare Unterteilung der Deckschichten gibt BRUNNACKER (1978). Er unterscheidet:

- a. Deckschichten aus Verwitterungsschutt der anstehenden Gesteine
- b. Deckschichten aus äolisch transportiertem Fremdmaterial
- c. fluviatile Bildungen.

zu a: Hierbei handelt es sich um Verwitterungs- und Hangschutt, der z.T. etwas steinig ist und entweder einen relativ hohen Anteil an sandigen und z.T. auch an grusigen Komponenten besitzt oder aus einer sandärmeren, schluffig-tonigen Auflage besteht.

Der erstgenannte Fall tritt vor allem am Fuß der Rhätolias-Stufe auf. Rhät-sandstein-Schutt bedeckt dort weitflächig den Feuerletten und z. T. den Oberen Burgsandstein.

Im weiteren Sinn kann man auch den Restschutt aus Lias Alpha 3 (Brocken und Eisenoxid-Schwarten) und aus dem abgetragenen Dogger-Sandstein (ebenfalls vor allem Eisenoxid-Schwarten) hierher rechnen. Letztere bedecken in erster Linie Bereiche zwischen Kalchreuth und Heroldsberg.

Diese Deckschichten stammen zwar aus noch anstehendem oder ehemals anstehendem Gestein, doch hat vor allem im Periglazialklima des Pleistozäns eine

gravitative Verlagerung und Vermischung mit dem Unterlagernden, in erster Linie durch Solifluktion (bei tonig-schluffigem Material), aber auch durch kleinräumigen fluviatilen Transport (bei sandigem Material) stattgefunden.

Besondere Mächtigkeiten besitzen die Deckschichten der Kategorie a am Fuß von Anstiegen innerhalb von Mittelhanglagen (im vorliegenden Fall z.B. in Mittelhanglage zwischen dem Tiefsten des Gründlach- bzw. Schwabachtales und dem Höchsten des Kalchreuther Zuges).

Das in diesen Deckschichten vorherrschende Gemisch von silikatischem und z.T. auch karbonatischem Material unterschiedlicher Korngröße bietet in der Regel die Voraussetzung zur Entwicklung von Braunerden (s. auch BRUNNACKER 1978: 20).

zu b: Lößlehmhaltige Deckschichten findet man als dünne Schleier oder mächtigere Lagen in unserem Untersuchungsgebiet vor allem auf dem Kalchreuther Höhenzug. Häufig entstand durch Verwitterung, Solifluktion und Umlagerung eine intensive, wenn auch geringmächtige Durchmischungszone mit den unterlagernden Liastonen (Diluviallehme im Sinne von BRUNNACKER 1978), die durch die Korngößenanalyse nachweisbar ist.

Die zweite und für den Bereich des Nürnberger Beckens ganz wesentliche Gruppe von Deckschichten aus Fremdmaterial sind die Flug- und Dünenände sowie ihre Umlagerungs- bzw. Mischprodukte (Diluvialsände i.S. von BRUNNACKER 1978). Sie haben ihre Hauptverbreitung auf den Gesteinen des Sandsteinkeupers.

Bei den Dünen- und Flugsänden kann man eine Abfolge verschieden alter Ablagerungen unterscheiden, die in günstigen Aufschlüssen durch Paläoböden getrennt werden. Die Sedimentation der heute überlieferten Dünen begann vor dem Alleröd im älteren Spätglazial (BRUNNACKER 1955, 1959, 1982; HABBE et al. 1981) und reichte bis ins Postglazial.

Für die mineralogische Zusammensetzung der Dünenände im Bereich der Verwitterungszone werden von BERGER (1951) (ohne Vermerk der Bodenhorizonte, aus denen die Proben entnommen wurden) angegeben: 93 - 96% Quarz, <1% angewitterter Feldspat, 1-2% Calcit, 0,5% Schwerminerale.

Die von BRUNNACKER (1978:20-21) getroffene Feststellung, daß sich auf Diluvialsänden vorzugsweise Braunerden oder in Reliefdepressionen Vergleungen entwickeln, während die Dünen- und Flugsände undeutlich ausgeprägte Braunerden und Podsole tragen, kann auch für unseren Raum im Prinzip übernommen werden.

zu c: Zu den fluviatilen Bildungen gehören schließlich die Terrassenablagerungen der Gründlach und der Schwabach, die jedoch mit zunehmender Entfernung von den Tälern ohne deutlich erkennbare Grenzen in Flug- und Dünenände übergehen oder von diesen bedeckt werden können. Die Trennung ist

auch deswegen schwierig, weil das Material der äolischen Sedimente z.T. aus den Terrassenablagerungen abzuleiten ist (BERGER 1951).

Im Bereich der Gründlach und Schwabach sind Terrassenablagerungen vom Niveau der würmeiszeitlichen Niederterrasse (Hauptterrasse) über die Obere Vorterrasse (Jüngere Tundrenzeit) und Untere Vorterrasse (Frühholozän) bis zu spät-holozänen Aueablagerungen vorhanden. Die Untere Vorterrasse trägt bereits eine Auelehmdecke (BRUNNACKER 1955).

Entsprechend dem Alter der Bodenbildungen (und den damit verbundenen klimatischen Bildungsbedingungen; s. BRUNNACKER 1955) lassen sich auf den verschiedenen Terrassenniveaus verschiedene Entwicklungsstadien nachweisen. So überwiegen auf der Niederterrasse Podsole (Bodenbildung ab Alleröd nach BRUNNACKER 1955), auf der Oberen Vorterrasse und Unteren Vorterrasse braunerdeartige Böden (BRUNNACKER 1955: 74; HAARLÄNDER 1966; Bodenbildung etwa ab Beginn des Holozän bzw. ab Atlantikum nach BIRZER 1964). Die Böden der Talaue sind im wesentlichen Braune Aueböden. Im Untersuchungsgebiet stehen lediglich Niederterrassen- und Auensedimente als Substrate der Bodenbildung zur Verfügung.

3.3 Relief

Das Gebiet um Kalchreuth bildet einen Teilausschnitt des Fränkischen Schichtstufenlandes. Als markante Steilstufen treten im Westen an einigen Stellen der Obere Burgsandstein, im übrigen vor allem aber die Rhätolias-Sandsteinfolge in Erscheinung. Inwieweit im Bereich des Kalchreuther Höhenzuges Reste alter Landoberflächen im Sinne von BÜDEL (1957) vorliegen, ist bisher noch nicht ausreichend geklärt. Der Rücken von Kalchreuth könnte aber dem von WITTMANN (in BERGER 1978: 131) erwähnten tertiären Rumpfflächenrest im Niveau von 400m bis 410m angehören.

Der das Relief hauptsächlich prägende Stufenrand der Rhätolias-Übergangsschichten wird von tief eingeschnittenen Kerbtälern gequert, von denen in unserem Raum vor allem die Teufelsbadstube als eindrucksvolles Beispiel angeführt werden kann (weitere Rhätöschluchten s. HAARLÄNDER 1966: 47). Die Hänge dieser Schluchten sind z.T. sehr steil, so daß es zu Bodenabtrag und -umlagerung kommt. In den übrigen Teilen des Reichswaldgebietes sind infolge der dichten Vegetationsdecke derartige Vorgänge in bedeutendem Maße nicht beobachtet worden.

Die morphologische Ausprägung der Erosionsstufen wird durch Überlagerung mit verschiedenartigen Deckschichten (s. oben) stark gemindert. Relativ bewegt ist das Relief am Nordhang des Kalchreuther Höhenzuges, während es im Süden vor allem auch infolge des erwähnten Einflusses der Deckschichten ausgeglichener erscheint. Dies ist sicher auch eine Folge der stärkeren Solifluktion an den südexponierten Hängen.

Die höchste Stelle im Kartiergebiet liegt bei 412m ü.NN (Kalchreuth), der tiefste Punkt bei 293m ü.NN an der Schwabach (Habernhofer Mühle), womit über eine Entfernung von 4,1km eine Höhendifferenz von 119m besteht.

Wie im Kapitel über das Klima (Kapitel 3.1) bereits hervorgehoben, wechselt die Hangexposition von Süden über Westen nach Norden. Soweit notwendig werden weitere Angaben zum Relief, wie z.B. zur Hangform, bei den Beschreibungen der Bodeneinheiten (Kapitel 4) vermerkt.

3.4 Grund- und Stauwasser

Oberflächennahes Grundwasser beeinflusst in einigen Fällen direkt die Bodenbildung. Im wesentlichen sind die Talbereiche großer Bäche und Teilbereiche des Gründlach- und Schwabachtales von Vergleyungen betroffen.

Vergleyungen findet man daneben durch den Einfluß von Quellwasser hangabwärts von Quellhorizonten. Als wichtigste Linie für solche Wasseraustritte ist die Grenze Rhätsandstein gegen Feuerletten zu nennen; hinzu kommt die Obergrenze von Lettenlagen im Burgsandstein.

Die Quellengleye gehen im Bereich von Bachläufen oftmals kontinuierlich in Pseudogleye über, bedingt durch periodisch mehr oder minder lang andauernde Vernässung in Form von Hangstauwasser. Die Bedeutung dieses Stauwassers tritt allerdings zurück gegenüber dem flächenmäßig verbreiteten Stauwassereinfluß in flachen Reliefpositionen auf Letten- und Tonschichten, besonders bei Überlagerung mit sandigen Deckschichten. Diese Art der Pseudovergleyung ist ein wesentliches Merkmal der Bodengesellschaften des Arbeitsgebietes und wird in mehr oder minder deutlicher Form auch bei der folgenden Beschreibung der Bodeneinheiten immer wieder zum Ausdruck kommen.

3.5 Anthropogene Beeinflussung

Vor den Toren der aufstrebenden freien Reichsstadt Nürnberg gelegen, war der Reichswald jahrhundertlang intensivster Nutzung unterworfen. Neben Grundübeln, wie Kiefernreinanbau und Waldweide, führte insbesondere die im 18., 19. und bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts hinein betriebene Streunutzung zu einer Degradation der schon primär basen- und nährstoffarmen Waldböden (vgl. SPERBER 1968).

Das hatte gravierende Auswirkungen auf Boden und Vegetation. Unter den standortfremden Nadelholzmonokulturen verschlechterten sich die Humusformen, verstärkte Podsolierung war die Folge. Die Produktionskraft reiner Sandböden wurde so teilweise irreversibel herabgesetzt, Laubholzstandorte zu Nadelholzstandorten heruntergewirtschaftet. Unter dem lichten Kiefernschirm nahmen Vernässung und anschließende Austrocknung zu, stärker wechselfeuchte Wasserhaushaltsverhältnisse waren die Folge. Beim Vorhandensein basenhaltiger Unter-

grundsichten (Keuperletten) war die Abwertung nicht so gravierend und betraf mehr den Oberboden. Hier würden tiefwurzelnde, bodenaufschließende Baumarten, wie die Stieleiche, zu einer Verbesserung der Basen- und Nährstoffverhältnisse führen. Ein günstigerer Humuszustand und geringere Podsolierungstendenz wären die Folge.

Eine weitere Gruppe von Maßnahmen, die den Bodenzustand wesentlich beeinflusst, ist die Düngung. Die seit 1968 im Bereich des Aufnahmegebietes durchgeführten Düngemaßnahmen sind auf Tafelbeilage 2 vermerkt. Es handelt sich dabei einmal um eine Stickstoffdüngung mit Kalkammonsalpeter (450kg/ha Kalkammonsalpeter mit 23% N und 21% CaO), zum anderen seit 1983 um eine Düngung mit dem Spezialdünger 6/6/10 (1500kg/ha Spezialdünger mit 6% P₂O₅, 6% K₂O, 10% MgO, 8% N) (nach Angaben der Forstämter Erlangen und Nürnberg). Die Spezialdüngung war vor allem auf eine Kompensierung des Magnesium-Mangels ausgelegt.

Aufgrund der Nährstoffsituation, die sich aus den hier behandelten Bodenuntersuchungen ergab, wurde im Frühjahr 1984 in Zusammenarbeit mit dem Forstamt Erlangen ein Düngeversuch konzipiert und durchgeführt. Dabei wurden 4 Versuchsflächen ausgewählt (s. Tafelbeilage 2) und auf jeder dieser Versuchsflächen jeweils zwei Düngevarianten bei 6 oder 12 Parzellen pro Versuchsfläche durchgeführt (bei 12 Parzellen: 6 gezäunt, 6 nicht gezäunt; Größe der Parzellen 0,09-0,1 ha). Die Düngerzusammensetzung ist auf einen Nährstoffmangel- und Nährstoffsteigerungsversuch ausgerichtet (nach HAUSER et al. 1969), wobei insbesondere auf eine Verbesserung der Magnesium- und P-Versorgung sowie auf eine Verbesserung des pH-Wertes und der Pufferungseigenschaften durch Kalkung abgezielt wurde. Ergebnisse über die Auswirkung der Düngung können noch nicht publiziert werden.

3.6 Potentielle natürliche Vegetation

Vegetation und Boden weisen als wichtige Teilbereiche eines Ökosystems vielfältige wechselseitige Beziehungen auf. Im Gleichgewichtszustand finden sich auf bestimmten Bodenformen in der Regel jeweils charakteristische Vegetationseinheiten. Bei der Beschreibung der einzelnen Bodeneinheiten soll deshalb der Versuch gemacht werden, die hierfür kennzeichnende "heutige potentielle natürliche Vegetation" (sensu TÜXEN 1956) anzugeben. Als Entscheidungshilfe für die Forstwirtschaft wird dabei vor allem auf die unter natürlichen Verhältnissen zu erwartende Baumartenzusammensetzung eingegangen.

Im folgenden soll ein kurzer Überblick über die Grundzüge der potentiellen natürlichen Vegetation im untersuchten Raum gegeben werden. Wegen der jahrhundertelangen Bodendegradation, die vor allem die Oberböden stark verarmen ließ, kann nach Meinung des Koautors bei ihrer Ermittlung nicht nur von der aktuell auf den jeweiligen Standorten vorhandenen realen Vegetation ausgegangen

werden. Vielmehr muß der Gesamtstandort mit allen seinen Qualitäten beachtet werden, für dessen Kennzeichnung die vorliegenden bodenanalytischen Untersuchungen einen wichtigen Beitrag liefern.

Wie weiter oben bereits angedeutet, besitzt das Arbeitsgebiet Anteil an zwei unterschiedlichen Naturräumen. Während in den Tieflagen des Nürnberger Beckens unter subkontinental trockenem Klima mit häufigen Spätfrösten verbreitet ärmere Sandböden vorherrschen, steigen Niederschlagsmenge und Bodengüte (verbreitet Lehm- und Tonböden) mit zunehmender Meereshöhe im Bereich des Albvorlandes deutlich an. Parallel dazu nimmt der Anteil der kontinentalen Baumarten Kiefer und Stieleiche an den Waldgesellschaften der potentiellen natürlichen Vegetation nach oben zu ab, der der subatlantischen Arten Traubeneiche und Rotbuche dagegen zu.

Nach Sichtung der Ergebnisse von OTT-ESCHKE (1951), VOGTHERR (1952), SEIBERT (1968), TITZE (1969), HOHENESTER (1960, 1978) und TÜRK (1987) ist im Arbeitsgebiet mit folgenden Waldgesellschaften der potentiellen natürlichen Vegetation zu rechnen.

Potentielle natürliche Vegetation auf trockenen bis frischen Böden:

Artenarmer Kiefernwald (Myrtillo-Pinetum Kob. 30), potentiell natürlich auf den Köpfen höherer Dünen; meist in seiner flechtenreichen Subassoziation (M.-P. cladonietosum); Kiefer führend, Stieleiche einzelstammweise beigemischt.

Kiefern-Stieleichenwald (Pino-Quercetum Reinh. 39), potentiell natürlich auf basenarmen Sanden ohne basenhaltige Untergrundschichten (Flugsande, Burgsandstein in rein sandiger Fazies, Terrassensande z.T.); trennartenfreie Subassoziation (P.-Q. typicum) auf trockenen, pfeifengrasreiche (P.-Q. molinietosum) auf wechselfeuchten Standorten; Stieleiche führend, daneben Kiefer, einzelstammweise Buche, Hainbuche, Birke und Winterlinde beigemischt.

Hainbuchen-Eichen-Birkenwald (Violo-Quercetum Oberd. 57), potentiell natürlich auf etwas besser basenversorgten Sanden (z.B. Sand über Keuperletten); neben einer trennartenfreien Subassoziation auf trockeneren (V.-Q. typicum), läßt sich eine pfeifengrasreiche (V.-Q. molinietosum) auf wechselfeuchten Standorten unterscheiden; der führenden Stieleiche mischen sich weitere Laubbäume wie Hainbuche, Buche, Winterlinde u.a. bei.

Stieleichen-Hainbuchenwald (Galio-Carpinetum Oberd. 57), potentiell natürlich auf anstehenden Keuperletten ohne mächtigere Deckschichten; je nach Standortverhältnissen in anspruchsvollen, azidophytischen, wechselfeuchten und trennartenfreien Subassoziationen auftretend; Stieleichen-Hainbuchen-Winterlinden-Mischbeständen würden sich Buche und weitere Laubbaumarten, lokal (Schatthang, geringmächtige Deckschicht) auch Tanne (vgl. HOLZAPFEL 1960:316) beimischen.

Buchen-Traubeneichenwald, Hainsimsen-Buchenwald (Fago-Quercetum Tx. 55, Luzulo-Fagetum Meus. 37), potentiell natürlich in größerer Meereshöhe auf basenarmen Keupersandsteinen (Rhät) und deren Verlagerungsprodukten (Rhät-Hangschutt über Feuerletten); Mischbestände aus Buche und mit unterschiedlichem Anteil Traubeneiche. An steilen, kaltluftbeeinflussten Rhätschlucht-Hängen besitzt die Fichte natürliche Standorte (*Luzulo-Fagetum piceetosum*).

Perlgras-Buchenwald (Melico-Fagetum Lohm. in Seibert 54), potentiell natürlich auf lößlehmbeeinflussten Liashängen, kleinflächig auch auf Rhätsandsteinüberrollten Feuerlettenhängen; Buche führend, Traubeneiche, Hainbuche, Winterlinde und weitere Laubbaumarten beigemischt; möglicherweise mit natürlichem Tannenanteil (HOLZAPFEL 1960).

Potentielle natürliche Vegetation auf feuchten bis nassen Böden:

Bodenfeuchter Stieleichen-Hainbuchenwald (Stellario-Carpinetum Oberd. 57), potentiell natürlich auf etwas erhöhten Bereichen in den Auen der Bachtäler auf basenreichen, mäßig feuchten Schwemmböden, kleinflächig an Quellvernäsungen und Unterhanglagen mit basenhaltigem Wasser; Stieleichen-Hainbuchen-Winterlinden-Mischbestände mit teilweise hohem Eschen-, Erlen-, Traubenkirschen- und bei sandiger Bodenart auch Buchenanteil.

Traubenkirschen-Erlen-Eschenwald (Pruno-Fraxinetum Oberd. 53), potentiell natürlich in den Auen des Mittel- und Unterlaufes der Waldbäche auf basenreichen, feuchten Schwemmböden, heute auch auf teilentwässerten Torfstandorten, die einst vom Erlenbruchwald bestockt wurden; Erle und Traubenkirsche führend, bei höherem Basengehalt der Standorte auch hoher Eschenanteil, einzelstammweise Stieleiche beigemischt.

Hainmieren-Erlenwald, Winkelseggen-Eschenwald (Stellario-Alnetum Lohm. 57, Carici remotae-Fraxinetum W.Koch 26), potentiell natürlich in den schmalen Auen der gefällstarken Bachoberläufe auf basenhaltigen, feuchten Schwemmböden; Erlen-Eschen-Mischbestände mit Weiden.

Fichten-Erlen-Auenwald (Piceo-Alnetum Rubn. 54), potentiell natürlich in flachen Mulden und Tälchen mit Kaltluftseebildung innerhalb des Burg- und Rhätsandsteins; Erlen-Fichten-Mischbestände; letztere besitzen hier natürliche, weit nach Westen vorgeschobene Standorte mit hoher Bedeutung für Vegetationskunde und Naturschutz (Reichtum an montan verbreiteten Pflanzenarten!).

Walzenseggen-Erlenbruchwald (Carici elongatae-Alnetum W. Koch 26), potentiell natürlich in staunassen Mulden und Tälchen mit sehr langsam ziehendem, hochanstehendem, basenhaltigem Grundwasser; Erle führend, Esche und Stieleiche beigemischt.

Waldkiefer-Moorwald (Vaccinio uliginosi-Pinetum sylvestris de Kleist 29), potentiell natürlich auf staunassen, basenarmen Torfböden; Kiefern-Moorbirken-

Mischbestände; Reste mit hoher vegetationskundlicher und Naturschutz-Bedeutung!

Die oben genannten Waldgesellschaften finden sich kaum noch in realen Beständen. Überall werden ihre Standorte von Kiefern-, Fichten- und in den Talauen auch von Pappelforsten eingenommen. Der häufig zu beobachtende Laubholznachwuchs kommt ohne Zaunschutz über Kniehöhe nicht hinaus, eine Folge der stark überhöhten Rehwildbestände. In zwei pflanzensoziologischen Diplomarbeiten am Lehrstuhl für Botanik und Pharmazeutische Biologie der Universität Erlangen wurden diese Forstgesellschaften näher untersucht (FISCHER 1985, RAUM 1985). Während FISCHER seine aufgenommenen Bestände ausdrücklich als Forsten beschreibt, ordnet sie RAUM bei der jeweils zu erwartenden Waldgesellschaft der potentiellen natürlichen Vegetation ein. Unter Auswertung der im Gelände auf den jeweiligen Bodeneinheiten angetroffenen realen Vegetation mit Hilfe der ELLENBERG-Zahlen, hat RAUM ökologische Kenngrößen (z.B. Feuchte, Reaktion, Stickstoffgehalt des Bodens) errechnet, die soweit vorhanden, bei der Beschreibung der Bodeneinheiten angegeben sind.

4 Bodengesellschaften und ökologische Kennwerte wichtiger Bodenformen

Die im Rahmen der beigelegten Bodenkarte (Tafelbeilage 1) verwendeten Bodeneinheiten werden als Komplex-Bodeneinheiten definiert, die jeweils eine ganze Reihe einzelner Bodenformen umfassen. Die Notwendigkeit für eine solche Zusammenfassung liegt in dem sehr kleinräumigen Wechsel der Bodenformen, so daß selbst bei dem verwendeten Aufnahmemaßstab 1 : 5 000 nicht alle Kategorien zu trennen waren. Zur Bezeichnung der Bodeneinheiten wurden unter Verwendung der Richtlinien der *AG Bodenkunde* (1982) Angaben über Bodenart, Bodentyp und -subtyp, Staunässestufe, Ausgangsgestein, Entwicklungstiefe und morphologische Charakteristika gewählt. Entsprechend dem Vorbild der Bodenkarten 1 : 25 000, Blatt Nr. 6434 Hersbruck (DIEZ 1973) und Blattgruppe Hallertau (WITTMANN & HOFMANN 1981) wurden die Bodeneinheiten nach dem Prinzip der stratigraphischen Stellung zugrundeliegender Ausgangsgesteine und unter dem Gesichtspunkt der Beteiligung von Deckschichten einer Reihe von Bodengesellschaften zugeordnet.

Im folgenden werden die wichtigsten Grundmerkmale der Bodeneinheiten kurz erläutert und bei den verbreitetsten und als Standort wesentlichsten Einheiten einige ökologisch wichtige Kennwerte diskutiert.

4.1 Methodik und Bewertungskriterien

Um dem Leser eine Vorstellung vom Charakter und von der Verlässlichkeit der verwendeten physikalischen und chemischen Bodenkennwerte zu geben, werden im folgenden kurz die den Kennzeichen zugrundeliegenden wichtigsten Ana-

lysen- und Untersuchungsmethoden aufgelistet. Die Bedeutung mancher Meßgrößen ist nur durch Vergleich mit Bewertungskriterien zu ersehen, die bei einigen Parametern beigefügt werden oder der zitierten Literatur zu entnehmen sind.

4.1.1 Allgemeine Kennzeichen der Bodenprofile und ihrer Horizonte

Die *Farben* der Horizonte wurden nach einer MUNSSELL-Farbskala (OYAMA & TAKEHARA 1970) abgeschätzt. Die Angabe der Bodenart beruht einmal auf der Fingerprobe im Gelände zum anderen bei den Leitprofilen auf Korngrößenanalysen im Labor (AG *Bodenkunde* 1982, NEUBAUER 1985). Die Gefügeangaben erfolgten nach den Anweisungen der Kartieranleitung (AG *Bodenkunde* 1982). Die effektive Durchwurzelungstiefe, die den Hauptwurzelraum nach unten begrenzt, wurde mit einer Schablone durch Auszählen der Feinwurzeln (Durchmesser <2mm) in Profilanschnitten ermittelt. Der Hauptwurzelraum umfaßt den Profilbereich mit >5 Feinwurzeln/dm² (SCHLICHTING & BLUME 1966).

4.1.2 Physikalische Kennzeichen

An erster Stelle in der Bedeutung der Bodenkennwerte steht die *Korngrößencharakteristik*. Aus ihr lassen sich eine Reihe anderer Merkmale ableiten und abschätzen. Die Bestimmung der Körnungsverhältnisse (NEUBAUER 1985) erfolgte bei den Leitprofilen durch Naßsiebung, Schlämmung nach dem Aräometer-Verfahren (Prinzip s. SCHLICHTING & BLUME 1966) und Ermittlung des Feinstanteils durch Pipettierung mit einem Pipettiergerät nach KÖHN ergänzt durch eine Pipetzentrifuge (Modell RETSCH-Analysette 21)(MÜLLER 1964).

Gesamtporenvolumen und *Trockenraumgewicht* (Lagerungsdichte, Rohdichte) wurden aus ungestörten Proben in 100cm³-Stechzylindern ermittelt. Jede Angabe bildet einen Mittelwert aus drei bis vier Parallelbestimmungen. Mit Hilfe des Gesamtporenvolumens und der Körnungssummenkurve wurde unter Berücksichtigung des Gehaltes an organischer Substanz eine Abschätzung der *Wasserspannungskurve* und der *Porengrößenverteilung* möglich (HARTGE 1969, RENGER 1971).

4.1.3 Physikalisch-chemische und chemische Kennzeichen

Bei den im folgenden angeführten *pH-Werten* handelt es sich (soweit nicht anders vermerkt) um pH_{CaCl2}-Werte (nach DIN 19 684, Teil 1 (1977); s. auch ULRICH et al. 1984), die elektrometrisch bestimmt wurden. Hinsichtlich der Bewertung der pH-Daten sei insbesondere auf ULRICH et al. (1984) verwiesen. Die Einordnung in die ökologisch aussagekräftigen Pufferbereiche erfolgt nach letztgenannter Literatur allerdings aufgrund von pH_{H2O}. Diese Werte liegen in der Regel um 0,5 - 0,6 Einheiten über pH_{CaCl2}. Angesichts dieser Beziehung erscheint es möglich, auch mit Hilfe der pH_{CaCl2}-Werte eine näherungsweise Bewertung der Pufferungsfähigkeiten und -vorgänge im Boden vorzunehmen.

Die Existenz eines eventuell vorhandenen *Karbonatgehaltes* wurde mit der SCHEIBLER-Apparatur nach DIN 19 684, Teil 5 (1977) getestet.

Die *Adsorptionseigenschaften* der festen Bodensubstanz stellen ein weiteres wichtiges Bodenkennzeichen dar. Zur Charakterisierung wurde zunächst die *potentielle Kationenaustauschkapazität* AK_1 nach DIN 19 684, Teil 8 (1977) ermittelt und aus der Austauschlösung der adsorbierte Anteil an Na^+ , K^+ , Ca^{++} und Mg^{++} mit Hilfe der Absorptionsspektroskopie bestimmt. Die Basensättigung ergibt sich durch Berechnung.

Ein Bewertungsschema für den Basengehalt von Böden hat v. ZEJSCHWITZ 1984 (Tabelle 1) zusammengestellt. Diese orientiert sich u.a. an der Basensättigung. Die methodischen Grundlagen der Bestimmung der dort verwendeten Basensättigung sind allerdings etwas anders. Für unsere Analysenmethodik müßten die Grenzwerte etwas höher angesetzt werden. Beurteilt man deshalb die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Daten mit den Grenzwerten von v. ZEJSCHWITZ (1984), so ist damit die Bewertung eher etwas optimistischer als bei v. ZEJSCHWITZ vorgesehen.

Von der Basensättigung hängen direkt ab: Basenversorgung der Vegetation, pH-Wert und Pufferfähigkeit für kurzfristige Änderungen des Ionenhaushaltes des Bodens (sog. Elastizität im Sinne von MEIWEIS ET AL. 1984:27-28). In Anlehnung an MEIWEIS ET AL. (1984) ist die Elastizität bei niedriger Kationenaustauschkapazität (!) nach Tabelle 2 zu bewerten.

Tabelle 2: Bewertung der Elastizität von Waldböden in Abhängigkeit von der Basensättigung (in Anlehnung an MEIWEIS ET AL. 1984).

Elastizität	Basensättigung
sehr gering	< 5 % der AK_1
gering	ca. 5 - 15 % der AK_1
hoch	ca. 15 - 50 % der AK_1
sehr hoch	> 50 % der AK_1

Bei MEIWEIS et al. (1984) wird als Grundlage für die Basensättigung allerdings die effektive Kationenaustauschkapazität AK_e verwendet, die beim jeweils aktuellen pH-Wert des Bodens bestimmt wird. Bei unseren Böden dürfte i.allg. $AK_1 > AK_e$ sein. Die Übertragung der Richtwerte zur Beurteilung der Basensättigung dürfte in erster Näherung trotzdem erlaubt sein. Zur Bewertung der AK_1 wird im folgenden die Tabelle 3 herangezogen (zusammengestellt aus Angaben der Literatur über Waldböden).

Die *Aluminium-Gehalte* in der Austauschlösung (austauschbare Aluminium-Gehalte) wurden photometrisch bestimmt. Sie geben einen Hinweis auf den Versauerungszustand des Bodens.

Zur Charakterisierung des chemischen Zustandes des Humuskörpers insbesondere im Oberboden wurden vor allem der *Kohlenstoff-Gehalt* und *Stickstoff-Gehalt* herangezogen.

Tabelle 3: Bewertung der Ak_1

Ak_1 in mmol / z / 100 g Boden	Bewertung
< 8	sehr gering
8 - 15	gering
15 - 25	mittel
25 - 40	hoch
> 40	sehr hoch

Der Gehalt an organisch gebundenem Kohlenstoff C_o ergab sich durch nasse Veraschung nach der Methode von GAUDETTE ET AL. (1974). Daraus konnte der *Humusgehalt* berechnet werden (s. *AG Bodenkunde* 1982:98).

Tabelle 4: Bewertung des Gesamtgehaltes an Stickstoff im Hauptwurzelraum

Gesamtgehalt N_1 in kg / ha	Bewertung
< 5000	gering
5000 - 9000	mittel
9000 - 12000	hoch
> 12000	sehr hoch

Die Ermittlung des Gesamtstickstoff-Gehaltes N_1 erfolgte über den KJELDAHL-Aufschluß nach DIN 19 684, Teil 4 (1977). Es muß hierbei allerdings bedacht werden, daß nicht nur organisch gebundener Stickstoff, sondern auch Nitrat und vor allem auch austauschbares, fixiertes und mineralisch gebundenes Ammonium mitbestimmt wird. Diese Tatsache macht sich besonders bei geringen Humusgehalten und hohen Tongehalten durch eine z.T. wesentliche Verfälschung der durch Berechnung gewonnenen *C/N-Verhältnisse* bemerkbar. Relativ niedrige C/N-Verhältnisse können eine günstige, leicht mineralisierbare Humusbeschaffenheit vortäuschen, sind aber durch geringe Kohlenstoff-Gehalte und (relativ dazu) hohe Stickstoff-Werte aus mineralisch gebundenem Stickstoff bedingt. Bei den unten behandelten Bodenprofilen kam diese Problematik allerdings nicht zum Tragen.

Die N_t -Werte liegen in den O- und A-Horizonten in sehr günstigen Fällen in der Größenordnung von 1-2 Gew.%. Bei den in dieser Arbeit untersuchten Böden zeichnen sich Maximalgehalte von 0,6 bis 0,8 Gew.% und Minimalgehalte von 0,03 Gew.% ab. Im Unterboden sind die N_t -Gehalte entsprechend geringer (in den untersuchten Böden des NW' Sebalder Reichswaldes zwischen 0,1 und 0,002 Gew%).

Richtwerte für die Gesamtvorräte an Stickstoff im Hauptwurzelraum gibt die Tabelle 4. Sie wurden nach Angaben der Literatur (z.B. EMBERGER 1965, REHFUESS 1981) zusammengestellt. Hinsichtlich der Beurteilung des Humusgehaltes sei auf die Kartieranleitung (AG Bodenkunde 1982: 98) verwiesen.

Das C/N-Verhältnis läßt Rückschlüsse auf die Zersetzbarkeit der Humussubstanz und damit auch auf die *Humusform* zu. Kennwerte der C/N-Verhältnisse verschiedener Humusformen sind der Kartieranleitung (AG Bodenkunde 1982: 98) und der Arbeit von ULRICH ET AL. 1984 zu entnehmen.

In Ergänzung der Information des C/N-Verhältnisses ist bei Ulrich et al. (1984) ein weiterer Kennwert der Humusform aufgezeigt, das *C/P-Verhältnis*. Dieses kann unter Zuhilfenahme der Gehalte an organisch gebundenem Kohlenstoff durch zusätzliche Bestimmung des *Gesamtphosphorgehaltes* P_t ermittelt werden. Der P_t wird gewonnen durch Aufschluß der festen Bodensubstanz mit Perchlorsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure modifiziert nach HESSE (1971: 377) bzw. SCHLICHTING & BLUME (1966).

Tabelle 5: Richtwerte des Gesamtphosphorgehaltes im Hauptwurzelraum

Gesamtgehalte P_t in kg/ha	Bewertung
< 4000	gering
4000 - 7000	mittel
7000 - 10000	hoch
> 10000	sehr hoch

Die P_t -Werte variieren im Bereich der O- und A-Horizonte normalerweise zwischen 0,2 und 0,03 Gew.% (in den Böden des Arbeitsgebietes zwischen 0,08 und 0,01 Gew.%), in Unterboden-Horizonten zwischen 0 und 0,04 Gew.% (selten werden 0,1 Gew.% erreicht). Tabelle 5 zeigt schließlich noch Richtwerte der Gesamtphosphorgehalte im Hauptwurzelraum.

Neben dem Gesamtphosphorgehalt gibt die *verwitterbare Phosphorreserve* P_v einen guten Hinweis auf die potentielle Phosphorversorgung des Bodens. Die-

ses Kontingent erfaßt vor allem freie Ca-, Al- und Fe-Phosphate und wird aus einem Auszug mit konzentrierter Salzsäure bestimmt (SCHLICHTING & BLUME 1966: 101). Nach HERRMANN (1955) sind Gehalte im Oberboden von $> 0,07$ Gew.% P_v als günstig, von $0,07 - 0,02$ Gew.% als mittel und von $< 0,02$ Gew.% als ungünstig zu bezeichnen.

Aus dem zur Bestimmung des P_v -Gehaltes angelegten Salzsäure-Auszug können schließlich auch die Anteile an *verwitterbarem Calcium* Ca_v und *verwitterbarem Kalium* K_v (Gehalte in Silikaten und Karbonaten) ermittelt werden (Bestimmung der Konzentrationen in der Reaktionslösung mit Atomabsorptionsspektroskopie).

Im Falle von Kulturböden können bei lehmiger Bodenart Ca_v -Werte um $0,7$ Gew.% als günstig, um $0,07$ Gew.% als ungünstig, bei Sandböden Werte um $0,2$ Gew.% als günstig, um $0,04$ Gew.% als ungünstig bewertet werden. Die K_v -Werte sind bei $> 0,2$ Gew.% als reich, bei $0,1-0,2$ Gew.% als normal, bei $0,04-0,1$ Gew.% als mäßig und bei $< 0,04$ Gew.% als gering zu bewerten (WIEGNER 1926:202).

Bei den Böden des untersuchten Raumes (überwiegend Waldböden) liegen die Ca_v -Werte im A_h zwischen $0,001$ und $0,01$ Gew.%. Die K_v -Werte liegen normalerweise (betrachtet für alle Bodenhorizonte) im Bereich von $0,03$ bis $0,001$ Gew.%; nur bei tonigen Horizonten steigen die Werte auf $0,02$ bis $0,6$ Gew.% an.

In erster Linie bodengenetische Bedeutung haben die Werte für pedogene Eisen- und Aluminiumoxide und -hydroxide. Ihre Verteilung in der Horizontfolge eines Profils läßt jedoch über die Abschätzung der im Ablauf befindlichen bodengenetischen Prozesse hinaus auch einen Schluß auf die ökologischen Entwicklungstendenzen z.B. in Hinblick auf eine Verarmung der Böden an Basen zu.

Die Werte des *oxalatlöslichen Eisens* Fe_o , die als repräsentativ für die Gehalte an pedogenen, amorphen Eisenoxiden und -hydroxiden angesehen werden, wurde nach SCHWERTMANN (1964) bzw. DIN 19 684, Teil 6 (1977) ermittelt. Für die Bestimmung der Gehalte an amorphem und kristallisiertem Eisen (*dithionitlösliches Eisen* Fe_d) eignet sich vor allem die Methode nach MEHRA & JACKSON (1960). Der Gehalt an *laugenlöslichem Aluminium* Al_p , das Gesamtkontingent an pedogenen Aluminiumoxiden und -hydroxiden, wurde nach FÖRSTER (1953) bzw. SCHLICHTING & BLUME (1966) festgestellt. Die Fe-Konzentrationen in den Reaktionslösungen wurden mit Hilfe der Atomabsorptionsspektroskopie, die Al-Gehalte photometrisch gemessen.

Die Grundlage für die Interpretation der Verteilung pedogener Sesquioxide im Bodenprofil bildet vor allem die Arbeit von BLUME & SCHWERTMANN (1969).

4.2 Terrestrische Böden

4.2.1 Böden aus mittlerem und Oberem Burgsandstein

Bodeneinheit Nr. 1

Sandige bis lehmig-sandige Podsole und Pseudogley-Podsole auf Sanden und mürben Sandsteinen mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe auf flachen morphologischen Erhebungen (Sand bis lehmiger Sand).

Die Podsole weisen i. allg. die Profilfolge $O-A_h-A_{hc}-B_{hs}-C_v$ auf. Die Mächtigkeiten lassen sich folgendermaßen charakterisieren: O: 1-4 cm; A_e bzw. A_{hc} : 10-15 cm; B_{hs} : ≥ 25 cm. Der Auflagehumus (D-Horizont) ist i. allg. geringmächtig und besitzt den Charakter der Rohhumusform. Die Abgrenzung des B_{hs} -Horizontes ist undeutlich; eine Verfestigung ist i. allg. nicht festzustellen, so daß der Begriff Ortserde nicht verwendet werden kann.

In die Verbreitungsflächen der Podsole sind ziemlich unvermittelt Bereiche mit Stauwassereinfluß, also Pseudogley-Podsole, eingelagert. Sie sind bedingt durch Mischungen mit Zwischenlettenmaterial bzw. durch die Unterlagerung mit Zwischenletten in geringer Tiefe. Die Profilfolge ist hier $O-A_h-A_{hc}-B_{hs}-S_w-IIS_d$. Die Horizont-Mächtigkeiten innerhalb des Podsol-Anteils entsprechen den oben aufgeführten Verhältnissen. Die Obergrenze des S_w -Horizonts liegt bei ≥ 30 cm unter GOF. Nach Ausmaß und Dauer der Vernässung sind die Pseudogley-Podsole als schwach bis mittel staunäß (Staunässestufe S2 bis S3 nach *AG Bodenkunde* 1982: 165) bzw. wechsell trocken bis frisch zu bezeichnen (durchschnittliche Feuchtezahl nach ELLENBERG 1979: 4-5; Bestimmung von RAUM 1985: 22).

In Grenzregionen zu Pseudogley- bzw. Gley-dominierten Bodeneinheiten erfolgt ein allmählicher Übergang in diese Bereiche. Dabei auftretende Übergangsformen, die noch vom Podsol-Charakter bestimmt werden, sind in die Bodeneinheit Nr. 1 eingeschlossen.

Das Ausgangsmaterial ist im Idealfall Burgsandstein bzw. ein Gemisch von Sanden und Letten aus diesem stratigraphischen Niveau. Zu erwarten ist im Verbreitungsgebiet der Bodeneinheit Nr. 1 aber auch eine mehr oder minder geringmächtige Bedeckung mit allochthonen, fluviatilen und äolischen Deckschichten. Diese Anteile lassen sich jedoch nur sehr schwer identifizieren, so daß die Abtrennung von Flächen mit Podsolen auf Dünen- und Flugsanden bzw. Terrassensanden nicht exakt sein kann, zumal diese Sedimente ihr Material ebenfalls überwiegend aus dem Burgsandstein bezogen haben. Eine gewisse Möglichkeit der Differenzierung besteht allenfalls über die Korngrößenverteilung.

Subkontinentales Klima und trockene, nährstoff- und basenarme Sandböden fördern die Konkurrenzkraft der Kiefer deutlich, so daß auf den Podsolen die trennartenfreie Subassoziation des Kiefern-Stieleichenwaldes (*Pino-Quercetum typicum*) als potentielle natürliche Vegetation zu erwarten ist. Der führenden

Stieleiche mischen sich Kiefer und einzelstammweise Hainbuche, Winterlinde, Hängebirke, Vogelbeere und Rotbuche bei.

Im Bereich der der Pseudogley-Podssole dürfte je nach Basengehalt der artenarme Hainbuchen-Eichen-Birkenwald (Violo-Quercetum) und der Kiefern-Stieleichenwald (Pino-Quercetum), teilweise in der wechselfeuchten Pfeifengras-Subassoziation (V.-Q. molinietosum, P.-Q. molinietosum) die potentielle natürliche Vegetation darstellen. Zur führenden Stieleiche würden einzelstammweise Hainbuche, Rotbuche, Winterlinde sowie Weiß- und Moorbirke bzw. Kiefer und die genannten Laubbäume dazukommen.

Die Podssole gehören nach der Standortserfassung des *Forstamtes Nürnberg* (1981) zur Kategorie der trockenen bis mäßig trockenen Sandstandorte, die forstwirtschaftlich für die Bestockung mit Kiefer unter Beimischung von Stieleiche, Winterlinde und eventuell Weißbirke, in günstigen Fällen aber auch für eine Bestockung unter Vorherrschen der Eiche geeignet sind.

Zu den grundfrischen bis mäßig frischen Sandstandorten gehören dagegen die Pseudogley-Podssole (*Forstamtes Nürnberg* 1981), auf denen eine Bestockung mit Kiefer und Lärche mit nicht zu geringem Laubholzanteil von Winterlinde, Buche, Hainbuche, eventuell auch unter Beteiligung der Douglasie empfohlen wird.

Bodeneinheit Nr. 2

Braunerde und podsolige Braunerde sowie Pseudogley-Braunerde auf Sanden und mürben Sandsteinen mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe bei ebenem Gelände (lehmgiger Sand bis sandiger Lehm)

Die Braunerden und podsoligen Braunerden zeigen in der Regel die Horizontfolge $O-A_{ch}-B_v-C_v$. Durch Zunahme von Mächtigkeit und Deutlichkeit der Ausprägung kommt der podsolige Subtyp zustande. Wiederum ist der O-Horizont vermutlich als Folge von früherer Streunutzung häufig geringmächtig. Der A-Horizont weist eine Dicke zwischen 2 cm und 10 cm auf. Die Humusform ist moderartiger Rohhumus. Die Untergrenze des Solums liegt in einer Tiefe von >30 cm. Verbreitet sind diese Bodenformen vor allem im Randbereich der Podsol-Bodeneinheiten (s. Beilage 1) sowie auf Kuppen.

Der Stauwassereinfluß, der auch in dieser Bodeneinheit durch unterlagernde Letten bzw. abnehmende Durchlässigkeit infolge erhöhter Tonbeimischungen bedingt ist, führt zu Pseudogley-Braunerden mit $A_{ch}-B_v-S_w-IIS_d$ -Profil oder $A_{ch}-S_w-B_v-S_d$ -Abfolge. Die A_n - und B_v -Horizonte erreichen zusammen Mächtigkeiten von >30cm. Die Böden sind als schwach bis mittel staunäß (Staunässestufe S2 bis S3, *AG Bodenkunde* 1982: 165) bzw. in erster Näherung als mäßig frisch, frisch und mäßig feucht zu charakterisieren (durchschnittliche Feuchtezahl nach ELLENBERG 1979: 5-6; Bestimmung von RAUM 1985: 32).

Der pH-Wert der Böden dieser Einheit liegt deutlich im sog. Aluminium-Eisen-Pufferbereich nach ULRICH et al. (1984), so daß nach diesen Autoren selbst

bei der relativ säureresistenten Kiefer Wurzelschäden erwartet werden können. An einer Meßstelle N' des Kalchreuther Höhenzuges (R ⁴⁴36 000, H ⁵⁴94 000) wurden durch REIGBER & BRAUN (1985) folgende Meßwerte ermittelt: A_h pH 2,4, B_v (in 30 cm Tiefe) pH 3,0.

Das bei Bodeneinheit Nr. 1 angeschnittene Problem einer Beteiligung von fluviatilen und äolischen Deckschichten am Ausgangsmaterial der Bodenbildung und die daraus resultierenden Probleme der Abgrenzung gelten hier entsprechend.

Als potentielle natürliche Vegetation wäre der artenarme Hainbuchen-Eichen-Birkenwald (*Violo-Quercetum*), bei besserer Basenversorgung der Stieleichen-Hainbuchenwald (*Galio-Carpinetum*), teilweise in Wechselfeuchtezeigerreichen Subassoziationen zu erwarten. Zur führenden Stieleiche kämen im ersten Fall Hainbuche, Rotbuche, Winterlinde, Birke dazu; im zweiten Fall würde es sich um Stieleichen-Hainbuchen-Winterlinden-Mischbestände handeln, denen einzelstammweise die Rotbuche beigemischt wäre.

Die Standortaufnahme des *Forstamtes Nürnberg* (1981) rechnet die Böden der Bodeneinheit Nr. 2 zum Teil zu den grundfrischen bis mäßig feuchten Sandböden (wünschenswerte Bestockung s. Bodeneinheit Nr. 1) bzw. zu den mäßig frischen sandigen Lehm Böden. Letztere sind geeignet für Fichte mit hohem Buchenanteil oder einer Bestockung aus Buche, Ahorn und Lärche.

4.2.2 Tonige Böden aus Letten des Mittleren und Oberen Burgsandsteins sowie aus Feuerletten

Bodeneinheit Nr. 3

Pseudovergleyter Pelosol auf kalkfreien bis karbonatarmen Letten im Burgsandstein mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe bei ebenem Gelände (toniger Lehm bis sandiger Ton)

Das Profil einer hierzu gehörigen Bodenform zeigt z.B. die Horizontabfolge A_h-(S_w)P-(S_d)C. Die Obergrenze des schwach stauwasserbeeinflussten Bereiches (Stauässestufe S3 nach *AG Bodenkunde* 1982: 165) liegt mehr als 30 cm unter der Geländeoberfläche. Der Auflagehumus (O-Horizont) erreicht Mächtigkeiten von 3-5 cm. Auf der beigefügten Bodenkarte findet man nur kleine Flächen dieser Bodeneinheit, da die Burgsandsteinletten häufig von verschiedensten Deckschichten verhüllt werden. Pseudogleye sind deshalb auf den Letten sehr viel häufiger als die genannten Pelosole.

Die physikalischen und chemischen Kennwerte der Bodeneinheit Nr. 3 sind mit denen der folgenden Einheit Nr. 4 gut vergleichbar und können der Beschreibung der Feuerletten-Pelosole entnommen werden.

Als potentielle natürliche Vegetation wäre auf Tonböden mit ihrem unausgeglichenen Luft- und Wasserhaushalt der Stieleichen-Hainbuchenwald (*Galio-Carpinetum*) zu erwarten (Stieleichen-Hainbuchen-Winterlinden-Mischbestände, einzelstammweise Rotbuche).

Standortkundlich gehören die Pelosole der Einheit Nr. 3 zu den Tonböden mit unausgeglichenem Wasserhaushalt, die Zwangsstandorte für Stieleiche mit Hainbuche und Winterlinde darstellen (*Forstamt Nürnberg* 1981).

Bodeneinheit Nr. 4

Pelosol und pseudovergleyter Pelosol auf Feuerletten mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe an flachen Hängen (schluffiger Ton)

Die Pelosole zeigen in der Regel ein $O-A_h-P-C_v$ -Profil, das bis mindestens 40 cm u. GOF. entkalkt ist. Die Dicke sowohl der O - wie auch der A_h -Horizonte überschreitet selten 2 cm. Die Humusaufgabe ist also sehr geringmächtig, die Humusform nach den makroskopischen Merkmalen rohhumusartiger Moder.

Die pseudovergleyten Bodenformen in dieser Bodeneinheit umfassen zwei Varietäten. Einmal pseudovergleyte Pelosole mit einem $O-A_h-(S_w)P-(S_d)C_v$ -Profil zum anderen Pelosole mit <15 cm mächtigen, sandigen oder lehmigen Deckschichten aus Flugsand oder Rhätsandstein-Schutt. Letztere weisen die Horizontfolge $O-A_h-(S_wB_v)-IIS_dP-C_v$ auf. Die Böden sind schwach bis mittel staunäß und besitzen die Staunässestufe S2 bis S3 (nach *AG Bodenkunde* 1982:165) bzw. sind als etwa als mäßig frisch, frisch und mäßig feucht zu bezeichnen (durchschnittliche Feuchtezahl nach ELLENBERG 1979: 5 bis 6,5; bestimmt von RAUM 1985: 34). Die Merkmale des Humuskörpers und der Horizontmächtigkeiten entsprechen den oben aufgeführten.

Pseudovergleyte und nicht pseudovergleyte Pelosole wechseln innerhalb des Verbreitungsgebietes der Bodeneinheit Nr. 4 in Abhängigkeit von Deckschichtmächtigkeit und Ausprägung des Kleinreliefs sehr rasch. Zu den auf dem Feuerletten hauptsächlich verbreiteten Pseudogleyen (s. Bodenkarte) bestehen kontinuierliche Übergänge.

Ähnlich Bodeneinheit Nr.3 gehören die Tonstandorte der Einheit Nr. 4 zur Domäne des Stieleichen-Hainbuchenwaldes (*Galio-Carpinetum*), d.h. Stieleichen-Hainbuchen-Winterlinden-Mischbestände mit einzelstammweise beigemischter Rotbuche.

Standortkundlich gesehen gehören die Pelosole der Bodeneinheit Nr.4 zu den wechsellackigen bis wechselfeuchten Tonböden (*Forstamt Nürnberg* 1981), die Zwangsstandorte für Stieleiche, Hainbuche und Winterlinde sind.

Das im Rahmen der Bodeneinheit Nr. 4 angelegte Leitprofil eines Pelosols auf Feuerletten liegt NE' der Wolfsmarter (R ⁴⁴35850, H ⁵⁴89610, s. Bodenkarte). Die wichtigsten makroskopischen Merkmale sind Abb. 2 sowie Tab. 6 zu entnehmen. Ausdrücklich hingewiesen sei auf die geringe effektive Durchwurzelungstiefe von nur ca. 35cm, die jedoch in dieser Dimension bei Tonböden erwartet werden kann. Das Leitprofil liegt in einem Kiefern-Fichten-Forst. Als potentielle natürliche Vegetation wurde von RAUM (1985: 29 f.) die Pfeifengras-Subassoziation des Kiefern-Eichenwaldes (*Pino-Quercetum molinietosum*) angenommen.

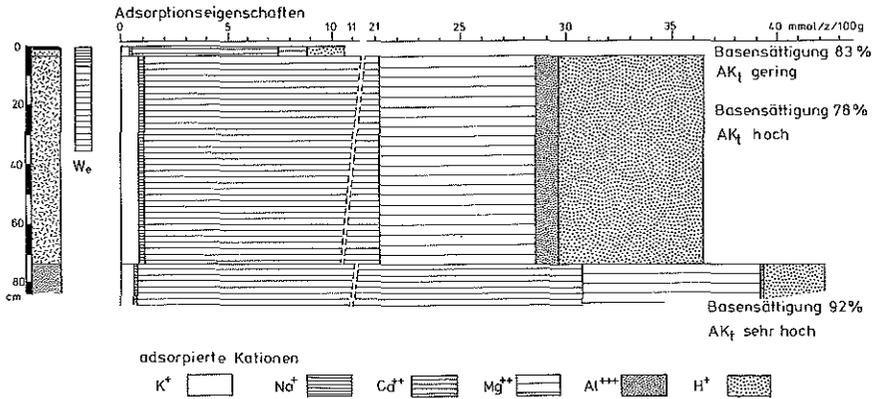
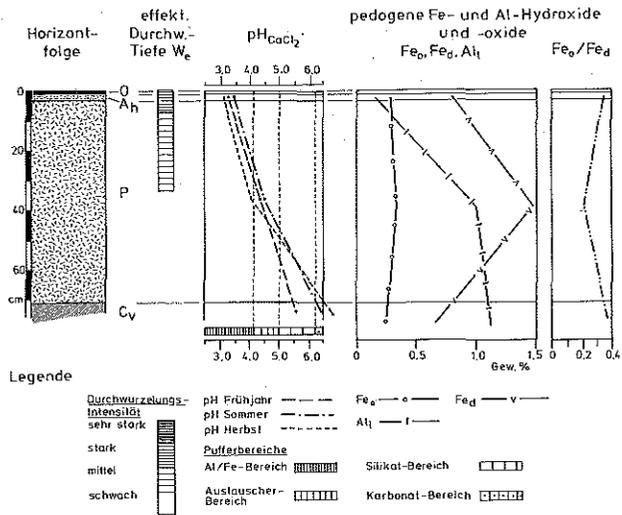


Abb 2: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 4a.

Tabelle 6: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 4a (Bodeneinheit Nr.4)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Trockenraumgew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus		
O		rohmasartiger Moder						
A _h	10R 1,7/1 rotschwarz	Subpolyeder	27	45	28	0	tL	--
P	2,5YR 4/8 rotbraun	Prismen und Polyeder	67	28	5	0	u'T	1,38
C _v	7,5R 3/4 dunkelrot	Kohärent	58	40	2	0	u'T	1,92

Bei Betrachtung der Körnungsverhältnisse fällt zunächst auf, daß die Korngrößenverteilung (hier nicht wiedergegeben, s. NEUBAUER 1985) im A_h -Horizont zwei Maxima aufweist, eines im Mittelschluff und ein anderes im Mittelsandbereich. Dies dürfte auf die Beteiligung von Flugsand am Ausgangsmaterial des Oberbodens hinweisen. Vermutlich durch solifluktive Prozesse ist das Feinsandmaterial auch noch in den P-Horizont eingearbeitet worden, doch sind die beiden Korngrößenmaxima dort nur noch undeutlich ausgeprägt. Die Beteiligung von Sand, Schluff und Ton am Feinboden (Tabelle 6) zeigt ein deutliches Maximum des Tonanteils im P-Horizont. Damit muß die Vermutung nahe liegen, daß in gewissem Rahmen eine Tonverlagerung aus dem Oberboden in den P-Horizont stattgefunden haben könnte. Um die Vermutung zu belegen oder zu widerlegen kann man die Verteilung der pedogenen Sesquioxide im Profil heranziehen (Abb. 2 oben).

Bei der Tonverlagerung kommt es zu einem passiven Mittransport von lithogenem Eisenoxid und -oxidhydroxid höherer Kristallinität. Dieses Kontingent wird durch Fe_d miterfaßt. Tatsächlich zeigt der Fe_d -Wert ein Maximum im P-Horizont. Bildet man noch das Fe_d / Ton-Verhältnis (für A_h : 0,03, für P: 0,022, für C_v : 0,011) so zeigt dieses zur Tiefe hin nur eine relativ geringe Abnahme, bleibt im übrigen in der gleichen Größenordnung. Auch das ist ein Hinweis auf die Tonverlagerung.

Schließlich bewegt sich auch das Fe_o / Fe_d -Verhältnis im A- und P-Horizont in einem Bereich, der für Toneluviations- und -illuviationshorizonte (z.B. B_t -Horizonte) typisch ist (BLUME & SCHWERTMANN 1969). Da Fe_o mehr oder weniger konstant bleibt, ergibt sich wegen des Maximums von Fe_d im P-Horizont ein Minimum in der Fe_o / Fe_d -Kurve (Abb. 2). Der Al_1 -Wert (Abb. 2) zeigt vom A- zum P-Horizont eine deutliche Zunahme um dann zur Tiefe hin nur noch wenig größer zu werden. Sicherlich ist dieser Verlauf kein Indiz für Tonverlagerung, spricht jedoch nach den Charakteristiken von BLUME & SCHWERTMANN 1969 mehr für als gegen die Tonverlagerung.

Nach all diesen Merkmalen scheint also eine Verlagerung von Ton in Schrumpfungsrissen des Pelosols wahrscheinlich zu sein. Der pH-Wert liegt für eine Tonverlagerung im Oberboden jedoch schon etwas niedrig (normalerweise um pH 5,5), so daß anzunehmen ist, daß die Tonbewegung rezent nicht mehr sehr wirksam ist. Lessivierungstendenzen in Keupermergelböden gerade auch auf Feuerletten sind übrigens auch in anderen Gebieten, z.B. in Baden-Württemberg seit langem bekannt (S. MÜLLER 1961:19).

Bleiben wir bei der Betrachtung des pH-Wertes. Er bewegt sich nach Abb. 2 (unter Berücksichtigung der Beziehung $pH_{CaCl_2} = pH_{H_2O} - 0,5$) zwischen dem Al-Fe-Pufferbereich im Oberboden und dem Austausch- bis Karbonat-Pufferbereich im Unterboden. Für Böden des Reichswaldes liegen damit ökologisch vergleichsweise günstige pH-Bedingungen vor. Allerdings muß beachtet werden,

daß im Bereich des Hauptwurzelraums (bis zur effektiven Durchwurzelungstiefe)(s. Abb. 2), insbesondere dort, wo die höchsten Feinwurzelichten vorliegen, also im O- und A_n -Horizont Bedingungen des Al-Fe- und Austauscher-Pufferbereiches bestehen, also die Gefahr von Feinwurzel Schäden durch Säuretoxizität gegeben ist. Aufgrund des Vorrats an adsorbierten, pflanzenverfügbaren Basen in dem zum P-Horizont gehörigen Teil des Hauptwurzelraumes (s. Erläuterungen zu den Adsorptionseigenschaften, unten) kann die Gefahr von Wurzel Schäden jedoch weitgehend vernachlässigt werden.

Die pH-Werte der Böden variieren im Jahresablauf. Es wurden deshalb im Frühjahr, im Sommer und im Spätherbst Messungen durchgeführt. Die in dieser Arbeit aufgeführten Daten beziehen sich auf den Mai, den August und den November 1983 (jedem Wert liegen mindestens drei Parallelbestimmungen zugrunde). Damit wird zwar eine ganz spezifische Situation, nämlich die des von einem langen, trockenen Sommer geprägten Jahres 1983 wiedergegeben, doch lassen sich daraus doch einige grundsätzliche Zusammenhänge ableiten.

Die Frühjahrswerte liegen in der Regel um einige Zehntel Einheiten unter den Sommerwerten. Dies ist auf die verstärkte Säureproduktion durch Mineralisierung und auf den Basenentzug durch die Vegetation zu Beginn der Wachstumsperiode zurückzuführen. Der erneute Abfall der pH-Werte nach den trockeneren Sommermonaten ist durch Wiedereinsetzen erhöhter Mikroorganismenaktivität ebenfalls gut zu erklären. Deutlich ist auf Abb. 2 zu erkennen, daß der pH-Rückgang allerdings nur die obersten Bodenteile betrifft und sich wegen der 1983 bis Ende Oktober wirksamen Trockenheit noch nicht im ganzen Solum durchsetzen konnte. Die außergewöhnlich große Dimension des pH-Rückgangs im Herbst 1983 für das Profil der Abb. 2 aber auch für andere Profile des hier behandelten Raumes (s. unten) hängt ebenfalls mit den speziellen Niederschlags-Temperaturverhältnissen des Sommers 1983 zusammen. Wie ULRICH (1982) ausführte, bewirken Trockenperioden besonders intensive Versauerungsschübe in den Bodensystemen. Diese scheinen sich auch im Leitprofil 4a ausgeprägt zu haben.

Die Zeigerwerte der Pflanzenassoziationen entsprechen den im Leitprofil 4a für den Hauptwurzelraum festgestellten pH-Werten recht gut. So konnte RAUM (1985:34) für die Vegetation der Bodeneinheit 4 eine durchschnittliche Reaktionszahl nach ELLENBERG 1979 von 3 - 5,5 feststellen, was stark bis mäßig sauren Verhältnissen entspricht. In enger Beziehung zum pH-Wert stehen die Adsorptionseigenschaften. Dies ist dadurch bedingt, daß die den pH-Wert des Bodens bestimmenden Wasserstoffionen-Konzentrationen der Bodenlösungen mit einem sehr viel höheren Kontingent an diesen Ionen an den Austauschern, also Tonmineralen, Huminstoffen und kolloidalen Metalloxiden bzw. -hydroxiden in Wechselwirkung stehen und damit im wesentlichen von diesen Ionenbelägen gesteuert werden.

Die Abb. 2 (unterer Teil) zeigt nun, daß die Adsorptionseigenschaften des Feuerlettenbodens recht günstig sind. Zu einer hohen Adsorptionsfähigkeit kommt eine sehr günstige Belegung der Austauscher mit Basen. Die Elastizität dieser Böden ist also sehr hoch. Beteiligt sind an der Basensättigung vor allem Kalium, Calcium und Magnesium in ausgewogenen Anteilen. Calcium herrscht vor, Magnesium ist in relativ großen Mengen vertreten. Ein Mangel an diesen Elementen besteht nicht, sieht man einmal von der Möglichkeit ab, daß der hohe Calcium-Gehalt die Aufnahme von Kalium und Magnesium durch die Pflanzen

behindern könnte (*Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten* 1973:5). Die austauschbaren Calcium-Gehalte liegen weit über 15% der AK_v , so daß auch nach den Kriterien von ULRICH ET AL. (1984) Wurzelschäden auszuschließen sind.

Tabelle 7: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 4a (Bodeneinheit Nr. 4)
(Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizont- folge	N_t	C_o	Humus- gehalt	C/N	P_t	C/P	P_v	K_v	Ca_v	Karbonat- gehalt
A_h	0,80	20,07	34,50	26	0,04	487	0,02	0,01	0,02	0
P	0,02	0,22	0,37	13	0,02		0,004	0,56	0,03	0
C_v	0,01	0,08	0,13		0,03		0,02	0,03	3,04	26,6
Gesamt- menge im Hauptwur- zelraum	4200				2500		260	25000	1350	

Während der Vorrat des Pelosols an direkt pflanzenverfügbarem, austauschbarem Calcium als recht günstig zu beurteilen ist, sind die durch Verwitterung freisetzbaren Reserven (Ca_v) nur als mittel zu bewerten. Sehr hoch sind dagegen die verwitterbaren Reserven an Kalium (K_v) vor allem im P-Horizont (Tabelle 7, vergl. Richtwerte bei SCHLICHTING & BLUME 1966:172), was bei Tonböden in der Regel zu erwarten ist. Aus diesen Kenndaten resultiert eine recht günstige Basenversorgung der Feuerletten-Pelosole.

Die Nährstoffsituation wird nun allerdings nicht allein durch die Basenversorgung bestimmt. Wesentlichen Aussagewert haben vor allem auch der Stickstoffgehalt und der damit eng verknüpfte Humuszustand sowie die Phosphorversorgung.

Die N_t -Werte sind im A-Horizont mäßig günstig, im Unterboden gering (s. Tabelle 7 und Bewertungskriterien Kap. 4.1.3). Die für den Hauptwurzelraum zu errechnenden Gesamtreserven (Tabelle 7, unten) zeigen eine mittlere Stickstoffversorgung für diesen Baumbestand an.

Der Humusgehalt des für die Stickstoffversorgung neben der Streulage hauptsächlich verantwortlichen A-Horizonts ist zwar sehr hoch (Humusgehalt ca. 35 Gew.%, d.h. mittel humos), die Humusqualität nach dem C/N- und nach dem C/P-Verhältnis (Tabelle 7) aber sehr gering. Der rohhumusartige Moder ist also sehr schlecht mineralisierbar und steht außerdem wegen der geringen Mächtigkeit der organischen Horizonte nur in geringen Mengen zur Verfügung. Damit wäre vom Humuszustand her eine nicht unbedingt günstige Stickstoffversorgung zu erwarten, die jedoch durch Zufuhr von Stickstoffverbindungen aus Verbrennungsgasen

in der Atmosphäre weitgehend kompensiert werden dürfte (ULRICH et al. 1984:284). Trotzdem bleibt das Problem eines recht ungünstigen Humuszustandes, der sich einerseits durch geringe Adsorptionsfähigkeit und andererseits durch saure, komplexierende und die Mobilisierung von Basen und toxischen Metallen beschleunigende Eigenschaften negativ bemerkbar macht.

Die schlechte Humusform wird im wesentlichen mit der nicht standortgerechten Bestockung in Verbindung gebracht. Unter standortgerechtem Laub(misch)-Wald sind an anderen Stellen bei gleicher Bodenform sehr viel günstigere Moder-Humusformen zu beobachten, da z.B. auch die Stieleiche eine relativ gut zersetzbare Streu liefert und über die Streu durch Umlagerung aus dem Unterboden die Nährstoffsituation im Oberboden ganz allgemein gebessert würde. Die dringliche Notwendigkeit einer Anpassung der Bestockung an die Gegebenheiten des Standorts muß auch an dieser Stelle betont werden.

Die Stickstoffzahl nach ELLENBERG 1979, die abgeleitet aus Pflanzengesellschaften als integrierendes Beurteilungskriterium für die Stickstoffversorgung im Hauptwurzelraum herangezogen werden kann, bestätigt das eben gezeigte Bild des Stickstoffhaushaltes. Durchschnittliche Stickstoffzahlen zwischen 2,5 und 5 (nach RAUM 1985:34) zeigen stickstoffarme bis mäßig stickstoffreiche Standorte an.

Auch die P_1 -Gehalte liegen sowohl im Ober- wie im Unterboden an der Untergrenze des Üblichen (Tabelle 7, vergl. mit Angaben in Kapitel 4.1.3). Die Gesamtmengen P_1 im Hauptwurzelraum lassen nur eine wenig befriedigende aktuelle Versorgung der Vegetation erwarten, wenngleich der Phosphorbedarf der Waldvegetation relativ bescheiden ist (KRAUS 1984). Verwitterbare Reserven P_v sind kaum vorhanden (Tabelle 7).

So ist es also mit Ausnahme der Basenverfügbarkeit vor allem mit den organisch gebundenen Nährstoffreserven dieser Tonböden relativ ungünstig bestellt. Die für den momentanen Baumbestand schlechte Durchwurzelbarkeit und die geringe effektive Durchwurzelungstiefe erschweren zusätzlich den Zugriff auf das vorhandene Potential. Solche Böden könnten nur durch einen Mischbestand aus tiefwurzelnder Stieleiche (mit ihrer unter den einheimischen Laubbäumen außerordentlich hohen Durchwurzelungskraft) und aus mehr die mittleren und oberen Bodenhorizonte nutzender Winterlinde und Hainbuche aufgeschlossen werden.

Zur ökologischen Gesamtbewertung fehlt nun noch der Wasser- und Lufthaushalt. Die wesentlichen Daten sind auf Abb. 3 dargestellt. Die Diagramme zeigen die typischen Verhältnisse eines Tonbodens. Die Porositäten der Horizonte sind relativ hoch, fallen jedoch im wesentlichen in den Bereich der Feinporen, in denen die Bodenlösung mit so hohen Kapillar- und Adsorptionskräften festgehalten wird, daß sie nicht pflanzenverfügbar sind (nicht pflanzenverfügbares Wasser oder Totwasser). Für die Pflanzenversorgung steht üblicherweise das pflanzenverfügbare Haftwasser, zeitweilig auch noch das langsam dränende Sickerwasser zur Verfügung. Dieses Kontingent an Bodenlösung befindet sich in den Mittel- und Grobporen und wird dort mit einer Saugspannung von pF 4,2-2,5

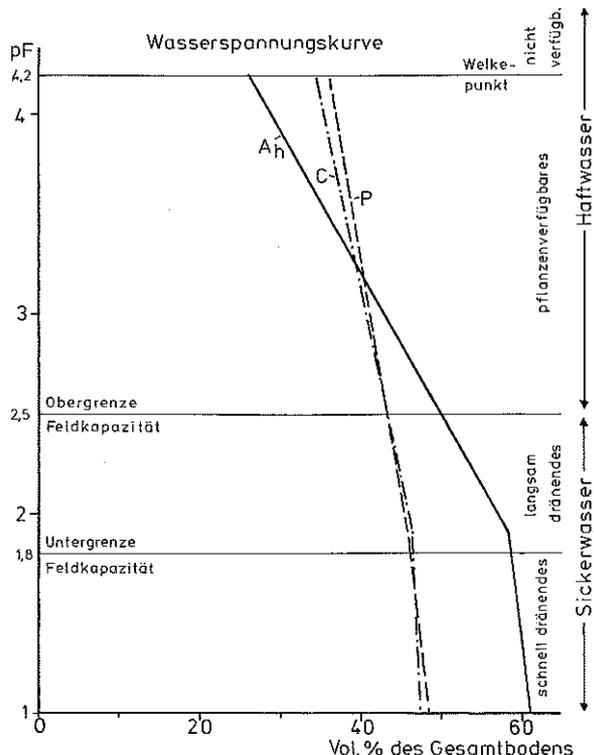
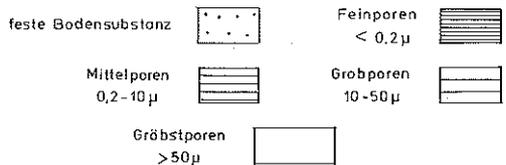
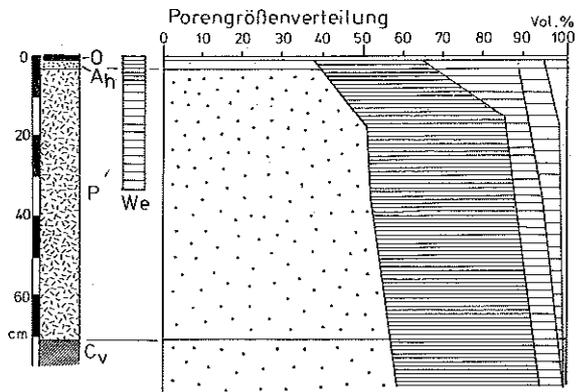


Abb. 3: Kennzeichen des Wasser- und Luftthaushaltes im Leitprofil 4a (Bodeneinheit Nr. 4)

(pflanzenverfügbares Haftwasser) bzw. pF 2,5-1,8 (langsam dränendes Sickerwasser) festgehalten ($pF = {}^{10}\log(\text{Saugspannung in cm Wassersäule})$).

In unserem Fall (Abb. 3) ist der Anteil der Mittel- und Grobporen am Gesamtporenraum relativ gering. Berechnet man quantitativ die den Pflanzen im Hauptwurzelraum maximal zur Verfügung stehende Wassermenge, wenn Mittel- und Grobporen erfüllt sind (also etwa nach langandauernden Durchfeuchtungsperioden), so ergibt sich für diese nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes $nFKWe$ eine Menge von ca. 43 l/m^2 (=mm), bzw. wenn man nur den Haftwasseranteil betrachtet, der nach längeren Durchfeuchtungsperioden noch einige Tage erhalten bleibt, so sind es sogar nur 24 l/m^2 . Nach der Bewertung der *AG Bodenkunde* (1982) sind diese Mengen als sehr gering bis gering zu beurteilen.

Der Lufthaushalt läßt sich vor allem nach dem Größtporenanteil unter Mitberücksichtigung auch des Grobporenanteils bewerten. Diese Porenarten sind die Leitbahnen des Sickerwassers und werden nach Niederschlägen relativ schnell wieder wasserfrei und von Luft erfüllt. Von hier aus dringt die Bodenluft zu den Pflanzenwurzeln und Mikroorganismen vor.

Der Größtporenanteil unseres Profils erreicht nun lediglich einige Volumenprozent des Gesamtbodens (Abb. 3) und auch unter Einschluß des Grobporenanteils werden kaum 10 Vol.% innerhalb des Hauptwurzelraumes erreicht. Die Verfügbarkeit an Wasser und Luft muß daher als wenig förderlich für die Lebenswelt im Boden angesehen werden. Die Böden sind zwar i. allg. gut durchfeuchtet, doch kann das Wasser insbesondere von der Vegetation nicht verwertet werden. Luftmangel behindert das Wurzelwachstum und die Tätigkeit der mineralisierenden und humifizierenden Mikroorganismen, so daß der Nährstoffhaushalt auf diesem Wege ungünstig beeinflusst wird.

Die Erörterungen zum Leitprofil der Bodeneinheit Nr. 4 haben also gezeigt, daß der Pelosol auf Feuerletten zwar hinsichtlich seines Säure-Basen-Charakters ökologisch recht günstige Eigenschaften aufweist und eine hohe Elastizität gegenüber kurzfristigen Änderungen des Ionenhaushaltes besitzt, daß die Reserven insbesondere an Phosphor jedoch wenig ergiebig sind. Geringe Durchwurzelbarkeit und ungünstiger Luft- und Wasserhaushalt lassen für den momentanen Baumbestand von Nadelholz-Monokulturen nur eine sehr begrenzte Auswertung des Nährstoffpotentials zu. Wünschenswert wäre gerade hier die oben charakterisierte Laubbaum-Bestockung.

Bodeneinheit Nr. 5

**Pseudogley und Pelosol-Pseudogley mit flacher bis mittlerer Lage der Staunässe-
sohle sowie Podsol-Pseudogley mit mittlerer Lage der Staunässe-
sohle auf karbonatfreien bis karbonatarmen Letten im Burgsandstein bei nur wenig geneigtem Gelände
(30 - 50 cm Sand über tonigem Sand bis sandigem Ton)**

Diese Bodeneinheit schließt an die Bodeneinheit Nr. 3 an. Sie ist auf den Burgsandsteinletten dort entwickelt, wo flaches Gelände und schlechte Entwässerung dominieren. Zum semiterrestrischen Charakter der Böden trägt laterale Zufuhr von Wässern aus Quellen der Feuerletten/Rhätsandstein-Grenze bei.

Die Einheit 5 umfaßt typische Zweischichtenböden, die aus sandigen Deckschichten über schlecht durchlässigen Ton- und Lehmlagen (Letten) des Burgsandsteins hervorgegangen sind. Die Sanddecke ist z.T. ebenfalls aus dem Burgsandstein abzuleiten, z.T. sind an ihrer Zusammensetzung aber auch quartäre, äolische und fluviatile Sedimente sowie Solifluktionmassen beteiligt. Alle Bodenformen gehören zu den sog. primären Pseudogleyen, in denen die Durchlässigkeitsunterschiede zwischen Stauwasserleitern und Stauwassersole bereits durch die Lithologie des Ausgangsgesteins bedingt sind.

Mögliche Profilverfolgen sind:

- | | |
|---|--|
| O-A _h -S _w -IIS _d | entsprechend einem Pseudogley |
| O-A _h -B _v S _w -IIPS _d | entsprechend einem Pelosol-Pseudogley
(Mächtigkeit der A _h -B _v S _w -Horizonte ≤ 30cm) |
| O-A _{ch} -A _c S _w -S _w -S _w S _d -IIS _d | entsprechend einem Podsol-Pseudogley |

Über dem Mineralboden liegt i. allg. ein Auflagehumus, der infolge der erhöhten Feuchtigkeit und der zumindest periodisch behinderten Zersetzung der organischen Substanz relativ mächtig ist (häufig bis 10cm, in einigen Fällen bis 20cm). Die Humusform reicht von feinhumusreichem Moder bis zum Rohhumus. Die S_w-Horizonte sind stark naßgebleicht, grau und relativ schwach rostfleckig. Die Bodenart ist meist sandig, z.T. auch lehmig-sandig. Konkretionen sind innerhalb der S_w-Horizonte kaum zu beobachten, jedoch sehr stark an der Basis des Stauwasserleiters, im S_wS_d-Horizont konzentriert. Es bestehen in dieser Grenzregion z.T. dünne Eisenoxid/hydroxid-"Schwarten". Das weitgehende Fehlen der Konkretionen innerhalb des S_w-Horizonts kann als Hinweis auf im Jahresablauf relativ lang andauernde Phasen der Durchfeuchtung gewertet werden (REHFUESS 1981:87). Nach diesen indirekten Anzeichen und direkten Beobachtungen über Ausmaß und Dauer der Vernässung sind die Böden als mittel bis stark staunäß (Staunässestufe S3 bis S4 nach AG *Bodenkunde* 1982:165) bzw. als frisch, mäßig frisch und feucht bis wechselfeucht (durchschnittliche Feuchtezahl nach ELLENBERG 1979: 5 - 7, nur ausnahmsweise ab 4; bestimmt von RAUM 1985:33) zu bezeichnen.

Wächst die Mächtigkeit der Deckschichten auf bis zu 50cm an, so machen sich im A-Horizont Podsolierungserscheinungen bemerkbar und es bestehen Übergänge in die Podsol-Pseudogleye. Verbreitet sind diese natürlich besonders in der Grenzregion zu Podsol-Arealen. Illuviationshorizonte von Sesquioxiden sind im Profil dieser Podsol-Pseudogleye erst an der Grenze zum Stauwasserleiter

in Form von Eisenoxid/Hydroxid-Konkretionen und -Schwarten zu beobachten. Bleichung durch Podsolierung und Bleichung unter Stauwassereinfluß überlagern sich im $A_e S_w$ -Horizont. Übergänge von den erwähnten Pseudogleyen bestehen weiterhin zu Braunerden und Gleyen (s. entsprechende Bodeneinheiten, z.B. Bodeneinheit Nr. 2 und beiliegende Bodenkarte, Beilage 1).

Je nach Nährstoff- und Basenversorgung der Böden wäre auf den Pseudogleyen und Pelosol-Pseudogleyen der Stieleichen-Hainbuchenwald (Galio-Carpinetum; Stieleichen-Hainbuchen-Winterlinden-Mischbestände mit einzelstammweise beigemischter Rotbuche) als potentielle natürliche Vegetation zu erwarten; bzw. auf den Podsol-Pseudogleyen der Hainbuchen-Eichen-Birkenwald (Violo-Quercetum; Stieleiche führend, Hainbuche, Winterlinde, Birke, Rotbuche beigemischt). Die Gesellschaften würden vermutlich jeweils in Ausbildungen mit Wechselfeuchtezeigern auftreten (z.B. Violo-Quercetum molinietosum).

Vom forstwirtschaftlichen Standpunkt her gesehen sind die Bodenformen dieser Einheit z.T. grundfeuchte bis grundwechselfeuchte Sandböden (Forstamt Nürnberg 1981). Sie zeigen insgesamt kühle Temperaturen im Wurzelraum und in der Vernässungsphase Sauerstoffarmut, wodurch die Wurzelaktivität stark beeinflusst wird (REHFUSS 1981). Aus diesen Gründen werden Pseudogleye nur von wenigen Baumarten tiefgründig durchwurzelt.

Für die Pseudogleye eignen sich Stieleiche, Hainbuche, Winterlinde und Birken, bei länger andauernder Grundfeuchte (insbesondere bei Muldenlage) auch Fichte mit einem Nebenbestand aus Winterlinde und durchsetzt mit mindestens horstgroßen Stieleichen-Blöcken als Bestockung (Forstamt Nürnberg 1981).

Innerhalb der Bodeneinheit Nr. 5 wurde das Leitprofil eines Podsol-Pseudogleys genauer untersucht. Dieses Leitprofil Nr. 5 liegt 240m E' der Wolfsmarter (R⁴⁴ 35660, H⁵⁴ 89120, s. Bodenkarte, Beilage 1). Die Horizontfolge sowie wesentliche, im Gelände erkennbare Merkmale sind auf dem Profilschema Abb. 4 oben und in Tabelle 8 zusammengefaßt. Die Durchwurzelungstiefe wird bestimmt durch die physiologische Barriere des Stauwassereinflusses und reicht deshalb bis zur Obergrenze des langfristig vernäßten Teils des S_w -Horizonts.

Anhand der Korngrößenverhältnisse und des Gefüges (Tabelle 8) zeichnet sich klar der Zweischichtenaufbau dieser Bodenform ab: Eine sandige Lage von ca. 65cm Mächtigkeit liegt über sandigem Ton des Burgsandsteinlettens. Die Korngrößenverteilung der sandigen Deckschichten besitzt ein Maximum im Grenzbereich Mittel/Grobsand. Es ist damit nicht auszuschließen, daß etwas Flugsand am Aufbau der Deckschichten beteiligt ist.

Der erhöhte Wert des Trockenraumgewichts im $S_w S_d$ -Horizont ist durch die Anreicherung von Eisenoxid/hydroxid-Konkretionen bedingt. Durch die Podsolierung werden Sesquioxide im Oberboden mobilisiert und mit dem Sicker- und Stauwasser nach unten verlagert. In der Grenzregion von Stauwasserleiter und Stauwassersohle kommt es in Trockenphasen zur Ausfällung und Bildung von Konkretionen (s. auch MÜLLER 1961:38).

Diese Bodeneinheit schließt an die Bodeneinheit Nr. 3 an. Sie ist auf den Burgsandsteinletten dort entwickelt, wo flaches Gelände und schlechte Entwässerung dominieren. Zum semiterrestrischen Charakter der Böden trägt laterale Zufuhr von Wässern aus Quellen der Feuerletten/Rhätsandstein-Grenze bei.

Die Einheit 5 umfaßt typische Zweischichtenböden, die aus sandigen Deckschichten über schlecht durchlässigen Ton- und Lehmlagen (Letten) des Burgsandsteins hervorgegangen sind. Die Sanddecke ist z.T. ebenfalls aus dem Burgsandstein abzuleiten, z.T. sind an ihrer Zusammensetzung aber auch quartäre, äolische und fluviatile Sedimente sowie Solifluktionmassen beteiligt. Alle Bodenformen gehören zu den sog. primären Pseudogleyen, in denen die Durchlässigkeitsunterschiede zwischen Stauwasserleitern und Stauwassersole bereits durch die Lithologie des Ausgangsgesteins bedingt sind.

Mögliche Profilfolgen sind:

- | | |
|---|--|
| O-A _h -S _w -IIS _d | entsprechend einem Pseudogley |
| O-A _h -B _v S _w -IIPS _d | entsprechend einem Pelosol-Pseudogley
(Mächtigkeit der A _h -B _v S _w -Horizonte ≤ 30cm) |
| O-A _{ch} -A _e S _w -S _w -S _w S _d -IIS _d | entsprechend einem Podsol-Pseudogley |

Über dem Mineralboden liegt i. allg. ein Auflagehumus, der infolge der erhöhten Feuchtigkeit und der zumindest periodisch behinderten Zersetzung der organischen Substanz relativ mächtig ist (häufig bis 10cm, in einigen Fällen bis 20cm). Die Humusform reicht von feinhumusreichem Moder bis zum Rohhumus. Die S_w-Horizonte sind stark naßgebleicht, grau und relativ schwach rostfleckig. Die Bodenart ist meist sandig, z.T. auch lehmig-sandig. Konkretionen sind innerhalb der S_w-Horizonte kaum zu beobachten, jedoch sehr stark an der Basis des Stauwasserleiters, im S_wS_d-Horizont konzentriert. Es bestehen in dieser Grenzregion z.T. dünne Eisenoxid/hydroxid-"Schwarten". Das weitgehende Fehlen der Konkretionen innerhalb des S_w-Horizonts kann als Hinweis auf im Jahresablauf relativ lang andauernde Phasen der Durchfeuchtung gewertet werden (REHFUESS 1981:87). Nach diesen indirekten Anzeichen und direkten Beobachtungen über Ausmaß und Dauer der Vernässung sind die Böden als mittel bis stark staunäß (Staunässestufe S3 bis S4 nach AG *Bodenkunde* 1982:165) bzw. als frisch, mäßig frisch und feucht bis wechselfeucht (durchschnittliche Feuchtezahl nach ELLENBERG 1979: 5 - 7, nur ausnahmsweise ab 4; bestimmt von RAUM 1985:33) zu bezeichnen.

Wächst die Mächtigkeit der Deckschichten auf bis zu 50cm an, so machen sich im A-Horizont Podsolierungserscheinungen bemerkbar und es bestehen Übergänge in die Podsol-Pseudogleye. Verbreitet sind diese natürlich besonders in der Grenzregion zu Podsol-Arealen. Illuviationshorizonte von Sesquioxiden sind im Profil dieser Podsol-Pseudogleye erst an der Grenze zum Stauwasserleiter

in Form von Eisenoxid/Hydroxid-Konkretionen und -Schwarten zu beobachten. Bleichung durch Podsolierung und Bleichung unter Stauwassereinfluß überlagern sich im A_{eS_w} -Horizont. Übergänge von den erwähnten Pseudogleyen bestehen weiterhin zu Braunerden und Gleyen (s. entsprechende Bodeneinheiten, z.B. Bodeneinheit Nr. 2 und beiliegende Bodenkarte, Beilage 1).

Je nach Nährstoff- und Basenversorgung der Böden wäre auf den Pseudogleyen und Pelosol-Pseudogleyen der Stieleichen-Hainbuchenwald (Galio-Carpinetum; Stieleichen-Hainbuchen-Winterlinden-Mischbestände mit einzelstammweise beigemischter Rotbuche) als potentielle natürliche Vegetation zu erwarten; bzw. auf den Podsol-Pseudogleyen der Hainbuchen-Eichen-Birkenwald (Violo-Quercetum; Stieleiche führend, Hainbuche, Winterlinde, Birke, Rotbuche beigemischt). Die Gesellschaften würden vermutlich jeweils in Ausbildungen mit Wechselfeuchtezeigern auftreten (z.B. Violo-Quercetum molinietosum).

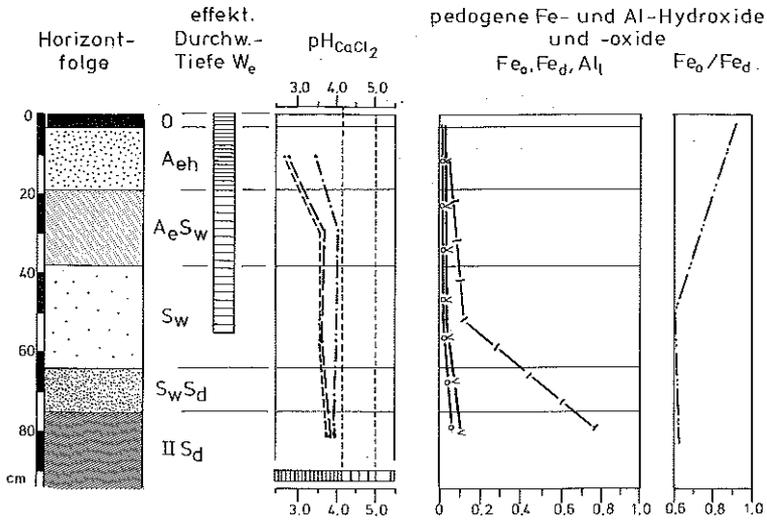
Vom forstwirtschaftlichen Standpunkt her gesehen sind die Bodenformen dieser Einheit z.T. grundfeuchte bis grundwechselfeuchte Sandböden (Forstamt Nürnberg 1981). Sie zeigen insgesamt kühle Temperaturen im Wurzelraum und in der Vernässungsphase Sauerstoffarmut, wodurch die Wurzelaktivität stark beeinflußt wird (REHFUSS 1981). Aus diesen Gründen werden Pseudogleye nur von wenigen Baumarten tiefgründig durchwurzelt.

Für die Pseudogleye eignen sich Stieleiche, Hainbuche, Winterlinde und Birken, bei länger andauernder Grundfeuchte (insbesondere bei Muldenlage) auch Fichte mit einem Nebenbestand aus Winterlinde und durchsetzt mit mindestens horstgroßen Stieleichen-Blöcken als Bestockung (Forstamt Nürnberg 1981).

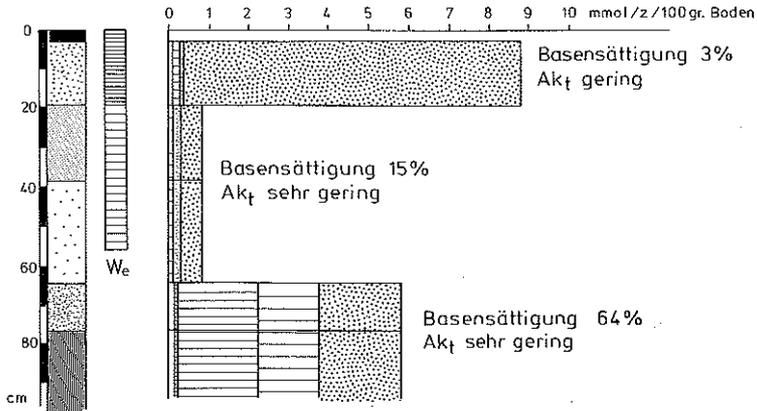
Innerhalb der Bodeneinheit Nr. 5 wurde das Leitprofil eines Podsol-Pseudogleys genauer untersucht. Dieses Leitprofil Nr. 5 liegt 240m E' der Wolfsmarter (R⁴⁴ 35660, H⁵⁴ 89120, s. Bodenkarte, Beilage 1). Die Horizontfolge sowie wesentliche, im Gelände erkennbare Merkmale sind auf dem Profilschema Abb. 4 oben und in Tabelle 8 zusammengefaßt. Die Durchwurzelungstiefe wird bestimmt durch die physiologische Barriere des Stauwassereinflusses und reicht deshalb bis zur Obergrenze des langfristig vernästen Teils des S_w -Horizonts.

Anhand der Korngrößenverhältnisse und des Gefüges (Tabelle 8) zeichnet sich klar der Zweischichtenaufbau dieser Bodenform ab: Eine sandige Lage von ca. 65cm Mächtigkeit liegt über sandigem Ton des Burgsandsteinlettens. Die Korngrößenverteilung der sandigen Deckschichten besitzt ein Maximum im Grenzbereich Mittel/Grobsand. Es ist damit nicht auszuschließen, daß etwas Flugsand am Aufbau der Deckschichten beteiligt ist.

Der erhöhte Wert des Trockenraumgewichts im S_wS_d -Horizont ist durch die Anreicherung von Eisenoxid/hydroxid-Konkretionen bedingt. Durch die Podsolierung werden Sesquioxide im Oberboden mobilisiert und mit dem Sicker- und Stauwasser nach unten verlagert. In der Grenzregion von Stauwasserleiter und Stauwasserohle kommt es in Trockenphasen zur Ausfällung und Bildung von Konkretionen (s. auch MÜLLER 1961:38).



Legende



adsorbierte Kationen



Abb. 4: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalte an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 5

Tabelle 8: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 5 (Bodeneinheit Nr. 5)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Trockenraumgew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus		
O	2,5Y 3/1 bräunl. schwarz	feinhumusreicher Moder						
A _{eh}	2,5Y 6/1 gelblich- grau	Einzelkorn	0	6	94	0	S	1,57
A _e S _w	2,5Y7/1 hellgrau	Einzelkorn	0	4	94	2	S	1,60
S _w	2,5Y 7/1 dunkelrot	Einzelkorn	0	5	95	0	S	1,68
S _w S _d	2,5Y 6/1 gelblich- grau	Subpolyeder	7	18	75	0	IS	1,99
IIS _d	2,5Y 6/1 gelblich- grau 5YR 6/8 rotbraun	Subpolyeder	34	17	49	0	ST	1,66

Die Bodenbildungsprozesse der Pseudovergleyung und Podsolierung, die makroskopisch erkennbar sind, lassen sich anhand der sonst für die Diagnose von Verlagerungsprozessen so wichtigen Verteilung pedogener Sesquioxide/hydroxide nur recht unvollständig nachweisen. Bedingt durch die sandige, ton- und eisenarme Deckschicht sind die Fe_o - und Fe_d -Werte sehr gering (Abb. 4). Der leichte Anstieg zum S_d -Horizont ist durch die Eisenoxid/hydroxid-Konkretionsbildung im Grenzbereich S_w/S_d bedingt, insgesamt aber mehr für die Podsolierung als für die Pseudovergleyung typisch. Das Fe_d /Ton-Verhältnis, das nach BLUME & SCHWERTMANN (1969) bei Pseudogleyen eine typische Tiefenvariation zeigt, ist hier wegen des weitgehenden Fehlens von Ton in der Deckschicht nicht aussagekräftig.

Das Fe_o/Fe_d -Verhältnis ist, soweit man es aufgrund der geringen Fe_o - und Fe_d -Werte überhaupt heranziehen sollte, für Pseudogleye außerordentlich hoch, entspricht aber in seinen Veränderungen vom Ober- zum Unterboden (Abb. 4) ungefähr den von BLUME & SCHWERTMANN (1969) geforderten Tendenzen.

Als einen recht deutlichen Hinweis auf die in Gang befindliche Podsolierung möchte ich jedoch die kräftige Zunahme des Al_1 -Wertes zum S_w/S_d -Horizont werten (Abb. 4), so daß durch die Kombination von makroskopischen und analytischen Kennzeichen die für den angenommenen Bodentyp zu fordernden Bildungsprozesse gesichert sein dürften.

Dem Komplex der chemischen Charakterzüge dieses Bodenprofils voranzustellen ist die Betrachtung des pH-Wertes, der ja erste grundlegende Informationen über den ökologischen Zustand liefert. Die Abb. 4 läßt diesbezüglich erkennen, daß sich der pH-Wert (unter Berücksichtigung der Beziehung $pH_{CaCl_2} = pH_{H_2O} - 0,5$) im Grenzbereich zwischen Eisen-Aluminium-Pufferbereich und Austauscher-Pufferbereich bewegt, daß deshalb nach ULRICH (1982) und ULRICH et al. (1984) durch H^+ - und Al^{+++} -Toxizität mit Feinwurzelschäden an den Bäumen, auch bei Kiefern, gerechnet werden kann. Die Pflanzengesellschaften zeigen für die hier behandelte Bodeneinheit insgesamt ebenfalls stark saure bis saure Verhältnisse an (durchschnittliche Reaktionszahl nach ELLENBERG 1979: 1,5 - 3; bestimmt von RAUM 1985:33) und bestätigen somit die Analytik.

Der relativ hohe Grad der Versauerung, der sich im pH_{CaCl_2} abzeichnet, läßt sich aufgrund der Adsorptionsverhältnisse weiter belegen. Die AK_1 erscheint im A_{eh} -Horizont, also in der am stärksten durchwurzelten Zone des Hauptwurzelraumes nach dem Diagramm Abb. 4 unten noch relativ hoch, was offensichtlich durch den (sehr geringen) Humusgehalt bedingt ist (Tabelle 10). Absolut gesehen ist die Austauschkapazität aber gering und die nur 3% betragende Basensättigung zeigt schließlich, daß kaum austauschbare Basen vorliegen (nach v. ZEESCHWITZ (1984) als basenarm zu bewerten, da die Basensättigung < 5% ausmacht). Dieses Bild wird im tieferen Teil des Hauptwurzelraumes, im Stauwasserleiter, eher noch ungünstiger, da die AK_1 weiter abnimmt. Bei einer Basensättigung von 15% ist nach v. ZEESCHWITZ (1984) von schwach basenhaltigen Verhältnissen auszu-

gehen. Die durchwurzelte Bodenzone zeigt also nur eine sehr geringe bis geringe Elastizität gegenüber Änderungen des Ionenhaushaltes in der Bodenlösung (vergl. Richtwerte von Kapitel 4.1.3).

Nun sind adsorptionsschwache Böden bei Sandbodenart wie im vorliegenden Fall zu erwarten und es ist auch leicht verständlich, daß bei ungünstig humifizierbarer Nadelwaldstreu als organischer Ausgangssubstanz unterstützt durch Säureeintrag aus der Atmosphäre die geringen Basengehalte sehr schnell ausgelaugt werden. Auffällig ist jedoch, daß auch in den tonreicheren Unterbodenhorizonten die Austauschkapazität sehr gering und die Basenversorgung absolut gesehen schlecht ist. Die Ursachen für diesen Zustand des tonigen Unterbodens sind einmal in einem relativ adsorptionsschwachen, wahrscheinlich vor allem aus Illit und 2-Schicht-Mineralen bestehenden Tonmineralbestand, vor allem aber in einer Verringerung der Austauschkapazität durch Einlagerung von Aluminium-Hydroxo-Kationen in die Zwischenschichten der 3-Schicht-Tonminerale zu suchen (s. ULRICH 1981b, ULRICH et al. 1984:282). Daß sich der letztgenannte Effekt so deutlich bemerkbar macht, läßt einen bereits sehr lange andauernden Einfluß saurer Bodenlösungen (vor allem infolge eines mehrhundertjährigen Kiefern-Reinanbaus) vermuten.

Als nächstes muß natürlich die Frage gestellt werden, inwieweit der Boden noch verwitterbare Reserven an Basen enthält. Für eine Antwort können wieder die Ca_v - und K_v -Werte herangezogen werden. Relativ schnell läßt sich dabei anhand der Tabelle 9 im Vergleich mit den Richtwerten des Kapitels 4.1.3 ersehen, daß weder an Calcium noch an Kalium mobilisierbare Reserven in nennenswertem Maße vorliegen. Im übrigen ist auch von der mit Kalkammonsalpeter durchgeführten Düngung (s. Beilage 2, Düngekarte) in den Basenreserven nichts mehr zu erkennen. Es darf damit also unter dem momentanen Baumbestand nicht erwartet werden, daß diese Pseudogleye aufgrund ihrer Pufferkapazität (s. ULRICH 1982) fähig sein werden, selbständig wieder in einen günstigeren Pufferbereich, etwa in den Silikat-Bereich zurückzukehren, wenn der atmosphärische Säureeintrag und die bodeninterne Säureproduktion nachlassen würden. Eine gewisse Änderung der Situation könnte möglicherweise durch tiefwurzelnde Baumarten bewirkt werden, die über die Streu Basen aus dem Unterboden dem Oberboden zuführen (z.B. durch die Stieleiche). Doch auch hierdurch könnte die mineralisch bedingte Pufferkapazität im Oberboden nicht erhöht werden.

Die geringen Basengehalte in dieser Bodenform haben aber nicht nur für den pH-Wert nachteilige Folgen, sondern auch für die Nährstoffversorgung der Vegetation. So sind z.B. Magnesiummangelercheinungen zu erwarten (z.B. Goldspitzigkeit der Nadeln, wie bei Bayer. Staatsminist. Ernähr., Landwirtschaft. u. Forsten 1973:9 beschrieben). Magnesium-Mangel wurde auch durch nadelanalytische Untersuchungen nachgewiesen (BRAUN 1983:42; REIGBER & BRAUN 1985:45). Ebenso zu erwarten ist auf den hier behandelten Standorten Kalium-Mangel (z.B. erkennbar an Rotspitzigkeit der Nadeln; BUCHNER & ISERMANN 1984). Da der Be-

Tabelle 9: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 5 (Bodeneinheit Nr. 5) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizontfolge	N _t	C _o	Humusgehalt	C/N	P _t	C/P	P _v	K _v	Ca _v	Karbonatgehalt
A _{eh}	0,03	0,66	1,13	22	0,004	165	0,003	0,002	0,005	0
A _e S _w	0,003	0,07	0,12		0,004		0,0001	0,002	0,004	0
S _w	0,003	0,07	0,12		0,004		0,0001	0,002	0,004	0
S _w S _d	0,10	0,07	0,12		0,007		0,005	0,033	0,01	0
IIS _d	0,10	0,07	0,12		0,007		0,005	0,033	0,01	0
Gesamtmenge im Hauptwurzel- raum	≈970				≈390		≈80	≈200	≈420	

darf des Kiefern-Bestandes an Calcium relativ gering ist, sind Calcium-Mangelerscheinungen relativ selten zu beobachten (REIGBER & BRAUN 1985:43).

Tabelle 9 gibt weiter Aufschluß über andere wichtige Makronährstoffe. Hieraus ist zunächst ein sehr geringer Stickstoffgehalt abzulesen (vergl. Tabelle 9 mit den Richtwerten im Kapitel 4.1.3). Daß es trotzdem in den Kiefernadeln kaum zu Stickstoffmangel kommt, hängt offensichtlich mit dem Eintrag von Stickstoffverbindungen aus der Atmosphäre zusammen (REIGBER & BRAUN 1985:72). Die sehr geringen Stickstoffgehalte sind mit sehr geringen Humusgehalten verbunden (Tabelle 9, Vergleichswerte in *AG Bodenkunde* 1982: 98), woraus C/N-Verhältnisse um 20 im Oberboden resultieren. Dieser Wert entspricht zusammen mit dem C/P-Verhältnis der Humusform eines feinhumusreichen Moders (ULRICH et al. 1984), wie sie sich im Prinzip auch makroskopisch nachweisen läßt. Die Humusform ist also relativ ungünstig; damit ist auch eine ungünstige Mineralisierung und Humifizierung zu erwarten, wozu auch die niedrigen pH-Werte beitragen. Podsolierung muß fast zwangsweise eintreten.

Die ELLENBERGSchen Stickstoffzahlen ergaben für diese Bodeneinheit nach RAUM (1985:33) Durchschnittswerte von 2 - 3,5, so daß von stickstoffarmen Standorten in bezug auf die Versorgung des Hauptwurzelraumes ausgegangen werden kann. Die Analysedaten werden damit bestätigt.

Die Phosphorversorgung, beurteilt sowohl nach P_i als auch nach P_v (Tabelle 9) und obigen Richtwerten, ist ebenfalls äußerst schlecht. Diese Situation ist weit verbreitet im Sebalder Reichswald und spiegelt sich auch in den Phosphorgehalten der Nadeln der Baumvegetation wider (REIGBER & BRAUN 1985:39 und 72).

Zusammenfassend muß also für diese Böden extremer Nährstoff-bzw. Basenmangel angenommen werden, der nur im Falle des Stickstoffs durch exogene Einflüsse kompensiert wird. Die Nährstoffsituation programmiert damit eine Vitalitätsminderung des meist standortuntauglichen Baumbestandes vor, die durch Schadstoffeinwirkungen auf die Assimilationsorgane zu akuten Schäden führen kann. Leider stehen bisher keine großmaßstäblichen, flächendeckenden Erfassungen der Waldschadens-Situation zur Verfügung, um gerade etwa im Fall der hier behandelten Bodeneinheit den Beweis eines Zusammenhangs zwischen Bodenzustand und Waldschadensintensität antreten zu können.

Betrachten wir nun als weiteren wichtigen Komplex des im Rahmen des Leitprofils 5 repräsentierten ökologischen Bodenzustandes den Wasser- und Lufthaushalt, so zeigen sich in den Kennwerten der Abb. 5 die typischen Merkmale eines Sandbodens bzw. eines Zweischichtenbodens mit sandiger Deckschicht. Das hervortretende Kennzeichen der Porengrößenverteilung ist das Vorherrschen von Gröbstoporen im Hauptwurzelraum. Durchwurzelbarkeit und Durchlüftung sind damit optimal einzuschätzen; skeptisch ist dagegen die Wasserspeicherfähigkeit zu beurteilen. Der Anteil der Fein- und Mittelporen erweist sich nämlich als sehr gering (insgesamt < 10 Vol.% des Bodenvolumens des Hauptwur-

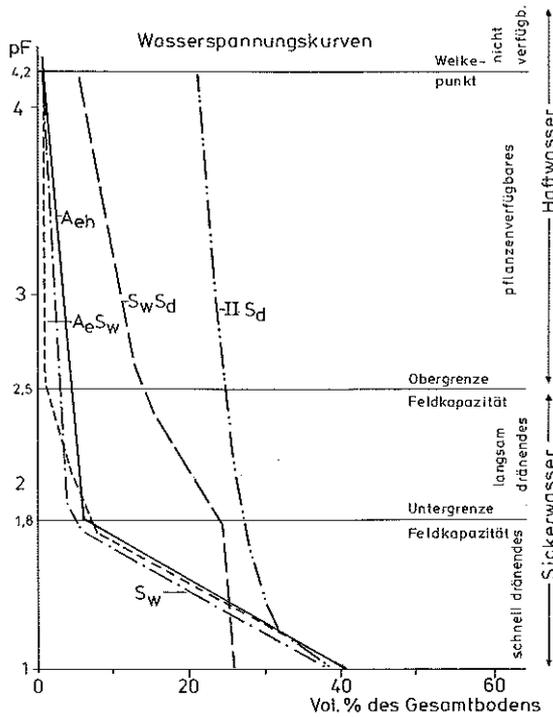
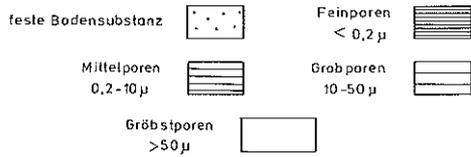
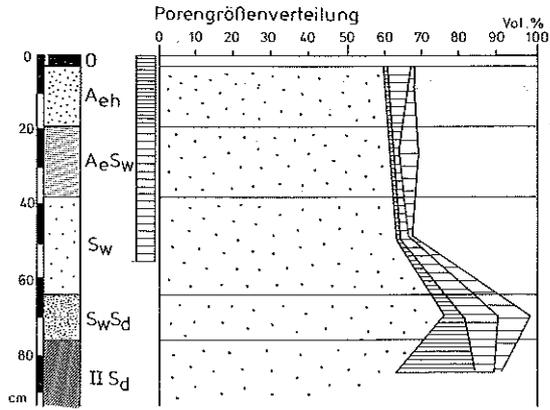


Abb. 5: Kennzeichen des Wasser- und Luftaushaltes im Leitprofil 5 (Bodeneinheit Nr. 5)

zelraumes) und die nutzbare Feldkapazität (nFKWe) beträgt nur 15 l/m² bzw. 25 l/m² unter Einschluß der Grobporen (vergl. *AG Bodenkunde* 1982:150). Die Böden neigen somit in den Trockenphasen, wenn das Stauwasser im Wurzelraum verschwindet oder unterhalb des Wurzelraumes absinkt, zu Wassermangel.

Diese Tatsache ist zunächst nicht sofort verständlich, da Pseudogleye an und für sich Böden mit erhöhter Feuchtigkeit darstellen. Gerade das Stauwasser kann die Wasserversorgung der Vegetation jedoch einschränken, da es durch sein reduzierendes Milieu die effektive Durchwurzelungstiefe begrenzt. Ist infolge dieser Wirkung des Stauwassers der Hauptwurzelraum nur geringmächtig und besitzt er durch die Porositätseigenschaften nur eine geringe Wasserspeicherfähigkeit, so tritt bei Absinken der Stauwasseroberfläche unter dem Einflußbereich des Hauptwurzelraumes schnell Trockenheit und Wassermangel auf. Ein Nebeneffekt dieser Einengung des Hauptwurzelraumes durch Stauwasser ist weiterhin eine nur mangelhafte Nutzung der in tieferen Horizonten gespeicherten Nährstoffreserven (s. auch REHFUESS 1981: 89).

Im Falle des Podsol-Pseudogleys des Leitprofils 5 ist der Hauptwurzelraum zwar durch den Stauwassereinfluß im Liegenden begrenzt, erreicht aber immer noch ca. 55cm u.GOF.. Besonders auffällig ist dagegen die effektive Durchwurzelungstiefe bei Leitprofil 14 (Bodeneinheit Nr. 14) dezimiert, doch soll auf die daraus resultierenden Folgen erst in dem entsprechenden Abschnitt eingegangen werden.

4.2.3 Böden auf Rhät-Lias-Übergangsschichten (Rhät bis Lias Alpha 3)

Bodeneinheit Nr. 6

Podsol, selten Pseudogley-Podsol auf Sandsteinen mit tonigen Lagen (Rhättone) mit großer Entwicklungstiefe am Hang des Rhätanstiegs sowie auf der Schichtstufe des Rhätolias (Sande oder 30 - 70 cm Sande und schluffige Sande über tonigen Sanden)

Das Bild dieser Bodeneinheit wird vorherrschend durch Podsole mit großer Entwicklungstiefe und einer Profilverfolgung O-A_{eh}-A_e-B_{hs}-C_v oder O-A_{eh}-A_e-B_{hs}-B_v-C_v geprägt.

Durch die Einlagerung von sandigen Ton- und tonigen Sandlinsen bzw. -lagen in die Sandsteinpartien der Rhät-Lias-Übergangsschichten (s. z.B. v. FREYBERG 1974) wurde die Möglichkeit für die Bildung von Stauwasser (oder auch Hangstauwasser) gegeben, so daß ein kleinräumiger Wechsel mit Pseudogley-Podsole die Regel darstellt. Die Horizontfolge der Pseudogley-Podsole ist häufig O-A_{eh}-A_e-B_{sh}-S_w-IIS_dC_v. Sie sind häufig mittel staunäß (Staunässestufe S3, s. *AG Bodenkunde* 1982:165) und entsprechend den auf ihnen verbreiteten Pflanzengesellschaften als frisch, mittelfeucht und wechselfeucht (durchschnittliche Feuchtezahl nach ELLENBERG 1979: 4 - 6; bestimmt von RAUM 1985:41) zu bezeichnen.

Tabelle 10: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 6 (Bodeneinheit Nr. 6)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O	10YR 2/1 schwarz.	feinhumusreicher bis rohhumusar- tiger Moder							
A _{eh}	10YR 5/1 bräunlich- grau	Einzelkorn	0	6	90	4	S	g'	1,51
A _e	10YR 7/4 mattgelb- orange	Einzelkorn	0	6	90	4	S	g	1,51
B _{hs}	10YR 5/8 dunkelrot	Einzelkorn	0	9	86	4	u'S	g'	1,49
(S _w)C _v	10YR 6/6 hellgelb- lich braun	Einzelkorn	3	10	83	4	u'S	g'	1,53
II(S _d)C _v	10YR 6/8 hellgelb- lich braun 10YR 7/2 mattgelb- orange	Subpolyeder	19	9	72	0	t'S	-	1,77

Kleinflächig kann man gelegentlich innerhalb dieser Bodeneinheit auch Pseudogleye, ja sogar Gleye finden. Podsolige Braunerden sind vor allem im Grenzbereich zum Lias Alpha 3 sowie im Bereich ehemaliger Abbaustellen des Rhätsandsteins (HAARLÄNDER 1966) anzutreffen, wo die Stofftrennung infolge Podsolierung durch anthropogene Mischung rückgängig gemacht wurde. In den letztgenannten Fällen kann die Bodenbildung natürlich auch Syroseme und Rancker umfassen.

Hervortretende makroskopische Kennzeichen der dominierenden Podsolanteile der Profile sind ein ca. 10 - 20 cm mächtiger Bleichhorizont A_0 und ein gelblichbrauner, im obersten Teil oftmals (durch Humusanreicherung) etwas dunklerer B_{hs} -Horizont, der aber weder als Orterde noch als Ortstein bezeichnet werden kann, lockeres Einzelkorngefüge besitzt (s. Tabelle 10) und gut durchwurzelbar ist. Insbesondere ist im B_{hs} auch die Permeabilität recht hoch, so daß es über diesem Horizont zu keiner Stauwasserbildung kommen kann. Die Untergrenze des B_{hs} reicht bis über 50 cm u. GOF..

Auch die Böden dieser Einheit zeigen eine recht geringmächtige Streuauflage (O-Horizonte), was wie bei anderen Bodeneinheiten auf die langjährige, intensive Streunutzung zurückzuführen ist.

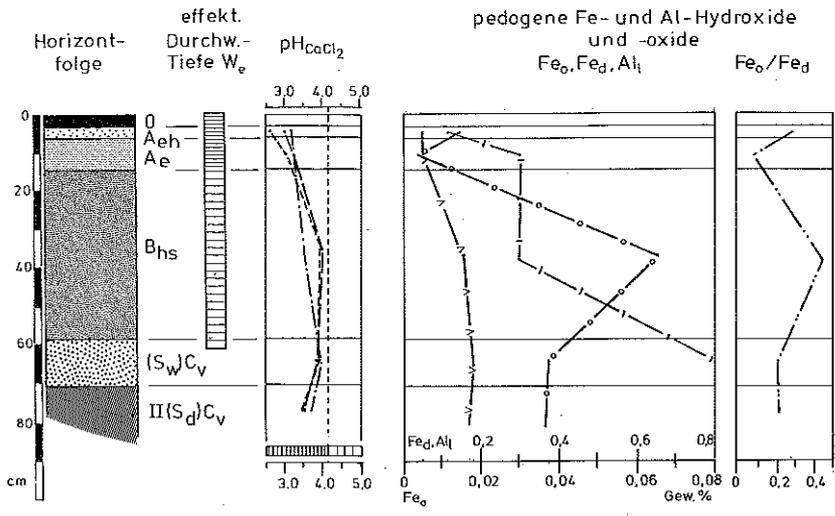
Als potentielle natürliche Vegetation wäre auf den trockenen Podsolen aufgrund der hier höheren Niederschläge der artenarme Buchen-Traubeneichenwald (Fago-Quercetum) zu erwarten. Während es sich hierbei um Mischbestände aus beiden Baumarten handelt, würde die Buche auf exponierten Rhätsandsteinkuppen wegen der dort vorhandenen Bodentrockenheit bereits deutlich zurücktreten (buchenarmes Fago-Quercetum).

Für die Forstwirtschaft handelt es sich bei den Böden der Bodeneinheit Nr. 6 einmal um trockene bis mäßig trockene Sandstandorte, die sich in erster Linie für die Kiefer mit Beimischungen von Eichen, Lärche, z.T. auch Weißbirke eignen (Forstamt Nürnberg 1981). Machen sich tonige Lagen im Unterboden durch die Verringerung der Permeabilität bemerkbar, so kann man von mäßig frischen oder grundwechselfeuchten Sandböden sprechen, deren Bestockungsziele im ersten Falle Kiefer und Lärche mit Laubholzanteil (Winterlinde, Buche, Hainbuche), im letzten Falle Eichen, Winterlinde, Kiefer oder auch Fichte mit Lärche und Eichen wären.

Ein im Rahmen dieser Bodeneinheit aufgegrabenes Leitprofil (Leitprofil 6) SW' von Kalchreuth in der Forstabteilung Saugarten/Tiegelthonlöcher (R 4435960, H 5490100) erfaßt einen im Unterboden schwach pseudovergleyten Podsol. Die Tabelle 10 und Abb. 6 (Horizontfolge) zeigen wichtige makroskopische Merkmale. Die Bestockung besteht aus Kiefern.

Hinzuzufügen ist, daß sich die schwache Pseudovergleyung im $(S_w)C_v$ -Horizont durch hellgelbe Flecken in einer gelbbraunen Umgebung, im $II(S_d)C_v$ -Horizont durch gelbweiße Marmorierungen erkennen läßt.

Die Bodenart ist im Hauptteil des Profils (über der $II(S_d)C_v$ -Lage) recht einheitlich sandig bis schluffig-sandig. Ein Korngrößenmaximum im Mittelsandbe-



Legende

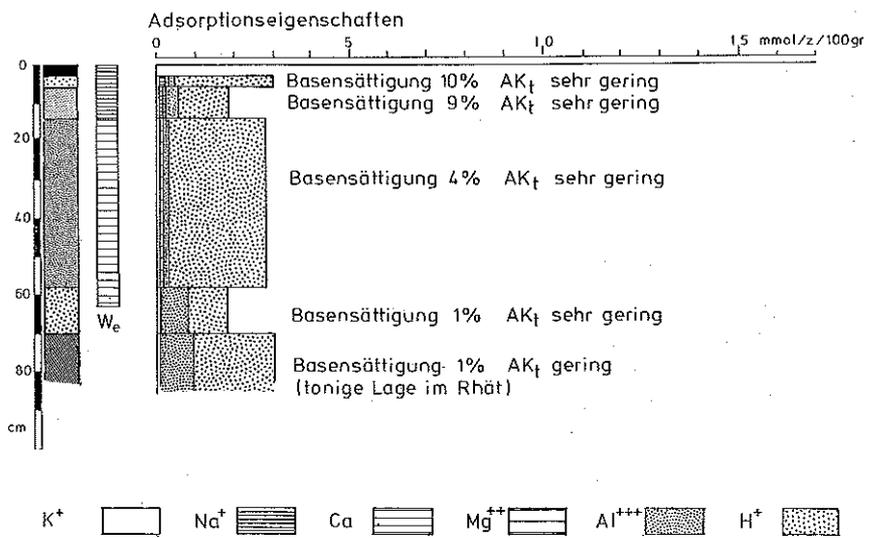
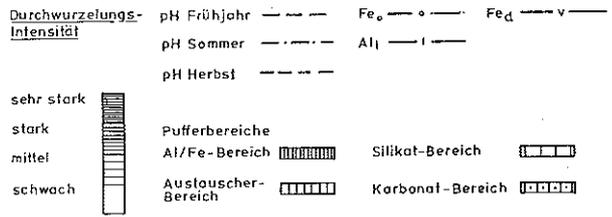


Abb. 6: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 6 (Bodeneinheit Nr. 6).

reich und der deutliche Feinkiesanteil (g') zeigen die Abkunft des Solums überwiegend aus Rhätolias-Sandstein.

Der Podsol-Charakter spiegelt sich am besten in den Kenndaten der pedogenen Eisen- und Aluminiumoxide/hydroxide wieder (Abb. 6 oben). Ein ausgeprägtes Minimum der Fe_o -, Fe_d - und Fe_o/Fe_d -Werte im A_e -Horizont sowie ausgeprägte Maxima dieser Kenndaten im B_{hs} -Horizont (Achtung! Unterschiedliche Maßstäbe von Fe_o und Fe_d in Abb. 6) entsprechen modellhaft den Verhältnissen eines Podsols (vergl. BLUME & SCHWERTMANN 1969). Relativ niedrig sind im Vergleich zu den Richtwerten von BLUME & SCHWERTMANN 1969 die Fe_o/Fe_d -Werte. Diese können mit einer relativ langen Dauer der Podsolierung zusammenhängen.

Im Bereich des B_{hs} -Horizontes wäre weiterhin ein Al_1 -Maximum zu erwarten, doch findet man dieses erst im $(S_w)C_v$ und $II(S_d)C_v$, dort allerdings mit sehr hohen Absolutwerten von Al_1 . Ich möchte hierzu annehmen, daß einmal der Podsolierung eine Phase schwacher Tonverlagerung aus der Sandlage des Profils vorgegangen ist (damit wären die praktisch fehlenden Tongehalte in den A- und B-Horizonten zu erklären; s. Tabelle 10) und daß weiterhin infolge einer relativ langen Dauer der Podsolierung (s. oben) die Al_1 -Verlagerung bereits in die höheren Teile des C-Horizontes fortgeschritten ist. Ob aufgrund solcher Annahmen die Existenz einer alten Landoberfläche oder eines Restes davon im Bereich der Profilentnahmestelle abgeleitet werden kann, möchte ich vorläufig dahingestellt lassen.

Podsolierung ist ein sehr komplizierter Bodenbildungsprozeß (s. z.B. REHFUESS 1981:68 u.f.), der sich optisch zunächst durch die Verlagerung von Eisen im Bodenprofil bemerkbar macht. Gleichzeitig werden aber auch Humussubstanzen, Basen, Phosphor, Aluminium etc. verlagert. Voraussetzung dafür, daß die Bodenentwicklung bis zur Podsolierung ablaufen kann, sind im Modellfall kühlfeuchte klimatische Verhältnisse und eine (oft daran angepaßte) Vegetation mit schlecht humifizierbaren Rückständen. In unserem Fall liegt das Schwergewicht der Voraussetzungen zur Bildung offensichtlich bei der Vegetation, vor allem beim oft forstlich veränderten, standortuntauglichen Baumbestand. In manchen Fällen können auch Relikte älterer Podsolierungszonen auf ehemaligen tertiären Rumpfflächen vorliegen (s. WITTMANN in BERGER 1978: 133).

Weiterhin fördern die Entstehung von Podsolen in unserem Klima vor allem geringe Phosphor-, Eisen- und Basengehalte des Ausgangssubstrats, saure, an komplexierenden Ausgangssubstanzen reiche Bodenlösungen, geringe Wasserspeicherfähigkeiten sowie hohe Durchlässigkeiten des Bodenkörpers. Daß die letzten beide Punkte in bezug auf den Wasserhaushalt im Falle des Leitprofils 6 zutreffen, wird weiter unten gezeigt. Bleibt die Frage, inwieweit die chemischen Kennzeichen des Profils zum Bild eines Podsols passen.

Der pH-Wert, wie er in seiner Tiefenvariation auf Abb. 6 dargestellt ist, liegt im Oberboden im Al-Fe-Pufferbereich, also in dem Bereich, in dem es zu Eisen- und Aluminium-Mobilisation in ionarer oder komplexierter Form kommt. Zum

Illuviationshorizont hin reicht der pH-Wert dann in den Grenzbereich Fe-Al-/Austauscher-Pufferbereich hinein und es kann damit in gewissem Rahmen wieder eine Ausfällung der Sesquioxide eintreten. Der pH-Verlauf entspricht also den Regeln eines idealen Podsol-Profiles.

Vergessen werden soll nicht der Hinweis, daß REIGBER & BRAUN (1985) gegenüber den in Abb. 6 vermerkten pH-Werten für den Ort des Leitprofils noch viel stärker saure Werte anführen, nämlich pH 2,1 für den A_c- und 2,9 für den B_{hs}-Horizont. Die starke Versauerung der Böden wird somit auch nach diesen Untersuchungen bestätigt.

Ökologisch ist dieser pH-Bereich sehr ungünstig zu beurteilen. Behinderte Mikroorganismenaktivität und Feinwurzelschäden an der Vegetation durch H⁺- und Al⁺⁺⁺-Toxizität sind zu erwarten.

Die zum pH-Wert in enger Beziehung stehenden Adsorptionsverhältnisse der Austauscher (Abb. 6 unten) lassen sich ebenfalls mit der Dynamik der Podsolierung vereinbaren. Zunächst ist die Adsorptionsfähigkeit im Solum, bedingt durch geringe Kolloidanteile im Ausgangsgestein und im Humuskörper sehr gering. Etwas erhöht ist sie nur im A_{ch}- (Humusgehalt) und B_{hs}-Horizont (Adsorptionsfähigkeit der Sesquioxide). Die Basensättigung nimmt von oben nach unten zwar kontinuierlich ab (die Basensättigung von 10% im A_{ch} ist möglicherweise durch Düngung verursacht; s. Düngekarte Tafelbeilage 2), doch ist für die Ausbildung des Illuviationshorizontes B_{hs} offensichtlich die Menge an adsorbiertem Calcium und Magnesium entscheidend. Sie erreicht im B_{hs}-Horizont ein Maximum (Tabelle 11).

Mit den Vorgängen der Podsolierung ebenfalls in Verbindung zu bringen sind die hohen austauschbaren Aluminiumgehalte im C_v. Sie bestätigen wiederum die oben geäußerte Vermutung, daß die Al-Verlagerung bereits bis in die obersten Lagen des Ausgangsgesteins fortgeschritten ist.

Für die Pflanzenversorgung bedeutet der vorliegende, leicht verfügbare Basengehalt im Hauptwurzelraum eine Mangelsituation. Nach v. ZEJSCHWITZ (1984) (Tabelle 1) liegt ein schwach basenhaltiger Standort vor, der nur eine geringe bis sehr geringe Elastizität im Sinne von MEIWES et al. (1984), (s. Tabelle 2, oben) aufweist. Mangelsymptome insbesondere an Kalium und Magnesium in der Baumvegetation können zunächst erwartet werden. Bestätigt wurde bisher anhand von Nadelanalysen der Magnesium-Mangel (REIGBER & BRAUN 1985: 143; Probenentnahmestelle Re/Ho 36/90 und Re/Ho 36/92; ersterer entspricht dem Leitprofil 6).

Die Reserven an durch die Verwitterung mobilisierbaren Basen zeigen am Beispiel von K_v und Ca_v (s. Tabelle 11) eine äußerst ungünstige Situation im ganzen Bodenprofil, also auch im Hauptwurzelraum. Die Basenreserven sind praktisch zu vernachlässigen (vergl. Richtwerte in Kapitel 4.1.3 und bei SCHLICHTING & BLUME 1966:172).

Es liegt also ein in seinem Gesamtzustand stark versauerter Standort vor, der für die Bodeneinheit Nr. 6 insgesamt typisch ist. Dies lassen auch die für diese Bodeneinheit von RAUM (1985:41) aufgrund der Pflanzengesellschaften ermittelten Reaktionszahlen nach ELLENBERG (1979) mit Werten zwischen 1,5 und 3,5 (stark sauer bis sauer) erkennen.

Kehren wir nochmals zu Fragen des Entwicklungszustandes zurück und betrachten den für die Podsolierung symptomatischen Phosphorhaushalt. Tabelle 11 zeigt sowohl bezüglich des Gesamtphosphorgehaltes P_t als auch in Hinblick auf die mobilisierbaren Reserven P_v eine ausgesprochene Mangelsituation (vergl. Richtwerte Kapitel 4.1.3 und SCHLICHTING & BLUME 1966:172). Dieser Zustand ist typisch für Podsole (REHFUESS 1981:68 u.f.), ebenso wie ein schwach ausgeprägtes Maximum in der Phosphorverteilung im B_{hs} -Horizont (bevorzugte Adsorption von Phosphor an Sesquioxid/hydroxiden).

Nach REHFUESS (1981:74) kann der Phosphor-Mangel wiederum den mikrobiellen Abbau der Streu behindern, so daß auch die Mobilisation organisch gebundenen Phosphors nur sehr langsam vor sich geht. Schließlich ist die aus dem Bodenzustand abzuleitende Phosphorarmut auch in der Versorgung der Baumvegetation nachzuweisen. REIGBER & BRAUN (1985) zeigten in ihren Nadelanalysen (S. 143, Probenentnahmestellen Re/Ho 36/90 bzw. Re/Ho 36/92) bereits unter dem Grenzwert des Phosphormangels liegende Durchschnittsgehalte.

Zur Beurteilung des Podsolierungszustandes können nun weiterhin Kennzeichen des Humuskörpers herangezogen werden. Wie erwähnt, besitzen die Profile einen durch Streunutzung dezimierten Auflagehumus. Oberboden- und Unterbodenhorizonte sind als schwach humos zu bezeichnen (AG *Bodenkunde* 1982). Anhand des Humusgehaltes (Tabelle 11) ist eine Verlagerung organischer Substanz in den B_{hs} -Horizont zu erkennen. Auch in diesem Punkt entsprechen die chemischen Kennwerte dem typischen Bild eines Podsoles. Die Humusform liegt nach dem C/N- und C/P-Verhältnis im Grenzbereich Moder zu Rohhumus, befindet sich damit also zwar nicht in einem äußerst schlechten, aber doch schlechten Zustand. Darin und in dem geringen Humusvorrat (aufgrund geringer Mächtigkeiten der organischen Horizonte) sind eine der wesentlichsten Ursachen für die Podsolierung im vorliegenden Fall zu sehen.

Das weite C/N-Verhältnis bei geringem Humusvorrat zeigt schließlich bereits die (vom Bodenzustand her) sehr schlechte Stickstoffversorgung an, wie sie auch in der Rubrik N_t der Tabelle 11 deutlich hervortritt. Geringe Stickstoffgehalte und schlechte Mineralisierungsmöglichkeiten werden auch in diesem Fall durch die Immission stickstoffhaltiger Verbindungen etwas ausgeglichen, so daß in den Nadelanalysen (REIGBER & BRAUN 1985: 143; Probenentnahmeorte Re/Ho 36/90 und Re/Ho 36/92) zwar geringe, aber noch ausreichende Stickstoffgehalte nachzuweisen sind. Die Pflanzengesellschaften lassen aufgrund der ELLENBERG'schen Stickstoffzahlen (RAUM 1985:41, durchschnittliche Stickstoffzahlen zwischen 2

Tabelle 11: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 6 (Bodeneinheit Nr. 6) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizontfolge	N _i	C _o	Humusgehalt	C/N	P _i	C/P	P _v	K _v	Ca _v	Karbonatgehalt
A _{eh}	0,07	1,85	3,18	26	0,01	185	0,004	0,002	0,006	0
A _e	0,008	0,24	0,41		0,003		0,003	0,004	0,005	0
B _{hs}	0,007	0,27	0,46		0,007		0,007	0,003	0,003	0
(S _w)C _v	0,008	0,09	0,15		0,006		0,003	0,004	0,004	0
II(S _d)C _v	0,005	0,05	0,09		0,01		0,004	0,007	0,004	0
Gesamtmenge im Hauptwurzel- raum	≈900				≈560		≈520	≈270	≈300	

und 4) für die Bodeneinheit insgesamt aber doch stickstoffarme Verhältnisse erkennen.

Im Rahmen der Korngrößenanalyse konnte bereits gezeigt werden, daß der hier untersuchte Boden im größten Teil des Solums fast rein sandige Bodenart aufweist. Sandige Böden besitzen in der Regel gute Durchlässigkeit. Die darauf beruhende starke Perkolation nach Niederschlägen bildet einen weiteren Faktor zur Entwicklung eines Podsoles.

Die Kennwerte des Wasser- und Lufthaushaltes, wie sie sich auf Abb. 7 abzeichnen, zeigen im Detail zunächst eine im Gesamtprofil gleichbleibende Porosität, die nur in der tonigen Unterlage etwas abnimmt. Diese Abnahme der Porosität ist mit einiger Wahrscheinlichkeit auf die bereits in anderem Zusammenhang (s. oben) vermutete Tonverlagerung zurückzuführen. Die Porengrößenverteilung variiert andererseits recht deutlich, wobei der hohe Anteil an Größtporen und das Minimum an pflanzenverfügbarem Haftwasser im B_{hs} -Horizont besonders auffallen. Aufgrund der Illuvationsvorgänge in den B_{hs} -Horizont würde man dort eher eine Abnahme der größeren Porendurchmesser erwarten. Nach dem für die Speicherung des pflanzenverfügbaren Wassers zur Verfügung stehenden Mittel- und Grobporenanteils kann der Hauptwurzelraum nach Regenperioden etwa 45 l/m^2 (ohne Grobporenanteil ca. 28 l/m^2) bereitstellen. Diese nutzbare Feldkapazität des Hauptwurzelraumes (nFKWE) ist damit als sehr gering (AG *Bodenkunde* 1982: 150) zu bewerten; der Boden kann nur wenig Feuchtigkeit speichern und trocknet im Hauptwurzelraum schnell aus, wodurch wiederum die mikrobiellen Aktivitäten und somit die Mineralisierung gehemmt werden. Der schwache Stauwassereinfluß an der Untergrenze des Solums hat kaum Auswirkungen auf die Pflanzenversorgung.

Zusammenfassend erscheint somit der Standort des nach allen seinen boden genetischen Kennzeichen typischen Podsoles des Leitprofils 6 als sehr saurer, extrem nährstoffarmer, durch Trockenheit geprägter Bereich, der nur schlechte forstwirtschaftliche Erträge erwarten läßt. Etwas günstiger sind innerhalb der Bodeneinheit 6 Zonen mit erhöhter Durchfeuchtung in Zusammenhang mit stauenden Tonlagen zu beurteilen. Im Randbereich der Bodeneinheit Nr. 6 zu den Bodeneinheiten des Lias (z.B. zu Bodeneinheit Nr. 7) ist mit einem seitlichen Zuzug von basenhaltiger Bodenlösung zu rechnen und damit in Verbindung eine Verbesserung des ökologischen Zustandes zu erwarten.

Bodeneinheit Nr. 7

Braunerde (7a) und Podsol-Braunerde (7b) sowie pseudovergleyte Braunerde und pseudovergleyte Podsol-Braunerde (7c) auf Sandstein mit tonigen Lagen (Rhät, Arietensandstein) mit großer bis sehr großer Entwicklungstiefe am flachen Oberhang der Rhätolias-Stufe, in Rhätschluchten teilweise auch in die Steilstufe hineinreichend (schluffiger Sand bis toniger Sand).

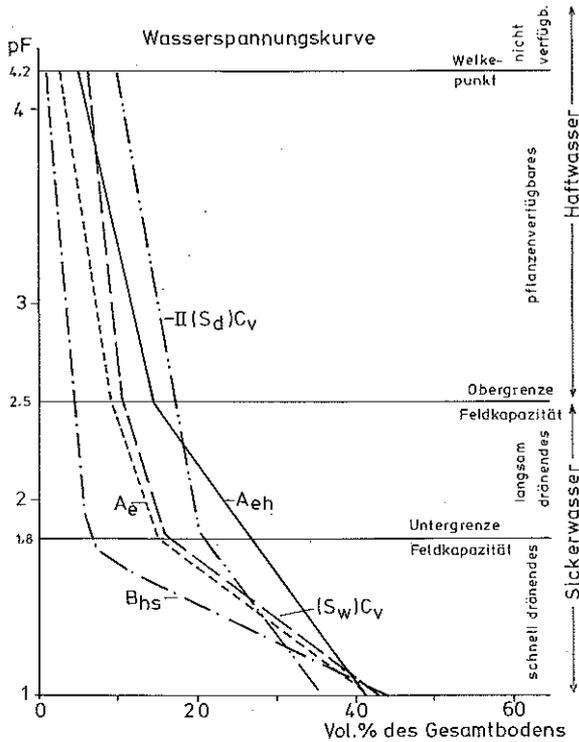
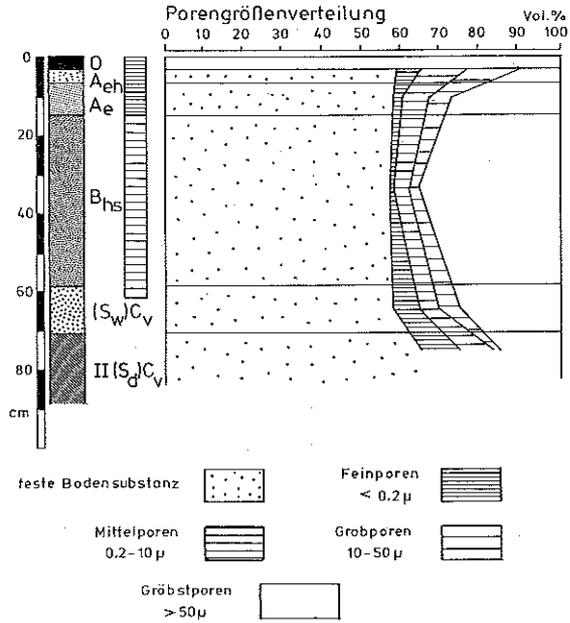


Abb.7: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 6 (Bodeneinheit 6).

Diese Bodeneinheit ist eine der verbreitetsten in der Bodenkarte der Beilage 1. Große Anteile davon sind westlich und nordwestlich von Kalchreuth auch landwirtschaftlich genutzt. Neben Pelosol, Pseudogley und Podsol ist die Braunerde der vierte wichtige Bodentyp im Bereich des Sebalder Reichswaldes.

Bei der Bodeneinheit 7 handelt es sich ausschließlich um oligotrophe Braunerden. Die beobachteten Horizontfolgen sind:

bei forstwirtschaftlicher Nutzung:

Bodeneinheit Nr. 7a

O-A_{ch}-B_v-C_v oligotrophe Braunerde

O-A_{ch}-A_{he}-B_v-C_v podsolige Braunerde (gebleichter Oberboden < 30cm, im vorliegenden Fall maximal 15cm mächtig)

Bodeneinheit Nr. 7b

O-A_{ch}-A_e-B_v-C_v Podsol-Braunerde (gebleichter Oberboden > 30cm mächtig)

Bodeneinheit Nr. 7c

In Talrandposition (vor allem westlich von Heroldsberg) können die Braunerden und Podsol-Braunerden im Untergrund Grundwassermerkmale aufweisen. Sie wurden als vergleyte Typen bezeichnet.

bei landwirtschaftlicher Nutzung:

Bodeneinheit Nr. 7a

A_p-B_v-C_v Braunerden

Das Ausgangsmaterial der Bodenbildungen ist häufig mehrschichtig aufgebaut. Dies geht einmal auf den raschen Fazieswechsel zwischen geringmächtigen Ton- und Sandsteinlagen im Grenzbereich Keuper/Lias, zum anderen auf solifluktuiv gebildete sowie gelegentlich auch dünne äolische Deckschichten zurück.

Die Verbreitung der Teilbodeneinheit Nr. 7b ist auf wenige Flecke im Forstbezirk Saugarten begrenzt. Einbezogen sind in die Teileinheit Nr.7a Ranker im Steilhangbereich von Rhätschluchten wie Sulzgraben oder Teufelsbadstube. Wo diese Ranker großflächiger auftreten, wurden sie als Bodeneinheit Nr. 8 auskartiert. Zu den Podsolen der Bodeneinheit Nr. 6 sowie zu den Pelosolen der Bodeneinheiten Nr. 10 und 11 bestehen fließende Übergänge.

Wie aus der Bodenkarte zu ersähen ist, nehmen die Böden der Einheit Nr. 7 (besonders Nr. 7a) den Grenzbereich zwischen der Oberfläche der Rhätolias-Sandsteinstufe und dem flachen Anstieg zum tonig-mergeligen Lias ein. Bei landwirtschaftlich genutzten Flächen hat diese Position zur Folge, daß durch Bodenerosion und -verlagerung den Braunerden der Einheit Nr. 7 vom Oberhang

ton- und basenreicheres Material zugeführt wird. Die Bodenqualität wird so auf natürlichem Wege verbessert. Die Braunerden bilden somit günstige Ackerböden mit günstigem Nährstoffhaushalt bei leichter Bearbeitbarkeit und Durchwurzelbarkeit. In Waldgebieten sieht die ökologische Situation nicht ganz so positiv aus (s. unten).

Pseudovergleyungserscheinungen sind in den Böden der Einheit Nr. 7 selten und erreichen höchstens die Staunässestufe 2 (schwach bis nicht staunaß, s. *AG Bodenkunde* 1982:165). Die durchschnittlichen Feuchtezahlen nach ELLENBERG 1979 (RAUM 1985:52 u.f.) liegen zwischen 4,5 und 6, so daß nach den Pflanzengesellschaften in Waldgebieten frische bis mäßig feuchte Standorte vorherrschen. Die gute Wasserversorgung ist vor allem durch seitlichen Zuzug von Hangwasser aus dem Lias-Tonbereich bedingt.

Die Farben der Bodensubstanzen sind durch braune Töne gekennzeichnet. Bei starker Beteiligung von Arietensandstein-Material herrschen rot- und rostbraune Farben, im Bereich der Rhätolias-Sandsteine gelbe Farben vor.

Die tiefgründigen, gut durchlüfteten Sandböden der Bodeneinheit Nr. 7 dürften der Buche gute Wachstumsbedingungen bieten. Als potentielle natürliche Vegetation wäre demnach hier auch wegen der höheren Niederschlagsmenge das Luzulo-Fagetum mit führender Buche anzunehmen, wobei Traubeneiche, Hainbuche, Winterlinde einzelstammweise beigemischt wären. Bei Zuzug basenhaltigen Hangwassers aus dem Liasbereich werden diese Standorte vom Perlgras-Buchenwald (Melico-Fagetum) als potentieller natürlicher Vegetation bestockt (Buche führend, Traubeneiche, Hainbuche, Winterlinde und Tanne beigemischt).

Standortkundlich zählen die Flächen der Bodeneinheit Nr. 7 zu den grundfrischen bis mäßig frischen Sandböden, die aufgrund der Hanglage Zuzug von basenhaltigem Hangzugwasser erhalten. Sie haben als Bestockungsziel Kiefer und Lärche, eingebunden in einen nicht zu geringen Laubholzanteil (Eichen, Buche, Hainbuche, Winterlinde) (*Forstamt Nürnberg* 1981).

Das Leitprofil einer podsoligen Braunerde (Leitprofil 7a) wurde im Randbereich des Reichswaldes SW von Kalchreuth aufgenommen (R⁴⁴ 36259, H⁵⁴ 90110). Profilfolge und makroskopische Kennzeichen sind der Abb. 8 sowie Tabelle 12 zu entnehmen. Das Leitprofil liegt in einem Kiefernforst, der einen geringen Anteil an Lärche und Buche aufweist. Die potentielle natürliche Vegetation ist ein Eichen-Hainbuchenwald in Form der hierfür typischen Subassoziation (Galio-Carpinetum typicum) (nach RAUM 1985:49).

Das Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist auch hier mehrschichtig aufgebaut. Der III C_v-Horizont besteht aus anstehendem Rhätolias-Sandstein, der von einer wahrscheinlich soliflukktiv verlagerten Arietensandstein-Schuttdecke überlagert wird (IIB_v). Das höhere Solum besteht aus einer sandig-lehmigen Schuttdecke (Beteiligung von tonigem Lias-Material), die vermutlich ebenfalls durch Solifluktion verlagert ist, aber deutlich weniger Arietensandstein enthält.

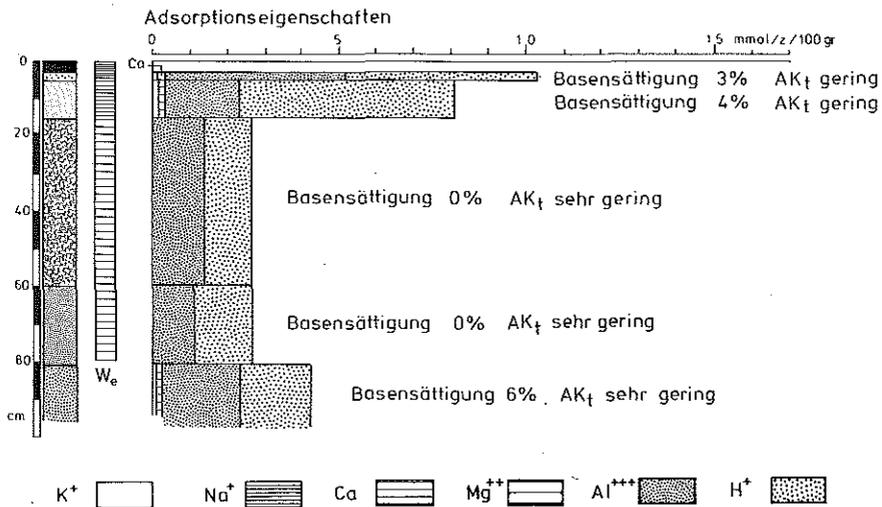
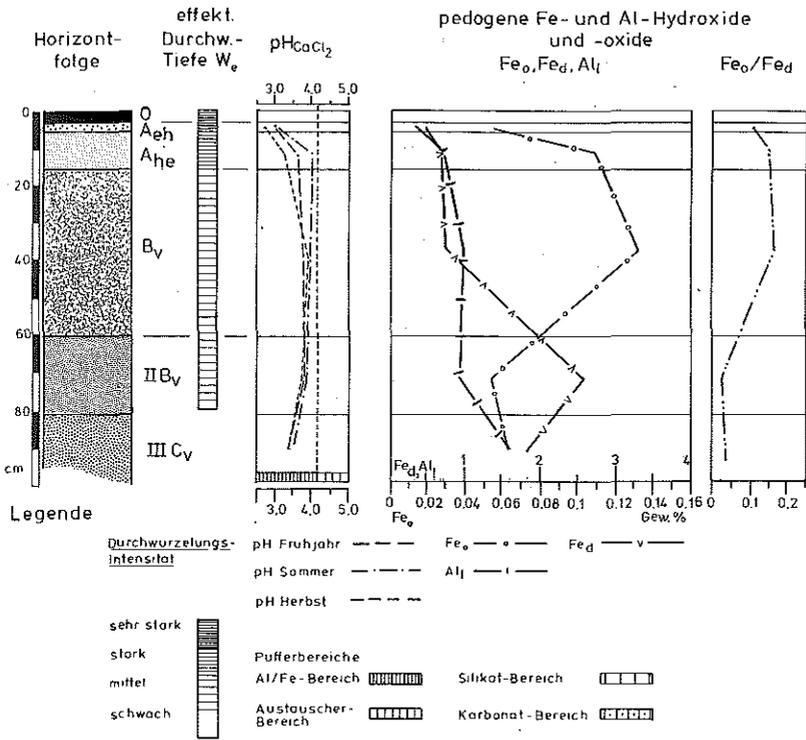


Abb. 8: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 7a (Bodeneinheit Nr. 7).

Tabelle 12: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 7a (Bodeneinheit Nr. 7)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O	10YR 2/2 bräunlich- schwarz	feinhumusreicher Moder							
A _{eh}	10YR 3/1 bräunlich- schwarz	Einzelkorn	7	16	75	2	l'S	g'	1,35
A _{he}	10YR 4/1 bräunlich- grau	Einzelkorn	7	10	79	4	l'S	g'	1,35
B _v	5YR 4/6 rötlich-braun	Einzelkorn	4	16	76	4	u'S	g'	1,51
IIB _v	5YR 3/6 dunkel- rotbraun	Einzelkorn bis Subpolyeder	6	16	72	6	l'S	g'	1,71
II(S _d)C _v	10YR 7/8 gelborange	Einzelkorn bis Subpolyeder	10	6	81	3	t'S	-	1,79

Nach den Korngrößenkurven (NEUBAUER 1985) ist keine Beteiligung von äolischen Komponenten in den Deckschichten zu erkennen. Aus den vereinfachten Angaben zur Körnung in Tabelle 12 läßt sich aber recht gut der Unterschied zwischen IIC_v und dem aus Deckschichten hervorgegangenen Solum ablesen. Die hohen Schluffgehalte im letztgenannten Bereich sind ein typisches Kennzeichen für die Beimengung von Lias-Material.

Die Variationen im Gehalt der pedogenen Sesquioxide im Solum (Abb. 8 oben) passen nun nicht zum Charakter einer Braunerde. Die geringen Werte von Fe_o und Fe_o / Fe_d in den A-Horizonten und die Maxima dieser Kennwerte im B_v zeigt vielmehr, daß die Podsolierung der zuletzt wirksame Bodenbildungsprozeß war (vergl. BLUME & SCHWERTMANN 1969). Nach der Analytik müßte der B_v-Horizont damit eigentlich als B_{sv} bezeichnet werden. Der deutliche Anstieg von Al_i im IIC_v kann mit der Al-Verlagerung bei der Podsolierung zusammenhängen (zumal bereits im Stadium der oligotrophen Braunerde beträchtliche Al-Verlagerung stattfindet), kann ihre Ursachen aber auch im Anstieg des Tongehaltes im Anstehenden haben (s. Tabelle 12). Das Maximum von Fe_d im IIB_v schließlich ist ein Effekt, der durch die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials in diesem Horizont bedingt ist. Erhöhte Gehalte an Eisenoxiden in verwittertem Arieten-sandstein-Material machen sich ja bereits im optischen Erscheinungsbild durch rostbraune Farben bemerkbar. Da die Verwitterung des Arieten-sandsteins sicher wenigstens z.T. bereits vor der Solifluktion erfolgt ist, zeichnen sich die erhöhten Eisengehalte in den für kristallisierte Eisenoxid/hydroxide aussagefähigen Fe_d-Werten ab.

Was den chemischen Zustand des Bodens anbetrifft, so zeigt zunächst der pH-Wert eine Stellung im Grenzbereich Fe-Al-Austauscher-Pufferbereich (Abb. 8). Es besteht also die Gefahr von Feinwurzelschäden an den Bäumen. Die niedrigen pH-Werte sind jedoch nicht nur die Folge einer momentanen, hohen H⁺- und Al⁺⁺⁺-Konzentration in der Bodenlösung, sondern entsprechen dem schlechten Zustand der Austauscher. Wie in Abb. 8 gezeigt, sind bei geringen bis sehr geringen Adsorptionsmöglichkeiten (wenig Ton- und Humussubstanz, Belegung von Austauscherplätzen bei Tonmineralen durch Al-Hydroxo-Verbindungen) nur sehr wenig austauschbare Basen vorhanden. Nach v. ZEJSCHWITZ (1984) muß man von basenarmen bis schwach basenhaltigen Verhältnissen vor allem im Hauptwurzelraum sprechen.

Die noch in Mineralien eingebauten, mittelfristig durch die Verwitterung freisetzbaren Basenreserven, speziell K_v und Ca_v (Tabelle 13) sind auch in diesem Profil sehr gering (vergl. Richtwerte Kapitel 4.1.3 und SCHLICHTING & BLUME 1966:172). Noch wesentlich weniger weit fortgeschritten dürfte allerdings die Versauerung bei Profilen in der Nähe der Grenze zum mergeligen Lias sein, wo es zu einer seitlichen Zufuhr von Basen kommen kann. Es zeigt sich damit, daß innerhalb dieser Bodeneinheit das Säure/Basen-Verhältnis relativ stark wechselt,

Tabelle 13: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 7a (Bodeneinheit Nr. 7) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizontfolge	N _t	C _o	Humusgehalt	C/N	P _t	C/P	P _v	K _v	Ca _v	Karbonatgehalt
A _{oh}	0,15	3,62	6,22	24	0,017	213	0,012	0,003	0,004	0
Ah _e	0,04	0,78	1,34		0,025		0,014	0,004	0,004	0
B _v	0,01	0,02	0,03		0,036		0,028	0,006	0,005	0
IIB _v	0,007	0,06	0,10		0,061		0,036	0,008	0,005	0
IIIC _v	0,002	0,02	0,03		0,062		0,061	0,01	0,004	0
Gesamtmenge im Hauptwurzel- raum	≈1840				≈4700		≈3230	≈720	≈540	

was sich schließlich auch über die ELLENBERGSchen Reaktionszahlen (2 bis 6, entsprechend stark bis mäßig sauer; bestimmt von RAUM 1985:52 u.f.) nachweisen läßt.

Eine wichtige Quelle für Basen und andere Nährstoffe ist der Humus. In den A-Horizonten sind z.T. sogar recht hohe Humusgehalte festgestellt worden (Tabelle 13), doch muß man auch im vorliegenden Fall bedenken, daß die Mächtigkeit der organischen Horizonte sehr gering ist, daß also die zur Verfügung stehende Humusmenge sehr begrenzt ist. Zudem läßt die Humusform bei einem C/N-Verhältnis von 24 und einem C/P-Verhältnis von 213 keine bedeutende Mineralisierung erwarten.

Diese betrifft vor allem auch die Mobilisierung von Stickstoff, dessen Vorräte im Hauptwurzelraum im Vergleich zu den Leitprofilen 5 und 6 zwar sehr viel größer, absolut gesehen aber immer noch gering sind. Geringe Vorräte und schlechte Mobilisierbarkeit von Stickstoff würden vom Boden her zu Stickstoffmangel der Vegetation führen, wenn dieser nicht in der bereits bekannten Weise zumindest für die Kiefernbestände durch Immission kompensiert werden könnte (REIGER & BRAUN 1985). Insgesamt zeigt sich jedoch aufgrund der durchschnittlichen Stickstoffzahlen nach ELLENBERG 1979 eine z.T. recht ungenügende Versorgung der Vegetation (durchschnittliche Stickstoffzahlen zwischen 2,5 und 6, d.h. stickstoffarme bis mäßig stickstoffreiche Standorte; RAUM 1985:52 u.f.).

Sehr viel besser als die Stickstoffvorräte sind gerade in diesem Profil die für Waldvegetation so wichtigen Phosphorvorräte (Tabelle 13). So besitzt die Gesamtposphormenge im Hauptwurzelraum einen Umfang, der als mittel zu kennzeichnen ist und auch die verwitterbaren Phosphorreserven sind relativ hoch. Es bleibt allerdings das Problem, daß der organisch gebundene Anteil nur schwer durch Mineralisierung freisetzbar ist. Vermutlich ist jedoch der hohe Phosphorgehalt in erster Linie durch den hohen Eisenoxid/hydroxid-Gehalt (bevorzugte Adsorption und Bindung von Phosphat an diese Substanzen) und durch das Ausgangsmaterial der Bodenbildung (z.B. Arietensandstein) bedingt. Auf die bevorzugt anorganische Bindung des Phosphor weist vor allem der im Profil von oben nach unten zunehmende Phosphorgehalt hin (Tabelle 13). Alles in allem darf deswegen eine recht gute Phosphorversorgung am Standort des Leitprofils 7a angenommen werden.

Der für Pflanzenwachstum und Bodenleben wichtige Wasser- und Lufthaushalt läßt die Charakterzüge eines Sandbodens erkennen. Die Gesamtporositäten im Hauptwurzelraum sind relativ hoch, ebenso die Durchlässigkeiten. Der hohe Größtporenanteil (Abb. 9) bewirkt eine gute Durchlüftung, schränkt jedoch die Möglichkeiten der Speicherung von Wasser in den Mittel- und Grobporen ein. Die damit an und für sich zu erwartende Gefahr des Wassermangels kann nun aber gerade im vorliegenden Profil durch die zu anderen Leitprofilen vergleichsweise hohe effektive Durchwurzelungstiefe W_e ausgeglichen werden. Es ergeben

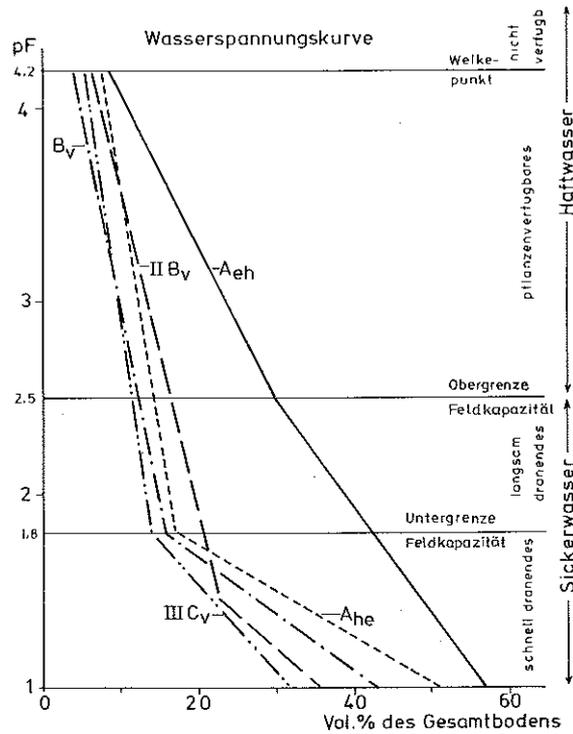
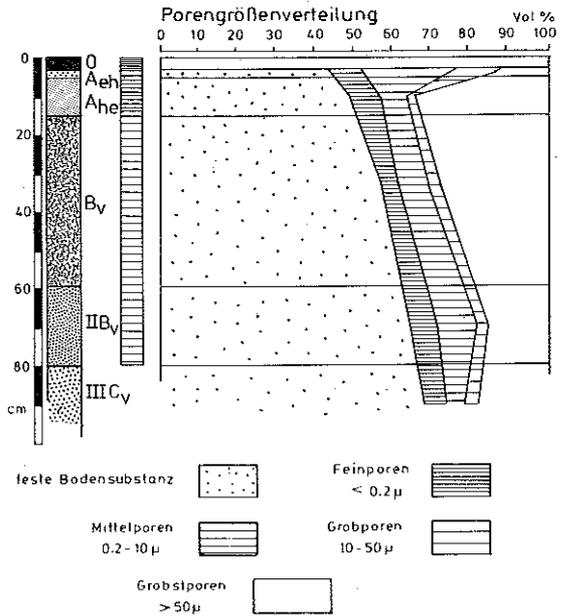


Abb. 9: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 7a (Bodeneinheit 7)

sich damit als nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes bei Berücksichtigung des Mittelporenanteils ca. 68 l/m², bei Berücksichtigung des Mittel- und Grobporenanteils 92 l/m². Das sind mittlere Wasserspeicherfähigkeiten (Bewertung nach *AG Bodenkunde* 1982:150), wie sie gerade für Braunerden typisch sind. Hinzu kommt die bereits erwähnte Möglichkeit des Zuzugs von Hangwasser vom Liashang, so daß i. allg. kein Wassermangel besteht und die oben pauschal für die gesamte Bodeneinheit anhand der Pflanzengesellschaften abgeleitete Charakterisierung als frischer bis mäßig feuchter Standort auch bei Leitprofil 7a zutreffen dürfte.

Zusammenfassend muß man anhand des vorliegenden Datenmaterials den ökologischen Zustand der podsoligen Braunerde von Leitprofil 7a recht unterschiedlich beurteilen, je nachdem welchen Faktor man in den Vordergrund stellt. Ungünstig sind die Säure/Basen-Verhältnisse; der Boden ist versauert und befindet sich im Stadium der Podsolierung. Relativ günstig sind andererseits Phosphorversorgung, Luft- und Wasserhaushalt und Durchwurzelbarkeit zu bewerten. Alles in allem handelt sich bei der Bodeneinheit Nr. 7 um nicht allzu schlechte Standorte, die durch Düngung in ihrem Zustand mit Erfolg noch verbessert werden könnten (s. auch REHFUESS 1981: 39). Die günstigen physikalischen Eigenschaften verbunden mit einer natürlichen Zufuhr von Basen aus dem Lias machen die Böden bei landwirtschaftlicher Nutzung zu guten Ackerflächen.

Bodeneinheit Nr. 8

Ranker auf Rhätsandstein in Steilstufen und anthropogen beeinflussten Gebieten.

Ranker treten recht häufig in Erosionslagen (s. Bodeneinheit Nr. 7) oder bei anthropogener Kappung von höher entwickelten Bodenprofilen auf. Als geschlossene Fläche sind sie jedoch selten, weshalb die Bodeneinheit Nr. 8 auch nur relativ geringe Verbreitung besitzt. Die Hauptvorkommen liegen in Abbaugebieten des Rhätsandsteins NW' von Kalchreuth (Forstgebiet "Heide") sowie im Bereich der Teufelsbadstube.

Die Bodenart ist entsprechend dem Auftreten auf Rhätsandstein sandig, Steingehalte sind häufig. Da der Sandstein im Verwitterungsbereich i.allg. aufgelockert ist, sind die Böden sehr gut durchwurzelbar und gut wasserdurchlässig, besitzen allerdings nur eine geringe Wasserspeicherfähigkeit. Im Prinzip müssen sie als nährstoffarme Standorte angesehen werden, es sei den, es erfolgt durch Hangwasser eine ausreichende Zufuhr von Feuchtigkeit und Nährstoffen, besonders Basen. Letzteres ist in der Teufelsbadstube gegeben, wo der Lias als Lieferant für Calcium, Kalium und Magnesium fungiert, wodurch sich eine artenreiche und anspruchsvolle Waldvegetation entwickeln konnte.

Flächenmäßig und volkswirtschaftlich unbedeutend haben diese Standorte wegen ihrer Unzugänglichkeit oft noch eine recht naturnahe Bestockung bewahrt.

Während die oberen Hangpartien, die exponierten Nasen und Rippen vom Fago-Quercetum eingenommen werden, wachsen am Mittel- und Unterhang der kleinen luftfeuchten, durch häufige Inversionen stark spätfrostgefährdeten Rhät-schluchten natürliche Buchen-Tannen-Fichten-Mischbestände (Luzulo-Fagetum piceetosum) mit zahlreichen, im Reichswaldgebiet seltenen, montanen Pflanzenarten (z. B. "Stettenberger Schlucht"). Bei kolluvialer Überrollung mit basenreichem Liasmaterial finden sich wüchsige Edellaubholz-Buchenwälder (Melico-Fagetum mit Bergahorn, Bergulme, Esche u.a.) z. B. in der "Teufelsbadstube".

Bodeneinheit Nr. 9

Pseudogley mit flacher bis mittlerer Lage der Staunässesole auf Rhättonen auf Verebnungen innerhalb und am Fuß der Rhätolias-Stufe (schluffiger Sand bis lehmiger Sand oder schwach lehmiger Sand (20-60 cm) über tonigem Sand bis sandigem Ton).

Wo innerhalb des Rhätolias Tonlagen nahe an der Geländeoberfläche liegen oder direkt an der Oberfläche anstehen, kann es zur Pseudovergleyung kommen. Dies ist besonders auf Verebnungen und in kleinen morphologischen Mulden der Rhätolias-Stufe der Fall. An flachen Hängen und am Rand größerer Mulden, in denen sich sogar Gleye ausbilden konnten, geht die Entwicklung der Stauwasserböden auf den Einfluß von Hangstauwasser zurück. Obwohl diese Pseudogleye der Bodeneinheit Nr. 9 relativ häufig zu finden sind, ist doch die geschlossene, kartierbare Verbreitung i.allg. relativ gering.

Die Böden liegen in der Regel unter Kiefernforsten. Die sich aus der Artenzusammensetzung der Pflanzengesellschaften (RAUM 1985) ergebenden Hinweise auf den ökologischen Zustand der Standorte zeigen saure, frische bis feuchte Verhältnisse sowie eine nur mäßige Stickstoffversorgung an (durchschnittliche ELLENBERGSCHE Kennzahlen: F: 5,5-6,5, R: 2,5-3, N: 3,5).

Die Pseudogleye sind i.allg. primäre Pseudogleye mit einem Zweischichten-Aufbau. Sie sind deshalb in wesentlichen ökologischen Merkmalen und Eigenschaften mit der Bodeneinheit Nr. 5 vergleichbar. Von dort können auch entsprechende Kenndaten zu physikalischen und chemischen Charakterzügen übertragen werden.

Bei diesem Zweischichtenaufbau überlagern 20cm bis 60cm mächtige sandige Deckschichten aus verwittertem und z.T. mit Flugsand vermischem Rhät-sandstein-Material Ton- und Lettenlagen. Der Profilaufbau in diesen Fällen in der Regel $A_h-S_{ew}-IIS_d$. Der bräunlichgraue bis hellgraue S_{ew} ist oben häufig deutlich bis stark gebleicht, im unteren Teil eisenfleckig, z.T. auch von Eisen- und Mangankonkretionen durchsetzt. Die Tone des S_d sind gelblichbraun bis rotbraun gefärbt und durch die Pseudovergleyung vielfach marmoriert. Der Übergang vom Stauwasserleiter zur Stauwassersole erfolgt allmählich, bildet also keine scharfe Grenze. Vor allem im tieferen Teil des Stauwasserleiters ist der Boden im Jahresablauf langfristig durchfeuchtet und zeigt mittleren bis starken Stauwassereinfluß (Staunässestufe S3 bis S4, AG *Bodenkunde* 1982).

Der Humuskörper weist Moder bis Rohhumusform auf und besitzt eine organische Auflage, die durch die verbreitete Streunutzung eine Dicke von nur ca. 5 cm aufweist. Auch der A_h -Horizont ist i.allg. nur wenige Zentimeter mächtig.

Neben dieser hauptsächlich vertretenen Bodenform bestehen innerhalb der Bodeneinheit Nr. 9 einerseits in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der sandigen Deckschichten Übergänge zu Pelosol-Pseudogleyen (< 30 cm Deckschicht) und zu pseudovergleyten Pelosolen (< 15 cm Deckschicht). Andererseits kann man bei deutlicher Bleichung im A_h -Bereich z.T. von podsoligen Pseudogleyen sprechen. Schließlich findet man im Grenzbereich zur Bodeneinheit Nr. 8 Pseudogley-Braunerden.

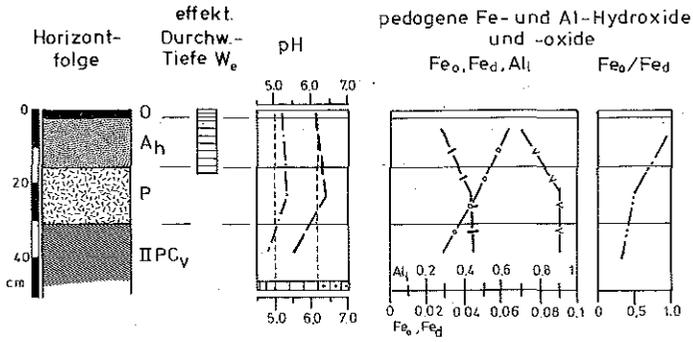
Hinsichtlich der potentiellen natürlichen Vegetation vergleiche Bodeneinheit Nr. 5.

Bodeneinheit Nr. 10

Pelosol, pseudovergleyter Pelosol und Pelosol-Braunerde auf kalkfreien bis kalkarmen Liastonen (Lias Beta, Lias Delta) unter Beteiligung schluffiger Deckschichten (bis 30 cm) mit mittlerer, z.T. großer Entwicklungstiefe an Hängen und auf Verebnungen des Lias (schluffiger Ton).

Diese Bodeneinheit besitzt sehr großflächige Verbreitung, allerdings hauptsächlich in landwirtschaftlich genutzten Bereichen. Nur kleine Anteile sind von Wald bedeckt. Die Art der landwirtschaftlichen Nutzung hängt sehr stark von der Beteiligung der (sandig)-schluffigen Deckschichten am Aufbau der Böden ab. Sind diese Decken, die aus solifluidal verlagertem Lias-Material vermischt mit Löß- und Flugsandanteilen hervorgegangen sind, geringmächtig, so sind die insgesamt schweren Böden schlecht durchwurzelbar und eignen sich lediglich für Grünland. Sie werden in Feuchtigkeitsperioden dicht und schmierig, in Trockenphasen hart und kaum bearbeitbar. Mächtigere Deckschichtenaufgaben bewirken ein lockereres, kleinstückiges Polyeder, Subpolyeder oder gar Krümelgefüge (wenigstens in der obersten Bodenschicht) und sind \pm gut durchwurzel- und bearbeitbar. Luft- und Wasserhaushalt sind relativ günstig und lassen zusammen mit den günstigen Speichermöglichkeiten für Nährstoffe (Tonreichtum!) lohnenden Ackerbau zu.

Die sowohl für die Nutzung als auch für die Bodenentwicklung entscheidende Mächtigkeit der Deckschichten variiert vor allem in Abhängigkeit der Kleinrelief-Situation. Ihr Material ist in erster Linie in Mulden angesammelt worden und dort auch am mächtigsten erhalten geblieben. Während die Deckschichten normalerweise unter oder um 30 cm dick sind, werden sie in den Geländevertiefungen deutlich über 30 cm mächtig. Damit bildeten sich dort Pelosol-Braunerden mit einem A_h - B_v -IIP-IIC_v-Profil aus. Diese findet man natürlich auch im Übergangsbereich zu den geschlossenen Braunerdearealen auf Deckschichten über Lias der Bodeneinheit Nr. 20. Bei den Pelosol-Braunerden findet man im Grenzbereich zwischen Deckschichten und Liastonen häufig Pseudover-



Legende

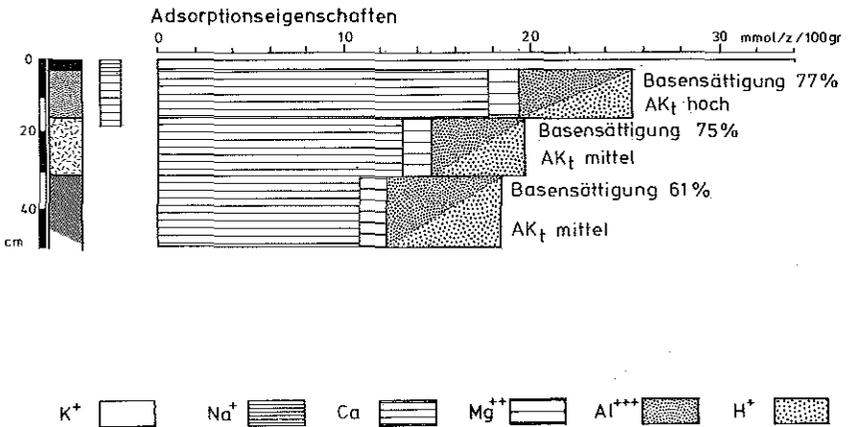
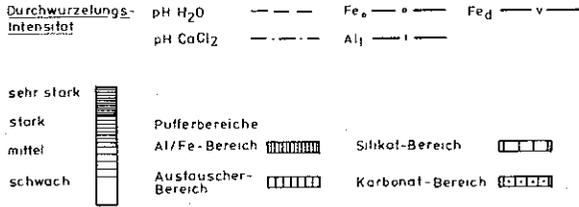


Abb. 10: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 10 (Bodeneinheit Nr. 10)

gleyungserscheinungen mit kleinen Konkretionen (im Stauwasserleiter) und Marmorierung (in der Stauwassersohle)(z.B. N' Kalchreuth in den Klee- und Rohrwiesen; EBERLEIN 1985).

Im Bereich konvexer Liashänge sind die Deckschichten geringmächtig; es treten Pelosole hervor, die eine Horizontfolge A_h -P-IIC_v oder A_h -P-C_v aufweisen.

Bei landwirtschaftlicher Nutzung zeigen alle Bodenformen der Einheit Nr. 10 nur geringe (Ackerland) bis mittlere (Grünland) Humusgehalte. Bei Grünland und Wald entspricht der Charakter der Humusform i.allg. Mull oder mullartigem Moder. Die organischen Horizonte sind allerdings geringmächtig (10-15 cm) und erreichen nur durch Pflügen als A_p ca. 20 cm.

Höhere Niederschläge im Bereich der Bodeneinheit Nr. 10 bilden zusammen mit den basenreichen, lockeren und gut durchwurzelbaren frischen Pelosol-Braunerden die Voraussetzung für ein gutes Gedeihen der Buche. Der Perlgras-Buchenwald (Melico-Fagetum) stellt hier die potentielle natürliche Vegetation dar. Der führenden Buche mischen sich in dieser submontanen Höhenstufe Traubeneiche, Hainbuche, Winterlinde und zahlreiche andere Laubbaumarten einzelstammweise bei; in kleinen Restwäldchen ist diese Gesellschaft auch noch in realen Beständen auf dem Kalchreuther Höhenzug erhalten geblieben, öfters freilich mit einem durch Mittelwaldbetrieb überhöhten Bestand an Eiche, Hainbuche und Winterlinde. Bei gering mächtiger bis fehlender Deckschicht entwickelten sich Pelosole mit unausgeglichener Luft- und Wasserhaushalt, die für die Buche ungünstig sind. Hier handelt es sich wahrscheinlich um potentiell natürliche Standorte eines Stieleichen-Hainbuchenwaldes (Galio-Carpinetum) mit Winterlinde. Innerhalb beider Gesellschaften ist nach HOLZAPFEL (1960) mit einer Beteiligung der Tanne zu rechnen.

Obwohl sich die Thematik dieser Publikation primär mit der Beschaffenheit der Waldböden im Raum Kalchreuth befaßt, sei es doch erlaubt, der Vollständigkeit halber auch die chemischen und physikalischen Charakterzüge einiger überwiegend landwirtschaftlich genutzter Bodeneinheiten zu dokumentieren. Dies soll zunächst für die Bodeneinheit Nr. 10 mit dem zugehörigen Leitprofil 10 (Pelosol) geschehen, das wenige 100 m S' des Ortsrandes von Kalchreuth aufgenommen wurde (R⁴⁴ 36960, H⁵⁴ 90800) und das sich unter Grünlandvegetation entwickelt hat.

Wesentliche, in der Profilgrube direkt erkennbare Merkmale sind auf dem Schema der Abb. 10 sowie in Tabelle 14 zusammengefaßt. Es ist aus diesen Darstellung sofort zu erkennen, daß ein Boden mit einem recht geringmächtigen Solum und einer effektiven Durchwurzelungstiefe von nur knapp 20 cm vorliegt. Solche Kennzeichen sind zwar einerseits typisch für solche Pelosole, sind aber sicher auch durch die topographische Lage des Leitprofils in Kuppenposition und der damit verbundenen Beeinflussung durch die Erosion bedingt. Das Profil zeigt

Tabelle 14: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 10 (Bodeneinheit Nr. 10)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O		mullartiger Moder bis Mull							
A _h	10YR 3/4 dunkelbraun	Krümelfefüge	38	34	26	2	tL	g'	0,88
P	10YR 5/4 matt-gelb- lich braun	Subpolyeder bis Polyeder	45	35	17	3	IT	g'	1,38
IIPC _v	2,5YR 7/8 gelb	Polyeder	56	43	1	0	IT	g'	1,92

schwache Pseudovergleichungsmerkmale im P-Horizont in Form von Eisen- und Mangan-Oxid/Hydroxid-Flecken.

Im A_h - und P-Horizont findet man nun bei Betrachtung der Korngrößenverteilungskurven (NEUBAUER 1985, hier nicht wiedergegeben) eine ähnliche Erscheinung wie bei den Feuerletten-Pelosolen des Leitprofils 4a (s. oben): es sind zwei Maxima entwickelt; im Leitprofil 10 liegt das eine im Feinsand-, das andere im Tonbereich. Damit ist auch in diesem Fall eine Beteiligung von äolischen Decksedimenten am Ausgangsmaterial des Solums und vermutlich auch eine solifluktuative Vermischung mit Lias-Material zu vermuten. Im IIC_v verliert sich das Feinsand-Maximum, wir befinden uns also im verwitterten, aber anstehenden Lias.

Die Verteilung der pedogenen Eisen- und Aluminiumoxide/hydroxide (Abb. 10) läßt durch die Zunahme des Fe_o -Werts zur Tiefe vor allem Verbraunung erkennen. Eine schwache Tonverlagerung in den P-Horizont zeichnet sich durch die Zunahme der Al_1 - und Fe_d -Werte vom Ober- zum Unterboden ab, ist aber in den Korngrößenverhältnissen (Tabelle 14) nicht zu erkennen. Die Absolutwerte des Fe_o/Fe_d -Verhältnisses liegen beim Leitprofil 10 für Pelosole, die Braunerden nahestehen, ziemlich hoch. Dies wird als Hinweis auf eine recht intensive, aktuelle Silikatverwitterung angesehen.

Diese letztgenannte Schlußfolgerung läßt sich auch aus den pH-Werten (Abb. 10) ableiten. Der Boden befindet sich im Silikat-Pufferbereich. Damit sind auch recht günstige Bedingungen für das Bodenleben und Wurzelwachstum vorgegeben. Die leichte Abnahme des pH-Wertes zum Unterboden ist auf den Einfluß von Düngung und Kalkung (vgl. Tabelle 15, Karbonatgehalt) zurückzuführen und steht im Gegensatz zur pH-Charakteristik eines Pelosols unter Waldvegetation wie etwa des in vielem vergleichbaren Pelosols auf Feuerletten (Leitprofil 4a).

Adsorptionsfähigkeit und Basensättigung des Lias-Pelosols sind recht günstig und bestätigen das durch den pH-Wert vorgeprägte Bild. Auch die Düngung zeichnet sich in der von oben nach unten abnehmenden Basensättigung ab. Das Diagramm der Abb. 10 unten zeigt allerdings sofort, daß die Ionenbeläge kaum Kalium enthalten, daß also Kaliummangel besteht. Dies kann z.T. in Verbindung gebracht werden mit der nach unten abnehmenden Adsorptionsfähigkeit, die natürlich auch vom Humusgehalt mitbestimmt wird (vgl. Tabelle 15). Wahrscheinlich sind die in Lias-Material vorherrschenden Illite im oberen Teil des Profils durch die Verwitterung aufgeweitet, wodurch zwar die Adsorptionsfähigkeit erhöht, gleichzeitig ab auch ein großer Teil des Kalium-Gehaltes abgeführt wird.

Die Adsorptionsverhältnisse sind damit ganz anders als bei dem immer wieder zum Vergleich heranzuziehenden Feuerletten-Pelosol des Leitprofils 4a. Dort nimmt die Adsorptionsfähigkeit nach unten zu. Dies kann wiederum in der Weise interpretiert werden, daß durch die fortgeschrittene Versauerung im Oberboden (Aluminium- bis Austauscher-Pufferbereich) die Tonminerale in starkem Maße

Tabelle 15: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 10 (Bodeneinheit Nr. 10) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizontfolge	N _t	C _o	Humusgehalt	C/N	P _t	C/P	Karbonatgehalt
A _h	0,2	2,67	4,6	9,5	0,02	134	0,2
P	0,07	0,70	1,2		0,01		0,1
C _v	0,05	0,41	0,7		0,008		0
Gesamtmenge im Hauptwurzel- raum	≈2800				≈300		
Gesamt- menge bis 1 m Tiefe	≈9000				≈1300		

mit Al-Hydroxo-Ionen belastet sind, die einen großen Teil der Adsorptionsplätze besetzen.

Der Humusgehalt des Bodens, der sich vor allem auf den A_n -Horizont konzentriert, ist mittelmäßig (mäßig humos nach *AG Bodenkunde* 1982), ebenso der Stickstoffvorrat. Da Mull-Humusform vorliegt (Tabelle 15) sind günstige Mobilisierungsmöglichkeiten für Stickstoff gegeben; die Stickstoffversorgung ist also insgesamt zufriedenstellend (beurteilt nach den Kriterien für Ackerböden). Eine Mangelsituation zeichnet sich dagegen bei Phosphor ab (Tabelle 15). Hierfür sind bei guter Mobilisierbarkeit (bei einem C/P-Verhältnis von <200 ist von einer guten Phosphoranlieferung aus dem Humuskörper auszugehen, s. SCHLICHTING & BLUME 1966:172) vor allem die extrem geringen Gesamtvorräte verantwortlich.

Wie oben bereits erwähnt, ist die effektive Durchwurzelungstiefe im Bereich des Leitprofils 10 sehr gering. Dies hängt einmal natürlich mit der seicht wurzelnden Grasvegetation, aber auch mit dem Bodengefüge zusammen. So zeigt die Abb. 11 oben einen nach unten rasch abnehmenden Gröbstporen-, aber auch Grobporenanteil. Das Bodenmaterial sondert im Oberboden in lockeren Krümeln oder Subpolyedern, im Unterboden in dicht gelagerten, von Feinwurzeln kaum durchdringbaren Polyedern ab. Die vorherrschende Nutzbarkeit als Grünland mit geringem Wurzelteufgang ist also vom Boden vorgezeichnet.

Nicht unbedingt positive Konsequenzen ergeben sich schließlich aus dem Gefüge und aus der Porengrößenverteilung auch für Wasser- und Lufthaushalt. Trotz sehr hohen Porenvolumens ist nur ein geringer Teil des gespeicherten Wassers pflanzenverfügbar (nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums $nFKW_e$ ca. 34 l/m^2 , einschließlich Grobporen). Der geringe Gröbstporenanteil bewirkt eine ungünstige Durchlüftung. Verstärkt wird dieser Mangel durch periodischen, wenn auch infolge der Reliefposition nur kurzfristig wirksamen Wasserstau (Gröbstporen verschwinden praktisch im $IIPC_v$). Zieht man allerdings zum Vergleich nochmals den Feuerletten-Pelosol des Leitprofils 4a heran, so zeigt der Lias-Boden vor allem in Hinblick auf den Anteil an größeren Poren ein günstigeres Bild.

Die ökologische Gesamtbewertung der Tonböden auf karbonatarmen bis -freiem Lias zeigt gut adsorptionsfähige und mit Basen (außer Kalium) gut versorgte Böden, die allerdings nur bei Düngung einen für Bodenleben und Wurzelwachstum optimalen pH-Wert aufweisen. Unter nicht gedüngten Verhältnissen sind infolge des geringen Karbonatgehalts des Ausgangsmaterials Bedingungen des Austauscher-Pufferbereiches zu erwarten. Hinsichtlich der Phosphatversorgung besteht eine Mangelsituation. Der in der Regel für die Vegetation günstige Zustand des Bodens ist allerdings auf wenige 10er Zentimeter des Oberbodens beschränkt, da der Luft- und Wasserhaushalt zur Tiefe zu schnell für das Wurzelwachstum ungünstige Züge annimmt.

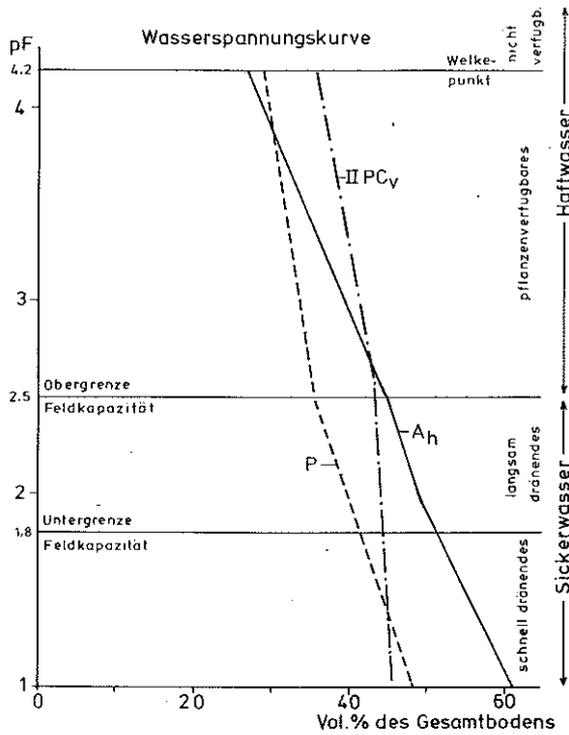
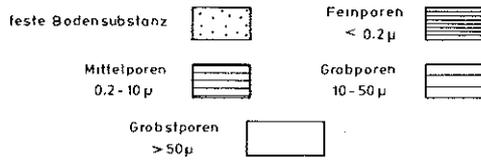
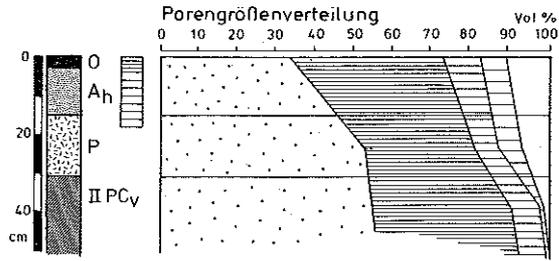


Abb. 11: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 10 (Bodeneinheit 10).

Bodeneinheit Nr. 11

Kalkhaltiger Pelosol, pseudovergleyter Kalkhaltiger Pelosol und Pelosol-Braunerde auf kalkreichen Liastonen (Lias Gamma, Epsilon, Zeta) unter Beteiligung schluffiger Deckschichten (bis 3dm) mit mittlerer, z.T. großer Entwicklungstiefe auf Hängen und Verebnungen des Lias (toniger Schluff).

Auch diese Bodeneinheit umfaßt wieder in erster Linie Pelosole auf tonigem Lias. Im Unterschied zur Einheit Nr. 10 besitzt das Ausgangsgestein nunmehr aber einen sehr hohen Karbonatgehalt (s. Tabelle 17). Häufig werden die typisch gelbbraun gefärbten Böden von zentimeter- bis dezimeter-großen Kalkplatten durchsetzt, die Fossilreste enthalten können. Die Karbonatgehalte des Ausgangsmaterials machen sich i.allg. sogar noch in den A_n - bzw. A_p -Horizonten bemerkbar.

Schluffige Deckschichten aus Solifluktionsmaterial mit Beteiligung von äolischen Ablagerungen und Mächtigkeiten bis zu 30cm bedingen auch im Fall der Bodeneinheit Nr. 11 Übergänge in Braunerde (Pelosol-Braunerde). Einzelheiten über den Charakter und Auftreten der Deckschichten und ihren Einfluß auf die landwirtschaftliche Nutzung wurden bereits bei Bodeneinheit Nr. 10 ausgeführt.

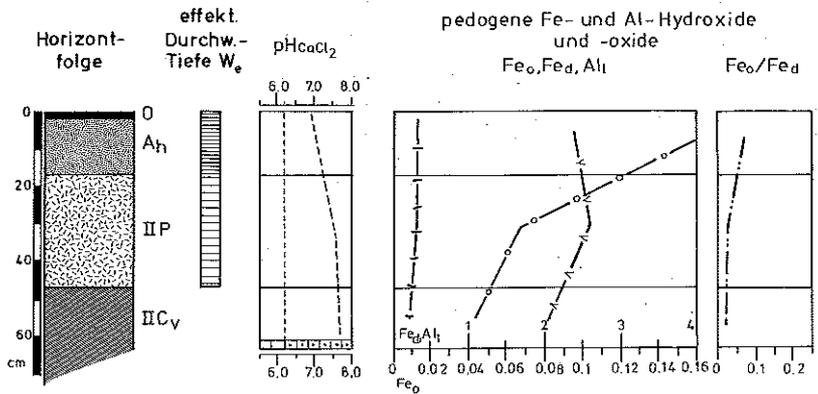
Auch die Horizont-Abfolgen entsprechen im Prinzip denen des Leitprofils Nr. 10. Schwacher Stauwassereinfluß kann vor allem in Mulden anhand von Mangan- und Eisenflecken beobachtet werden.

Die hier behandelte Einheit ist an den flachen Anstiegen des Lias Gamma und Epsilon verbreitet und zu etwa 50% von Wald bedeckt; die andere Hälfte wird landwirtschaftlich genutzt (Äcker, Wiesen Obstgärten). Wie unten noch gezeigt wird, ist das Gefüge infolge des hohen Kalkgehaltes für Tonböden relativ locker und das Solum damit recht gut und tief durchwurzelbar.

In Hinsicht auf die potentielle natürliche Vegetation vergleiche die Ausführungen bei Bodeneinheit Nr. 10. Teilweise würde aber das Melico-Fagetum vom anspruchsvolleren Lathyro-Fagetum (Kalk-Buchenwald) ersetzt werden, wie man es in einigen kleineren Restbeständen auf dem Kalchreuther Höhenzug noch beobachten kann (meist mit anthropogen erhöhtem Eichen-, Hainbuchen- und Winterlindenanteil). Der aufgrund der positiven Wirkung der Ca^{++} -Ionen auf den Luft- und Wasserhaushalt für die Buche günstigere Tonboden würde wahrscheinlich dem Lathyro-Fagetum ein Gedeihen auch auf den Pelosolen ermöglichen, das damit für den gesamten Bereich der Bodeneinheit 11 als potentielle natürliche Vegetation anzusehen wäre.

Im Sinne der forstlichen Standorterkundung (Forstamt Nürnberg 1981) kann man von mäßig frischen Tonböden sprechen, für die eine Bestockung aus führender Buche mit Lärche, eventuell Bergahorn und Bergulme vorgeschlagen wird. Auf einen ausreichenden Bestand an tiefwurzelnder Stieleiche ist dabei aus Drainage- und Bodenaufschlußgründen unbedingt zu achten.

Das Leitprofil zur Bodeneinheit Nr. 11 (Kalkhaltiger Pelosol auf Lias Gamma) wurde südwestlich Kalchreuth, 1,4 km nordöstlich der Wolfsmarter aufgegeben (R⁴⁴ 36260, H⁵⁴ 90300). Die Horizontfolge ist der Abb. 12 oben sowie



Legende

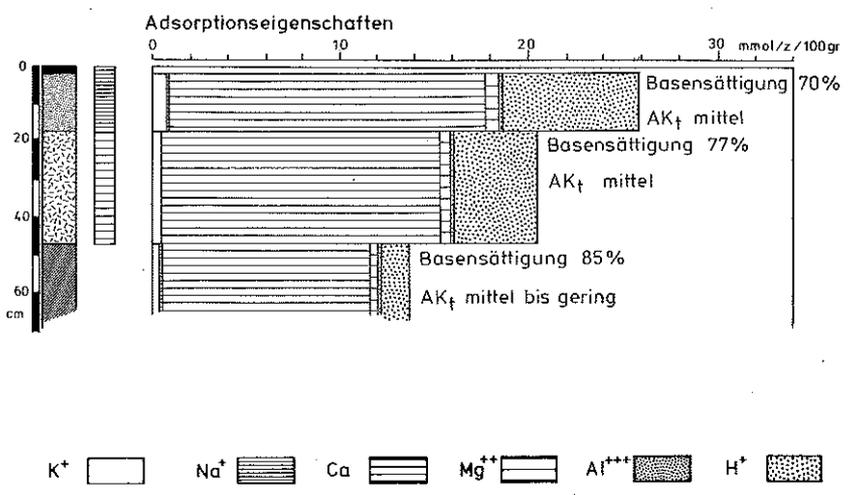
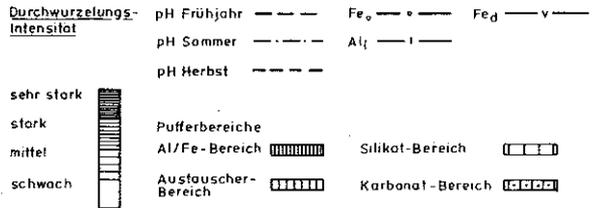


Abb. 12: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 11 (Bodeneinheit Nr. 11).

Tabelle 16: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 11 (Bodeneinheit Nr. 11)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O	2,5Y 2/1 schwarz	mullartiger Moder							
A _h	2,5Y 3/2 braun- schwarz	Krümelgefüge bis Subpolyeder	40	40	19	1	tL	g''	1,02
IIP(1)	2,5Y 3/3 dunkel- olivbraun	Subpolyeder bis Polyeder	37	50	8	5	utL	g'	1,38
IIP(2)	2,5Y 3/3 dunkel- olivbraun	Subpolyeder bis Polyeder	33	49	15	3	utL	g'	1,40
IIC _v	2,5Y 5/4 dunkel- rotbraun	Subpolyeder bis Polyeder	18	52	28	2	uL	g'	1,37

der Tabelle 16 zu entnehmen. Da im Bereich des IIP-Horizonts in zwei verschiedenen Tiefen Proben entnommen wurden, ist in der Tabelle 16 ein IIP(1)- und ein IIP(2)-Niveau unterschieden worden. Die Vegetation ist ein Buchen-Kiefer-Mischbestand. Auffällig ist die für Tonböden außergewöhnlich hohe effektive Durchwurzelungstiefe.

Die Korngrößenverteilungen der einzelnen Horizonte (NEUBAUER 1985) lassen im A_n wiederum zwei Maxima erkennen, eines im Mittelsand- und ein zweites im Feinschluffbereich. Das erstere verschwindet bereits im IIP-Horizont, weshalb als Ausgangsmaterial des A_n Deckschichten angenommen werden. Die relativ hohen Anteile an Sand und Bodenskelett im Unterboden (IIP und IIC) ist durch gröbere Kalkkomponenten bedingt.

Die Charakteristiken der pedogenen Eisen- und Aluminium-Oxide und -Hydroxide (Abb. 12) lassen im Prinzip Parallelen zu den entsprechenden Verhältnissen des Pelosols von Leitprofil 10 erkennen. Verbraunung ist das vorherrschende Merkmal, Tonverlagerung ist allerdings nicht mehr feststellbar und bei dem hohen Anteil an koagulierend wirkenden Calcium-Ionen auch nicht zu erwarten. Die niedrigen Fe_o/Fe_d -Werte zeigen, daß die Verbraunung nur relativ langsam fortschreitet, was angesichts des hohen pH-Wertes ebenfalls nicht überrascht.

Abb. 12 dokumentiert ja recht deutlich, daß sich der Boden bis zum Ausgangsgestein im Karbonat-Pufferbereich bewegt. Das sind für einen Waldboden sehr selten anzutreffende Säure/Basen-Verhältnisse, die jedoch optimales Bodenleben und Wurzelwachstum ermöglichen. Angesichts des hohen pH-Wertes würde man eine Basensättigung von nahezu 100% für wahrscheinlich erachten. Tatsächlich ist die Basensättigung gegenüber dem Pelosol auf kalkarmem Lias zwar etwas erhöht (vgl. Abb. 10 und Abb. 12), im Prinzip aber in der gleichen Größenordnung (nach v. ZEJSCHWITZ 1984: "stärker basenhaltig"). Der höhere pH-Wert des Leitprofils 11 ist offensichtlich durch die in den Boden eingelagerten kleinen Kalkkörner bedingt, die durch Anlösung H^+ -Ionen abpuffern. Die Zunahme des pH-Wertes vom Oberboden zum Unterboden bei Leitprofil 11 entspricht übrigens den in Waldböden üblichen Tendenzen und verhält sich invers zur Tiefenvariation des pH-Wertes in dem landwirtschaftlich genutzten Profil des Leitprofils 10 (Einfluß der Düngung!).

Unter den adsorbierten Basen herrscht im Profil der Abb. 12 Ca^{++} vor. Das konnte auch bei Leitprofil 10 festgestellt werden. Vergleicht man aber die Basenbeläge weiter (Abb. 10, Abb. 12), so erkennt man bei dem kalkhaltigen Pelosol eine relativ geringe Magnesium-Sättigung, die einer Mangelsituation schon sehr nahe kommt. In dieser Hinsicht ist der Boden also trotz seines recht guten Gesamtzustandes unterversorgt.

Besser ist es allerdings wieder um die Stickstoffversorgung bestellt (Tabelle 17). Die Gehalte sind zwar in den einzelnen Horizonten nach den Richtwerten

des Kapitels 4.1.3 eher ungünstig, aufsummiert über den Hauptwurzelraum existieren jedoch mittlere Vorratsmengen. Diese sind sicher hinreichend gut mobilisierbar, wie sich aus der mullartigen Moder-Humusform ableiten läßt (s. Tabelle 17, C/N- und C/P-Verhältnis). Damit ist also ein reichhaltiges Bodenleben anzunehmen, das allenfalls durch die Phosphorversorgung etwas beeinträchtigt wird.

Tabelle 17: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 11 (Bodeneinheit Nr. 11) (Elementgehalte in Gew%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizont- folge	N _t	C _o	Humus- gehalt	C/N	P _t	C/P	P _v	Karbonat- gehalt
A _h	0,19	3,31	5,69	17	0,035	89	0,016	0,4
IIP	0,09	0,91	1,57		0,023			34
IIC	0,05	0,51	0,88		0,026			55
Gesamt- menge im Hauptwur- zelraum	=7600				=1750			

Bei Phosphor trifft man nämlich wieder eine Mangelsituation an. Sowohl die Gehalte an P_t und P_v in den Horizonten wie auch die Vorräte im Hauptwurzelraum (Tabelle 17) sind gering bis sehr gering. Der Baumbestand dürfte allerdings durch die schlechte Phosphorversorgung wenig beeinträchtigt sein (KRAUS 1984).

Wenn wir das Bild des ökologischen Zustandes des kalkhaltigen Pelosols auf Lias noch abrunden und die physikalischen Kennzeichen näher betrachten (Abb. 13), so erkennen wir zunächst zwar wieder den hohen Feinporenanteil an der großen Gesamtporosität, doch sind die auf Abb. 13 oben dargestellten Kennwerte im Vergleich etwa zum Leitprofil 10 oder gar zum Feuerletten-Pelosol des Leitprofils 4a doch um einiges günstiger. Vor allem ist der für die Speicherung des pflanzenverfügbaren Haftwassers entscheidende Mittel- und Grobporenanteil mehr als doppelt so groß wie bei dem kalkfreien Lias-Pelosol (nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums nFKWe ca. 87 l/m²). Hinzu kommt noch ein für Tonböden relativ hoher Gröbstporenanteil, der zumindest für eine mäßige Durchlüftung sorgt. Relativ gering ist schließlich auch die Gefahr reduzierender Bedingungen durch Stauwassereinfluß, da die Gröbstporen bis in das Ausgangsgestein hinab in merklichem Umfang vorhanden sind.

Man kann damit dem Boden des Leitprofils 11 eine recht positive Bewertung zuteil werden lassen. Luft- und Wasserhaushalt sind für einen Tonboden optimal. Die für die Tonkolloide koagulierende Wirkung des Calcium schafft stabile, lok-

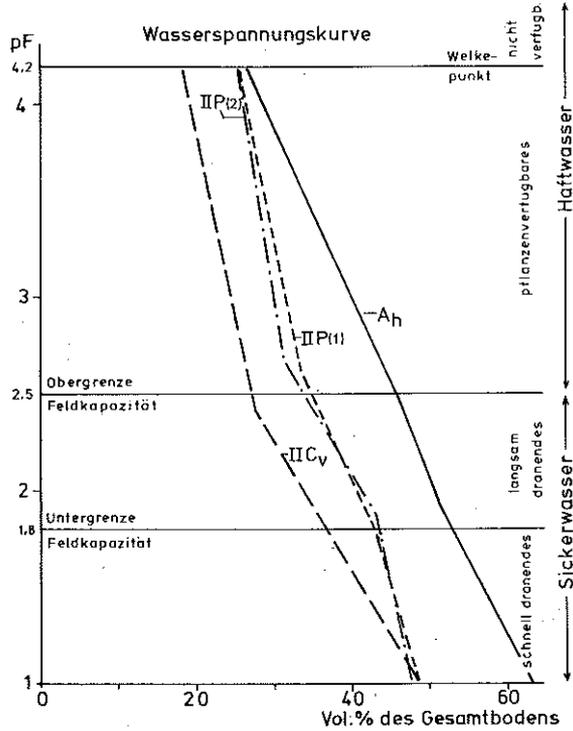
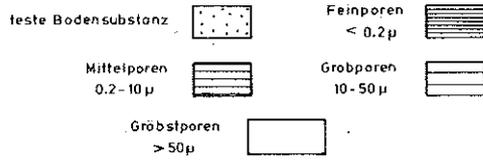
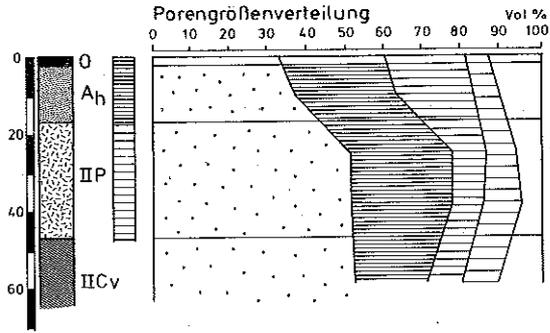


Abb. 13: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil II (Bodeneinheit II).

kere Gefüge, so daß der Boden verhältnismäßig tief durchwurzelt werden kann. Bei mittlerer Adsorptionsfähigkeit ist die Versorgung mit austauschbaren Basen hinreichend gut, wenn man von den geringen Magnesiumgehalten absieht. Ob dieser Mangel für die SW' von Kalchreuth auf solchen Standorten auftretenden Schäden an Buchen mitverantwortlich ist, läßt sich bisher nicht eindeutig beweisen, muß aber in Erwägung gezogen werden. Der Humusgehalt (A_h ; stark humos) ist mittel bis hoch, die organische Substanz nach den Kenndaten des Stickstoffhaushaltes gut mineralisierbar, wengleich die Phosphatarmut das Mikroorganismenleben negativ beeinflussen dürfte.

Bodeneinheit Nr. 12

Pseudogley bis Pelosol-Pseudogley mit flacher Lage der Staunässesole auf Lias-tonen unter Beteiligung schluffiger Deckschichten (bis ca 40 cm, z.T. bis 50 cm) (sandiger Lehm bis Lehm (15 - 30 cm) über sandigem Ton bis Ton).

Diese Bodeneinheit ist nach dem bodenartlichen und geologischen Aufbau der Profile an die Bodeneinheiten Nr. 10 und 11 anzuschließen. Schluffige, feinsandige und lehmige Deckschichten aus Lias-Solifluktuionsmaterial vermischt mit äolischen Anteilen bedecken die verwitterten Liastone. Das Auftreten ist innerhalb der Liasflächen reliefabhängig und vorherrschend an Verebnungen und Mulden gebunden. Fast regelmäßig ist die Bodeneinheit entlang des konkaven Hangknicks zwischen der Schichtoberfläche des Lias Gamma und dem leichten Anstieg zum Lias Delta anzutreffen, was auf den periodisch starken Hangwasserzufluß zurückzuführen ist. Genutzt werden die Böden z.T. landwirtschaftlich (als Grünland), z.T. forstwirtschaftlich.

Die Profile zeigen im wesentlichen eine A_h - S_w - IIS_d -Abfolge und sind je nach Mächtigkeit der Deckschichten den Pseudogleyen oder Pelosol-Pseudogleyen zuzuordnen (s. *AG Bodenkunde* 1982). Pelosol-Pseudogleye überwiegen insgesamt. Die A_h -Zonen sind bei forstwirtschaftlicher Nutzung mäßig bis stark humos. Die Humusform ist Moder bis Rohhumus. In den S_w -Horizonten sind gelegentlich schwache Verbraunungserscheinungen erkennbar. Der tiefere Teil der S_w -Horizonte ist i. allg. von zahlreichen Eisen-Mangan-Konkretionen in Millimetergröße durchsetzt.

Die Dauer der Vernässungsphasen ist recht unterschiedlich und hängt außer von den oben genannten Reliefkriterien von der Hanglage (Oberhang, Mittelhang oder Unterhang), der Deckschichtenmächtigkeit (je mächtiger die Deckschichten, desto langanhaltender sind die Naßphasen) und der Lage im Bereich von Quellhorizonten ab. Überwiegend sind die Bodenformen dieser Einheit jedoch als mittel staunaß zu klassifizieren (Staunässestufe S3 nach *AG Bodenkunde* 1982).

Die pH-Werte liegen in Waldbereichen um 5, sind also mäßig sauer und zeigen den Austauschpufferbereich an. Die Zufuhr von Basen durch Hangwasser aus dem Lias hält die Böden in einem ökologisch noch akzeptablen Säure-Basen-Zustand.

Auf diesen Pseudogleyen mit ihrem aufgrund der Reliefposition unausgeglichene Luft- und Wasserhaushalt stellt der Stieleichen-Hainbuchenwald (Galio-Carpinetum) mit Winterlinde und wenig Buche die potentielle natürliche Vegetation dar.

Für die forstwirtschaftliche Nutzung müssen die Böden den wechselfeuchten Tonstandorten (*Forstamt Nürnberg* 1981) zugerechnet werden, deren Bestockung mit Stieleiche, Hainbuche und Winterlinde den Bodenverhältnissen am besten angepaßt wäre.

4.2.4 Böden aus Deckschichten, hervorgegangen aus Gesteinen des Untergrunds

Bodeneinheit Nr. 13

Braunerde, meist pseudovergleyt auf sandigem Rhätschutt über Feuerletten mit mittlerer Entwicklungstiefe am Fuß der Rhätolias-Stufe (schluffiger Sand bis lehmiger Sand oder Schluff über tonigem Sand bis sandigem Ton).

Diese relativ wenig verbreitete Bodenform besitzt wie alle Böden dieses Kapitels naturgemäß einen Zweischichtencharakter. Man findet sie am Fuß des morphologischen Anstiegs vom Feuerletten zu den sandigen Sedimenten des Rhätolias bei relativ geringer Vernässung. Da die Grenze Rhätolias/Feuerletten einen Quellhorizont darstellt, tritt diese Situation eines nur begrenzten Stauwassereinflusses vergleichsweise selten auf. Fließende Übergänge bestehen zur vorherrschenden Bodeneinheit dieses Bereiches, der Einheit Nr. 14.

Die oberste Bodenzone besteht aus einer Solifluktsdecke aus Feuerletten und eingearbeitetem, sandigem Rhätschutt. Die Bodenart besteht aus schluffigem bis lehmigem Sand oder Schluff. Die Mächtigkeiten dieser Deckschichten liegen in der Regel bei 20-30 cm, können aber auch bis 90 cm reichen. Im letztgenannten Fall zeigen die obersten Bodenhorizonte keine Stauwassermerkmale.

Die Horizontkombination der Zweischichtenböden ist i.allg. durch die Folge $O-A_h-(S_w)B_v-II(S_d)C_v$ zu charakterisieren. Die Humusform der organisch beeinflussten Horizonte ist Moder bis Rohhumus. Der $(S_w)B_v$ zeigt häufig undeutliche Eisenoxid/hydroxid-Flecken und gebleichte Stellen. Der Stauwassereinfluß ist schwach bis mittel (Staunässestufe S2 bis S3; *AG Bodenkunde* 1982).

Als potentielle natürliche Vegetation ist hier der Perlgras-Buchenwald (*Melico-Fagetum*) mit beigemischter Trauben- und Stieleiche, Hainbuche und Winterlinde anzunehmen.

Die häufig unter Waldbedeckung liegenden Böden sind relativ gut entwässert und belüftet und zeigen günstigen Nährstoffhaushalt. Sie sind standortkundlich als mäßig frische Zweischichtenböden mit dem Bestockungsziel Buche, angereichert mit Ahorn, Ulme und Lärche einzustufen (*Forstamt Nürnberg* 1981).

Bodeneinheit Nr. 14

Pseudogley und Pelosol-Pseudogley mit flacher Lage der Staunässesohle sowie Podsol-Pseudogley mit mittlerer Lage der Staunässesohle auf sandigem Rhätschutt

über Feuerletten am Fuß der Rhätolias-Stufe (schluffiger Sand bis lehmiger Sand über tonigem Sand bis sandigem Ton).

Wie oben bereits angedeutet, repräsentiert diese Bodeneinheit die verbreitetste Bodenentwicklung am Fuß der Rhätolias-Stufe (vergl. Bodenkarte, Beilage 1). Das geologische Ausgangssubstrat ist wie bei der Bodeneinheit Nr. 13 aufgebaut (Deckschichtenmächtigkeit bis 1m). Auch bodenkundlich bestehen fließende Übergänge zu dieser Einheit. Morphologisch ist der Verbreitungsbereich durch Verebnungen und weitspannige Mulden gekennzeichnet.

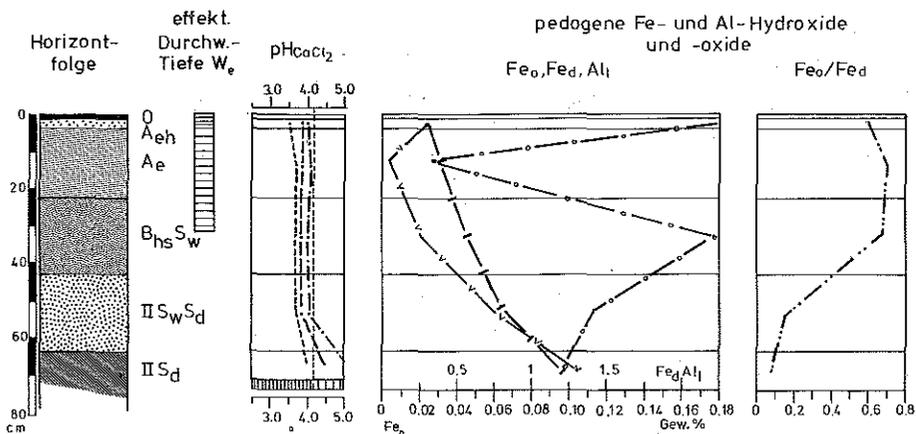
Unter den oben aufgeführten Bodentypen herrschen primäre Pseudogleye, bei geringmächtigen Deckschichten Pelosol-Pseudogleye mit der typischen Horizontfolge $O-A_{eh}-S_w-IIS_d$ vor. Podsolierung tritt nur bei einer Deckschichtenmächtigkeit von 60-70 cm in Erscheinung. Die Profilgliederung ist dann $O-A_{eh}-A_c-B_{hs}-S_w-IIS_d$. Moder und Rohhumus prägen den Charakter der organischen Horizonte.

Der Stauwassereinfluß ist in diesen Profilen mittel bis stark (Staunässestufe S3 bis S4 nach *AG Bodenkunde* 1982), die Vernässungsphasen können 6 bis 7 Monate umfassen (z.B. bei Leitprofil 14, s. unten). Weitgehende Austrocknung ist nur in den Sommermonaten festzustellen. Nach der durchschnittlichen ELLENBERGSCHEN-Feuchtezahl (5 bis 7 nach RAUM 1985) sind die Böden frisch bis feucht. Die sandigen bis lehmigen S_w -Horizonte sind hellgrau bis gelb gefärbt und enthalten rostbraune Eisenflecken, zur Tiefe zu in zunehmendem Maße auch Eisen/Mangan-Konkretionen. Letzteres geht z.T. auf Sesquioxidverlagerung infolge von Podsolierungstendenzen zurück (vgl. auch Bodeneinheit Nr. 5).

Viele der hier aufgeführten Merkmale und Eigenschaften stimmen mit denen der Bodeneinheit 5 überein, die die Pseudogleye auf Burgsandsteinletten betrifft. Es ist daher möglich, sich in der ökologischen Beurteilung an den dort gemachten Ausführungen zu orientieren. Die abweichenden Merkmale gehen aus der folgenden Beschreibung des Leitprofils 14 hervor.

Hinsichtlich der potentiellen natürlichen Vegetation vergleiche das bei Bodeneinheit Nr. 5 Ausgeführte. Bei größerer Deckschichtenmächtigkeit und abnehmendem Stauwassereinfluß bessern sich in Hangsituationen Wasser- und Lufthaushalt soweit, daß die Buche günstigere Wuchsbedingungen vorfindet; hierbei wären dann der artenarme Buchen-Traubeneichenwald (*Fago-Quercetum*) und der nahe verwandte Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*) als potentielle natürliche Vegetation zu erwarten. In beiden Fällen würden neben Traubeneiche und Buche Hainbuche, Winterlinde und Weißbirke eine gewisse Rolle spielen.

Die Böden werden z.T. auch landwirtschaftlich, überwiegend aber forstwirtschaftlich genutzt. Sie sind standortkundlich als mäßig wechselfeuchte Zweischichtenböden und grundwechselfeuchte Sandböden (hohe Deckschichten-Mächtigkeit) anzusprechen. Im ersteren Fall ist das Bestockungsziel Stieleiche, gemischt mit Buche, Hainbuche und Winterlinde. Bei Vorliegen eines Sandstandortes werden Stieleiche und Winterlinde, z.T. auch Kiefer oder Fichte mit einem Anteil an Winterlinde empfohlen (*Forstamt Nürnberg* 1981).



Legende

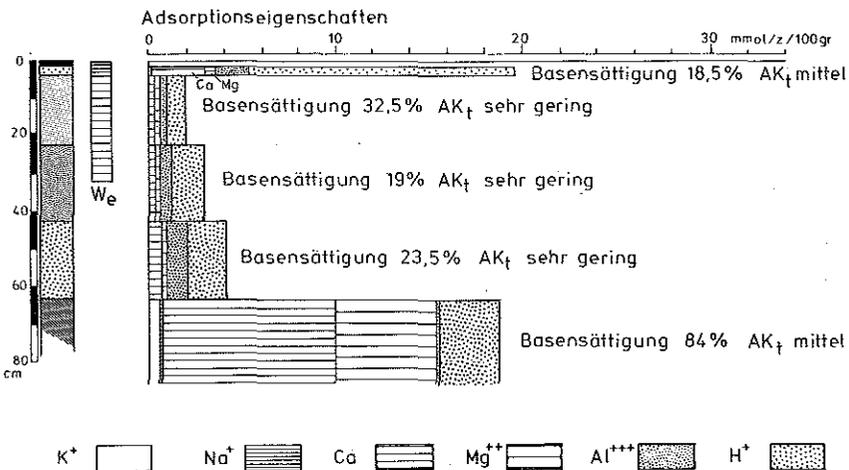
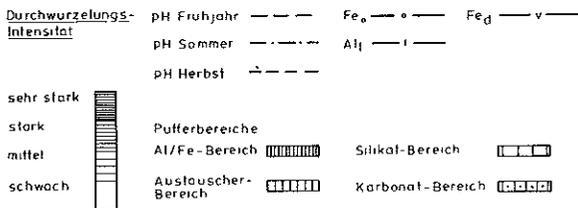


Abb. 14: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 14 (Bodeneinheit Nr. 14).

Der Podsol-Pseudogley des Leitprofils Nr. 14 ist ein ausgeprägter Zweischichtenboden, dessen Profil und makroskopische Merkmale aus Abb. 14 sowie aus Tabelle 18 zu ersehen sind. Er wurde 800 m nordöstlich der Wolfsmarter (R 44 35970, H 54 89670, s. Bodenkarte, Beilage 1) unter einem Kiefern/Fichtenbestand aufgeschlossen. Die effektive Durchwurzelungstiefe wird im Liegenden begrenzt durch den Stauwassereinfluß und ist noch geringer als bei Leitprofil Nr. 5. Der Zweischichtencharakter spiegelt sich auch hier deutlich in der Bodenart und in den Gefügeeigenschaften wieder (Tabelle 18). Die Korngrößenmaxima liegen im Grenzbereich Mittel-/Grobsand. Eine gewisse Beteiligung äolischer Komponenten (quartäre Dünenände) ist möglich. Das relativ hohe Trockenraumgewicht im BhsSw geht auf die Illuviation von Sesquioxiden zurück (vergl. auch Bodeneinheit Nr. 5).

Die potentielle natürliche Vegetation entspricht nach RAUM (1985) der von Leitprofil Nr. 5 (Föhren-Eichen-Wald, Pfeifengras-Subassoziation (Pino-Quercetum molinietosum)).

In den Werten der pedogenen Sesquioxide dominieren vor allem die Charakteristika der Podsolierung. Hierzu passen insbesondere Fe_o - und Fe_d -Minima im A_c (Eiseneluviation) und Fe_o -Maximum im $B_{hs}S_w$ (Eisenilluviation). Die niedrigen Fe_o -Werte hängen mit einem geringen primären Eisengehalt in der Deckschicht zusammen. Die Fe_o/Fe_d -Werte sind in der Größenordnung zur Podsolierung passend (nach BLUME & SCHWERTMANN 1969), für die Pseudovergleyung aber zu groß.

Die pH-Werte liegen ebenso wie im Vergleichsprofil Nr. 5 auch bei Leitprofil Nr. 14 im Aluminium-Pufferbereich (Abb. 14) und lassen damit die von ULRICH et al. (1984) aufgeführten Konsequenzen für das Feinwurzelsystem erwarten. Die am Standort vorhandene Vegetation (durchschnittliche Reaktionszahl nach ELLENBERG 1979: 1,6 - 3; bestimmt von RAUM 1985) ist den Säureverhältnissen angepaßt.

Wie zu erwarten, ist auch dieser Boden besonders innerhalb der sandigen Deckschicht bzw. im Hauptwurzelraum adsorptionsschwach (Abb. 14), doch sind die Basenanteile an den Austauschern gegenüber dem Podsol-Pseudogley von Abb. 4 (Leitprofil Nr. 5) deutlich erhöht. Dies ist mit Sicherheit die Folge des seitlichen Zuzuges basenreicheren Bodenwassers und möglicherweise auch Quellwassers vom Oberhang aus dem Lias-Bereich. Ein noch bestehender Einfluß der 1971 und 1977 erfolgten Kalkammonsalpeter-Düngung (s. Düngekarte Tafelbeilage 2) ist erfahrungsgemäß nicht mehr zu erwarten. Damit besitzt der Boden des Leitprofils Nr. 14 eine relativ hohe Elastizität gegenüber kurzfristigen Säurebelastungen. Im Stauwasserleiter IIS_d nehmen sowohl AK_l als auch Basensättigung gegenüber den hangenden Horizonten beträchtlich zu. Der Karbonatgehalt des Feuerletts hat dort den Säurezstrom von oben relativ gut abgepuffert.

Tabelle 18: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 14 (Bodeneinheit Nr. 14)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew-%)	Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton Schluff Sand Kies/Grus			
O	7,5YR 3/2	mulartiger				
	braun- schwarz	Moder				
A _{sh}	7,5YR 2/1	Einzelkorn	4	13	82	1
	bräunlich- schwarz					
A _e	7,5YR 6/2	Einzelkorn	6	15	79	
	graubraun					
B _{hs} S _w	7,5YR 7/4	Einzelkorn	3	15	80	2
	fahlorange					
	7,5YR 7/8					
	hellbraun					
HS _w S _d	7,5YR 7/1	Einzelkorn bis	13	31	55	1
	hellbräun-	Subpolyeder				
	lich-grau					
	7,5YR 6/8 orange					
HS _d	2,5YR 5/6	Subpolyeder	16	33	50	1
	hellbraun	bis Polyeder				
	2,5YR 5/1					
	rötlich-grau					

Im Prinzip repräsentiert also das Leitprofil Nr. 14 einen sauren, aber noch nicht völlig versauerten Boden mit einer mäßigen Versorgung an adsorbierten Basen (überwiegend Calcium). Nach v. ZEZSCHWITZ (1984) liegt ein schwach basenhaltiger Boden vor.

Die verwitterbaren Reserven an Kalium und Calcium (K_v und Ca_v , siehe Tabelle 19) sind allerdings als gering bis sehr gering zu bewerten (s. Richtwerte in Kapitel 4.1.3), so daß daraus sehr geringe Pufferkapazitäten abzuleiten sind. Auch bei einem Nachlassen des atmosphärischen Säureeintrags und der bodeninternen Säureproduktion (durch andere Baumartenwahl) ist damit nicht mit einer wesentlichen Verbesserung der Säure/Basenverhältnisse auf natürlichem Wege zu rechnen.

Gegenüber dem zum Vergleich herangezogenen Podsol-Pseudogley des Leitprofils Nr. 5 (Tabelle 9) sind die verwitterbaren Reserven im Hauptwurzelraum (Tabelle 19) für Kalium (K_v) etwa in der gleichen Größenordnung gegeben, während für Calcium (Ca_v) bei Leitprofil Nr. 14 deutlich geringere Mengen zur Verfügung stehen, was natürlich auch auf die geringe Durchwurzelungstiefe zurückzuführen ist.

Damit wäre der Punkt "Basenversorgung der Vegetation" angesprochen. Nach den oben aufgeführten Daten ist vor allem Kalium-Mangel (s. Richtwerte für die Düngung bei MEIWES et al. 1984; Folge des Mangels: Rotspitzigkeit der Nadeln; BUCHNER & ISERMANN 1984). Bei Magnesium ist die Mangelsituation nicht ganz so dramatisch. Die Versorgung mit Calcium ist wegen des geringmächtigen Hauptwurzelraums zwar auch nicht optimal, dürfte aber angesichts des relativ hohen Anteils von Calcium an der AK_1 für den Nadelholz-Bestand ausreichen.

Der Gehalt des Bodens von Leitprofil Nr. 14 an Stickstoff im Hauptwurzelraum (Tabelle 19) ist gegenüber Leitprofil Nr. 5 zwar auch etwas erhöht, doch absolut betrachtet immer noch sehr gering (s. Richtwerte in Kapitel 4.1.3). Wie bereits mehrfach ausgeführt, wird etwa von REIGBER & BRAUN (1985:72) angenommen, daß die Stickstoffversorgung der Pflanzen durch Eintrag aus der Atmosphäre garantiert ist. Allerdings zeigen die durchschnittlichen Stickstoffzahlen nach ELLENBERG (1979) mit Werten von 2-3, selten bis 4 (bestimmt von RAUM 1985) stickstoffarme Standorte an.

Zusammen mit den Humusgehalten (Tabelle 19) läßt der geringe Stickstoffvorrat auf ein C/N-Verhältnis von ca. 21 und damit (unter Einbeziehung des C/P-Verhältnisses, s. ULRICH et al. 1984) auf die für den gegenwärtigen Baumbestand erstaunlich gute Humusform eines mullartigen Moders schließen. Möglicherweise sind hier noch reliktsche Merkmale eines vorher bestehenden Laubwaldes erhalten geblieben. Es zeigen sich so auch hier gegenüber Leitprofil Nr. 5 etwas

Tabelle 19: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 14 (Bodeneinheit Nr. 14) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamt mengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizontfolge	N _t	C _o	Humusgehalt	C/N	P _i	C/P	P _v	K _v	Ca _v	Karbonatgehalt
A _{eh}	0,104	2,12	3,65	21	0,016	133	0,007	0,005	0,010	0
A _e	0,016	0,24	0,41		0,005		0,004	0,003	0,005	0
B _{hs} S _w	0,006	0,10	0,17		0,009		0,003	0,007	0,005	0
IIS _w S _d	0,000	0,00	0,00		0,011		0,005	0,020	0,011	0
IIS _d	0,009	0,04	0,07		0,013		0,006	0,027	0,017	0
Gesamtmenge im Hauptwurzel- raum	≈1120				≈400		≈210	≈260	≈280	

günstigere Bedingungen, die trotzdem die Podsolierung nicht aufhalten konnten. Offensichtlich verlaufen Humifizierung und Mineralisierung bei den herrschenden niedrigen pH-Werten in ökologisch ungünstigen Bahnen.

Schließlich zeigen die P_t - und P_v -Werte (Tabelle 19) auch eine extreme Mangelsituation in der Phosphor-Versorgung an, die sich in den Gehalten in Kiefernadeln nachweisen läßt (REIGBER & BRAUN 1985). Die Tätigkeit der Mikroorganismen wird damit eingeschränkt und die abiotische Humifizierung gefördert.

So zeigt das Leitprofil Nr. 14 zwar eine etwas günstigere Basenversorgung als der Podsol-Pseudogley des Leitprofils Nr. 5, insgesamt aber dennoch eine recht schlechte Nährstoffversorgung, die die Voraussetzung für eine Vitalitätsminderung des Baumbestandes sein könnte.

Für eine endgültige ökologische Beurteilung des Bodens ist nun auch noch die Betrachtung des Wasser- und Lufthaushaltes notwendig, wie sie sich in den Kenndaten der Abb. 15 abzeichnen. Gerade in dieser Hinsicht ergeben sich beträchtliche Unterschiede zu dem Vergleichsprofil Nr. 5 (s. auch Abb. 5). Im sandigen Oberboden ist die Wasserspeicherfähigkeit aufgrund des hohen Fein-, Mittel- und Grobporenanteils nicht ungünstig. Für die den Pflanzen zur Verfügung stehende Wassermenge im Hauptwurzelraum macht sich allerdings dessen geringe Mächtigkeit negativ bemerkbar. So ist die nutzbare Feldkapazität im Hauptwurzelraum (nFKWe) ca. 54 l/m² und damit gering (abgeschätzt und bewertet nach AG *Bodenkunde* 1982), dennoch aber noch doppelt so hoch wie bei Leitprofil Nr. 5, und das bei geringerer Mächtigkeit des Hauptwurzelraums.

Trotz eines aufgrund der Porengrößenverteilung günstigen Wasser- und Lufthaushaltes können jedoch Probleme in der Wasserversorgung auftreten, die sich aus der Einschränkung des Hauptwurzelraumes ergeben. Wie bei Bodeneinheit Nr. 5 näher ausgeführt, kann es wegen der im Hauptwurzelraum zur Verfügung stehenden geringen Wasserreserven bei längerfristiger Trockenheit und Absinken des Stauwassers sehr schnell zu Wassermangel kommen. Allerdings weist der Boden von Leitprofil Nr. 14 Naßphasen von normalerweise 6 bis 7 Monaten im Jahr mit einem Wasserstand von 2 bis 3 dm u. GOF auf, so daß Wassermangel nur selten, dann aber sehr kurzfristig zur Auswirkung kommt.

So erweist sich also der Boden von Leitprofil Nr. 14 sowohl in Hinblick auf seine chemischen als auch seine physikalischen Eigenschaften vom waldbaulichen Standpunkt als teilweise problematischer Standort, der die Voraussetzung für das Auftreten von Baumschäden bilden kann.

4.2.5 Böden aus allochthonen quartären Deckschichten

4.2.5.1 Böden aus äolischen Deckschichten

Bodeneinheit Nr. 15

Podsol, seltener Pseudogley-Podsol oder Gley-Podsol auf Dünen- und Flugsanden über Feuerletten und Burgsandstein mit großer Entwicklungstiefe bei flachwelli-

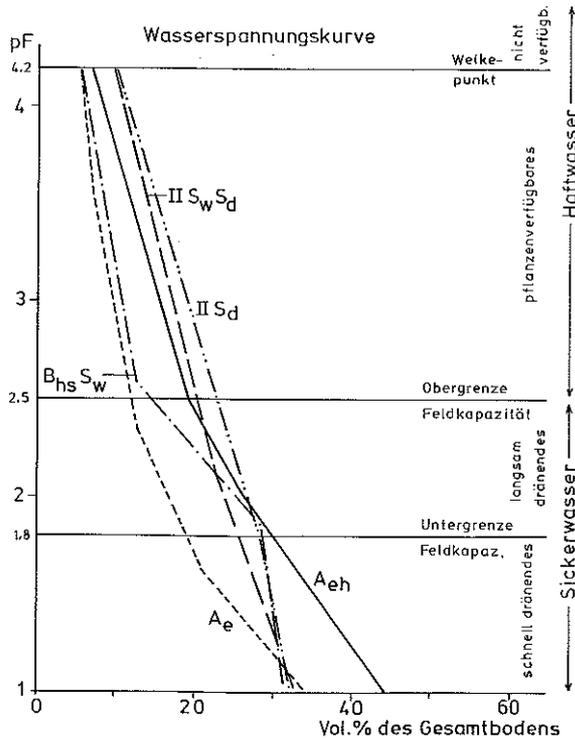
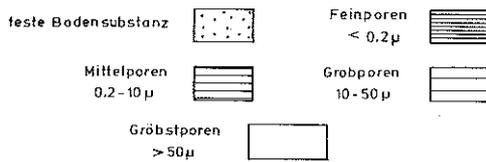
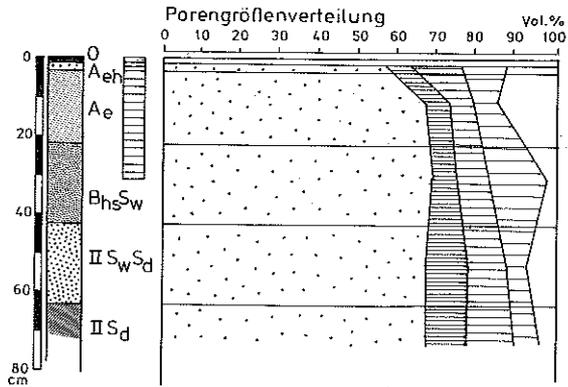


Abb. 15: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 14 (Bodeneinheit 14)

ger Morphologie (Sand und schluffiger Sand (30 - 120 cm) über lehmigem Sand bis sandigem Ton).

Insbesondere im Verbreitungsgebiet des Keupers sind diese Bodenformen in mehr oder minder großen Arealen anzutreffen (Bodenkarte, Beilage 1). Die Einzelvorkommen zeigen recht schön die Verbreitung mächtigerer Dünen- und Flug-sande an. Die Mächtigkeit der äolischen Deckschichten liegt zwischen 30 cm und 120 cm.

Wo die Flug- und Dünensande dem Burgsandstein auflagern oder an Rhät-sandstein grenzen, bestehen Übergänge zu den Podsolen auf diesen Substraten (Bodeneinheiten Nr. 1 und Nr. 6). Eine scharfe Abgrenzung ist z.T. schwierig und, wenn überhaupt, nur über die Korngrößenverhältnisse möglich. In den Randbereichen der äolischen Decken bestehen bei tonigem Untergrund kontinuierliche Übergänge zu Pseudogleyen, Pelosol-Pseudogleyen (Bodeneinheiten Nr. 5, 9 und 17) oder gar Gleyen. Von den Übergangsbildungen wurden Pseudo-gley-Podsole und Gley-Podsole in die hier behandelte Bodeneinheit Nr. 15 einbezogen.

Die Podsole besitzen i.allg. mittlere bis sehr große Entwicklungstiefe und nicht selten Ortsteinbildungen. Die Profilverteilung ist üblicherweise $O-A_{ch}-A_c-B_{hs}-C_v$, bei Stauwasser- bzw. Grundwassereinfluß im Unterboden $O-A_{ch}-A_c-B_{hs}-S_w-IIIS_d$ (Pseudogley-Podsol) bzw. $O-A_{ch}-A_c-B_{hs}-G_o$ (Gley-Podsol). Infolge verbreiteter ehemaliger Streunutzung ist der O-Horizont normalerweise nur 3 cm, höchstens 10 cm mächtig. Der Bleichhorizont A_c umfaßt 10 bis 30 cm des Profils. Die Humusform ist nach chemischen (s. Tabelle 21) und (bei mächtigerem Auflagehumus) auch makroskopischen Merkmalen Rohhumus.

Die Böden sind hinsichtlich ihres ökologischen Zustandes als sorptions-schwach und sehr stark sauer einzustufen (s. Abb. 16). Die Basensättigung ist sehr niedrig. Die ELLENBERGSCHE Feuchtezahlen (4 bis 5 nach RAUM 1985) zeigen mäßig trockene bis frische Verhältnisse an.

Das subkontinentale Klima des Nürnberger Beckens bildet zusammen mit Nährstoffarmut und Trockenheit der (Ober-)Böden die Voraussetzung für das Vorkommen von Kiefern-Stieleichenwäldern (Pino-Quercetum), die in ihrer trennartenfreien Subassoziaton (Pino-Quercetum typicum) bzw., bei grundfeuchten Sanden, in ihrer Pfeifengrasreichen Subassoziaton (Pino-Quercetum molinietosum) großflächig die potentielle natürliche Vegetation auf Bodeneinheit Nr. 15 darstellen. Zur führenden Stieleiche kämen die Kiefer, daneben Hainbuche, Winterlinde, Weißbirke und Buche einzelstammweise beigemischt hinzu. Auf den Kämmen höherer Dünen wäre kleinflächig auch der artenarme Kiefernwald (Myrtillo-Pinetum) in seiner flechtenreichen Subassoziaton (Myrtillo-Pinetum cladonietosum) zu erwarten.

Auf den Vorkommen der Bodeneinheit Nr. 15 herrscht forstwirtschaftliche Nutzung vor. Standort-kundlich sind trockene oder grundfeuchte bis wechselfeuchte Sandböden vorherrschend. Im ersteren Fall ist das anzustrebende Bestockungsziel Kiefer, Stiel- und Roteiche, unter letztgenannten Be-

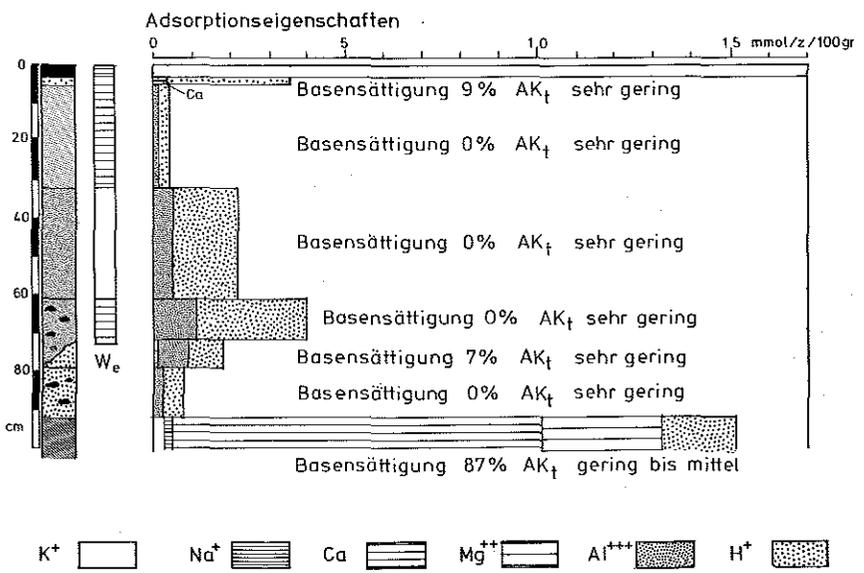
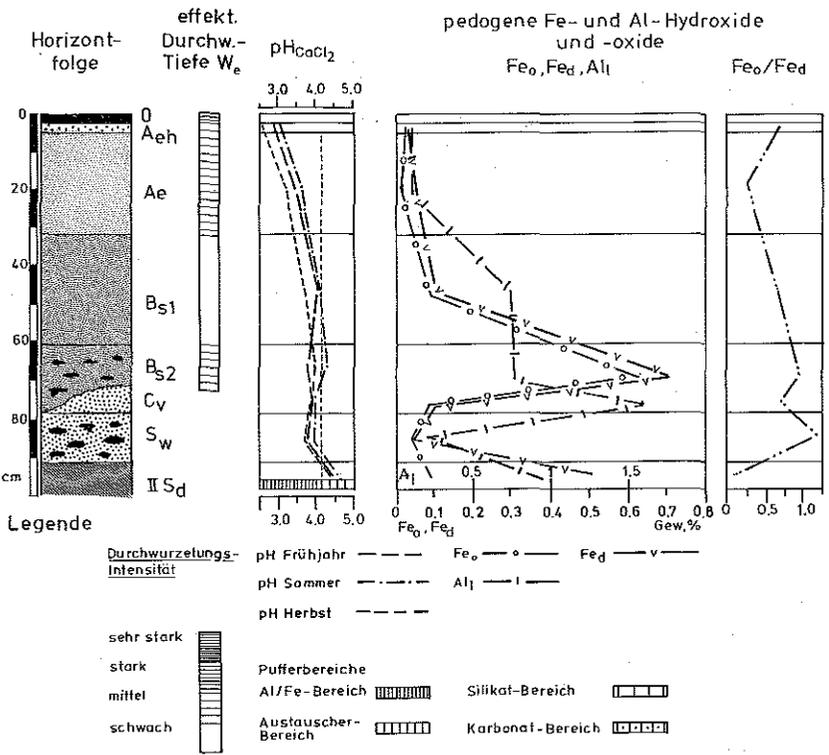


Abb. 16: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptions-
eigenschaften im Leitprofil 15 (Bodeneinheit Nr. 15).

dingungen Stieleiche gemischt mit Winterlinde, ggf. auch mit Kiefer oder Fichte mit Nebenbestand von Winterlinde und Stieleiche (*Forstamt Nürnberg* 1981).

Das Leitprofil Nr. 15 repräsentiert einen Pseudogley-Podsol auf Dünensand, der im Unterboden durch Stauwasser über Feuerletten beeinflusst ist (Horizontfolge s. Abb. 16; makroskopische Merkmale s. Tabelle 20). Es wurde 500 m NE' der Wolfsmarter (s. Bodenkarte, Beilage 1; R⁴⁴ 35910 H⁵⁴ 89210) in einem Kiefernforst aufgedigelt.

Die effektive Durchwurzelungstiefe (W_e) reicht bis ca. 75 cm u. GOF., so daß von relativ tiefgründigen Verhältnissen ausgegangen werden kann. Die Begrenzung im Liegenden ist bedingt durch Ortsteinbildung im B_{s2} und durch den Stauwassereinfluß im S_w . Ausgeprägt ist auch hier der Charakter eines Zweischichtenbodens. Helle Dünensande mit einem Korngrößenmaximum im Mittelsandbereich überlagern den Feuerletten (IIS_d), der infolge der Pseudovergleyung in mustergültiger Form vertikal verlaufende, grüngraue Adern innerhalb der rotvioletten Letten zeigt. An der Grenze S_w zu IIS_d ist eine verfestigter, ca. 1-2 cm dicker Anreicherungshorizont von Eisen- und Manganoxiden ausgebildet, ein Ausfällungshorizont des durch Podsolierung und Pseudovergleyung zur Tiefe verlagerten Eisens und Mangans. Auch der S_w -Horizont ist von bis faustgroßen Eisen-Mangan-Konkretionen durchsetzt.

Die Gehalte an pedogenen Sesquioxiden lassen wieder die Charakteristik der Podsolierung (Abb. 16) erkennen. Auch die Fe_o/Fe_d -Werte sind sowohl hinsichtlich ihrer Tiefenvariation wie ihrer Größe kennzeichnend für Podsole (vergl. BLUME & SCHWERTMANN 1969).

Relativ hoch sind die Absolutwerte des Al_1 im B_{s2} . Hier wird eine hohe Verfügbarkeit von Al infolge einer weitgehenden Zerstörung des Feldspatgehaltes in den Dünensanden gesehen.

Da im S_w -Horizont die großen Eisenkonkretionen nicht in die Analyse einbezogen wurden, zeigt sich dort ein Minimum an pedogenen Sesquioxiden. Auch diese Tatsache stimmt mit der Dynamik der Pseudogleye überein (Konzentration des Eisen-Anteils in den Konkretionen bzw. Abführung nach unten). Außergewöhnlich ist das Fe_o/Fe_d -Maximum im S_w . Es spiegelt sich hier eine nur unvollständige Kristallisation der Eisenoxid/hydroxide wider.

Hinsichtlich des pH-Wertes liegt der Boden fast ausschließlich im Aluminium-Pufferbereich (Abb. 16). Auch die durchschnittliche ELLENBERGSche Reaktionszahl von 1,7 zeigt stark saure Verhältnisse an. Es besteht damit die akute Gefahr einer Schädigung des Feinwurzelsystems der Bäume (ULRICH et al. 1984). Die Bodenmikroorganismen befindet sich in einer für Mineralisierung und Humifizierung ungünstigen Umgebung.

Mit dem pH-Wert der Bodenlösung korrespondiert der adsorbierte Anteil an sauer reagierenden Ionen bzw. Basen an den Austauschern (Abb. 16). Bei sehr geringer Kationenaustauschkapazität AK_1 ist die Basensättigung in den sandigen

Tabelle 20: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 15 (Bodeneinheit Nr. 15)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O	2,5YR 2/1 rötlich schwarz	feinhumusreicher Moder							
A _{eh}	7,5YR 2/1 bräunlich- schwarz	Einzelkorn		6	92	2	S	g''	
A _e	7,5YR 8/2 hellgrau	Einzelkorn	1	3	95	1	S	g''	1,56
B _{s1}	7,5YR 6/8 orange	Einzelkorn	1	2	96	1	S	g''	1,47
B _{s2}	7,5YR 2/1 bräunlich- schwarz	Einzelkorn und Kohärent	3	4	93		S		1,49
C _v	7,5YR 7/8 gelborange	Einzelkorn	1	5	94		S		1,46
S _w	7,5YR 8/1 hellgrau	Einzelkorn	1	3	96		S		1,56
IIS _d	2,5YR 5/6 hellbraun 2,5YR 5/1 rötlich-grau	Polyeder	28	18	52	2	ST	g''	1,79

Horizonten fast ausschließlich 0%. Nur im C_v des Dünensandes werden magere 7% erreicht. Es besteht also im durchwurzelten Profilbereich keine Elastizität gegenüber kurzzeitigen Säurebelastungen. Der auf Abb. 16 erkennbare Anstieg von AK_t und Basensättigung im Feuerletten ist nicht überraschend, hat jedoch bei dem gegebenen Baumbestand (tiefwurzelnde Stieleiche würde sicher Basen nach oben bringen) keine Auswirkungen auf die Vegetation.

Der Pseudogley-Podsol ist also völlig versauert (basenarm nach v. ZEZ-SCHWITZ 1984) und für das Auftreten von Waldschäden prädestiniert. Verwitterbare Reserven an Kalium und Calcium (K_v und Ca_v , s. Tabelle 21) liegen kaum mehr vor (s. Vergleichswerte Kapitel 4.1.3); die Gehalte der Einzelhorizonte sind sogar noch geringer als bei dem in manchem vergleichbaren Podsol auf Rhätsandstein des Leitprofils 6. Eine erwähnenswerte Pufferkapazität fehlt also. Eine Verbesserung des Säure/Basen-Verhältnisses auf natürlichem Wege ist nicht zu erwarten.

In der Versorgung der Vegetation mit Kalium, Calcium und Magnesium besteht eine extreme Mangelsituation (s. Abb. 16). Rotspitzigkeit (K-Mangel; s. BUCHNER & ISERMANN 1984) und Goldspitzigkeit (Magnesium-Mangel) sind zu erwarten. Der Calcium-Mangel hat weniger Konsequenzen für den Baumbestand (für Nadelbäume reichen bereits sehr geringe Calcium-Mengen aus), jedoch für die Pufferfähigkeit des Bodens und für die Mikroorganismen, doch wurde darauf oben in Zusammenhang mit den Säure/Basen-Verhältnissen bereits hingewiesen (*Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten* 1973).

Die bei Leitprofil 6 (Podsol auf Rhätsandstein, Bodeneinheit Nr. 6) aufgeführten Erläuterungen des Phosphor-Haushaltes (ausgedrückt durch verwitterbaren Phosphorgehalt P_v und Gesamtphosphorgehalt P_t) können auf den Pseudogley-Podsol des Leitprofils 15 übertragen werden. Es besteht eine für Podsole typische Mangelsituation (REHFUESS 1981:74), wobei in der Tiefenvariation der P-Gehalte ein ebenfalls typisches schwaches Maximum im B_{v2} -Horizont erkennbar ist (Tabelle 21). Wie ebenfalls oben bereits erläutert, behindert der P-Mangel die Wirksamkeit mineralisierenden Mikroorganismen (REHFUESS 1981:74), so daß die Mineralisierung organisch gebunden Phosphors sehr stark behindert ist. Eine weitere Folge ist die starke "abiotische" Humifizierung.

Die Streuaufgabe des Leitprofils 15 ist durch die Streunutzung auf wenige Zentimeter dezimiert. Deswegen und infolge der meist geringen Humusgehalte im Ober- und Unterboden (s. Tabelle 21 und *AG Bodenkunde* 1982:98) steht nur ein geringer Vorrat an organischer Substanz zur Verfügung. Nach dem C/N- und C/P-Verhältnis (Tabelle 21) ist die Humusqualität schlecht, aber wiederum nicht extrem schlecht. Dies ist außergewöhnlich, da auf vielen äquivalenten Standorten Rohhumus entwickelt ist. Bei Leitprofil 15 liegt die Humusform eines feinhumusreichen Moders (nach ULRICH ET AL. 1984) vor. Sie trägt mit saueren Humin-

Tabelle 21: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 15 (Bodeneinheit Nr. 15) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizontfolge	N _t	C _o	Humusgehalt	C/N	P _t	C/P	P _v	K _v	Ca _v	Karbonatgehalt
A _{eh}	0,12	2,67	4,59	22	0,014	191	0,004	0,002	0,006	0
A _e	0,011	0,20	0,34		0,005		0,002	0,002	0,004	0
B _{s1}	0,006	0,10	0,17		0,006		0,006	0,005	0,005	0
B _{s2}	0,015	0,17	0,29		0,017		0,009	0,005	0,004	0
C _v	0,004	0,09	0,15		0,006		0,005	0,005	0,004	0
S _w	0,002	0,16	0,28		0,008		0,002	0,005	0,004	0
IIS _d	0,011	0,04	0,07		0,009		0,008	0,016	0,027	0
Gesamtmenge im Hauptwurzel- raum	≈1300				≈800		≈510	≈390	≈470	

stoffen zur Podsolierung bei, dürfte aber nicht allein dafür verantwortlich sein (weitere Faktoren: Basenarmut und hohe Wasserdurchlässigkeit). Von den Verlagerungsprozessen nur wenig betroffen wurde die Humussubstanz selbst, die kaum eine Anreicherung im Unterboden erkennen läßt (Tabelle 21).

Aufgrund eines weiten C/N-Verhältnisses und eines geringen Humusvorrats ist eine schlechte Stickstoffversorgung zu erwarten. Die Stickstoffgehalte N_t und die Vorräte im Hauptwurzelraum sind als gering zu bewerten (vgl. Tabelle 21 und Tabelle 4). Hinzu kommen infolge niedriger pH-Werte, niedriger Basengehalte, niedriger Phosphor-Gehalte etc. schlechte Mineralisierungsbedingungen. Sicher kompensiert der atmosphärische Eintrag von Stickstoffverbindungen die pedogene Mangelsituation bis zu einem bestimmten Grad, doch zeigen die ELLENBERG'schen Stickstoffzahlen von etwa 2 (RAUM 1985) trotzdem noch stickstoffarme Verhältnisse an.

In Hinblick auf Nährstoffe ist der Boden des Leitprofils 15 also ein sehr armer Standort, der die Voraussetzungen für eine Vitalitätsminderung des Baumbestandes bietet. Die ökologische Bewertung des Bodenchemismus ist noch ungünstiger als bei dem zum Vergleich heranziehbaren Podsol auf Rhätsandstein (Leitprofil 6).

Zu diesem letztgenannten Profil ergeben sich auch Parallelen hinsichtlich des Wasser- und Lufthaushaltes. Man erkennt in Abb. 17 wie auch in Abb. 7 eine hohe, für Sandböden typische und im sandigen Anteil des Profils weitgehend gleichbleibende Porosität. Außer im A_{eh} und IIS_d zeigt der für die Luftkapazität bestimmende Größtporenanteil >50 mm im B_{sz} ein Minimum, bedingt durch die Ortstein bzw. Orterde-Bildung. Der Anteil des zur Speicherung pflanzenverfügbaren Wassers vorhandenen Porenraums (Mittel- und Grobporen) ist sehr gering. Entsprechend ergibt sich eine abgeschätzte nutzbare Feldkapazität des Hauptwurzelraumes ($nFKWe$) von 64 l/m^2 (bei Berücksichtigung des Mittel- und Grobporenanteils; Abschätzung nach *AG Bodenkunde* 1982) (vergl. 45 l/m^2 bei Leitprofil 6, Podsol auf Rätsandstein). Die der Vegetation maximal zur Verfügung stehende Wassermenge ist damit gering (Bewertung *AG Bodenkunde*: 150), der Standort neigt zur Trockenheit im Hauptwurzelraum. Wegen der höheren Durchwurzelungstiefe ergibt sich eine etwas bessere Wasserversorgung gegenüber Leitprofil 6.

Das Stauwasser im tieferen Teil des Leitprofils Nr. 15 hat zwar Bedeutung für die Wasserversorgung der Vegetation, verschwindet jedoch in Trockenperioden relativ rasch und trägt damit nicht zur Behebung des Wassermangels bei. Es sei hierzu auf die abschließenden Erörterungen zu Kapitel 4.2.2 verwiesen.

So ist auch der Boden des Leitprofils 15 insgesamt betrachtet wie der überwiegende Teil der bereits behandelten Verwitterungsprofile sowohl vom Standpunkt des Nährstoff- als auch des Wasserhaushalts ein Problemstandort. Auch hier sind die Voraussetzungen für das Auftreten von Baumschäden gegeben.

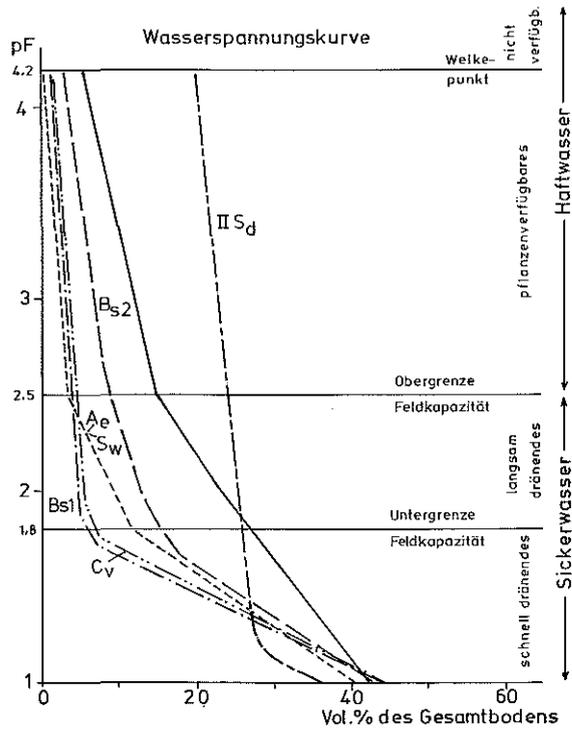
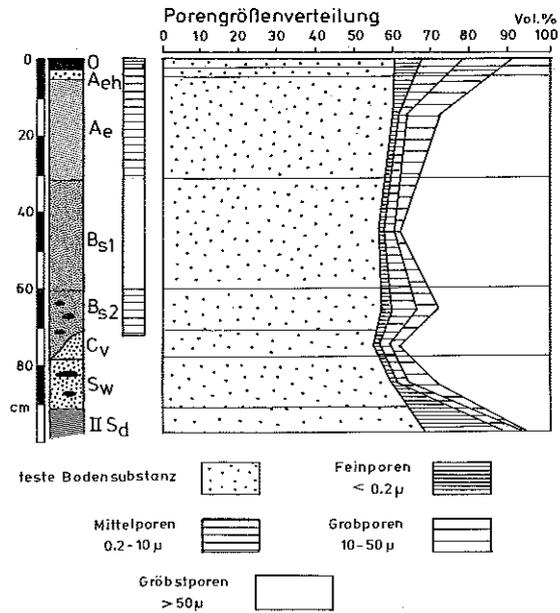


Abb. 17: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 15 (Bodeneinheit Nr. 15)

Bodeneinheit Nr. 16

Braunerde und podsolige Braunerde, nördlich des Kalchreuther Höhenzuges auch Pseudogley-Braunerde und Gley-Braunerde auf Dünen- und Flugsanden über Feuerletten und Burgsandstein mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe bei welliger Morphologie (Sand, schluffiger Sand oder lehmiger Sand (40 - 120 cm) über lehmigem Sand bis sandigem Ton).

Bei schluffig-sandiger Bodenart kommen auf Flug- und Dünensanden vor allem wegen der geringeren Durchlässigkeit Braunerden vor. Das Ausgangssubstrat ist häufig zwischen 60 cm und 100 cm mächtig, kann jedoch (wie im Gebiet SE' Unterschöllnbach) bis 24 m betragen (HAARLÄNDER 1966).

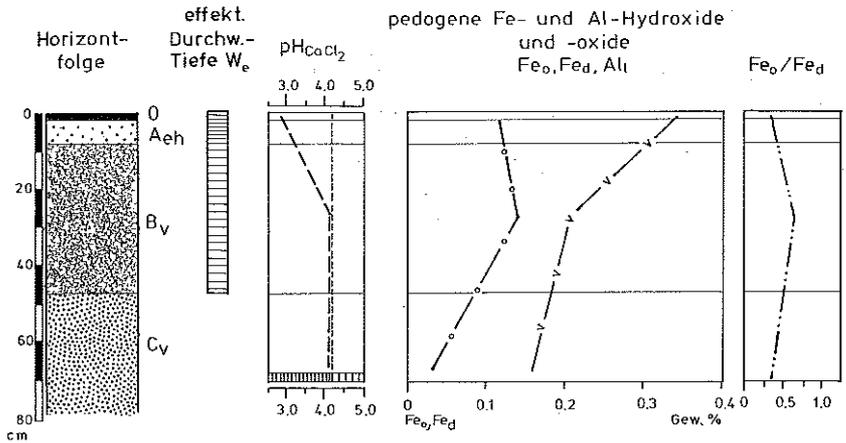
Reine Braunerden treten in morphologisch exponierter Position auf kleinen Kuppen auf. Kontinuierliche Übergänge bestehen zu Pseudogleyen (besonders zu Bodeneinheit Nr. 17), wenn die Sande bei geringer Mächtigkeit durch Feuerletten oder Letten des Burgsandsteins unterlagert werden. Insbesondere im Norden des Arbeitsgebietes, am Fuß des Kalchreuther Höhenzuges (Kreuzweiher-Gebiet) gehen die Braunerden bei hohem Grundwasserspiegel in Gleye (Bodeneinheit Nr. 26) und Naßgleye (Bodeneinheit Nr. 27) über. Auch die Grenzen zu den Podsolen der Bodeneinheit Nr. 15 sind infolge des einheitlichen Ausgangsmaterials nicht scharf. Bei Waldvegetation sind auch bei der Bodeneinheit Nr. 16 fast immer schwache Podsolierungserscheinungen erkennbar. Schließlich findet man lokal, bei Angrenzen des äolischen Sandes an Rhätsandsteinschutt auch fließendes Ineinandergreifen von Einheit Nr. 16 und Braunerden der Einheit Nr. 7a (N' Kalchreuth).

Die Bodenprofile besitzen in der Regel die Abfolgen $O-A_{ch}-B_v-C_v$ bei Braunerden, $O-A_{ch}-B_v-S_w-S_d$ bei Pseudogley-Braunerden und $O-A_{ch}-B_v-G_o$ bei Gley-Braunerden. Die Entwicklungstiefe ist vor allem bei den letztgenannten Subtypen mittel, bei den reinen Braunerden auf mächtigeren Sandanhäufungen dagegen z.T. auch groß. Der A_{ch} erreicht maximal 5 cm Dicke, die Humusform ist meist Moder, seltener Rohhumus.

Nach ihren Säure/Basen-Verhältnissen sind die stark sauren Braunerden als oligotroph und sorptionsschwach einzustufen.

Als potentielle natürliche Vegetation würden die Flächen der Bodeneinheit 16 entweder von Kiefern-Stieleichenwäldern (*Pino-Quercetum typicum*) bzw., bei etwas besser basenversorgten, grundfrischen Sanden, von Hainbuchen-Eichen-Birkenwäldern (*Violo-Quercetum typicum*) eingenommen werden. Während im erstgenannten Fall Buche, Hainbuche, Winterlinde und Weißbirke nur gering vertreten wären, würden sie im zweiten Fall stärkeren Anteil an der potentiell-natürlichen Waldgesellschaft haben.

Die Flächen der Braunerden werden im Bereich E' der Sambach-Weiher landwirtschaftlich genutzt. Durch das Pflügen ist der sicher ursprünglich vorhandene A_{ch} mit den obersten Teilen des B_v ver-



Legende

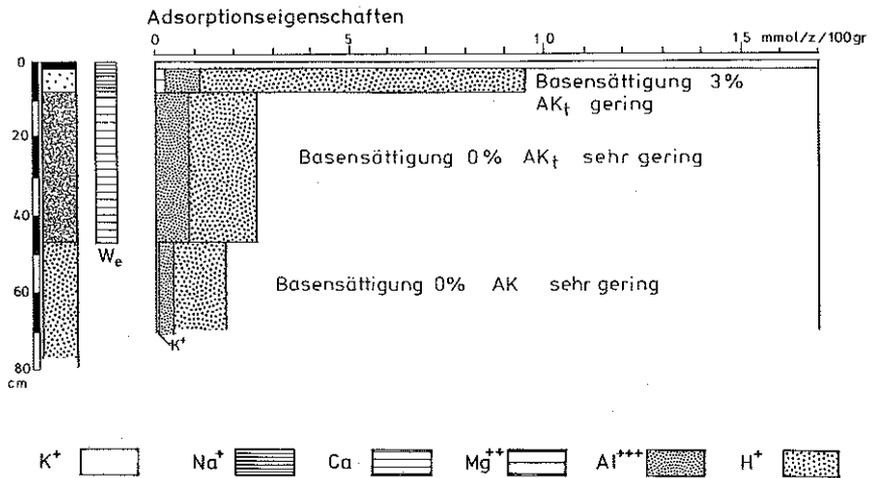
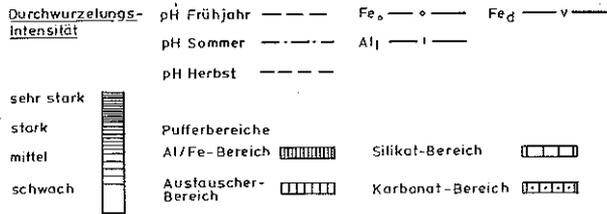


Abb. 18: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 16 (Bodeneinheit Nr. 16).

mengt, so daß keine Podsolierung mehr erkennbar ist (Profil A_p-B_v-C_v). Der gut durchwurzelbare Boden eignet sich bei hinreichender Düngung zum Spargelanbau und für andere Sonderkulturen.

Zu überwiegenden Teil werden die hier behandelten Böden aber forstlich genutzt. Die Standortkartierung (*Verein für Forstliche Standorterkundung e.V.* 1985) hat für den Abschnitt S' des Schwabachtales eine Beurteilung als trockene, anlehmgige Sande und als grundwechselflockene und grundrestfeuchte Sande, also insgesamt relativ trockene Standorte ergeben. Während im ersten Fall für diese Standorte Kiefer mit Beimischung von Stieleiche, Winterlinde und Weißbirke vorgeschlagen werden, sind es im zweiten Fall Kiefer und Lärche, eingebunden in einem nicht zu geringen Laubholzanteil wie Winterlinde, Buche und Hainbuche (*Forstamt Nürnberg* 1981).

Das dieser Bodeneinheit zugehörige Leitprofil 16 (podsolige Braunerde auf Dünenansanden über Burgsandsteinletten) wurde 1,6 km W' der Wolfsmarter aufgegraben (R⁴⁴ 33780, H⁵⁴ 89100). Es liegt in einem Kiefernforst. Die Profilfolge und die makroskopischen Merkmale sind aus Abb. 18 und Tabelle 22 zu entnehmen. Die Korngrößenanalyse zeigte eine einheitliche Kornpopulation mit einem Maximum im Mittelsandbereich, wie es für einen äolischen Sand als typisch anzusehen ist. Deckschichten sind nicht zu erkennen.

In der Darstellung der Tiefenvariation der pedogenen Eisenoxide (Abb. 18) ist ein deutliches Maximum von Fe_o im B_v zu erkennen, das mit einem Maximum des Aktualitätskoeffizienten Fe_o/Fe_d korrespondiert. Es wird damit die im Gang befindliche Podsolierung der Braunerde angezeigt. Die absoluten Größen von Fe_o und Fe_d sind relativ niedrig (vergl. Werte bei BLUME & SCHWERTMANN 1969), was mit geringen Eisengehalten im Ausgangsmaterial zusammenhängt.

Der pH-Wert (Abb. 18) bewegt sich in den Horizonten des Leitprofils 16 ausschließlich im Aluminium-Pufferbereich. Die Bodenlösung steht offensichtlich im Gleichgewicht mit einem fast nur aus H⁺ und Al⁺⁺⁺ bestehenden Ionenbelag der Austauschschicht (Abb. 18). Bei einer geringen bis sehr geringen Kationenaustauschkapazität sind nur im A_{ch} (0,25 mmol/z/100g Boden Mg) und im C_v (0,05 mmol/z/100g K) Basen nachzuweisen. Eine Elastizität zur Abpufferung von kurzen Versauerungsschüben besteht nicht. Der Boden ist als basenarm nach v. ZEZSCHWITZ 1984 einzustufen, so daß in sehr starkem Maße die Gefahr von Wurzelschäden beim Baumbestand besteht. Das Bodenleben und damit die Mineralisierung dürften stark behindert sein. Kalium- und auch Magnesium-Mangelsymptome sind zu erwarten (s. *Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten* 1973).

Wie beim Podsol auf Dünenansand (Leitprofil 15) sind auch bei der hier behandelten Braunerde die Gehalte an verwitterbarem Kalium K_v und Calcium Ca_v sehr gering (Tabelle 23). Es ist kaum eine Pufferkapazität gegeben, eine natürliche Regenerationsfähigkeit zu günstigeren Pufferbereichen weitgehend ausgeschlossen.

Neben dem Basenmangel besteht auch hinsichtlich der Phosphorvorräte eine sehr ungünstige Situation. Diese wird noch durch die geringe Entwicklungstiefe verschärft, so daß gegenüber dem Podsol des Leitprofils 15 im Hauptwurzelraum

Tabelle 22: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 16 (Bodeneinheit Nr. 16)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O	5YR 2/1 bräunlich- schwarz	mullartiger Moder							
A _{sh}	5YR 2/1 bräunlich- schwarz	Einzelkorn	2	12	81	5	u'S	gg'	1,10
B _v	5YR 4/6 rötlichbraun	Einzelkorn	1	11	85	3	u'S	gg'	1,34
C _v	5YR 6/4 mattorange	Einzelkorn	2	11	86	1	u'S	gg''	1,56

Tabelle 23: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 16 (Bodeneinheit Nr. 16) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizontfolge	N _t	C _o	Humusgehalt	C/N	P _t	C/P	P _v	K _v	Ca _v	Karbonatgehalt
A _{eh}	0,09	1,64	2,82	18	0,014	117	0,004	0,002	0,006	0
B _v	0,01	0,30	0,52		0,004		0,002	0,001	0,002	0
C _v	0,01	0,08	0,14		0,001		0,001	0,034	0,000	0
Gesamtmenge im Hauptwurzel- raum	≈1120				≈300		≈130	≈65	≈145	

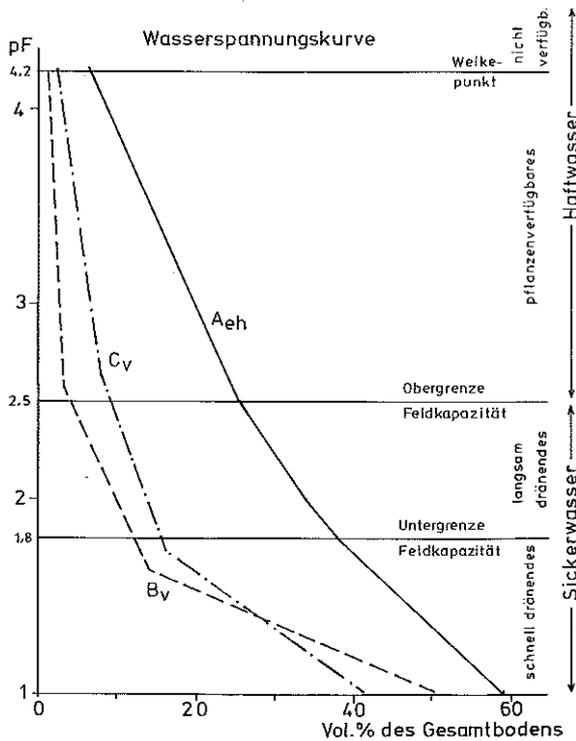
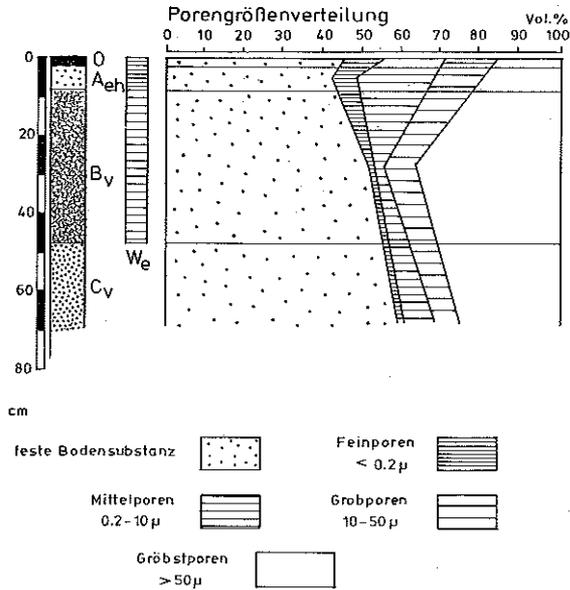


Abb. 19: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 16 (Bodeneinheit Nr. 16).

sowohl an P_t als auch an P_v noch geringere Mengen zur Verfügung stehen. Die Schlußfolgerungen entsprechen denen bei Leitprofil 16: "abiotische" Humifizierung und schlechte Mineralisation vor allem auch des organisch gebundenen Phosphors sind die Folge (s. auch REHFUESS 1981:39).

Die Humusform (mullartiger Moder nach ULRICH et al. 1984) ist verglichen mit den ungünstigen Bedingungen für das Bodenleben und die Humifizierung bei einem C/N-Verhältnis von 18 und einem C/P-Verhältnis von 117 relativ günstig. Trotzdem erscheint die pedogene Stickstoffversorgung problematisch, wenn man die Stickstoffvorräte im Hauptwurzelraum betrachtet (Tabelle 23: Stickstoffvorräte gering). Hinzu kommt eine schlechte Mineralisierung des Stickstoffs. Eine Kompensation des Stickstoffmangels ist nur über den atmosphärischen Eintrag von Stickoxiden zu erwarten.

Man kann damit auch zu diesem Standort feststellen: Nährstoffmangel und Säure/Basen-Verhältnisse bilden für den Baumbestand bedeutende Streßfaktoren. Sie sind noch intensiver ausgeprägt als bei der in vielem vergleichbaren Braunerde des Leitprofils 7a (Bodeneinheit Nr. 7), wo z.B. hinsichtlich der Phosphorversorgung günstigere Bedingungen existieren.

Weniger problematisch erscheint die Situation des Wasser- und Lufthaushalts. Die Porosität ist gegenüber dem Podsol auf Dünen sand (Leitprofil 15) infolge der anderen Korngrößenverhältnisse größer (vergl. Abb. 17 und 19). Außerdem ergibt sich für die nutzbare Feldkapazität des Hauptwurzelraums trotz der gegenüber Leitprofil 15 geringeren effektiven Durchwurzelungstiefe ein erhöhter Wert. Die den Pflanzen maximal zur Verfügung stehende Wassermenge (nFKWe, unter Einbeziehung des Grobporenanteils) läßt sich mit 96 l/m² als mittel einstuft (AG *Bodenkunde* 1982). Das Wasserspeichervermögen ist also durchaus nicht ungünstig. Eine Gefahr für die Waldvegetation durch Trockenheit wird nicht allzu häufig eintreten, ist aber auch nicht ganz auszuschließen.

Vom Standpunkt des Nährstoffhaushalts und des Chemismus sind die Böden der Einheit 16 durchaus als Problemstandorte einzustufen. Wasser- und Lufthaushalt sind dagegen nicht allzu ungünstig.

Bodeneinheit Nr. 17

Pseudogley mit flacher bis mittlerer Lage der Staunäsesohle auf Flugsanden über Feuerletten und Letten des Burgsandsteins bei ebener Morphologie (Sand bis schwach lehmiger Sand (20 - 50 cm) über sandigem Ton).

Diese Stauwasserböden findet man im Untersuchungsgebiet angrenzend an die Braunerden (Bodeneinheit Nr. 16) und Podsole (Bodeneinheit Nr. 15) auf Dünen- und Flugsanden N' und S' des Kalchreuther Höhenzuges zum Schwabach- bzw. Gründlachtal hin und zwar bei abnehmender Mächtigkeit der Sandbedeckung über Tonen des Burgsandsteins und Feuerlettens. Das Gelände ist i.allg. relativ eben oder flach muldig. Außer zu den letztgenannten Bodeneinheiten Nr. 15 und 16

bestehen fließende Übergänge vor allem auch zu Pseudogleyen auf Burgsandstein (Bodeneinheit Nr. 5) und den Pseudogleyen auf Rhätsandstein-Schutt über Feuerletten (Bodeneinheit Nr. 14).

Die Bodenprofile besitzen i.allg. den Aufbau $O-A_{eh}-S_w-IIS_d$, wobei der Sand und schwach lehmige Sand des Stauwasserleiters in seiner Mächtigkeit in der Regel zwischen 20 und 50 cm schwankt, gelegentlich auch bis 90 cm reichen kann. Der IIS_d ist meist kein reiner Ton, sondern ein Gemisch von äolischem Sand und Feuerletten bzw. Burgsandsteinletten (sandiger Ton). Im S_w treten Eisen/Mangan-Konkretionen und Flecken (an der Basis oft erbsengroß), bei längerfristigem Stauwassereinfluß auch Naßbleichung auf. Es müssen die Stauwasserstufen S3 und S4 angenommen werden (stark bis mittel staunach nach *AG Bodenkunde* 1982: 163 u.f.), wobei allerdings im Oberboden wegen der geringen Wasserspeicherfähigkeit des Sandes kurzfristige Austrocknung eintreten kann.

Der pH-Wert ist besonders im Oberboden sehr stark sauer. Die Rohhumusform bedingt eine Bleichung der Quarzkörner im bis 15 cm mächtigen A_{eh} -Horizont, die Pseudogleye sind also häufig podsolig.

Hinsichtlich der ökologischen Bewertung des Wasser- und Nährstoffhaushaltes sowie der forstlichen Standortbewertung kann im Prinzip auf die Aussagen bei Bodeneinheit Nr. 5 und Nr. 14 verwiesen werden. Die Böden der Einheit Nr. 17 sind im wesentlichen forstwirtschaftlich genutzt. Es sind Problemstandorte mit ungünstigen Bedingungen für das Wachstum der Waldvegetation. Auf eine angepaßte Bestockung von Pseudogleyen wurde bei den Einheiten Nr. 5 und 14 eingegangen.

Je nach Deckschichtenmächtigkeit sind der artenarme Hainbuchen-Eichen-Birkenwald (*Violo-Quercetum*) bzw., bei besserer Basenversorgung, auch der Stieleichen-Hainbuchenwald (*Galio-Carpinetum*), jeweils in der Subassoziation wechselfeuchter Böden (z.B. *Violo-Quercetum molinietosum*) mit deswegen nur geringem Rotbuchenanteil zu erwarten.

Bodeneinheit Nr. 18

Podsol, selten Pseudogley-Podsol auf Dünen- und Flugsanden über Rhätolias-Übergangsschichten mit großer Entwicklungstiefe bei welliger Morphologie (Sand und schluffiger Sand (40 - 100 cm) über lehmigem Sand bis sandigem Ton).

Die für die zuletzt behandelten Bodeneinheiten bestimmenden Flug- und Dünensanddecken erstrecken sich auch auf den sandigen Rhätolias. Wo tonige Einlagerungen im oberen Keuper vorhanden sind, findet man Pseudogley-Podsole, die in Pseudogleye auf Rhättonen (Bodeneinheit Nr. 9) überleiten können.

Die Horizontfolge besteht bei den Podsolen aus einer bis 10 cm dicken Rohhumusaufgabe ($O_1-O_f-O_h$), die bei der verbreiteten Streunutzung auf 3 cm verringert sein kann. Der A_{hc} -Horizont umfaßt nur einige Zentimeter. Er geht nach unten in den A_c über (bis 30 cm mächtig), der von der wenig bis mäßig verfestigten Orterde B_{hs}

gefolgt wird. Je nach Mächtigkeit der sandigen bis schluffig-sandigen, äolischen Decke liegt der Illuviationshorizont des Podsoles noch in diesem Profilabschnitt oder bereits im Rhätsandstein. Letzterer ist nach der Körnung relativ gut vom Dünen- und Flugsand zu unterscheiden.

Die sorptionschwachen, meist sehr stark saueren Böden sind in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften äquivalent den Podsolen der Einheit Nr. 15. Dies gilt auch für die ökologische Bewertung der Profilmerkmale.

Als potentielle natürliche Vegetation wäre der Kiefern-Stieleichenwald (*Pino-Quercetum typicum*) zu erwarten.

Bodeneinheit Nr. 19

Braunerde auf Flugsand über Rhätolias-Übergangsschichten mit großer bis sehr großer Entwicklungstiefe am flachen Oberhang der Rhätolias-Stufe (schluffiger Sand bis toniger Sand).

Diese Bodenformen bilden das Äquivalent zu den Profilfolgen der Einheit Nr. 16. Das Unterlager der geringmächtigen schluff-sandigen Flugsanddecken sind allerdings Rhätolias-Übergangsschichten. Die Grenzen der quartären und triadischen Ausgangssubstrate sind innerhalb eines Profils relativ unscharf. Zur Bodeneinheit Nr. 7a bestehen Übergänge. Wie diese Böden werden auch die von Bodeneinheit Nr. 19 überwiegend landwirtschaftlich genutzt.

In der Situation des Wasser- und Nährstoffhaushalts und deren Bewertung ergeben sich weitestgehende Parallelen zur Einheit Nr. 16. Die Böden sind versauert, können jedoch bei Zufuhr von Basen aus dem Lias und/oder bei entsprechender Düngung angesichts des nicht ungünstigen Wasserhaushaltes ertragsfähige Ackerstandorte abgeben.

Aufgrund günstiger Niederschlagsverhältnisse ist bei diesen Standorten mit dem artenarmen Buchen-Traubeneichenwald (*Fago-Quercetum*) als potentielle natürliche Vegetation zu rechnen.

Bodeneinheit Nr. 20

Braunerde, selten Pelosol-Braunerde und Pseudogley-Braunerde auf sandigen bis lehmigen Deckschichten (Beteiligung von Lößlehm) über Liastonen und -mergeln mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe auf Hängen und Verebnungen des Lias (lehmi-ger Sand bis sandiger Ton (15 - 40 cm) über sandigem Lehm bis lehmigem Ton).

Äolische Deckschichten sind schließlich auch auf den Liasflächen des Kalchreuther Höhenzuges verbreitet. Ihre Beteiligung an der Bodenbildung wurde bereits bei den Bodeneinheiten Nr. 10, 11, 12 vermerkt. Auf etwa 1/3 der Liasflächen lassen sich aber noch eindeutige Zweischichtenprofile nachweisen.

Neben den äolischen Deckschichten trifft man innerhalb der Bodeneinheit Nr. 20 auch Reste von Doggersandstein-Verwitterungsmaterial an, das auf kurze

Strecke in Löß oder Flugsand übergeht. Als Charakteristikum ist eine Durchmischung mit Limonitscherben festzustellen. Eine Abtrennung als selbständige Einheit ist nicht möglich.

Das allochthone Material der Decken ist häufig mit Lias-Tonen und Mergeln vermischt. Es ist daher ganz natürlich, daß kontinuierliche Übergänge vor allem zu den Pelosolen der Einheit Nr. 10 bzw. zu den kalkhaltigen Pelosolen der Einheit Nr. 11 bestehen. Die Mächtigkeit der Deckschichten beträgt in der Regel 20 cm bis etwa 40 cm. Die Entwicklungstiefe der Bodenprofile ist mittel bis groß.

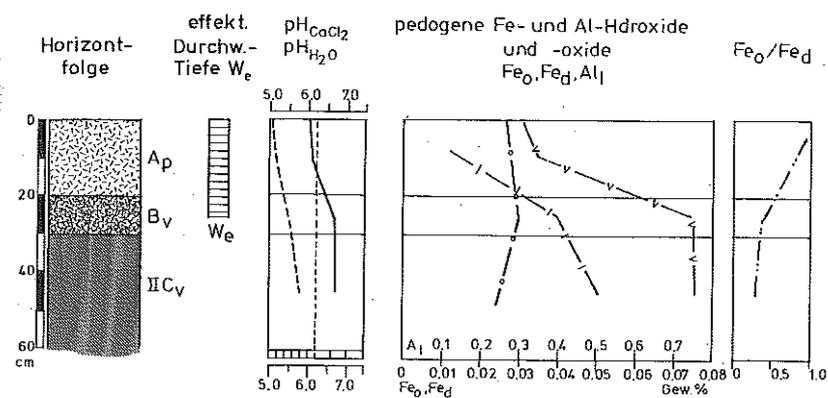
Da der tonige Unterboden relativ schlecht wasserdurchlässig ist, ist häufig schwache Pseudovergleyung anzutreffen, die jedoch zu echten Pseudogleyen der Bodeneinheit Nr.12 überleiten kann.

Im Gegensatz zu den schweren Liastonen sind die Böden auf sandigen und lehmigen Deckschichten über Lias gut bearbeitbar und werden deswegen vor allem landwirtschaftlich genutzt. Ackerbau, Obstgärten oder Grünlandnutzung lösen sich gegenseitig ab, je nach Höhe des Tongehaltes.

Zur Charakterisierung der physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Bodeneinheit wurde im Leitprofil 20 (R:⁴⁴ 37100, H:⁵⁴ 91800) eine Pelosol-Braunerde mittlerer Entwicklungstiefe im Bereich einer Ackerfläche aufgenommen. Die Horizontabfolge sowie einige wichtige makroskopische Merkmale sind Abb. 20 und Tabelle 24 zu entnehmen. Nach der Korngrößenanalyse besteht für den A_p ein Maximum im Mittelsandbereich, das auf die starke Beteiligung von äolischem Material hinweist. Im B_v ist die Korngrößenverteilung sehr viel unklarer zu interpretieren. Sie läßt mit undeutlichen Maxima im Feinschluff- und Mittelsandbereich eine Vermischung von Lias- und Flugsandmaterial vermuten, was im Prinzip auch für den IIC_v zutrifft.

Die untersuchten pedogenen Eisen- und Aluminium-Gehalte sind absolut gesehen relativ gering (Abb. 20). Die Tiefenvariation des Fe_o -Wertes entspricht der Braunerde-Dynamik (s. BLUME & SCHWERTMANN 1969). Die starke Zunahme des Fe_o -Gehaltes vom Oberboden zum Unterboden dürfte dagegen mit einer schwachen Pseudovergleyung zusammenhängen, die makroskopisch nicht erkennbar ist. Auffällig ist weiterhin eine starke Zunahme des Al_1 -Wertes im Profil von oben nach unten, die nur mit der Zunahme an Tonmineralen zum Lias hin in Verbindung gebracht werden kann. Die Fe_o/Fe_a -Werte entsprechen wieder den für Braunerden üblichen Größen. Das zugehörige Maximum im A_p ist durch den Gehalt an organischer Substanz bedingt, die die Kristallisation des pedogenen Eisens behindern kann (BLUME & SCHWERTMANN 1969).

Der pH-Wert (Abb. 20) liegt an der Grenze Silikat-/Austauscher-Pufferbereich. Der Boden gehört damit von seinen Säure/Basen-Verhältnissen her zu den günstigen Standorten im Rahmen der Bodenassoziationen des Untersuchungsgebietes (s. Bodenkarte Beilage 1). Dies bestätigt sich in den Ionenbelägen der Austauscher



cm

Legende

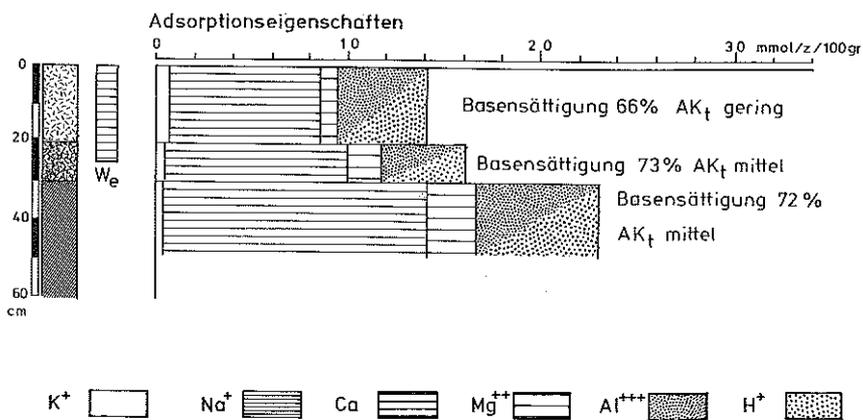
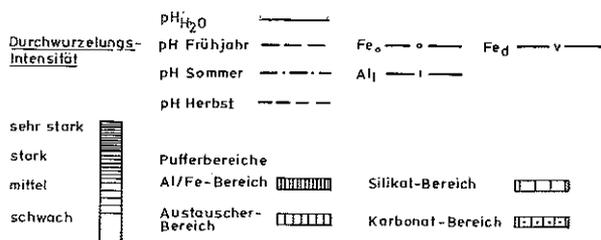


Abb. 20: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 20 (Bodeneinheit Nr. 20).

Tabelle 24: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 20 (Bodeneinheit Nr. 20)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O		L-Mull							
A _p	10YR 3/3 dunkelbraun	Krümel	20	25	53	2	šL	g'	1,45
B _v	10YR 5/6 gelbbraun	Subpolyeder	54	30	14	2	LT	g'	1,73
IIC _v	10YR 7/8 gelborange	Polyeder	30	32	36	2	stL	g'	1,54

(Abb. 20). Die Basensättigung ist hoch, Calcium herrscht vor. Das Kalium-Maximum im Oberboden kann auf die Düngung zurückgeführt werden, die Magnesium-Zunahme zum Unterboden ist durch erhöhte Magnesium-Gehalte im Lias bedingt.

Die Kationenaustauschkapazität AK_t ist gegenüber den Pelosolen auf Lias (Leitprofil 10) um einiges geringer. Die Ursache ist in der beträchtlichen Beteiligung von adsorptionsarmem Mittelsand (äolische Deckschichten!) am Material des Solums von Leitprofil Nr. 20 zu sehen.

Eine ökologisch günstige Beschaffenheit des Standortes zeigt der Humuskörper. Der Humusgehalt ist für Ackerböden relativ hoch (mittel humos nach AG *Bodenkunde* 1982), der Humuszustand als L-Mull optimal. Die hohen Stickstoffreserven (Tabelle 25, Beurteilung nach SCHLICHTING & BLUME 1966) im nur geringmächtigen Hauptwurzelraum sind damit gut mineralisierbar, die Stickstoffversorgung ist also gesichert.

Tabelle 25: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 20 (Bodeneinheit Nr. 20) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizont- %	N_t folge	C_o	Humus	C/N gehalt	P_t	C/P	Karbonatgehalt Gew
A_p	0,20	2,21	3,80	12	0,020	37	0,40
B_v	0,07	0,29	0,50		0,010		0,37
$II C_v$	0,05	0,02	0,04		0,007		0,40
Gesamt- menge im Hauptwur- zelraum	= 6400				= 670		

Der Phosphor-Vorrat im Hauptwurzelraum (Tabelle 25) ist dagegen nicht befriedigend. Es herrscht Phosphor-Mangel. Die Untersuchungsergebnisse stimmen hier mit denen der Lias-Pelosele von Leitprofil 10 und 11 überein.

Die auf der Abb. 20 erkennbare geringe Durchwurzelungstiefe läßt bereits vermuten, daß der Boden des Leitprofils 20 nur einen geringen Anteil an Poren aufweist, der für das Eindringen der Wurzeln geeignet ist. Die Porengrößenverteilung (Abb. 21) zeigt konkret einen hohen Feinporen- und einen geringen Gröbstoporenanteil. Besonders im Unterboden ist die davon ausgehende Situation in Hinblick auf Durchwurzelung und Durchlüftung sehr kritisch. Der für die Speicherung des pflanzenverfügbaren Wassers gegebene Porenraum ist relativ gering. Abgeschätzt nach dem Verfahren der AG *Bodenkunde* (1982) ergibt sich eine nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums $nFKWe$ zu ca. 50 l/m^2 und dies ist ein sehr geringes bis geringes Kontingent.

So erweist sich also der Standort von Leitprofil 20 hinsichtlich der Bodenchemie und des Nährstoffhaushalts (abgesehen vom Phosphorhaushalt) als recht günstig. Hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften ergeben sich jedoch Probleme, wie sie auch bei den anderen bindigen Böden auf Lias bestehen (Bodeneinheiten Nr. 10 und 11): die Wasserversorgung der Vegetation, die Durchlüftung und die Durchwurzelung sind gehemmt. Nur durch intensive Bearbeitung sind für Kulturpflanzen erträgliche Luft- und Wasserverhältnisse zu erreichen.

Günstige Niederschlagsverhältnisse und insgesamt lockere, gut durchwurzelbare, basenhaltige Lehmböden in Hangposition fördern die Rotbuche auf den Flächen, die von Bodeneinheit Nr. 20 eingenommen werden, kräftig. Der Perlgras-Buchenwald (Melico-Fagetum) dürfte hier als potentielle natürliche Vegetation anzusehen sein. Zur führenden Buche treten Traubeneiche, Hainbuche und Winterlinde hinzu. Nach HOLZAPFEL (1960) ist mit einem Tannenanteil zu rechnen.

4.2.5.2 Böden aus fluviatilen Deckschichten, vor allem Terrassensanden

Bodeneinheit Nr. 21

Pseudogley und Pelosol-Pseudogley mit mittlerer bis tiefer Lage der Staunässesohle mit Übergängen in Gley auf Hauptterrassensedimenten der Gründlach über Mittlerem und Oberem Burgsandstein (30 - 70 cm Sand und Lehm über sandigem Ton)

Die Bodeneinheit nimmt einen großen Teil der Oberfläche der pleistozänen Hauptterrassensedimente ein. Sie überdecken mit nach Norden abnehmender Mächtigkeit den Burgsandstein. Dieses Substrat ist häufig weniger durchlässig als die Terrassensande oder besteht sogar aus Letten, so daß es an der Grenze Quartär/Keuper zur Stauwasserbildung kommt.

Im Bereich des Auskeilens der Terrassensedimente sind die Grenzen zu den Pseudogleyen auf Burgsandstein (Bodeneinheit Nr. 5) unscharf. Eine Differenzierung ist allenfalls nach den Korngrößen möglich (bessere Sortierung bei den Terrassensanden).

Die sandige Deckschicht besitzt in der Regel eine Mächtigkeit von 30 cm bis 70 cm. Die Stauwassersohle kann aber auch erst in einer Tiefe von 1m und etwas mehr erreicht werden. Die Horizontfolge ist häufig $A_h-S_w-IIS_d$. Überdeckt wird der Mineralboden von Auflagehumus mit moderartiger Rohhumusform. Der A_h ist entsprechend der Humusform geringmächtig (5 cm, in Ausnahmefällen bis 15 cm).

Das Stauwasser, das die Bodenformen prägt, ist in vielen Fällen langfristig präsent, besonders bei muldenförmiger Geländedeposition oder lehmiger Bodenart. Naßphasen von 7 bis 9 Monaten sind nicht selten. Der S_w -Horizont ist dann naßgebleicht.

Das in der Umgebung des Gründlachteles in den Terrassensedimenten hoch anstehende Grundwasser kann schließlich das Bodenprofil mitbeeinflussen. Es

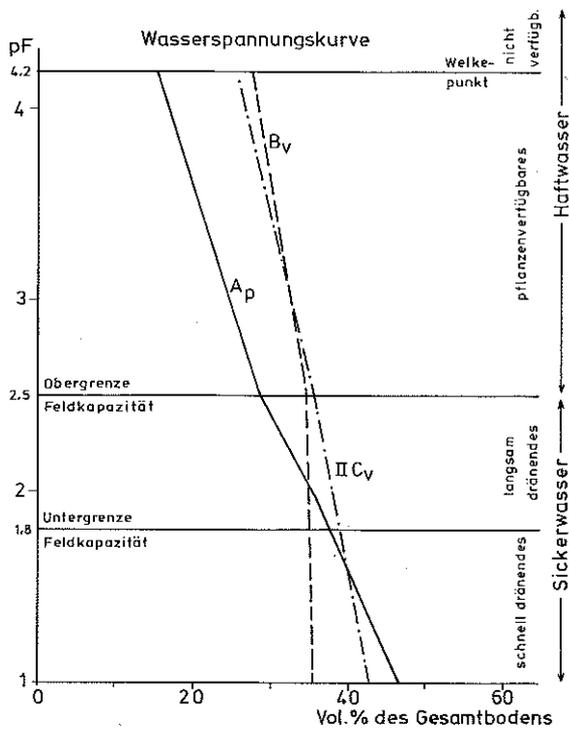
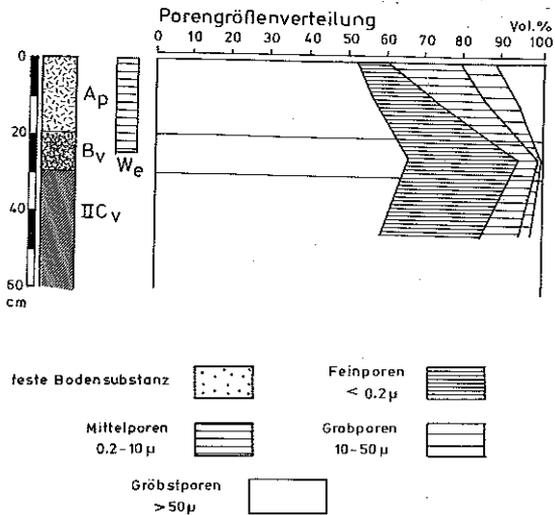


Abb.21: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 20 (Bodeneinheit Nr. 20).

entwickelt sich ein Interferenzhorizont von S_d und G_o , so daß oftmals bereits von Gley-Pseudogleyen gesprochen werden muß.

Der pH-Wert (pH_{CaCl_2}) liegt bei sandiger Bodenart im stark sauren, bei lehmigen Verhältnissen im mittel sauren Bereich (AG *Bodenkunde* 1982). Wurzelschäden an der Waldvegetation sind damit in der Regel nicht zu befürchten. Auf die Probleme, die sich aus der Pseudovergleyung ergeben, wurde bei Bodeneinheit Nr. 5 ausführlich eingegangen.

Als potentielle natürliche Vegetation wären bei mächtigerer Deckschicht der artenarme Hainbuchen-Eichen-Birkenwald (Violo-Quercetum mit einzelstammweise beigemengter Rotbuche), kleinflächig sicher auch der Kiefern-Stieleichenwald (Pino-Quercetum) bzw., bei geringerer Mächtigkeit, Stieleichen-Hainbuchen-Wälder (Galio-Carpinetum), wohl in einer Subassoziation wechselfeuchter Böden, anzunehmen.

Die Flächen dieser Bodeneinheit werden mit Ausnahme einiger kleinerer Flecken bei der Hundsmühle forstwirtschaftlich genutzt. Die standortkundliche Beurteilung nennt hier wechselfeuchte und wechsel-trockene Deck- und Schichtlehme, die für Stieleiche, Hainbuche und Winterlinde geeignet sind (*Forstamt Nürnberg* 1981).

Bodeneinheit Nr. 22

Braunerden, z.T. podsolig, pseudovergleyte Braunerden und Pseudogley-Braunerden auf Hauptterrassensedimenten der Gründlach mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe (lehmiger Sand bis sandiger Lehm).

Die Bodeneinheit Nr. 22 nimmt den Bereich der Hauptterrasse der Gründlach ein, wo über dem Keuperuntergrund mächtigere Sandpakete entwickelt sind. Außerdem tritt sie innerhalb des letztgenannten Rahmens vor allem auf kleinen Geländerrücken auf. Die Einheit Nr. 22 geht kontinuierlich aus der Einheit Nr. 21 hervor.

Die Terrassensande besitzen eine Mächtigkeit von mindestens 50cm bis 70cm. Im Fall minimaler Mächtigkeit ist Pseudovergleyung vorbereitet. Die Profile umfassen dann die Abfolge $A_h-B_v-B_vS_w-IIS_d$.

Bei mächtigeren Sandpaketen findet man dann oligotrophe, mäßig bis stark saure Braunerden mit z.T. großer Entwicklungstiefe, die nur noch selten und dann sehr abgeschwächt Pseudovergleyung zeigen. Dies ist offensichtlich durch die gute Durchlässigkeit des sandigen Bodenmaterials bedingt. Als Humusformen sind Moder und Rohhumus entwickelt. Die A_h - oder A_{hc} -Horizonte besitzen eine Mächtigkeit von 5 bis maximal 15 cm. Der letztgenannte Wert wird nur bei starker Durchfeuchtung in Übergangsbereichen zu Gleyen (s. unten) erreicht. Der B_v besitzt Mächtigkeiten zwischen 30 cm und 50 cm; seine Grenze zum C_v liegt häufig bei etwa 60 cm unter Geländeoberfläche oder darunter (in Kuppenposition).

Im Übergangsbereich zu den Gleyen der Bodeneinheit Nr. 26 kann in den Unterboden das Grundwasser hineinreichen, so daß $C_v G_o$ - und $B_v G_o$ -Horizonte zu beobachten sind. Man muß dann bereits von Gley-Braunerden sprechen, die noch zur Bodeneinheit Nr. 22 gestellt werden.

Je nach Lehmgehalt der Sande dürften diese Standorte der Bodeneinheit Nr. 22 vom artenarmen Hainbuchen-Eichen-Birkenwald (*Violo-Quercetum typicum*) bzw., bei höheren Schluff- und Tongehalten, vom Stieleichen-Hainbuchenwald (*Galio-Carpinetum*) als potentieller natürlicher Vegetation eingenommen werden.

Standortkundlich liegen bei den Braunerden und Pseudogley-Braunerden grundfrische bis mäßig frische Sandböden vor, die für eine Bestockung mit Kiefer und Lärche, eingebunden in einen nicht zu geringen Laubholzanteil (Winterlinde, Buche, Hainbuche) geeignet erscheinen (*Forstamt Nürnberg* 1981). Die Übergänge in Gleye gehören zu den grundfeuchten Sandböden.

Bodeneinheit Nr. 23

Pseudogley und Pseudogley-Gley mit mittlerer bis tiefer Lage der Staunässesohle auf Terrassensedimenten der Schwabach über Feuerletten (S-Rand des Schwabachtals) (30 - 70 cm Sand und Lehm über sandigem Ton)

Diese Bodeneinheit begleitet - allerdings in geringer Verbreitung - die Terrassen des Schwabachtals. Sie geht kontinuierlich aus den Pseudogleyen auf Dünen- und Flugsanden über Feuerletten weiter S' hervor (s. Bodenkarte, Beilage 1). In der Regel ist dem sandigen Stauwasserleiter auch äolischer Sand beigemischt.

Die Dynamik eines Pseudogleys herrscht vor allem in größerer Entfernung von der Schwabach vor. Der Feuerletten steht in geringer Tiefe unter Geländeoberfläche an, die Horizontfolge ist in der Regel $O-A_h-S_w-IIS_d$.

Mit Annäherung an den Flußlauf beeinflußt dann das hochstehende Grundwasser den Unterboden. Übergänge zu Gleyen (s. Bodeneinheit Nr. 26) bis hin zu Pseudogley-Gleyen mit einer $O-A_h-S_w G_o-IIS_d G_r$ -Folge treten innerhalb der Bodeneinheit Nr. 23 in Erscheinung. Die Grenze G_o/G_r , die etwa dem mittleren Grundwassertiefstand entspricht, liegt bei etwa 75 cm unter Geländeoberfläche.

Dies wechselfeuchten bis grundfeuchten Sande werden in der potentiellen natürlichen Vegetation von der Wechselfeuchtezeiger-reichen Subassoziaton des artenarmen Hainbuchen-Eichen-Birkenwaldes (*Violo-Quercetum molinietosum*) bzw., bei besser basenversorgten Standorten, des Stieleichen-Hainbuchenwaldes (*Galio-Carpinetum*) eingenommen.

Diese Böden sind weitgehend forstwirtschaftlich genutzt. Standortkundlich können sie im Sinne der Bewertung des *Forstamts Nürnberg* 1981 den grundfeuchten bis grundwechselfeuchten Sandböden zugeordnet werden. Dafür werden Stieleiche, Fichte, Kiefer und Winterlinde als Bestockungsziel vorgeschlagen (*Forstamt Nürnberg* 1981).

Bodeneinheit Nr. 24

Braunerde und Gley-Braunerde auf Terrassensedimenten der Schwabach mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe (S-Rand des Schwabachtals, Lehm bis sandiger Lehm).

Auch diese Einheit begleitet das Schwabachtal im Norden des Untersuchungsgebietes, besitzt allerdings gegenüber der Bodeneinheit Nr. 23 größere Verbreitung.

Das Ausgangsmaterial sind fluviatile Terrassensande, die in einer Reihe von Sandgruben abgebaut werden oder wurden. Sie sind im Oberflächenbereich mit Flugsand vermischt. In Richtung auf mächtigere Anhäufungen von Flug- und Dünenanden besteht dann ein Übergang in die Braunerden auf diesen Ausgangssubstraten, insbesondere ein Übergang zur Bodeneinheit Nr. 16.

Bei tiefer liegendem Grundwasserspiegel findet man typische oligotrophe Braunerden mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe. Die Mächtigkeit des A_h beträgt 5 cm bis 10cm, die des B_v 40 cm bis 60 cm.

Nicht selten beeinflußt aber in den Talrandlagen Grundwasser den Unterboden der Braunerden, so daß sich Gley-Braunerden entwickeln konnten. Diese gehen wiederum fließend in Gleye (Bodeneinheit Nr. 26) über. Zu einem Teil sind allerdings hydromorphe Merkmale im Unterboden der Braunerden, insbesondere cm-große Eisenoxid-Konkretionen oder -Bänder als fossile Merkmale einzustufen. Der heutige Grundwasserspiegel liegt in diesen Fällen für einen Einfluß auf die Bodenprofile zu tief.

Die Böden werden z.T. ackerbaulich, z.T. forstwirtschaftlich genutzt. Im ersteren Fall sind ein nur mäßig saurer pH-Wert und eine relativ günstige Basensättigung festzustellen. Der Einfluß der Düngung ist hier unverkennbar.

Waldstandorte mit Kiefernreinbeständen besitzen eine Rohhumusaufflage, einen stark sauren pH-Wert im Oberboden und eine geringe Basensättigung. In den Merkmalen des Wasser- und Nährstoffhaushalts bestehen weitgehende Parallelen zu den Braunerden auf äolischen Sanden (z.B. zur Bodeneinheit Nr.16), so daß vor allem eine Nährstoffmangel-Situation für den Baumbestand anzunehmen ist.

Hinsichtlich der potentiellen natürlichen Vegetation sei auf die Ausführungen bei Bodeneinheit Nr. 22 verwiesen.

Standortkundlich werden die Waldböden dieser Einheit den mäßig trockenen Sandböden (Braunerden) bzw. den grundfeuchten bis grundwechselfeuchten Sanden (Gley-Braunerden)(im Sinne von *Forstamt Nürnberg* 1981) zugeordnet. Im ersten Fall sind Kiefer, Stieleiche, Winterlinde und Birke ein anzustrebendes Bestockungsziel, im letzteren Fall wäre bei sonst gleichem Spektrum statt der Birke die Fichte einzusetzen.

Bodeneinheit Nr. 25

Kolluvium und aus Kolluvium entstandene Braunerden im Bereich der Wolfsfelder Wiese

In typischer Entwicklung und auskartierbarer Verbreitung trifft man auf diese Bodeneinheit nur entlang des Baches unterhalb der Teufelsbadstube und im Randbereich der Wolfsfelder Wiese (s. Bodenkarte, Beilagetafel). Es handelt sich um Bodensedimente aus sandig-schluffigen Decken der Äcker SW' von Kalchreuth.

Das Bodenmaterial ist feinkörnig, vor allem schluffig und mehr oder weniger humos. Teilweise ist eine autochthone Braunerde-Entwicklung auf diesem Ausgangssubstrat zu erkennen.

Günstige Nährstoff- und Wasserverhältnisse lassen die Existenz von anspruchsvollen, naturnahen Pflanzengesellschaften zu. Potentiell natürlich wären auf diesen Standorten der bodenfeuchte Stieleichen-Hainbuchenwald (Stellario-Carpinetum) mit Winterlinde, Erle und Esche.

4.3 Semiterrestrische Böden

4.3.1 Grundwasserböden und Aueböden

Bodeneinheit Nr. 26

Typischer Gley, Pelosol-Gley, Podsol-Gley, Braunerde-Gley und Pseudogley-Gley mit mittlerer bis tiefer Grundwasserstufe auf Verebnungen sowie in Geländemulden und in Bachtälern (Bodenart stark wechselnd)

Die Verbreitung dieser Bodeneinheit im der Bodenkarte (Beilage 1) ist beträchtlich. Sie umfaßt weite Flächen und Mulden sowie Bachtäler am Fuß des Kalchreuther Höhenzuges zum Gründlach- und Schwabachtal hin.

Das geologische Ausgangsmaterial ist sehr wechselhaft und besteht im Prinzip einmal aus Keuperletten, die bis an die Geländeoberfläche reichen, zum anderen aus Terrassen- und Flugsanden in wechselnder Mächtigkeit über Keuperletten. Dementsprechend kann man folgende Bodenformen unterscheiden:

Auf *Burgsandstein* findet man Gleye mit sandiger bis lehmiger, z.T. auch toniger Bodenart. Der Mittlere Grundwassertiefstand (Grenze G_0/G_1) liegt ca. 80 cm u. GOF., der Schwankungsbereich des Grundwassers (Obergrenze G_0) reicht bis ca. 40 cm u. GOF.. Als Humusform ist bei Fichten- und Kiefernbeständen Moder bis Rohhumus entwickelt. Unter einem 10 bis 20 cm mächtigen A_n folgt ein mit Eisen- und Mangan-Flecken sowie -konkretionen durchsetzter G_0 .

Die Gleye auf *Feuerletten* sind bei Fehlen einer sandigen Deckschicht in der Regel Pelosol-Gleye mit einem $O-A_n-G_0$ -Profil. Kontinuierliche Übergänge bestehen zu den pseudovergleyten Pelosolen auf Feuerletten (Bodeneinheit Nr. 4).

Die Gleye auf *Rhättonen* werden bei Leitprofil 26a näher behandelt. Sie besitzen sandig-lehmige bis lehmig-tonige Bodenart. Der Schwankungsbereich des Grundwassers reicht z.T. bis an die Geländeoberfläche (Obergrenze G_0). Der G_0 ist von Eisen- und Mangankonkretionen durchsetzt.

Auch auf topographisch relativ hoch liegendem *Lias* findet man noch Gleye, so z.B. N' und NW' Stettenberg bei Heroldsberg. Die Bodenprofile sind i.allg. geprägt durch schluffige und lehmige Bodenarten im Oberboden, die auf Reste von quartären Deckschichten zurückgehen. Übergänge bestehen auch hier zu Pseudo-

gleyen (s. Bodeneinheit Nr. 12). Genutzt werden die Standorte z.T. als Grünland z.T. als Wald.

Sehr häufig findet man Gleye auf sandigen Decken, also *Flugsanden*, vor allem aber *Terrassensanden der Schwabach und Gründlach*. Je nach Mächtigkeit der sandigen Auflage und Tiefenlage des Grundwassers liegen Typische Gleye oder Übergänge in terrestrische Böden, Braunerde-Gleye oder Podsol-Gleye vor. Letztere zeigen dann Verbindungen zu Gley-Braunerden oder Gley-Podsolen (s. Bodeneinheiten Nr. 15 und 16). Die Braunerde-Gleye werden gelegentlich auch landwirtschaftlich genutzt (z.B. S' der Kreuzweiher) während im übrigen auf diesen Böden forstwirtschaftliche Nutzung besteht. Bei den Typischen Gleyen besteht ein Mittlerer Grundwassertiefstand von ca. 40 cm bis 60 cm u. GOF., bei den Übergangstypen von 1,0 bis 1,2 m u. GOF.. Recht unterschiedlich sind in den Sanden die G_0 -Horizonte entwickelt. Die Zeichnung wird zum einen durch hell gelbbraune Farben und einzelne rostbraune Oxidationsflecken oder Eisen-Mangan-Konkretionen mit 2 bis 20 mm Durchmesser (2-7 % Flächenanteil an der Profilwand), zum andern durch Raseneisenerz-Konkretionen bis 40 cm Durchmesser (z.B. im Gebiet der Erlenlach in der W' und N' Umgebung der Bodeneinheit Nr. 27, s. Bodenkarte, Beilage 1) oder gar Raseneisenerz-Horizonten mit 20 - 25 cm Mächtigkeit (z.B. 500 m SW' Grabermühle) geprägt. Die zur Bildung der Raseneisenerze erforderlichen großen Eisenmengen stammen aus Bereichen mit Podsolierung und wurden durch das Grundwasser seitlich zugeführt. Der Eisen-Gehalt der Sande in den Bodenprofilen ist für die Bildung der Raseneisenerze zu gering.

Bei Abnahme der Durchlässigkeit zum G_0 oder G_r bestehen Übergänge zu Pseudogleyen in Form von Pseudogley-Gleyen. Die Abtrennung von echten Pseudogleyen ist dabei oft sehr problematisch, da die Zeichnung der Pseudovergleyung in den Sanden recht undeutlich sein kann. Eine Differenzierung wurde in Problemfällen vor allem nach der Tiefe des Wasserstauers vorgenommen. War dieser mit dem 1m-Bohrstock noch erreichbar, wurde das Profil dem Pseudogley zugerechnet.

Die letzte Kategorie unter den Bodenformen der Einheit Nr. 26 bilden die *Gleye im Bereich der Bachtälchen*. Sie gehen häufig auf kurze Strecken in Naßgleye über (Bodeneinheit Nr. 27).

Auf diesen hinsichtlich Bodenart, Wasser- und Nährstoffhaushalt sehr unterschiedlichen Böden ist auch eine differenzierte potentielle natürliche Vegetation zu erwarten.

Die am niederschlagsreichen Aufgleithang des Kalchreuther Höhenzuges befindlichen Gleye auf Lias in den kleinen, aber gefällstarken Bachtälchen weisen teilweise auch in der aktuellen Vegetation Reste des hier als potentielle natürliche Vegetation anzunehmenden Winkelseggen-Eschenwaldes (*Carici remotae-Fraxinetum*) mit Erle und anthropogen bevorteilten Weiden auf. Die Mischböden in den schmalen Auen der Rhätschluchten mit sandig-lehmiger Bodenart zeigen noch Reste des hier als potentielle natürliche Vegetation zu erwartenden Hainmieren-

Erlenwaldes (Stellario-Alnetum), der sich auch noch im Bereich des Feuerletterns finden würde. Unter deutlicher Gefällsverringering beim Eintritt in den Burgsandstein haben die Gleye hier eine mehr sandige Bodenart. Je nach Basenzug aus den basenreicheren Feuerlettern- und Liasgebieten des Oberlaufes stocken hier der Hainmieren-Erlenwald (Stellario-Alnetum) oder schon, bei geringerem Gefälle, der Traubenkirschen-Erlen-Eschenwald (Pruno-Fraxinetum) und der bodenfeuchte Stieleichen-Hainbuchenwald (stellario-Carpinetum), jeweils in azidophytenreichen Subassoziationen.

Auf den höher gelegenen, sandigen und basenarmen Terrassenböden erfolgt dann der Übergang zu den für grundwasserfreie Terrassensande charakteristischen Waldgesellschaften wie artenarmer Hainbuchen-Birkenwald (Violo-Quercetum) bzw. Stieleichen-Hainbuchenwald (Galio-Carpinetum), jeweils in den an Wechselfeuchtezeigern-reichen Subassoziationen.

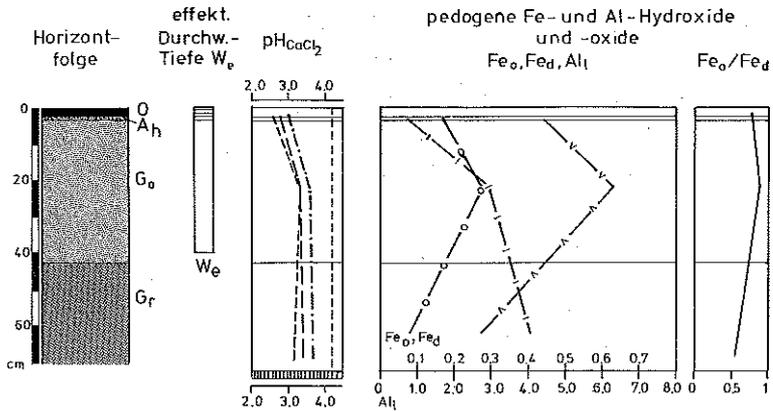
Basenarme, meist staufeuchte bis -nasse Böden wechselnder Bodenart in Geländemulden und Bachtälchen mit langsam ziehendem Wasser können bei häufiger Kaltluftsee-Bildung auch natürliche, weit nach Westen vorgeschobene Standorte der Fichte sein, die sich hier zusammen mit Erle zum Fichten-Erlen-Auewald (Piceo-Alnetum) zusammenschließt.

Wie vereinzelt bereits angemerkt, werden die Gleye relativ selten landwirtschaftlich genutzt. Bei forstwirtschaftlicher Nutzung bestehen einmal wechselfeuchte bis nasse Tonstandorte mit niedrigen Bodentemperaturen und schlechter Durchlüftung, deren vorgeschlagene Bestockung Stieleiche und Hainbuche umfassen dürfte (Forstamt Nürnberg 1981). Die sandigen Gleye zum anderen gehören entweder zu den leicht sauren Alluvial- und Diluvialböden (s. auch Leitprofil 26b) mit einer angestrebten Bestockung von Esche, Erle und Pappel oder bei niedrigerem pH-Wert zu den nassen Sandböden, für die als Bestockung Stieleiche, Fichte, Erle, Aspe, Winterlinde und Hainbuche empfohlen wird (Forstamt Nürnberg 1981).

Zur Charakterisierung der Vielfalt dieser Bodeneinheit wurden zwei Leitprofile aufgenommen, ein Profil auf lehmigem Substrat, ein zweites auf sandigem Ausgangsmaterial.

Das Leitprofil 26a, ein Gley auf Rhättonen, ist in seinem Aufbau und seinen makroskopischen Merkmalen aus Abb. 22 und Tabelle 26 zu ersehen. Es wurde im Bereich der Tiegeltonlöcher S' von Kalchreuth aufgenommen (R: ⁴⁴ 36300, H: ⁵⁴ 89750). Die Profilgrube liegt in einem Kiefern-Fichten-Forst. Die potentielle natürliche Vegetation stellt hier nach RAUM (1985) der Fichten-Erlen-Auewald (Piceo-Alnetum) dar.

Die uneinheitlichen Korngrößenmaxima in den einzelnen Horizonten (A_h : unscharfes Maximum im Grobschluffbereich, G_o : Maximum im Grobschluff bis Feinsandbereich, G_r : ein Maximum im Grobtonbereich, zweites Maximum im Grobschluffbereich) läßt den Schluß zu, daß das Ausgangsmaterial der Bodenbildung eine wahrscheinlich durch Solifluktion entstandene, sandig-lehmige Decke mit Beteiligung von Rhät und Quartärablagerungen (Flugsand, Löß) darstellt. Es liegt also kein reiner Rhätton vor.



Legende

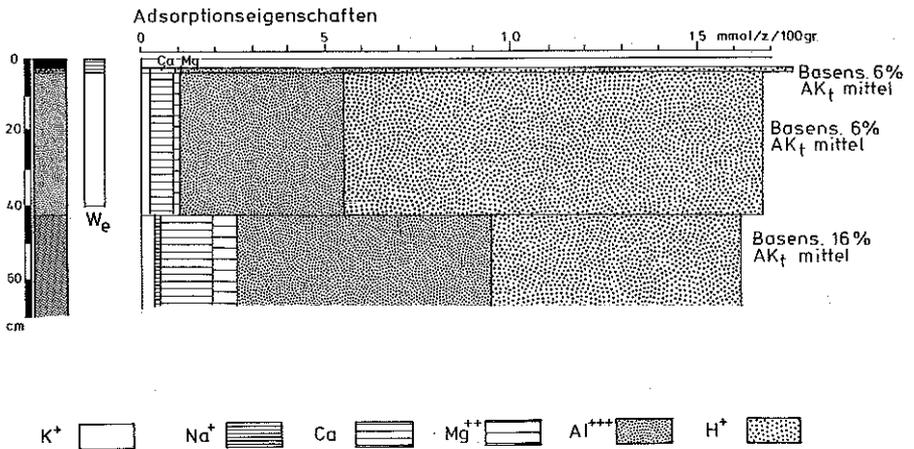
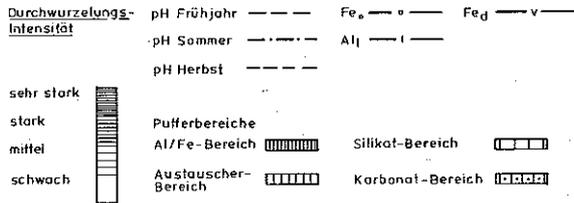


Abb. 22: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 26a (Bodeneinheit Nr. 26).

Die Verteilung der pedogenen Eisenoxide (Abb. 22) entspricht den bei Gleyen zu erwartenden Verhältnissen (starke Eisen-Anreicherung im G_0) (s. SCHLICHTING & BLUME 1966: 156 u.f.). Die Al_1 -Zunahme zum Unterboden ist wahrscheinlich durch seitliche Zufuhr aluminiumhaltiger Lösungen aus Gebieten mit Podsolierung und durch die Zunahme des Tongehaltes bedingt. Die niedrige Fe_0/Fe_d -Werte zeigen eine rasche Kristallisation der Eisenoxide an, die wiederum für Gleye als typisch betrachtet werden kann.

Der pH-Wert ist sehr niedrig und liegt in dem für die Feinwurzelsysteme des Baumbestandes recht ungünstigen Al/Fe-Pufferbereich. Die Ionenbeläge der Austauscher bestätigen dieses Bild (Abb. 22): Die Basensättigung ist im Hauptwurzelraum sehr gering, der Boden also schwach basenhaltig (nach v. ZEJSCHWITZ 1984) und relativ stark versauert. Die Elastizität gegenüber Versauerungsschüben ist gering bis sehr gering (s. Kapitel 4.1.3). Schließlich liefert auch die aktuell vorhandene Vegetation Indizien für diesen Säure/Basen-Zustand: die mittlere Reaktionszahl nach ELLENBERG liegt bei 1,7 bis 4,5 (stark saure bis saure Verhältnisse; RAUM 1985).

Die Abb. 22 läßt anhand der Ionenbeläge insbesondere einen Mangel an aktuell verfügbarem Kalium und Magnesium erkennen. Die verwitterbaren Reserven an Kalium (K_v , s. Tabelle 27) sind zwar ebenfalls hinsichtlich Gehalt und Gesamtmenge im Hauptwurzelraum noch nicht als günstig zu betrachten, doch erheblich höher als bei vielen bisher untersuchten Böden. Das gleiche läßt sich für Ca_v feststellen (Tabelle 27), so daß man einerseits von gewissen Basenreserven für die Pflanzenversorgung, andererseits von einer, wenn auch geringen Pufferkapazität ausgehen kann. Ein Übergang in einen günstigeren pH-Bereich auf natürlichem Wege ist somit nicht ausgeschlossen. Die mittlere Kationenaustauschkapazität (Abb. 22) wäre hierfür eine weitere günstige Voraussetzung.

Die analytischen Werte der organischen Substanz weisen auf eine Rohhumusform. Im makroskopischen Bereich wäre unter den gegebenen feuchten Verhältnissen eine große Mächtigkeit der Humusaufgabe zu erwarten, die jedoch durch Streunutzung auf nur 3 cm dezimiert ist. Der A_h umfaßt sogar nur 1 cm.

Entsprechend dem geschilderten Zustand des Humuskörpers ist der pedogene Stickstoffvorrat gering (Tabelle 27), seine Mineralisierbarkeit schlecht. Stickstoffmangel ist allerdings wegen des atmosphärischen Eintrags nicht zu erwarten.

Hinsichtlich des Phosphor-Haushalts macht sich der erhöhte Gehalt an oxidischen Eisenverbindungen im G_0 bemerkbar. P_i und P_v sind durch Bindung an diese Eisenoxidhydroxide im G_0 deutlich erhöht, so daß sich Phosphorräte für den Hauptwurzelraum ergeben, die absolut gesehen zwar nur mittel bis gering sind, im Vergleich zu anderen Bodenformen des Untersuchungsgebietes aber merklich höher liegen. Phosphormangel ist deshalb für den Baumbestand trotz der behinderten Nachlieferung nicht wahrscheinlich.

Tabelle 26: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 26a (Bodeneinheit Nr. 26)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O	10YR 2/1 schwarz	Rohhumus							
A _h	10YR 2/1 schwarz	Subpolyeder	36	36	27	1	tL	g'	1,2
G _o	10YR 7/3 matt gelb- orange 10YR 6/6 hell gelb- braun	Subpolyeder	19	41	40		usL		1,58
G _r	10YR 7/8 bräunlich grau	Polyeder	46	46	7	1	tT	g'	1,45

Tabelle 27: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 26a (Bodeneinheit Nr. 26) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizontfolge	N _t	C _o	Humusgehalt	C/N	P _t	C/P	P _v	K _v	Ca _v	Karbonatgehalt
A _h	0,28	10,0	17,2	36	0,026	385	0,011	0,005	0,001	0
G _o	0,02	0,39	0,68		0,061		0,058	0,072	0,075	0
G _r	0,02	0,14	0,24		0,007		0,003	0,018	0,001	0
Gesamtmenge im Hauptwurzel- raum	≈1570				≈3780		≈3600	≈4400	≈4600	

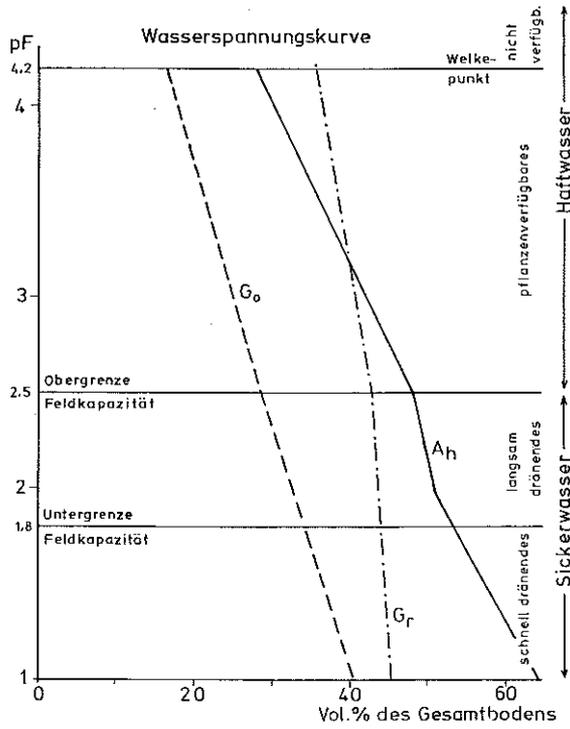
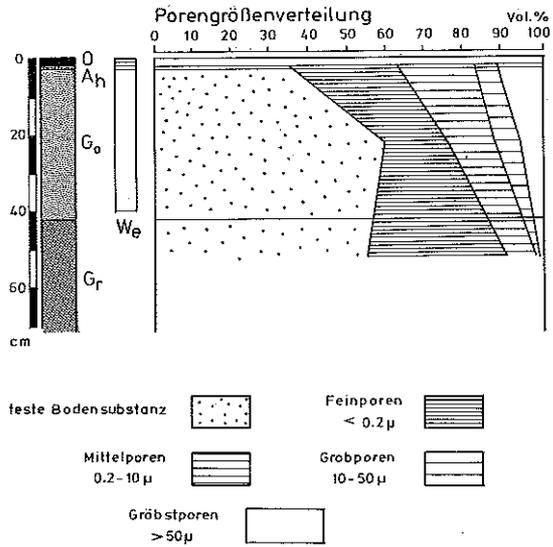


Abb. 23: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 26a.
(Bodeneinheit Nr. 26)

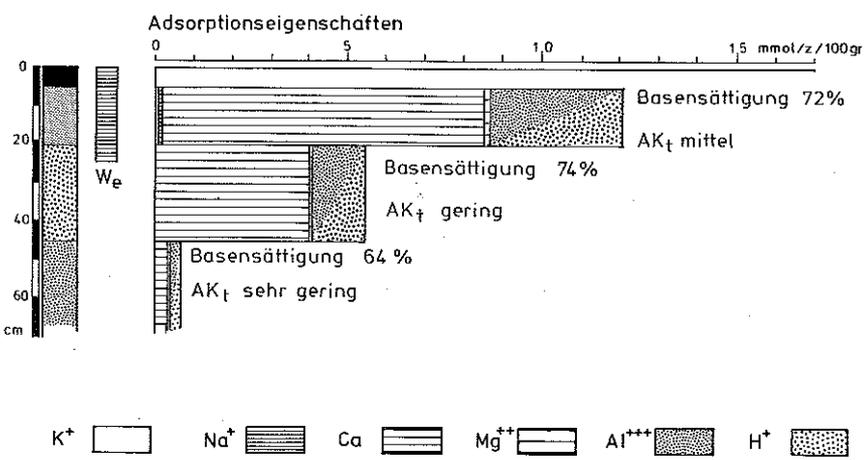
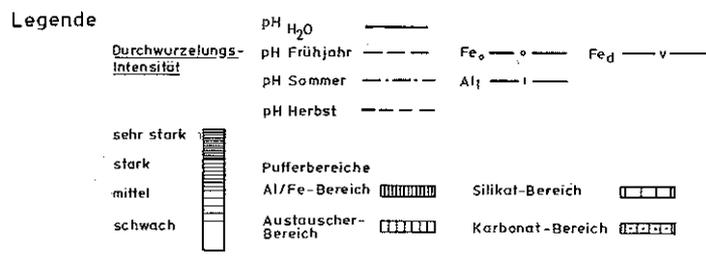
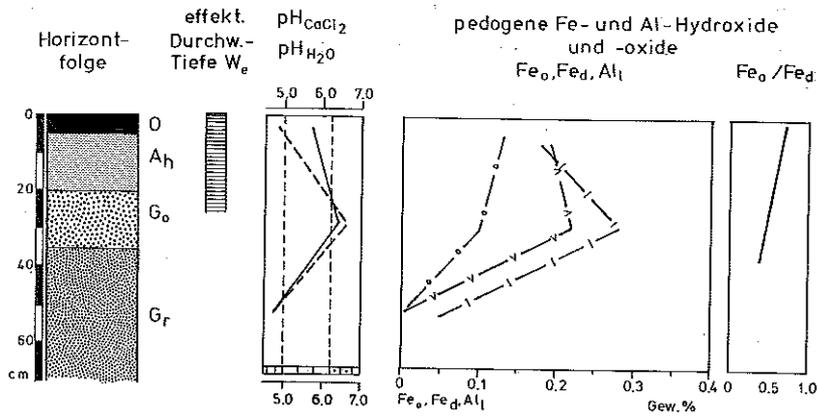


Abb. 24: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 26b (Bodeneinheit Nr. 26).

Die Wasserversorgung ist naturgemäß bei Gleyen nicht problematisch (Mittlere ELLENBERGSche Feuchtezahl nach RAUM 1985: 4,5-7). Bei tiefem Grundwasserstand können infolge des relativ günstigen Mittelporenanteils (Abb. 23) im vorliegenden Fall zwar nur 69 l/m^2 gespeichert werden (geringe nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums nach AG *Bodenkunde* 1982: 150). Der Kapillarraum reicht aber im Jahresverlauf langfristig bis nahe an die Geländeoberfläche (s. Abschätzkriterien AG *Bodenkunde* S. 158 u.f.).

Die Luftversorgung ist allerdings nicht sehr günstig (geringer Grob- und Gröbtporenanteil), so daß nur feuchtigkeitsertragende Pflanzen diesem Standort angepaßt sind. So erweist sich der Gley des Leitprofils 26a als versauerter Standort, der jedoch noch eine gewisse Pufferkapazität und einen mobilisierbaren Basengehalt aufweist. Eine Verbesserung der Mineralisierung von organisch gebundenen Nährstoffen ist nur über eine Förderung des Bodenlebens möglich, wozu eine standortgerechte Baumartenwahl beitragen könnte (s. oben).

Das Leitprofil 26b der Bodeneinheit Nr. 26 repräsentiert einen Gley auf Terrassensanden der Schwabach. Das Profil liegt SE' der Habernhofer Mühle, wenig E' der Ortsverbindungsstraße Weiher - Kalchreuth (R: ⁴⁴ 36100, H: ⁵⁴ 94150) in einem Waldgebiet mit einem naturnahen Baumbestand mit Eschen und Erlen. Das Bodenarten-Profil (Tabelle 28) läßt eine sandig-tonige Deckschicht erkennen, die bei Überflutungen durch den benachbarten Bach sedimentiert wurde. Darunter folgen die rein sandigen Terrassenablagerungen. Die Profilfolge und wichtige makroskopische Merkmale sind aus Tabelle 28 sowie aus Abb. 24 ersichtlich.

Der Verlauf der pedogenen Sesquioxide im Vertikalprofil entspricht im Prinzip den bei Leitprofil 26a erläuterten Verhältnissen. Der gegenüber dem G_0 -Horizont erhöhte Fe_0 -Wert im A_n beruht auf dem Hineinreichen des Grundwasserschwankungsbereichs in den Humushorizont, was makroskopisch nicht ersichtlich ist. Das Al_1 -Maximum kann mit einer seitlichen Zufuhr von Al durch das Grundwasser aus Bereichen mit stark saurer Bodenlösung (Bodeneinheiten mit Podsolierung) zusammenhängen. Die Absolutwerte besonders der Eisenoxide sind gegenüber den Werten bei Leitprofil 26a niedriger, eine Folge des geringeren Angebots an Eisen im Ausgangssubstrat. Aufgrund der hohen Fe_0/Fe_d -Werte liegen die Eisenoxide überwiegend in gut kristallisierter Form vor.

Die Abb. 24 zeigt weiterhin einen recht günstigen pH-Wert an, der in den Silikat- und Karbonat-Pufferbereich einzuordnen ist. Die Basen stammen vermutlich aus dem Lias und z.T. wahrscheinlich auch aus dem Feuerletten. Mit dem pH-Wert korrelieren eine hohe Basensättigung und sehr hohe Elastizität in Hinblick auf die Kompensation von Säureschüben. Unter den adsorbierten und damit direkt pflanzenverfügbaren Basen herrscht Calcium vor (Karbonat ist jedoch im Boden nicht nachzuweisen). Die Magnesium-Sättigung umfaßt dagegen nur ca. $1,3 \text{ mmol/z/100g}$ Boden, so daß Magnesiummangel zu erwarten ist, zumal bei einem hohen Angebot an Calcium die Magnesium-Aufnahme durch Feinwurzeln behindert ist.

Tabelle 28: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 26b (Bodeneinheit Nr. 26)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O	10YR 2/1 schwarz	Feuchtmoder bis Feuchtmull							
A _h	10YR 2/1 schwarz	Kohärentgefüge	33	11	44	12	sT	g	0,63
G _o	5YR 4/8 rötlich braun 10YR 7/1 hellgrau	Einzelkorn	2	4	88	8	S	g'	1,11
G _r	10YR 7/1 hellgrau	Einzelkorn		3	93	4	S	g'	1,81

Kalium fehlt weitgehend an den Austauschern, wohingegen Natrium vergleichsweise hohe Werte im Oberboden aufweist (0,13 mmol/z/100g Boden Na⁺ gegenüber 0,07 mmol/z/100g Boden K⁺ im A_h). Es muß angenommen werden, daß das Natrium von der Salzstreuung der benachbarten Landstraße herrührt. Die im Oberboden mittleren, im Unterboden geringen Kationenaustauschkapazitäten AK_c (Abb. 24) gehen auf den erhöhten Ton- und Humusgehalt im oberen Teil des Profils zurück.

Die auch aufgrund des naturnahen Baumbestandes günstigen Säure/Basen-Verhältnisse sind verknüpft mit einem guten Zustand des Humuskörpers. Der stark humose Feuchtmull bis Feuchtmoder weist einen vergleichsweise hohen Stickstoffgehalt auf, der bei dem gegebenen C/N-Verhältnis auch gut mobilisierbar ist (vergl. Tabelle 29). Ebenso günstig zu beurteilen ist der Phosphathaushalt (Tabelle 29).

Tabelle 29: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 2 (Bodeneinheit Nr. 26) (Elementgehalte in Gew.%)

Horizont- folge	N _t	C _o	Humus- gehalt	C/N	P _t	C/P	Karbonatgehalt Gew %
A _h	0,60	5,9	10,1	10	0,130	15	0
G _o	0,10	1,8	3,1		0,066		0
G _r	0,01	0,2	0,3		0,003		0

Der Wasserhaushalt muß aufgrund der tonigen Deckschicht etwas differenzierter betrachtet werden. Er wird im Hauptwurzelraum in erster Linie durch die Porenverhältnisse im A_h bestimmt (Abb. 25). Dort besteht bei hoher Porosität nur ein relativ geringer Mittel- und Grobporenporenanteil. Die nutzbare Feldkapazität ist also nicht sehr günstig (nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums nFKWE ca. 47 l/m², sehr gering nach *AG Bodenkunde* 1982: 150). Bei tief stehendem Grundwasser ist damit die Verfügbarkeit des Wassers im Hauptwurzelraum eingeschränkt, zumal der Kapillarraum dann nur bis ca. 20 cm u. GOF reicht (s. Schätzungskriterien *AG Bodenkunde* 1982: 158 u.f.) und den A_h nur mehr randlich berührt. Die Durchlüftung ist aufgrund des Gröbstoporenanteils wohl noch als mäßig günstig zu beurteilen. Das Wasser in den Grob- und Gröbstoporen steht in Zeiten des Grundwasserhöchststandes den Pflanzen zur Verfügung.

Insgesamt ist somit dieser Gley auf Terrassensanden und Schwemml Lehmen nach dem Säure/Basen-Zustand und den Nährstoffverhältnissen positiv zu beurteilen (sicher auch eine Folge des naturnahen Baumbestandes), zeigt aber Probleme hinsichtlich der Pflanzenverfügbarkeit des Wassers in Trockenperioden. Der Standort ist vor allem für feuchtigkeitsertagende Pflanzen geeignet.

Bodeneinheit Nr. 27

Naßgley und Anmoorgley flacher Grundwasserstufe meist in Geländemulden und an Bachläufen (Bodenart wechselnd)

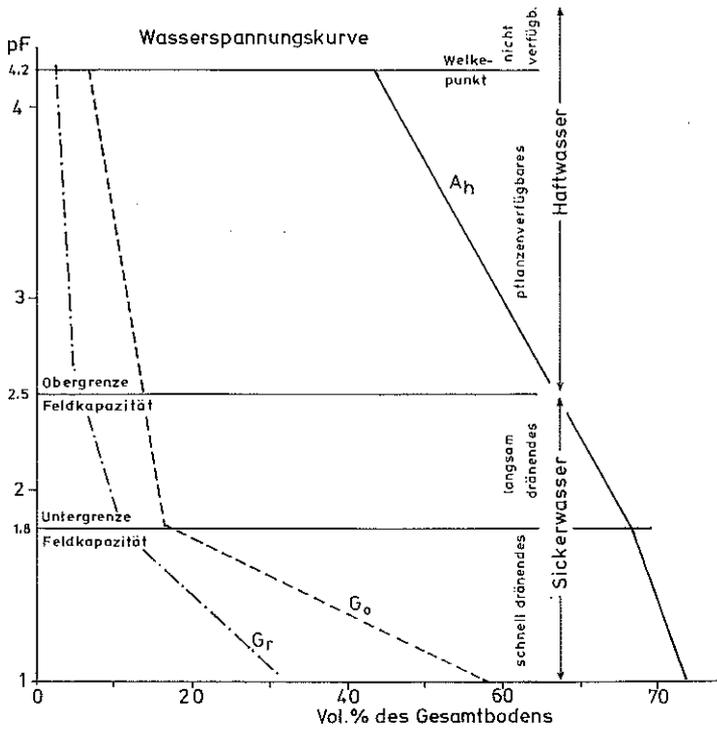
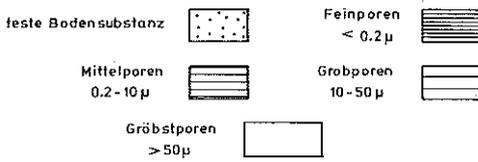
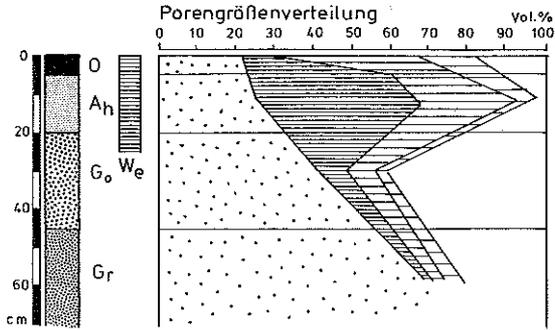


Abb. 25: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 26b (Bodeneinheit Nr. 26).

Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal dieser Bodeneinheit gegenüber der Einheit Nr. 26 ist der hohe Mittlere Grundwassertiefstand (Grenze G_o/G_r). Er liegt direkt unter oder im A-Horizont, so daß sich die Profilfolgen $O-A_h G_o-G_r$ oder $O-A_h-G_o-G_r$ (mit geringmächtigem G_o) oder $O-A_h-G_r$ ergeben. Bei hohem Grundwasserstand kommt es teilweise sogar zu oberflächlichen Grundwasseraustritten.

Der O-Horizont besitzt eine Mächtigkeit von 30 cm und mehr. Er ist das ganze Jahr hindurch mehr oder minder stark durchfeuchtet. Die Mineralisierung der organischen Substanz ist dadurch gehemmt, so daß sich große Humusmengen ansammeln. Die Humusform ist entsprechend den Durchfeuchtungsverhältnissen Feuchtmoder oder Feuchtrohhumus, manchmal auch Anmoor (statt A_h liegt dann ein A_a -Horizont vor). Die A-Horizonte besitzen häufig schmierige und breiartige Konsistenz und je nach den Redoxverhältnissen dunkelrotbraune oder schwarze Farbe. Bei Vorliegen von $A_h G_o$ findet man bis millimetergroße Eisen- und Mangan-konkretionen, gelegentlich sogar Raseneisenstein eingelagert (z.B. im S der Sandgrube 700 m ESE' Längenbrucker Mühle; s. auch Bodeneinheit Nr. 26, Gleye auf Terrassensanden). Bestehen im A-Horizont überwiegend reduzierende Bedingungen, so finden sich entlang von Wurzelbahnen rotbraune Oxidüberzüge.

Die Grenze G_o/G_r bzw. $A_h G_o/G_r$ schwankt in ihrer Tiefenlage stark und reicht bis zu einer Tiefe von 1m unter Geländeoberfläche. Daraus resultiert ein sehr mächtiger von organischer Substanz durchsetzter Oberboden.

Der Übergang von Naßgley zu Anmoorgley ist fließend, Grenzen sind im Gelände schwer festzulegen (keine verlässliche Möglichkeit zur Festlegung des Gehaltes an organischer Substanz), weshalb diese Bodentypen in der Bodeneinheit Nr. 27 vereinigt wurden. Übergänge bestehen naturgemäß in die Gleye der Bodeneinheit Nr. 26, deren Flächen in der Bodenkarte (Beilage 1) die Naß- und Anmoorgleye umgeben.

Die Verbreitung ist an Geländemulden in der Umgebung des Schwabach- und Gründlachtales, an Bachtäler und an die Talböden der Rhätschluchten gebunden. Die größten Flächen sind N' des Kalchreuther Höhenzuges zum Schwabachtal hin zu finden.

Als potentielle natürliche Vegetation dürften hier azidophytische Subassoziationen des Traubenkirschen-Erlenwaldes (*Pruno-Fraxinetum*) zu erwarten sein. In kaltluftgefährdeten Mulden und Tälchen dürfte die Fichte geeignete Wuchsbedingungen finden und den Fichten-Erlenwald (*Piceo-Alnetum*) bilden.

Auf den Naß- und Anmoorgleyen sind Kiefern- und Fichtenforsten verbreitet. N' Kalchreuth findet man aber auch Eschen- und Erlenbestände. Standortkundlich gehören die Bereiche der Bodeneinheit Nr. 27 zu den leicht sauren sowie zu den sauren Alluvial- und Diluvialböden (*Forstamt Nürnberg* 1981). Im N' Abschnitt des Untersuchungsgebietes wurden sie vom *Verein für forstliche Standortserkundung e.V.* (1985) als Böden mit ganzjährig hochstehendem Grundwasser eingestuft.

Für die leicht sauren Alluvial- und Diluvialböden ist eine Bestockung mit Eschen und Erlen sowie Balsampappel geeignet. Die Idealbestockung bei sauren bis stark sauren Alluvial- und Diluvialböden ist Erle, Balsampappel und Aspe.

Zur Charakterisierung der Bodeneinheit wurde eng benachbart zu Leitprofil 26b das Leitprofil 27 eines Naßgley aufgenommen (Rechts- und Hochwert s. Leitprofil 26b). Das geologische Substrat entspricht Leitprofil 26b, ebenso der Baumbestand.

Bodenartlich ist der Oberboden ($A_h G_o$; 0-70 cm u. GOF) in einen tonigen oberen Teil und einen lehmig-sandigen unteren Teil aufzugliedern (Tabelle 30). Auch hier wie bei Leitprofil 26b besteht also eine tonig-lehmige Deckschicht (Schwemmlerme) über dem eigentlichen Terrassensand des Untergrundes.

Die Gehalte an pedogenen Oxiden entsprechen im $A_h G_o$ und G_r in Größenordnung und Tiefenvariation den Verhältnissen des A_h und G_o im Gley von Leitprofil 26b. Das gleiche trifft für den Stickstoff-, Phosphor- und Humusgehalt zu. Die Humusform ist Feuchtmoder.

Der pH-Wert liegt im Silikat- und Austausch-Pufferbereich (Tabelle 31). Die Basensättigung an den Austauschern ist hoch, die Elastizität gegenüber kurzfristigen pH-Änderungen der Bodenlösung sehr hoch. Die Basen stammen aus dem angrenzenden Lias. Ein Mangel besteht lediglich an Kalium. Natrium an den Austauschern im $A_h G_o$ rührt vermutlich aus der Salzstreuung der in unmittelbarer Nachbarschaft liegenden Landstraße her. Die Adsorptionsfähigkeit bewegt sich im Ober- und Unterboden in der Größenordnung des Leitprofils 26b. Wie dort sind also auch hier die Nährstoffe fast ausschließlich im Oberboden konzentriert.

Wesentliche Differenzen zum Leitprofil 26b bestehen jedoch im Wasser- und Lufthaushalt. Beim Naßgley reicht der Kapillarraum des Grundwassers in den Oberboden hinein. Mit der Verfügbarkeit von Wasser in der bindigen Deckschicht gibt es mit Sicherheit keine Probleme. Eher dagegen besteht wegen der langzeitigen Ausfüllung der Grob- und Größtporen mit Wasser das Problem des Luftmangels.

So erweist sich also auch der Naßgley des Leitprofils 27 als mit Basen gut versorgter Standort der jedoch in Hinblick auf die Luftversorgung einen Problemstandort für den Baumbestand bildet und deswegen nur für Spezialisten wie Esche und Erle geeignet ist. Die günstigen Säure/Basen-Verhältnisse dürfen allerdings nicht für alle Standorte der Bodeneinheit pauschaliert werden. Es gibt mit Sicherheit auch saure Standorte, dort wo der seitliche Grundwasserzuzug keine Basen mit sich bringt. Die Bezirke mit Naß- und Anmoorgleyen sind in der Regel wertvolle Feuchtbiootope und naturschutzrechtlich geschützt.

Bodeneinheit Nr. 28

Auengley-Brauner Aueboden (a), Auenpelosol-Auengley und Auengley (b) auf sandigen bis tonigen Auelehmen über Talsanden mit mittlerer bis großer Entwicklungstiefe (MGW i. allg. 8-12 dm u. GOF.) (stark toniger Schluff bis stark schluffiger Sand (8-12 dm) über Sand)

Die Böden dieser Einheit sind in der Talaue von Schwabach und Gründlach zu finden. Auch diese Bildungen besitzen hydromorphe Merkmale wie die Gleye von

Bodeneinheit Nr. 26 und 27. Ihr Charakteristikum ist jedoch stark schwankendes Grundwasser und episodische bis periodische Überflutung durch Oberflächenwasser. Die letztgenannten Vorgänge führen einmal zu einer zeitweiligen Wassersättigung zum anderen zur Ablagerung frischen Sedimentmaterials auf der Bodenoberfläche.

Dieses frische Sediment leitet sich aus dem älteren geologischen Anstehenden im Einzugsbereich der Flüsse und aus dort verbreiteten Böden (Kolluvium) ab. Je nach der Strömung des sedimentierenden Wassers sind die Korngrößenverhältnisse der jungen Aueablagerungen stark wechselnd. Entsprechend variieren auch die chemischen und physikalischen Eigenschaften, doch läßt sich generalisierend eine i.allg. mittlere Basensättigung und relativ hohe Kationenaustauschkapazität festhalten.

Das diagnostische Hauptmerkmal der hier zusammengefaßten Böden ist ein im Unterboden auftretender G_o von mehr oder minder großer Mächtigkeit. Darüber folgen (Bodeneinheit 28a) bei sandiger und lehmiger Bodenart Horizonte, die entweder aus Kolluvium von erodierten Braunerden (Allochthoner Brauner Aueboden; s. Leitprofil 28a) bestehen oder sich durch die autochthone Entwicklung der Bodenbildung zu Braunerden gebildet haben (Autochthone Auenbraunerde). Die Profilfolge ist entsprechend A_h -M- G_o bzw. A_h - B_v - B_v - G_o , wobei die G_o -Obergrenze häufig in einer Tiefe von 60 cm bis 80 cm unter Geländeoberfläche liegt. In der Regel wird die Bodenart von oben nach unten, vom A_h zum tieferen G_o gröber. Man findet große Bereiche dieser Vega-Böden z.B. im Schwabachtal westlich und östlich der Langenbrucker Mühle.

Bei toniger Bodenart sind die Böden als Auenpelosole (Bodeneinheit Nr. 28b) anzusprechen und besitzen in der Regel ein A_h -PG- G_o -Profil. Der A_h ist wegen der wechselnden Durchfeuchtung mit einem oftmals lange verweilenden hohen Haftwasseranteil pseudovergleyt und weist Millimeter große Eisen/Mangan-Konkretionen auf. Verbreitet sind diese Auenpelosole z.B. nördlich und östlich der Minderleinsmühle.

Bei höherem Mittleren Grundwassertiefstand gehen die zuletzt genannten Bodenformen in Auegleye über (Bodeneinheit Nr. 28b), die ein A_h - G_o - G_r -Profil zeigen.

Fließend leiten schließlich die Bodenformen der Einheit Nr. 28 zum Rand der Terrassen zu in die Gleye und Gley-Braunerden der Bodeneinheit Nr. 24 über.

Je nach Grundwasserverhältnissen stellen der Traubenkirschen-Erlenwald (Pruno-Fraxinetum) bzw., bei etwas etwas tieferem Mittlerem Grundwasserstand, der bodenfeuchte Stieleichen-Hainbuchenwald (Stellario-Carpinetum) die potentielle natürliche Vegetation dar. Während im ersten Fall zu Eschen-Erlen-Mischbeständen noch einzelstammweise Traubenkirsche und Stieleiche hinzukommen, bilden im zweiten Fall Stieleiche, Hainbuche und Winterlinde einen Grundbestand,

Tabelle 30: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 27 (Bodeneinheit Nr. 27)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O	10YR 2/1 schwarz	Feuchtmoder							
A _h G _{o1}	10YR 2/1 schwarz	Kohärentgefüge	70	13	17		T		0,24
A _h G _{o2}	10YR 2/1 schwarz	Kohärentgefüge	14	29	55	2	IS	g'	0,24
G _r	10YR 7/1 hellgrau	Einzelkorn	4	1	92	3	S	g'	1,75

Tabelle 31: Adsorptionsverhältnisse des Leitprofils 27 (Bodeneinheit Nr. 27) (Elementgehalte in Gew.%)

Horizontfolge	pH _{H2O}	pH _{CaCl2}	Sorptionsverhältnisse						
			AK _t mval/ 100g	V-Wert % d. der Ak _t	H+Al	austauschbare Ionen in % der Ak _t			Ca
						K	Na	Mg	
A _h G _o	6,0	5,5	23,9	71,6	28,4	0,25	0,54	5,4	65,3
G _r	4,9	4,9	1,2	59,3	40,7	0	4,5	10,6	44,7

dem sich Esche, Erle und Traubenkirsche beimischen. Beide Gesellschaften sind in forstlich unterschiedlich abgewandelter Form noch an einigen Orten erhalten geblieben (z.B. Gründlachtal, "Kraftshofer Irrhain").

Die Standorte der Bodeneinheit Nr. 28 gehören zu den neutralen bis leicht sauren bzw. zu den sauren bis stark sauren Alluvial-Diluvial-Böden (*Forstamt Nürnberg* 1981). Die ideale Bestockung entspricht der von Bodeneinheit Nr. 27. Nach den Standortskarten des *Vereins für forstliche Standortserkundung e.V.* (1985) liegen Sande bis anlehmgige Sande mit ganzjährig hochstehendem Grundwasser vor.

Der Boden des Leitprofils 28a (R: ⁴⁴ 36510, H: ⁵⁴ 87970) gehört zu den Übergangsformen zwischen Allochthonen Brauen Aueböden und Auegleyen. Es handelt sich speziell um einen Auegley-Braunen Aueboden, dessen makroskopische Merkmale Abb. 26 sowie Tabelle 32 zu entnehmen sind. Dieser Standort wird von Mischwald geprägt. Zu Kiefern und Fichten treten Traubenkirsche, Schwarzerle und Pappel.

Besonders hervorzuheben ist der starke bodenartige Wechsel in der Vertikalen (Tabelle 32). Insbesondere der M_1 -Horizont ist stark tonig-schluffig (Auelehm), während der Unterboden (G_r) aus Sand besteht. Die Korngrößenverteilungskurven zeigen nur im G_r ein scharfes Maximum und eine gute Sortierung. In den übrigen Horizonten bestehen undeutlich entwickelte Maxima im Fein- bis Mittelsandbereich und im Fein- bis Mittelschluffbereich. Die im wesentlichen M_1 und M_2 umfassende Auelehm-Deckschicht ist danach durch Abspülung von Bodenmaterial aus sandigem und schluffigem Ausgangsmaterial, wahrscheinlich aus Deckschichten, die aus äolischem Material entstanden sind, herzuleiten.

Die Tiefenfunktion der pedogenen Eisenoxide läßt erkennen, daß M_1 und M_2 im Einflußbereich der Grundwasserschwankungen liegen, was makroskopisch nicht so deutlich hervortritt. Das Maximum von Fe_o im M_2 und das Maximum von Fe_d im M_1 zeigen an, daß der erstgenannte Horizont sehr viel häufiger vom Grundwasser erreicht wird als der letztgenannte. Im M_1 ist das im Schwankungsbereich des Grundwassers ausgefällte Eisen stärker kristallisiert als im M_2 . Dies läßt sich auch in der Fe_o/Fe_d -Kurve wiedererkennen. Die Abnahme der Eisengehalte zum G_o hängen einmal mit der zunehmend gröberen Bodenart, zum anderen mit der längerfristigen Durchfeuchtung und den damit z.T. verbundenen reduzierenden Bedingungen zusammen. Nach den pedogenen Eisenoxiden wäre eine Bezeichnung als G_{ro} angebracht. Makroskopisch ist der G_o durch einzelne, wenig deutliche, rostbraune Flecken gekennzeichnet; Konkretionen fehlen. Das Al_1 -Maximum bei M_1 hängt mit ziemlicher Sicherheit mit dem hohen Tongehalt (s. Tabelle 32) zusammen.

Der pH-Wert des Bodens zeigt eine Lage im Austauscher-Pufferbereich und damit für Aueböden relativ saure Verhältnisse an. Diesem Bild entspricht der Kationen-Belag der Austauscher (Abb. 26). Die Basensättigung ist vergleichsweise gering, die Elastizität gegenüber kurzzeitigen Säurebelastungen ist im Hauptwurzelraum allerdings noch recht hoch (vergl. Tabelle 2).

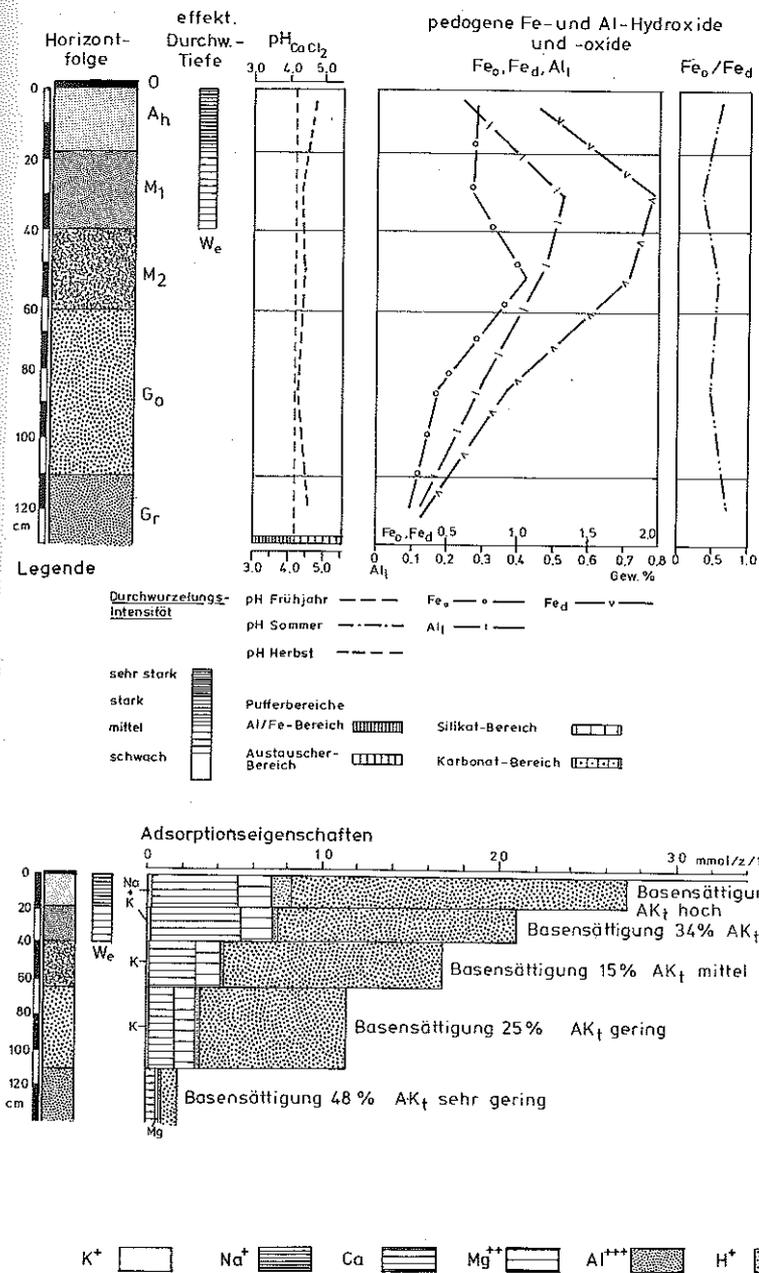


Abb. 26: pH-Wert-Verhältnisse, Gehalt an pedogenen Sesquioxiden und Adsorptionseigenschaften im Leitprofil 28a (Bodeneinheit Nr. 28).

Tabelle 32: Allgemeine und physikalische Kennzeichen des Leitprofils 28a (Bodeneinheit Nr. 28)

Horizontfolge	Farbe	Gefüge/Humusform	Korngrößenverhältnisse (Gew%)				Bodenart	Bodenskelett	Trockenraum- gew. (g/cm ³)
			Ton	Schluff	Sand	Kies/Grus			
O		Mull							
A _n	7,5YR 2/3 sehr dunkel braun	Krümel	4	75	21		sU	1,03	
M ₁	7,5YR 5/6 hellbraun	Subpolyeder	34	48	18		tL	1,47	
M ₂	7,5YR 4/6 braun	Subpolyeder	20	30	50		sL	1,54	
G _o	7,5YR 4/6 braun 7,5YR 7/6 orange	Subpolyeder	17	25	58		İS-sL	1,62	
G _r	10YR 7/1 hellgrau	Einzelkorn	2	2	96		S	1,79	

Tabelle 33: Chemische Kennzeichen des Leitprofils 28a (Bodeneinheit Nr. 28) (Elementgehalte in Gew.%, Gesamtmengen im Hauptwurzelraum in kg/ha)

Horizontfolge	N _t	C _o	Humusgehalt	C/N	P _t	C/P	P _v	K _v	Ca _v	Karbonatgehalt
A _h	0,32	2,68	4,61	8	0,083	32	0,079	0,192	0,009	0
M ₁	0,057	0,32	0,55		0,066		0,058	0,160	0,004	0
M ₂	0,032	0,21	0,36		0,063		0,040	0,120	0,003	0
G _o	0,022	0,09	0,15		0,047		0,035	0,104	0,003	0
G _t	0,006	0	0		0,005		0,002	0,170	0,001	0
Gesamtmenge im Hauptwurzel- raum	≈8000				≈3800		≈3500	≈8000	≈300	

Unter den direkt verfügbaren Basen an den Austauschern herrscht wie zu erwarten Calcium vor. Magnesium ist in für die Pflanzenversorgung hinreichenden Mengen vorhanden. Mangel besteht dagegen an Kalium.

Ganz andere Relationen zeichnen sich dagegen ab, wenn man die durch Verwitterung kurzfristig mobilisierbaren Reserven an Kalium (K_v) und Calcium (Ca_v) vergleicht (Tabelle 33). Die verwitterbaren Calcium-Reserven im Hauptwurzelraum sind sehr gering, die Reserven an Kalium dagegen hoch. Der Kalium-Reichtum kann auf den hohen Tonanteil in den M-Horizonten und einen günstigen Bestand an Tonmineralen, wahrscheinlich teilweise aufweitbaren Illiten zurückgeführt werden. Die Armut an mobilisierbarem Calcium ist durch den fehlenden Karbonatgehalt, einen geringen Silikatgehalt und einen hohen Quarzgehalt begründet. Die Basenversorgung für den Baumbestand dürfte insgesamt gesichert sein, zumal auch die Kationenaustauschkapazität im Hauptwurzelraum mittel bis hoch ist.

Die makroskopisch (sehr geringmächtiger O-Horizont, relativ mächtiger A_h) und analytisch ermittelte Humusform ist Mull. Trotz des relativ niedrigen pH-Wertes ist damit eine befriedigende Mineralisierung und Humifizierung zu erwarten. Der Stickstoffvorrat ist mittel, der Vorrat an Gesamtphosphor wie an verwitterbarem Phosphor ist mittel. Die Versorgung an diesen Nährstoffen ist somit ebenfalls weitgehend gesichert.

Bleibt nunmehr noch die Betrachtung des Wasserhaushaltes. Wie oben bereits ausgeführt reicht das Grundwasserstand (zumindest mit seinem geschlossenen Kapillarwassersaum) aperiodisch bis in den M_1 . Bei Überflutung werden auch die obersten Bodenbereiche stark durchfeuchtet. Bei starkem Absinken des Grundwasserspiegels besteht im Hauptwurzelraum nur eine mittlere Speicherfähigkeit für pflanzenverfügbares Wasser. So kann die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums $nFKWe$ zu ca. 85 l/m^2 abgeschätzt werden (Abb. 27). Die Ursache hierfür ist außer in der Porengrößenverteilung (mit einem relativ hohen Anteil an Feinporen) auch in der geringen Mächtigkeit des Hauptwurzelraums zu sehen. Infolge der stark tonig-schluffigen Bodenart im M_1 kann dieser Horizont von den Wurzeln nur schwer durchdrungen werden. Da in der Talaue kein längerfristiges, extremes Absinken des Grundwasserspiegels zu erwarten ist, entsteht aber für die Pflanzenversorgung mit Wasser durch die geringe nutzbare Feldkapazität keine Beeinträchtigung. Die Abb. 27 zeigt weiterhin, daß die Luftkapazität in den M-Horizonten relativ schlecht ist. Nur feuchtigkeitsertragende Pflanzen sind diesen Verhältnissen angepaßt.

Für den hier untersuchten Standort des Leitprofils 28a kann somit festgehalten werden, daß die Versorgung mit Nährstoffen und die Wasserversorgung unproblematisch sind. Die Versorgung mit Nährstoffen wird in Überschwemmungsperioden durch Zufuhr mit dem Oberflächenwasser weiter ergänzt. Wie bei Aueböden zu erwarten, ist die Luftversorgung wegen der starken Durchfeuchtung und der dichten

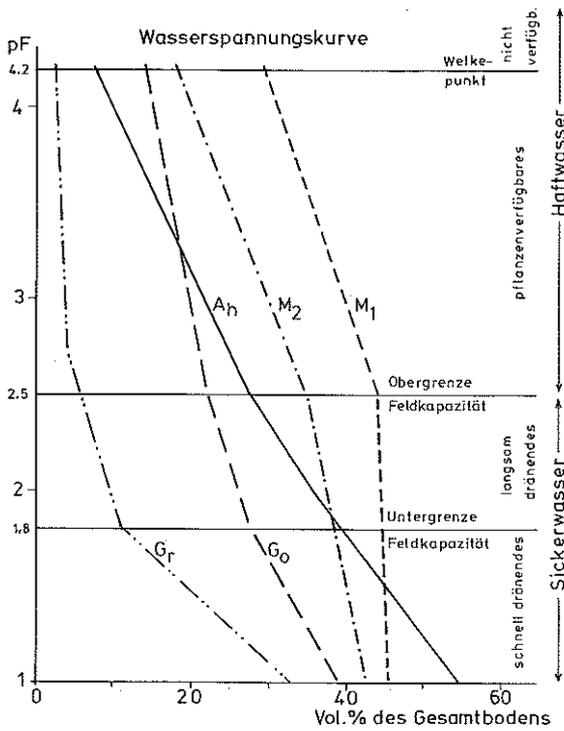
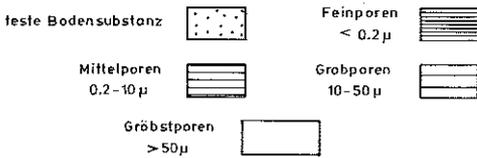
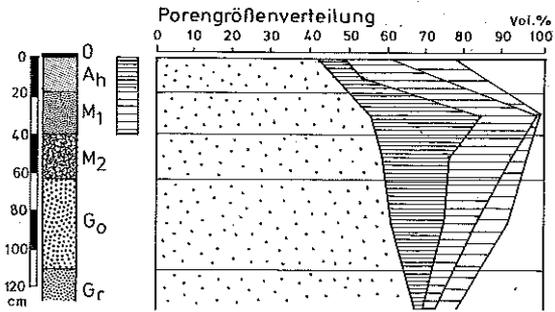


Abb. 27: Kennzeichen des Wasser- und Lufthaushaltes im Leitprofil 28a (Bodeneinheit Nr. 28)

Auelehmddecken nur für Spezialisten tolerierbar, wobei allerdings auch bei diesen Probleme der Durchwurzelbarkeit des Bodens bestehen.

Trotzdem momentan Basen in diesem Auelehmboden hinreichend verfügbar sind, zeigen doch die Säure/Basen-Verhältnisse an den Austauschern und der pH-Wert, daß eine weitere Belastung dieses Bodensystems mit säurereichen Grund- und Oberflächenwässern aus den benachbarten Waldbezirken zu einer Versauerung führen kann, wodurch sich die Lebensbedingungen für die nährstoffbedürftige Auewaldvegetation, wie sie vor allem im Gründlachtal noch in Resten existiert, drastisch verschlechtern würden. Es besteht damit eine akute Gefahr für diese wertvollen Biotope.

Bodeneinheit Nr. 29

Rendzina auf Kalktuff (Miozän, Holozän)

Auf der Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Erlangen Süd konnte HAARLÄNDER (1966) vor allem N' des Kalchreuther Höhenzuges eine Reihe von Süßwasserkalk- und Kalktuff-Vorkommen aushalten. Sie wurden z.T. als obermiozän, z.T. als holozän eingestuft. Hinsichtlich der morphogenetischen Bedeutung der tertiären Kalke sei auf HAARLÄNDER 1966:64 verwiesen.

Auf diesem Kalksubstrat entwickelten sich erwartungsgemäß Rendzinen mit einem geringmächtigen A-C-Profil. Die Verbreitung dieser Bodenform ist sehr begrenzt. Auf eine weitergehende Charakterisierung wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet, zumal die Böden ausschließlich landwirtschaftlich genutzt werden.

4.4 Regionale Verteilung der Bodeneinheiten

Die regionale Verteilung der Bodeneinheiten ist aus der Bodenkarte der Beilage 1 ersichtlich. Die Beschreibung der Bodenformen hat gezeigt, daß die regionalen Unterschiede in erster Linie durch das geologische Ausgangssubstrat bestimmt werden. Um diese Zusammenhänge etwas deutlicher herauszuarbeiten, wurde ein schematisches Längsprofil (Abb. 28) durch den Untersuchungsraum entworfen, das einerseits Geologie und Relief, andererseits die zugehörigen Bodeneinheiten und die dafür kennzeichnende, potentielle natürliche Vegetation in Beziehung setzen soll.

Anhand dieses Profils können jedoch auch deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Bodensequenzen am N- und S-Hang des Kalchreuther Höhenzuges abgelesen werden.

Am N-Hang bestimmen fast durchwegs quartäre Deckschichten, in erster Linie äolische Sande und Terrassensande die Bodenformen. Darauf sind neben Gleyen im N' Teil bei Annäherung an das Schwabachtal vor allem Braunerden entwickelt, Podsole treten also zurück. Das ist sicher einmal eine Folge der Nutzung, wahrscheinlich aber bereits durch die primäre Bodenentwicklung vorgezeichnet. Basen-

Pruno-Fraxinetum (Stellario-Carpinetum)
Pruno-Fraxinetum (Stellario-Carpinetum)
Galio-Carpinetum (Violo-Quercetum molinietosum)
Pino-Quercetum typicum (1), Violo-Quercetum typicum (2)

Violo-Quercetum molinietosum (Galio-Carpinetum)
Pino-Quercetum typicum
Pruno-Fraxinetum (Piceo-Alnetum; Stellario-Carpinetum)
Violo-Quercetum typicum
Violo-Quercetum molinietosum (Galio-Carpinetum)
Pino-Quercetum typicum
Violo-Quercetum molinietosum
Galio-Carpinetum

Galio-Carpinetum (Violo-Quercetum molinietosum)
Galio-Carpinetum
Galio-Carpinetum (Violo-Quercetum molinietosum)
Fago-Quercetum
Luzulo-Fagetum
Fago-Quercetum, auf Bachsohle Stellario-Alnetum
Fago-Quercetum
Galio-Carpinetum (buchenreich)
Lathyro-Fagetum

Melico-Fagetum
Galio-Carpinetum (buchenreich)
Melico-Fagetum
Galio-Carpinetum
Lathyro-Fagetum
Melico-Fagetum

Lathyro-Fagetum

Pino-Quercetum typicum (18), Fago-Quercetum (19)
Violo-Quercetum molinietosum (Galio-Carpinetum)

Violo-Quercetum typicum

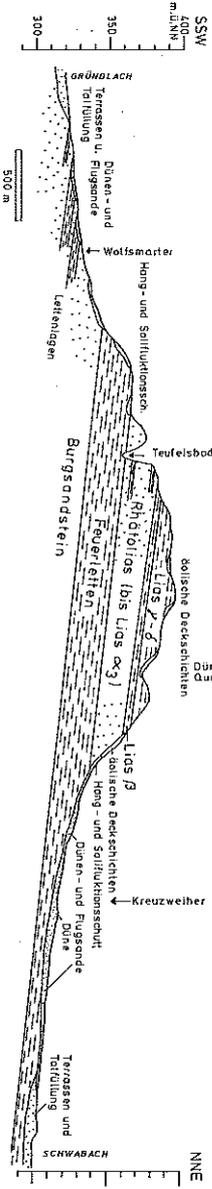
Pruno-Fraxinetum (Piceo-Alnetum)
Myrtillo-Pinetum cladonietosum

Pruno-Fraxinetum (Piceo-Alnetum)

Pruno-Fraxinetum (Piceo-Alnetum, Stellario-Carpinetum)

Violo-Quercetum typicum
Violo-Quercetum molinietosum (Galio-Carpinetum)

Violo-Quercetum typicum (Galio-Carpinetum)
Pruno-Fraxinetum (Stellario-Carpinetum)



Brauner Aueboden (28a)
 Gley (26)
 Pseudogley (5)
 Podsol (1), Braunerde (2)

Pseudogley (5)
 Podsol (1)
 Gley (26)
 Braunerde (2)
 Pseudogley (5)
 Podsol (15)
 Pseudogley (14)
 Pelosol (4a)
 Pseudogley (14)
 Pelosol (4a)
 Pseudogley (14)
 Podsol (16)
 Braunerde (7a)
 Ranker (8)
 Braunerde (7a)
 Pelosol (10)
 Kalkhaltiger Pelosol (10)

Braunerde (20)
 Pelosol (10)
 Braunerde (20)
 Pelosol (10)
 Kalkhaltiger Pelosol (11)
 Braunerde (20)

Kalkhaltiger Pelosol (11)

Podsol (18), Braunerde (19)
 Pseudogley (17)

Braunerde (16)

Gley (26)
 Podsol (15)

Naß- und Ammoorgley (27)

Gley (26)

Braunerde (16)
 Pseudogley und Gley (23)

Braunerde (24)
 Auengley (28b)

Abb. 28: Schemaprofil der Bodensequenzen und der dafür kennzeichnenden, potentiellen natürlichen Vegetation

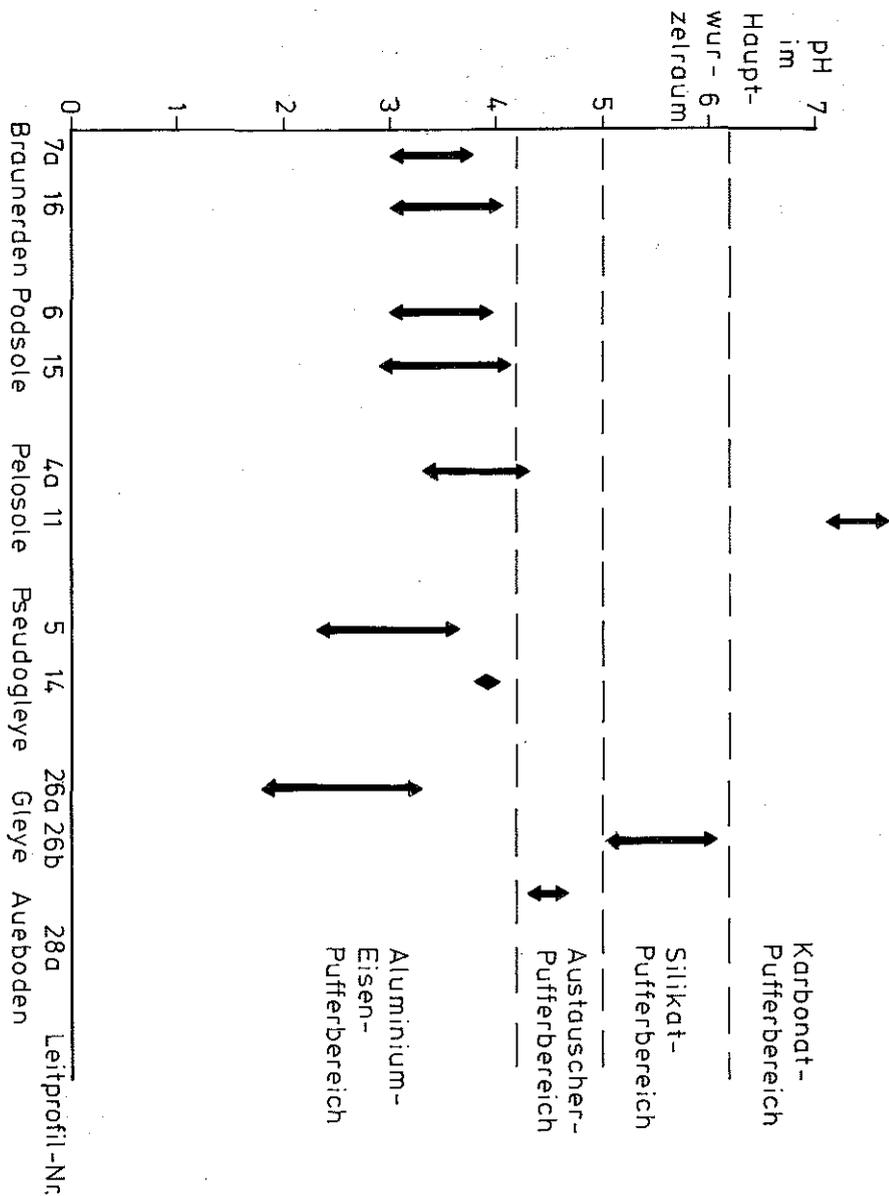


Abb. 29: Mittlerer pH_{CaCl_2} (i.allg Frühjahrswert des Jahres 1983) für den Hauptwurzelraum der Waldböden des Untersuchungsgebietes

zufuhr aus dem Lias und Feuerletten durch Quell- und Hangwasser, etwas geringere Niederschläge als am SW-Hang des Höhenzuges sowie, damit verknüpft, auch geringerer Säureeintrag über Luftimmissionen haben die Bodenentwicklung überwiegend nur bis zur Braunerde oder podsoligen Braunerde ablaufen lassen.

Auf dem S- und SW-Abfall des Kalchreuther Höhenzuges treten die quartären Deckschichten etwas zurück. Der wechselnd tonige und sandige Keuperuntergrund bewirkt häufig Stauwassereinfluß und Pseudovergleyung. Höhere Niederschlagsmengen als im N und höherer Säureeintrag führten zu einer intensiven Verwitterung basenhaltiger Silikate und zu einer Auswaschung der wenigen Basen. Vielfach trifft man deshalb sowohl auf Keupersanden als auch auf sandigen Deckschichten Podsole an.

5 Diskussion des Zustandes des Bodenökosystems in den Forsten

5.1 Die Frage der Versauerung der Böden

Nach der Betrachtung der Bodenformen des zentralen Sebalder Reichswaldes sowie ihrer Merkmale und Eigenschaften wird nun nochmals auf die bereits im Kapitel 1 aufgeworfene Frage eingegangen, inwieweit die Bodensysteme in ihren ökologisch relevanten Zustandsdaten als disponierende Stressoren für den Baumbestand zu werten sind und damit zu den beobachteten Waldschäden (REIGBER & BRAUN 1985) beitragen.

Bei diesen zusammenfassenden Überlegungen werden wir uns auf die detailliert untersuchten Leitprofile beschränken, die den Zustand der am weitesten verbreiteten Bodenformen im Sebalder Reichswald repräsentieren.

Ein wichtiger ökologischer Leitparameter ist der *pH-Wert*, der einen ersten groben Eindruck von den Säure/Basen-Verhältnissen eines Bodens vermittelt. Ein Überblick über die pH-Werte im *Hauptwurzelraum* der untersuchten Böden (Abb. 29) zeigt, daß sich mit Ausnahme des kalkhaltigen Pelosols auf Lias Gamma (Leitprofil 11), des Gleys auf der Schwabach-Hauptterrasse und des Gründlach-Auebodens alle Waldböden im Aluminium-Pufferbereich befinden und daß damit eine Stresssituation für das Feinwurzelsystem der Bäume durch Säuretoxizität bereits als wahrscheinlich angesehen werden kann.

Verfolgt man die pH-Kurven der genannten, versauerten Leitprofile weiter in den Unterboden unter den Hauptwurzelraum, so ist zu erkennen, daß auch dort in den meisten Fällen bereits der gleiche ungünstige pH-Wert vorherrscht. Eine Ausnahme bildet lediglich der Pelosol auf Feuerletten (Leitprofil 4a), da der Unterboden noch beträchtliche Karbonatmengen (Tabelle 7) aus dem Feuerletten enthält, die eine sehr hohe Pufferkapazität im Karbonat-Pufferbereich bedingen (ULRICH et al. 1982). Durch tiefwurzelnde, bodenaufschließende Baumarten wie die Stieleiche würden diese Basen auch den versauerten Oberböden zugutekommen.

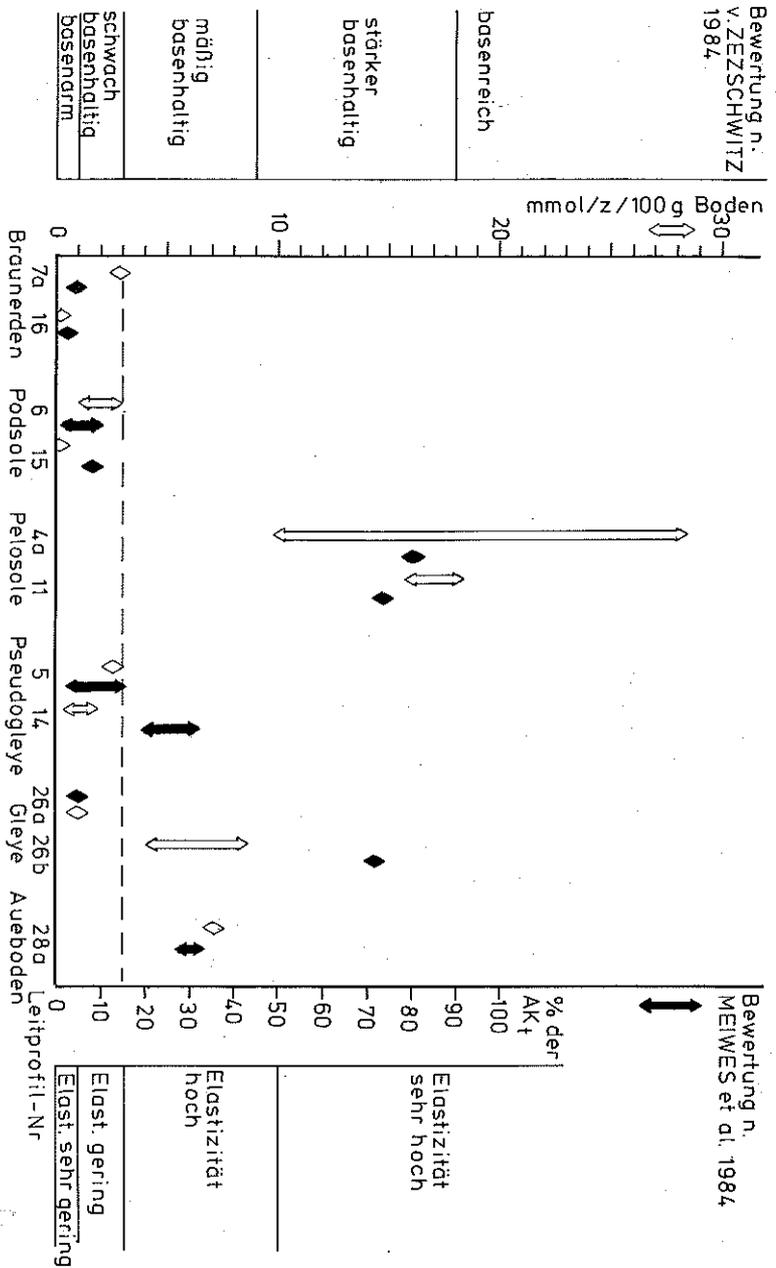


Abb. 30: Basensättigung im Hauptwurzelraum der Waldböden des Untersuchungsgebietes. Angegeben ist die Variationsbreite in % der Kationenaustauschkapazität (AK_t, T-Wert) und in Absolutwerten (S-Wert in mmol/z/100g Boden). Die Bewertung des Basengehaltes erfolgte nach v. ZEZZSCHWITZ (1984), die der Elastizität nach MEIWES ET AL. (1984).

Eine Versauerung von Bodenprofilen bis in den Unterboden mit pH-Werten unter 5 ist nur durch eine Produktion an starken Säuren im Boden durch Humusersatz (Produktion vor allem von HNO_3) und/oder durch Immission von Säuren aus der Atmosphäre (H_2SO_4 , HNO_3) möglich (ULRICH 1986). Da die Ausgangssubstrate der Bodenbildungen, insbesondere die sandigen Deckschichten, bei den hier betrachteten versauerten Profilen relativ arm an basenhaltigen Silikaten und weitgehend karbonatfrei sind, wird durch die Einwirkung starker Säuren die Pufferungsrate des Silikat- und Austauscherpufferbereiches schnell überschritten und es kommt bald zu einem Abgleiten in den Aluminium-Pufferbereich.

Für eine Beurteilung, wie weit nun die Versauerung der erwähnten Braunerden, Podsole und Pseudogleye bereits fortgeschritten ist und inwieweit Regenerierungsmöglichkeiten bestehen, genügt allerdings der pH-Wert nicht. Hierzu müssen die Ionenbeläge der Austauscher betrachtet werden.

Für eine Säure/Basen-Milieu, bei dem sich die toxische Wirkung von H- und Al-Ionen auf das Feinwurzelsystem der Waldbäume noch einigermaßen in Grenzen hält, ist eine Basensättigung von mindestens 15% der Kationenaustauschkapazität erforderlich (ULRICH ET AL. 1984). Von diesem Wert ab ist auch die Elastizität des Bodensystems zum Ausgleich von Säureschüben als befriedigend zu bezeichnen (MEIWES ET AL. 1984). Die Gegenüberstellung der Basensättigungswerte für die Hauptwurzelschichten der untersuchten Waldboden-Profile auf Abb. 30 läßt erkennen, daß wiederum die Braunerden und Podsole, z.T. auch die Pseudogleye unter diesem Grenzwert liegen. Lediglich die Pelosole und in etwas geringerem Maße auch die Gleye und Aueböden besitzen günstige Basensättigungswerte.

Eine entscheidende Bedeutung für die Aufrechterhaltung günstiger Säure/Basenverhältnisse und für Pufferungsvorgänge haben in unseren Böden Calcium-Ionen. Da die adsorbierten Basenkationen in unseren Böden vorherrschend aus Calcium bestehen wird als Grenzwert für das Wirksamwerden der Säuretoxizität auf das Feinwurzelsystem wiederum eine Calcium-Sättigung von 15% der Kationenaustauschkapazität angenommen (ULRICH et al. 1984, ULRICH 1986). Die Abb. 31 spiegelt die Calcium-Sättigung der Austauscher im Hauptwurzelschicht der untersuchten Waldböden wieder. Das bei der Basensättigung bereits erkannte Bild zeichnet sich auch hier ab: die Calcium-Sättigung liegt bei den Podsolen und Braunerden und einem Teil der Pseudogleye unter dem Grenzwert. Die Böden sind im Hauptwurzelschicht also auch in ihrem Austauscherpotential versauert. Da auch die Absolutwerte der Calcium-Sättigung (Abb. 31) sehr gering sind (mit eine Folge der geringen Kationenaustauschkapazität), wird durch den Calcium-Belag kein Beitrag zur Pufferkapazität der erwähnten versauerten Böden geleistet.

Als Hinweis auf die in den Waldböden zur Verfügung stehenden Pufferkapazitäten kann mit Einschränkungen der Gehalt an mittelfristig durch Verwitterung freisetzbarem Calcium (Ca_v) gewertet werden. Ein Vergleich der Werte für den Hauptwurzelschicht (s. Tabellen mit den entsprechenden Daten oben) zeigt bei den

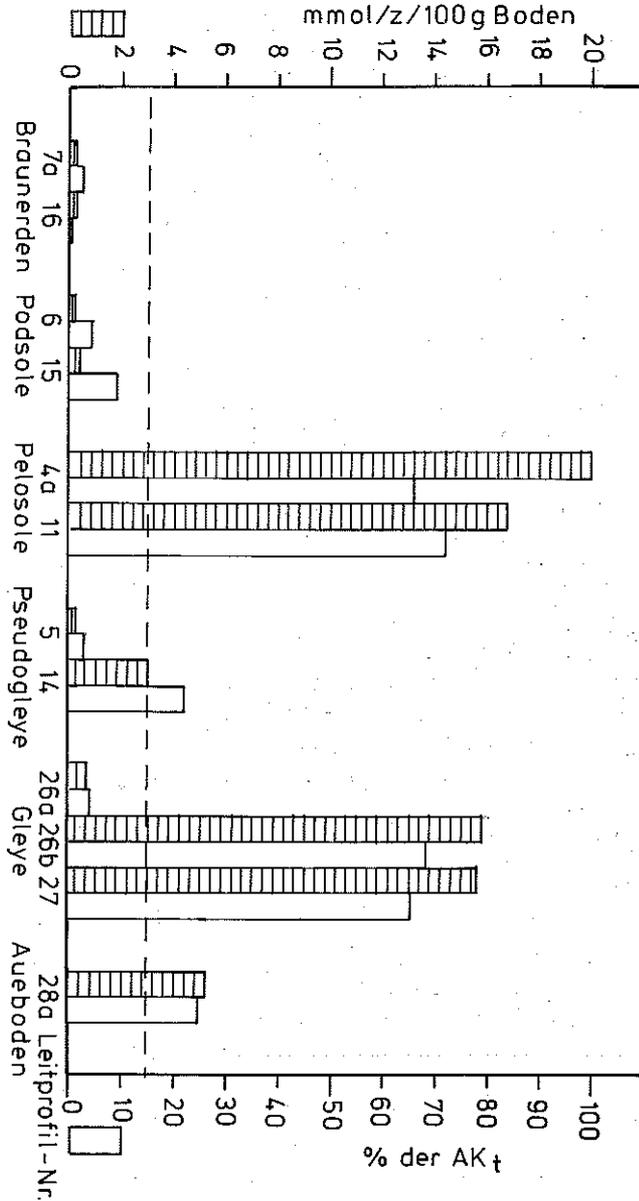


Abb. 31: Calcium-Sättigung an den Austauschern im Hauptwurzelraum der Waldböden. Es werden die jeweiligen Maximalwerte in % der Kationenaustauschkapazität (AK_t) und in Absolutwerten ($\text{mmol/z}/100\text{g Boden}$) aufgeführt. Der Grenzwert von 15% für das Auftreten von Säuretoxizität im Feinwurzelsystem wurde ULRICH ET AL. (1984) entnommen.

Braunerden, Podsole und Pseudogleyen sehr niedrige Gehalte (in der Regel ≤ 500 kg/ha). Das trifft auch für den Aueboden (Leitprofil 28a) zu, der hinsichtlich pH-Wert, Basensättigung und Calcium-Sättigung des Hauptwurzelraums bisher noch relativ günstig zu beurteilen war. Wie oben bereits ausgeführt, befindet sich dieser Boden zwar aktuell noch in einem für den Baumbestand akzeptablen Säure/Basen-Zustand, doch ist kaum eine Pufferkapazität für eine langfristige Belastung mit sauren Bodenlösungen gegeben. Es besteht damit auch hier die Gefahr eines endgültigen Abgleitens in den Aluminium/Eisen-Pufferbereich.

Die Pelosole (und auch die Gleye, die jedoch eine spezielle Dynamik hinsichtlich der Basenversorgung durch den seitlichen Grundwasserzustrom besitzen) dürften eine recht hohe Pufferkapazität aufweisen. Dies ist aus den Karbonatgehalten im Hauptwurzelraum (z.B. Tabelle 17) und aus den Ca_v -Werten abzuleiten.

Ein gewisses Maß für die Dauer, der die Braunerden, Podsole und Pseudogleye der Versauerung unterliegen, kann in der Al-Sättigung gesehen werden (Abb. 32). Im Verhältnis zur Calcium-Sättigung ist die Al-Sättigung selbst bei dem hinsichtlich der Basensättigung noch relativ günstigen Podsol-Pseudogley auf Rhätschutt über Feuerletten (Leitprofil 14) ausgesprochen hoch. Es darf deshalb angenommen werden, daß durch eine langandauernde Einwirkung saurer Bodenlösungen mit einem pH-Wert unter 4,2 Tonminerale und andere zersetzbare Silikate intensiv angegriffen und damit Al-Ionen freigesetzt wurden, die dann die Austauschbelegten (s. z.B. auch hohe Al_1 -Werte beim Podsol von Leitprofil 15). Das hohe Angebot an Al-Ionen dürfte jedoch auch die Feinwurzel-Oberflächen belastet und damit zur einer Schädigung der Wurzelzellen geführt haben (ULRICH 1986).

Die pH-Wert-Betrachtungen von WITTMANN & FETZER (1982:56) zeigen, daß die Oberböden der Podsole, oligotrophen Braunerden und Pseudogleye auf Keuper-sandsteinen und Flugsanddecken bereits 1953 überwiegend im Aluminium/Eisen-Pufferbereich lagen (auch unter Berücksichtigung der Tatsache, daß der für die Einteilung in Pufferbereiche zugrundegelegte $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ um ca. 0,8 Einheiten über dem bei WITTMANN & FETZER 1982 verwendeten pH_{KCl} liegt).

Die Standorte der als versauert herausgestellten Braunerden, Podsole und Pseudogleye wurden zu verschiedenen Zeiten gedüngt (s. Beilage 2). Als Düngemittel wurde ausschließlich Kalkammonsalpeter verwendet, unter anderem mit dem Ziel, die pH-Verhältnisse der Oberböden zu verbessern. Die beabsichtigte Anhebung des pH-Wertes ist jedoch in keinem der untersuchten Profile eindeutig zu belegen. Die Ursache dürfte vor allem in der hohen Mobilität des ausgebrachten Düngers liegen. Möglicherweise haben die nicht in den Boden eingearbeiteten Calcium-Mengen sogar zu einer Beschleunigung des Humusabbaus in der Auflage und damit zu einer Verstärkung der Anlieferung saurer Lösungen beigetragen.

Die bisherigen Darlegungen dieses Kapitels haben nun also gezeigt, daß die Braunerden, Podsole und in unterschiedlichem Maße auch die Pseudogleye im Hauptwurzelraum recht gründlich versauert sind. Es bleibt nun aber noch die Frage,

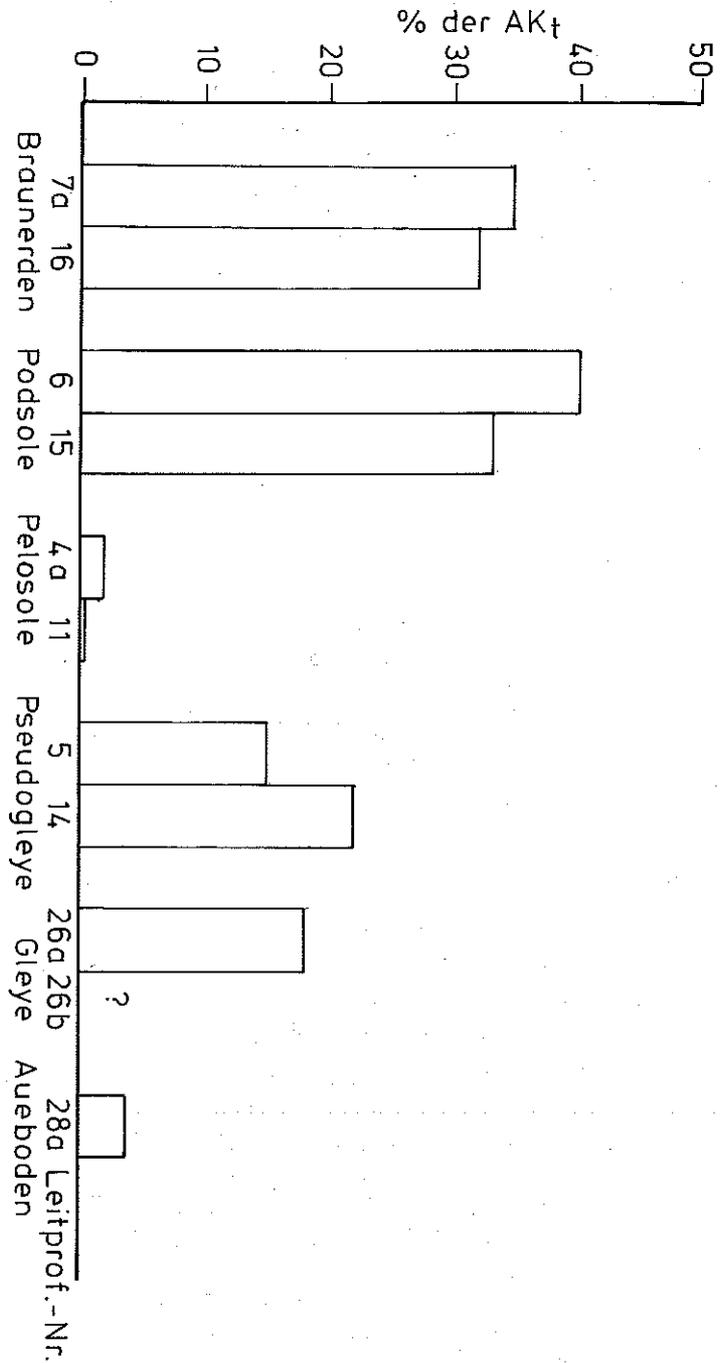


Abb. 32: Maximalwerte der Al-Sättigung im Hauptwurzelraum der Waldböden, angegeben in % der Kationenaustauschkapazität (AK_t).

ob bereits die gesamten Profilmächtigkeiten von der Versauerung erfaßt wurden oder ob im Unterboden noch ein zur Aufrechterhaltung günstiger pH-Werte geeigneter Basengehalt vorliegt.

Nach ULRICH (1986:424) ist ein Calcium-Sättigungsgrad von < 5% der Kationenaustauschkapazität im Unterboden unter dem Hauptwurzelaum ein Anzeichen für eine vollständige Versauerung eines Bodenprofils, die nur durch starke Säuren (aus der Mineralisierung des Humus und/oder aus saurerer Deposition) verursacht sein kann. Die Abb. 33 zeigt die Schwankungsbreite der Calcium-Sättigung in den Unterböden unter dem Hauptwurzelaum. Wieder sind es die Braunerden und Podsole die den genannten Grenzwert unterschreiten. Sie sind tiefgründig versauert, die pH-Werte liegen im Aluminium/Eisen-Pufferbereich.

Die hohen pH-Werte und Calcium-Sättigungen in den Sd-Horizonten, die manche dieser Profile im Liegenden begrenzen, sind aus den Betrachtungen auszuklammern, da schlechte Durchlässigkeit und primär hohe Basengehalte einer Versauerung entgegenwirken und diese Bereiche vom ökologischen Standpunkt als potentieller Wurzelraum wegen der schlechten Durchwurzelbarkeit kaum in Frage kommen. Dies gilt insbesondere für die Fichte mit ihrem flachliegenden Wurzelsystem. Die tiefwurzeln Kiefer besitzt nur einen geringen Mineralstoffbedarf, was zusammen mit dem Reichtum ihrer Streu an schwer zersetzlichen Wachsen und Ligninen das Fehlen bodenverbessernder Eigenschaften erklärt, die z.B. den Eichen eigen sind. Deswegen findet man unter Kiefernreinbeständen auch auf karbonathaltigen Standorten Podsolierung-fördernde Rohhumusauflagen. Nur durch die Vergesellschaftung tiefwurzeln, bodenaufschließender Eichen mit mehr die oberen und mittleren Bodenhorizonte nutzenden Baumarten wie Hainbuche und Winterlinde können mineralalkräftige Tonstandorte mit oder ohne Deckschicht optimale Leistungen vollbringen.

Bei den Pelsolen bewirken die hohen Basengehalte im Ausgangssubstrat eine hohe Calcium-Sättigung und günstige pH-Werte im Unterboden. Entsprechend günstige Verhältnisse werden in den grundwasserbeeinflussten Böden (Gleye und Aueböden) durch seitliche Basenzufuhr mit dem Bodenwasser bedingt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die Podsole und Braunerden im Rahmen der untersuchten Waldböden tiefgründig stark versauert, die Pseudogleye mäßig bis stark versauert sind. Als Ursachen dafür sind zu sehen:

- ein forstlich bedingt fast aus reinem Nadelholz bestehender Baumbestand, der schlecht zersetzbar Streu liefert. Durch "abiotische" Humifizierung werden saure Huminstoffe erzeugt, die die Podsolierung begünstigen;
- die langjährige Streunutzung, die den primär basenarmen Böden weiter Basen bzw. Speichermöglichkeit für Basen entzogen hat (REHFUESS 1981:128 u.f.);
- der Eintrag von Säuren aus der Atmosphäre, der insbesondere am W und SW-Hang des Kalchreuther Höhenzuges als beträchtlich anzusehen ist (s. z.B. *Baye-risches Landesamt für Umweltschutz* 1983);
- möglicherweise ein in Gang befindlicher Abbau des Stickstoffvorrats im Humuskörper, gefördert durch die Düngung.

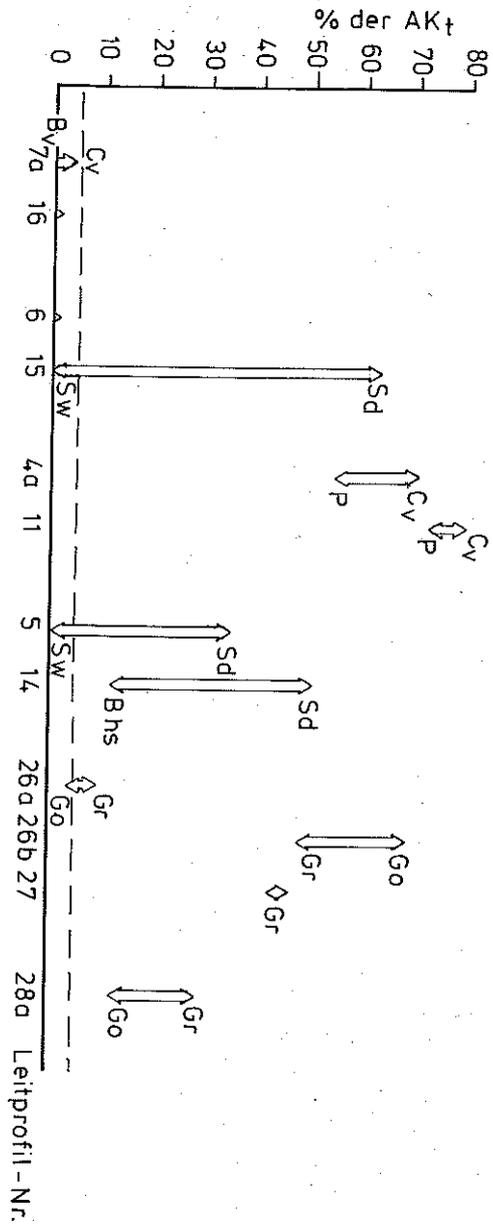


Abb. 33: Variationsbreite der Calcium-Sättigungsgrade (in % der Kationenaustauschkapazität AK_t) im Unterboden unter dem Hauptwurzelraum für die Waldböden.

Auf natürlichem Wege erscheint selbst bei einem Nachlassen der atmosphärischen Immissionen ohne Umstellung der Bestockung auf standortgerechtere Baumarten eine Rückkehr aus dem für das Feinwurzelsystem der Bäume schädigenden Aluminium/Eisen-Pufferbereich in den Silikat-Pufferbereich angesichts der sehr geringen Pufferkapazität der letztgenannten Bodenformen unmöglich. Eine Düngung kann nur für eine kurzfristige Verbesserung des Säure/Basen-Zustandes führen und auch nur dann, wenn langsam mobilisierbare Düngemittel verwendet und diese in den Boden eingearbeitet werden.

Bei den Pelosolen hat die Versauerung, wenn überhaupt, nur die A-Horizonte erfaßt. Die Säure/Basen-Verhältnisse sind günstig zu beurteilen.

Die Gleye besitzen im Hauptwurzelraum zwar oftmals niedrige pH-Werte, sind aber auch in diesem Bereich kaum jemals gründlich versauert (befriedigende Calcium-Sättigung und/oder hoher verwitterbarer Calcium-Gehalt). Die Basenversorgung der Vegetation wird durch das Grundwasser im wesentlichen garantiert, weshalb in den Unterböden (G_0 -Horizonte) hohe pH-Werte und günstige Calcium-Sättigung zu beobachten sind.

Die Aueböden besitzen zwar noch Säure/Basen-Verhältnisse, die für den Baumbestand als recht günstig zu beurteilen sind. Auch hier wird die Basenversorgung durch Grund- und Oberflächenwässer aktuell aufrechterhalten. Die geringe Pufferkapazität würde jedoch bei stärkerer Säurebelastung zu den Verhältnissen des Aluminium/Eisen-Pufferbereiches führen.

5.2 Die Durchwurzelung

Die effektive Durchwurzelungstiefe (W_e) (bzw. Tiefe des Hauptwurzelraums) ist einerseits bestimmend für die Standfestigkeit der Waldbäume, andererseits aber vor allem auch für die Nährstoffmengen und die Feuchtigkeit, die für die Versorgung der Bäume zur Verfügung stehen. Große effektive Durchwurzelungstiefe bedeutet deshalb, daß das Wasser- und Nährstoffpotential eines Bodens gut nutzbar ist.

Die effektive Durchwurzelungstiefe hängt im Falle der untersuchten Waldböden zunächst einmal von der Durchwurzelbarkeit und damit vor allem von der Porengrößenverteilung ab. Die vorherrschend sandigen Podsole und Braunerden sind im Prinzip gut durchwurzelbar. Da sie jedoch tiefgründig versauert sind, besteht die Tendenz zum Rückzug des Feinwurzelsystems in den Bereich der A- und O-Horizonte (ULRICH 1986). Die Angaben über die Durchwurzelungsintensitäten bei den genannten Bodentypen (Abb. 6, 8, 16, 18) zeigen diese Tendenz deutlich. Trotzdem ist für die vorliegenden sauren Verhältnisse der Hauptwurzelraum meist noch relativ mächtig (Abb. 34). Allerdings ist die Nutzung des Wasser- und Nährstoffpotentials im tieferen Teil des Hauptwurzelraums bei Bäumen wie der Fichte nur noch unvollständig.

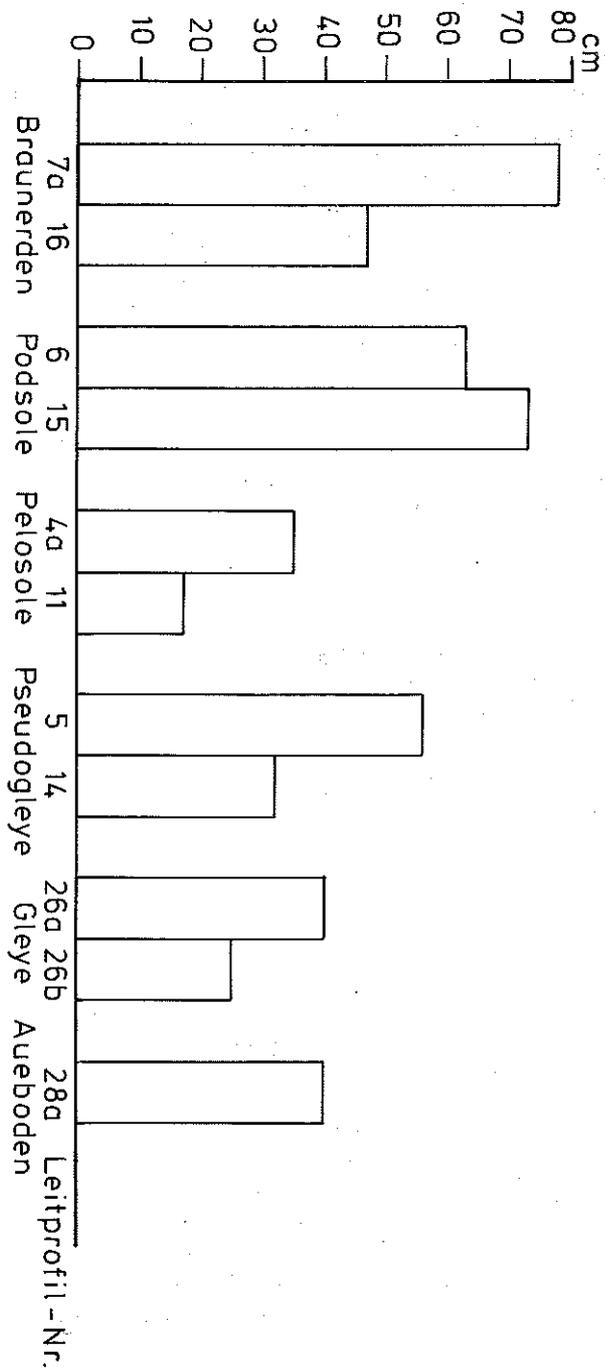


Abb. 34: Effektive Durchwurzelungstiefen W_e der Waldböden des Untersuchungsgebietes.

Bei den Podsolen wird der Hauptwurzelraum (besonders bei Fichte) weiter durch Stauwassereinfluß im Unterboden begrenzt. Diese für verschiedene Baumarten (z.B. Fichte, nicht für die Stieleiche) physiologische Barriere gilt natürlich erst recht für den Hauptwurzelraum der Pseudogleye. Bei diesen Bodentypen ist die effektive Durchwurzelungstiefe wegen des relativ hoch stehenden Stauwassers gegenüber den pseudovergleyten Podsolen entsprechend geringer. Damit ist bei den Stauwasserböden (besonders bei der nicht standortgerechten Fichte) eine verringerte Standfestigkeit und eine deutlich verringerte Nutzbarkeit der Nährstoff- und Wasserreserven (in Trockenphasen) gegeben, worauf bei der Behandlung der entsprechenden Bodeneinheiten bereits ausführlich bezug genommen wurde.

Pelosole setzen aufgrund des geringen Grob- und Gröbstoporengehaltes den Baumwurzeln einen hohen Eindringwiderstand entgegen, der nur von Spezialisten wie Stieleiche und Traubeneiche mit ihrer großen Wurzelenergie überwunden werden kann. Demzufolge sind hier auch die Hauptwurzelräume unter den terrestrischen Böden am flachsten (Abb. 34).

Der Hauptwurzelraum der Gleye und Aueböden wird einmal von der Durchwurzelbarkeit des Bodenmaterials, zum andern aber von der Grenze G_o/G_r bestimmt. In den G_r können allerdings Spezialisten wie Erlen durchaus ihren Wurzelraum ausdehnen. In den hier untersuchten Beispielen (Abb. 34) ergaben sich infolge hoch stehenden Grundwassers oder schlecht durchwurzelbarer Lehmdecken relativ flache Hauptwurzelräume.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß die effektiven Durchwurzelungstiefen bei vielen Bodeneinheiten relativ gering sind. Auch bei den terrestrischen Böden sind Maximalwerte von 70 bis 80 cm u. GOF nicht allzu hoch. Hinzu kommt die verbreitete Versauerung besonders der Braunerden, Podsole und Pseudogleye im Hauptwurzelraum und somit eine zunehmende Konzentration des Feinwurzelsystems auf die obersten Bodenhorizonte. Besonders bei flachwurzelnenden Baumarten wie etwa die Fichte liegen echte Problemstandorte vor. Schlechte Nährstoff- und Wasserversorgung sowie Windwurfgefährdung sind dort zu erwarten. Umso größer ist die Bedeutung tiefwurzelnender, bodenaufschließender Baumarten wie den Eichen, die einen bedeutenden Anteil an der Bestockung erhalten sollten.

Die von REIGBER & BRAUN (1985:95) statistisch untermauerte Feststellung, daß im Reichswald die am stärksten geschädigten Kiefern mit den größten Durchwurzelungstiefen in Zusammenhang stehen, kann dadurch gedeutet werden, daß die basen- und nährstoffärmsten Braunerden und Podsole (Kapitel 5.1 und 5.3) auch die größten Durchwurzelungstiefen aufweisen (Abb. 34).

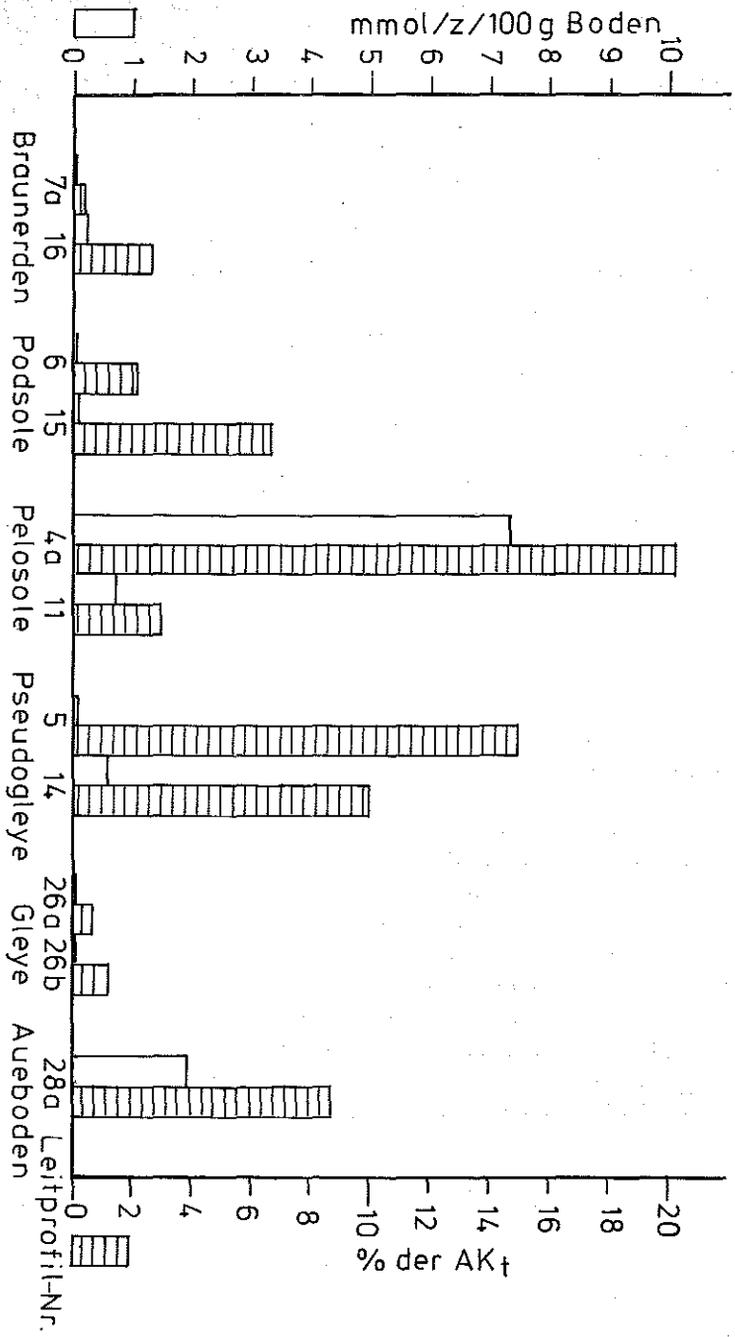


Abb. 35: Gehalte an adsorbierten Magnesium-Ionen im Hauptwurzelraum der Waldboden-Profile, angegeben in Absolutwerten (mmol/z/100g Boden) und in %-Anteilen der Kationenaustauschkapazität AK_t,

5.3 Die Nährstoffe

5.3.1 Basen

Für das Wirksamwerden von Schädigungen der Assimilationsorgane von Nadelbäumen durch Luftschadstoffe wird u.a. Magnesiummangel verantwortlich gemacht. Grundlage für diese Annahme sind Nadelanalysen z.B. an Fichten und Tannen (ZECH 1983, ZECH & POPP 1983). An Kiefern des Sebalder Reichswaldes wurden von REIGBER & BRAUN 1985 gerade im Rahmen der Traverse der Bodenkarte (Beilage 1) relativ häufig Magnesium-Mangelerscheinungen festgestellt.

Die austauschbaren und damit direkt pflanzenverfügbaren Gehalte im Hauptwurzelraum der untersuchten Böden an Magnesium sind auf Abb. 35 dargestellt. Es lassen sich daraus unschwer bei den meisten Profilen niedrige Absolutgehalte ablesen. Ausnahmen bilden lediglich manche Pelosole und Aueböden.

Eine vollständige Beurteilung adsorbierter Basenkontingente und damit auch der Beläge an Magnesium-Ionen ist jedoch nur bei Berücksichtigung der Kationenaustauschkapazität, in unserem Falle der AK_1 möglich. Die diesbezüglichen Maximal- und Minimalwerte in den Hauptwurzelzonen sind Abb. 36 zu entnehmen. In Prozenten der AK_1 ausgedrückt zeigen dann vor allem die Braunerden und Podsole sowie die Gleye die geringste Magnesium-Sättigung (Abb. 35).

Es kann damit erwartet werden, daß Braunerden, Podsole und Gleye Standorte mit schlechter Magnesiumversorgung im Hauptwurzelraum darstellen. Schlecht ist auch die Magnesium-Versorgung bei den Pelosolen auf kalkhaltigem Lias. Die Pseudogleye besitzen zwar absolut betrachtet relativ geringe, direkt verfügbare Magnesium-Vorräte, im Verhältnis zu ihrer Kationen-Speicherfähigkeit aber eine ausreichende Versorgung; d.h. in der Bodenlösung sind befriedigende Magnesiumgehalte zu erwarten.

Am günstigsten erscheint die Magnesiumversorgung bei den Pelosolen auf Feuerletten. Für die Aufnahme durch die Pflanzen ist hier jedoch zu bedenken, daß Calcium und Magnesium als Antagonisten wirken (s. z.B. BUCHNER & ISERMANN 1984). Hohe Calcium- und hohe Magnesium-Gehalte, wie sie bei Leitprofil 4a gegeben sind, können insgesamt auf eine schlechte Magnesiumversorgung hinauslaufen.

Erklärbar sind die Feststellungen über die Magnesiumversorgung der einzelnen Waldböden dadurch, daß Magnesium vor allem durch die Verwitterung von Magnesium-haltigen Karbonaten und Silikaten unter Einschluß mancher Tonminerale (z.B. der Smektit-Gruppe) geliefert wird. Die sandigen Substrate der Braunerden und Podsole besitzen wenn überhaupt nur sehr geringe Anteile an diesen Mineralen. Das gleiche trifft für die kalkhaltigen Pelosole des Lias Gamma zu, die zwar hohe $CaCO_3$ -Gehalte aber kaum Magnesium-haltige Karbonate enthalten. Die hohen Magnesium-Gehalte der Feuerletten-Pelosole resultieren aus Dolomit-Gehalten und einem teilweise Magnesium-haltigen Tonmineralbestand. Die Pseudogleye liegen mit ihrem Hauptwurzelraum zwar auch in Magnesium-armen, sandigen Substraten, doch wird hier die Auswaschung des Magnesiums, vor allem auch des durch die Mineralisierung gelieferten Magnesiums, durch die stauende Wirkung der schlecht durchlässigen Unterböden behindert. Schwierig zu

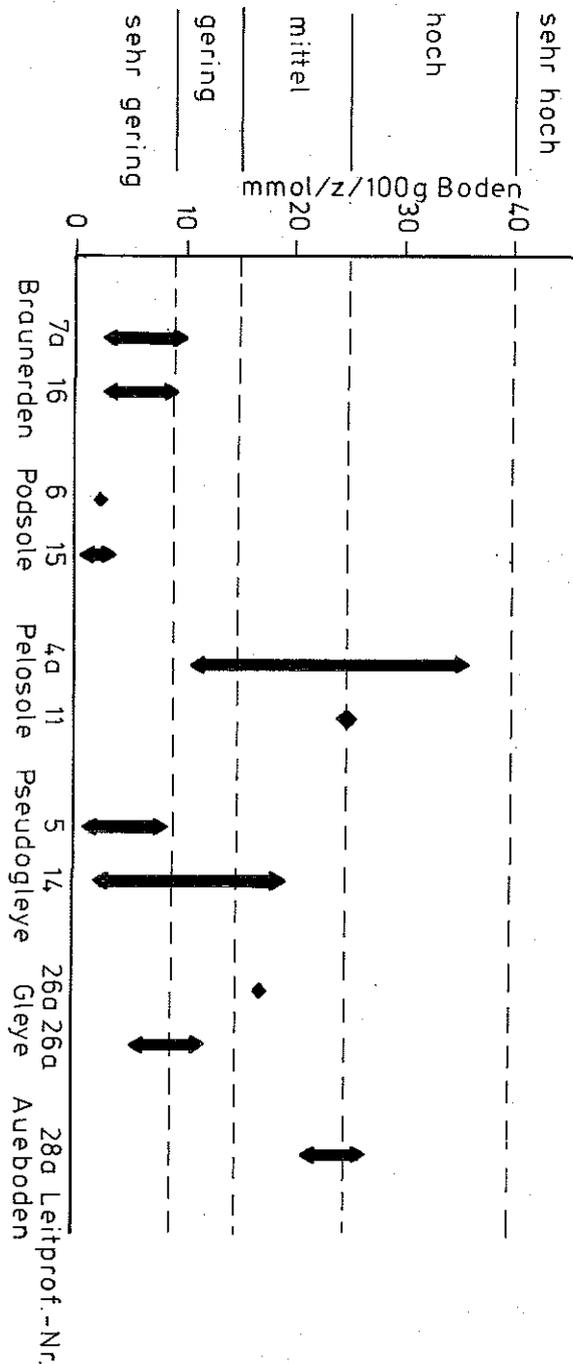


Abb. 36: Variationsbreite der Kationenaustauschkapazität AK_i im Hauptwurzelraum der Waldböden; die Bewertungskriterien wurden aus Angaben der Literatur abgeleitet.

Ausgangssubstrat und eine starke Auswaschung durch das Grundwasser die entscheidenden Rollen. Erhöhte Magnesium-Gehalte im Talgrundwasser und Flußwasser sind sicher für die relativ günstige Magnesium-Versorgung des untersuchten Auebodens entscheidend.

Insgesamt kann festgehalten werden, daß der überwiegende Teil der untersuchten Böden eine Magnesium-Unterversorgung aufweist. Die verfügbaren Vorräte in der Bodenlösung und an den Austauschern reichen zwar z.T. gerade noch aus, um in der Vegetation keine Mangelscheinungen zu erzeugen. Durch eine witterungs- und immissionsbedingte Auslaugung kann jedoch schnell ein Abgleiten zu akuten Mangelscheinungen erfolgen (BUCHNER & ISERMANN 1984). Der Magnesium-Haushalt muß somit als wichtiger disponierender Stressor für das Auftreten von Waldschäden im Sebalder Reichswald neben der Versauerung betrachtet werden.

Kaliummangel wurde bei den Nadelanalysen von REIGBER & BRAUN (1985) im Sebalder Reichswald nicht festgestellt. Nichtsdestoweniger zeigten sich bei einer Reihe von Leitprofilen sehr geringe Kaliumvorräte im Hauptwurzelraum. Auf Abb. 37 sind die Gehalte an adsorbiertem Kalium zusammengefaßt. Sowohl die Absolutmengen als auch die Anteile an der Kationenaustauschkapazität sind außer bei den Pelosolen gering. Das ist damit zu erklären, daß mit Ausnahme der Tonböden die Mineralkörper der meisten Profile nur einen geringen Gehalt an Kalium-haltigen Mineralen (Kalium-Feldspat, Tonminerale, Glimmer) besitzen und wegen der relativ guten Durchlässigkeit eine fast vollständige Auswaschung des durch Verwitterung und Mineralisation freigesetzten Kaliums (schlechte Adsorptionsfähigkeit der Kalium-Ionen) möglich ist. Als Sonderfall muß der Aueboden behandelt werden. Er zeigt zwar eine geringe Kalium-Sättigung, doch ist der Gehalt an mittelfristig freisetzbarem Kalium (K_v) recht hoch. Die Kalium-Versorgung kann hier wie bei den Pelosolen aus der mineralischen und organischen Bodensubstanz erfolgen, während bei den anderen Böden der Baumbestand ihren Kalium-Bedarf offensichtlich überwiegend aus den Produkten der Mineralisierung organischer Substanz deckt.

Dieses Kontingent scheint für die Versorgung des Baumbestandes noch auszureichen, ist aber bereits sehr knapp bemessen. Zudem dürfte bei den vorherrschenden niederen pH-Werten die Kalium-Aufnahme sehr erschwert sein (BUCHNER & ISERMANN 1984). Ein akuter Mangel ist am Baumbestand zwar noch nicht festzustellen, aber bei den Kalium-armen Standorten kurzfristig zu erwarten.

Die Calcium-Versorgung der Waldböden wurde bereits in Zusammenhang mit der Frage der Versauerung berührt. Für Braunerden, Podsole und einen Teil der Pseudogleye ergab sich eine geringe Calcium-Sättigung und ein geringer Vorrat an mittelfristig mobilisierbarem Calcium Ca_v . Im Prinzip herrscht bei diesen Böden also Calcium-Mangel. Nun hat Calcium im Boden/Vegetation-Ökosystem seine Hauptbedeutung in der Funktion des Regulators der Säure/Basen-Verhältnisse. Der Bedarf der Vegetation ist in der Regel sehr gering. Die Nadelanalysen an Kiefern des Sebalder Reichswaldes (REIGBER & BRAUN 1985) ergaben daher keinen Calcium-Mangel, doch auch hier ist die Versorgungslage angespannt.

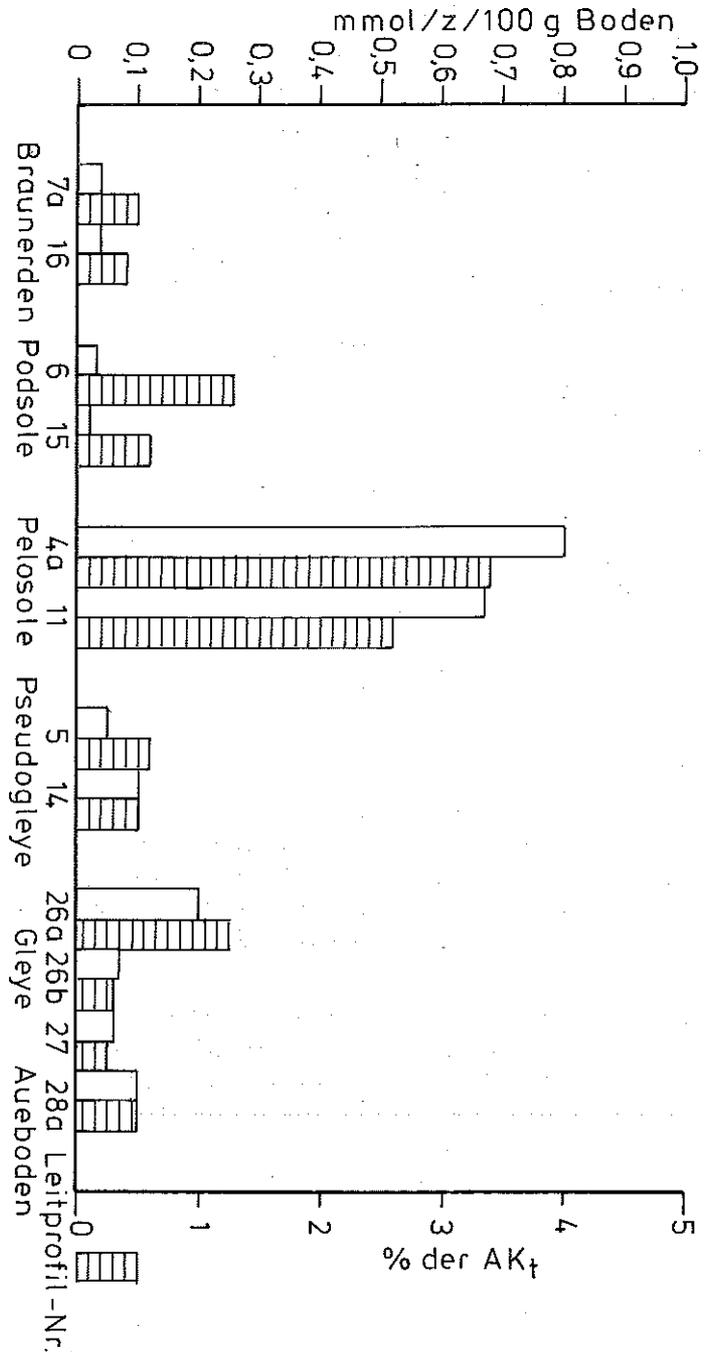


Abb. 37: Gehalte an adsorbierten Kalium-Ionen im Hauptwurzelraum der Waldboden-Profile, angegeben in Absolutwerten (mmol/z/100g Boden) und in %-Anteilen der Kationenaustauschkapazität AK_t .

5.2.2 Phosphor und Stickstoff

Zur Beurteilung der Phosphor-Vorräte unserer Waldböden werden hier der Gesamtphosphor-Mengen im Hauptwurzelraum verwendet. Die verwetterbaren Phosphor-Gehalte P_v erwiesen sich als weitgehend linear korreliert mit den P_f -Werten (s. Tabellen bei den einzelnen Bodeneinheiten).

Phosphor liegt in den Böden überwiegend in organischer Bindung vor. Wird der Gehalt an organischer Substanz, wie im Falle des Sebalder Reichswaldes etwa durch die Streunutzung, verringert, so verringern sich auch die Phosphor-Vorräte. Die Phosphor-Mobilisierung hängt wegen der überwiegend organischen Bindung stark von der Mineralisierung ab. Die niedrigen pH-Werte und schlechten Säure/Basen-Verhältnisse besonders in den Braunerden, Podsolen und manchen Pseudogleyen wirken sich auf das Bodenleben negativ aus, so daß die Nachlieferung des Phosphors als ungünstig zu beurteilen ist. Damit ist bereits aufgrund dieser Überlegungen eine schlechte Phosphorversorgung zu erwarten.

Die auf Abb. 38 zusammengestellten Phosphor-Mengen im Hauptwurzelraum bestätigen das vorhergesagte Bild: die Vorräte sind bei fast allen Böden gering bis sehr gering. Am besten schneiden die Gleye (relativ hohe Speicherfähigkeit für Phosphat im G_o und hohe Gehalte an organischer Substanz), die Pelosole und als Ausnahme unter den Braunerden die von Leitprofil 7a ab. Im letztgenannten Falle beruht der mittlere Phosphorvorrat auf einem hohen Anteil an Eisenoxid/hydroxiden (Ausgangsgestein: Arietensandstein), die für die anorganische Speicherung von Phosphat zur Verfügung stehen. Die relativ hohen Vorräte an Phosphor in den Pelosolen bestätigen eine von EMBERGER (1965) festgestellte Tendenz.

In den Nadeln der Kiefern des Reichswaldes zeigen sich dann auch sehr verbreitet zu geringe Phosphorgehalte (REIGBER & BRAUN 1985). Zwar ist der Bedarf des Baumbestandes an Phosphor relativ gering (KRAUS 1984), die Versorgung (Vorräte und Mobilisierbarkeit) aber außer bei den Gleyen und Pelosolen (wo es allerdings wegen einer behinderten Mineralisierung infolge einer gehemmten Mikroorganismen-Tätigkeit Versorgungsprobleme geben kann) sowie den Braunerden auf Arietensandstein extrem schlecht.

Einer der wichtigsten, vor allem das Wachstum der Waldvegetation begrenzenden Makro-Nährstoffe (EMBERGER 1965) ist der Stickstoff. Er ist bekanntlich fast ausschließlich in der organischen Substanz gebunden. Eine schlechte Mineralisierung des Humus, wie sie bei unseren Podsolen, Braunerden, Pseudogleyen und Gleyen zu erwarten ist, muß daher zwangsläufig auch eine schlechte Stickstoffnachlieferung mit sich bringen.

Der damit zu erwartende Stickstoff-Mangel könnte nur durch einen entsprechend hohen Vorrat ausgeglichen werden. Die Zusammenstellung der Abb. 39 läßt jedoch nur bei den Pelosolen (nach den Ausführungen von EMBERGER 1965 zu erwarten) und beim Aueboden mittlere Vorratskontingente erkennen; im übrigen sind die Vorräte gering bis sehr gering.

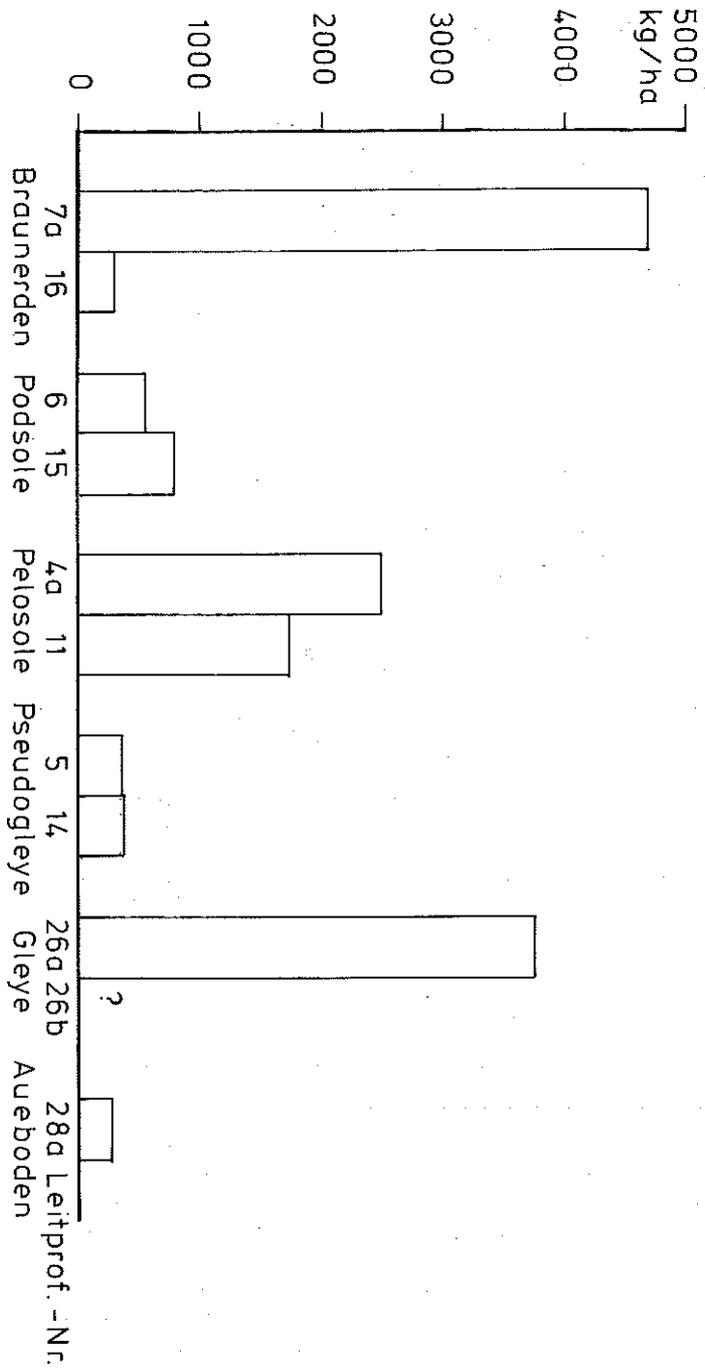


Abb. 38: Gesamtphosphor-Vorräte im Hauptwurzelraum der Waldböden; die Bewertungskriterien wurden aus Angaben der Literatur abgeleitet.

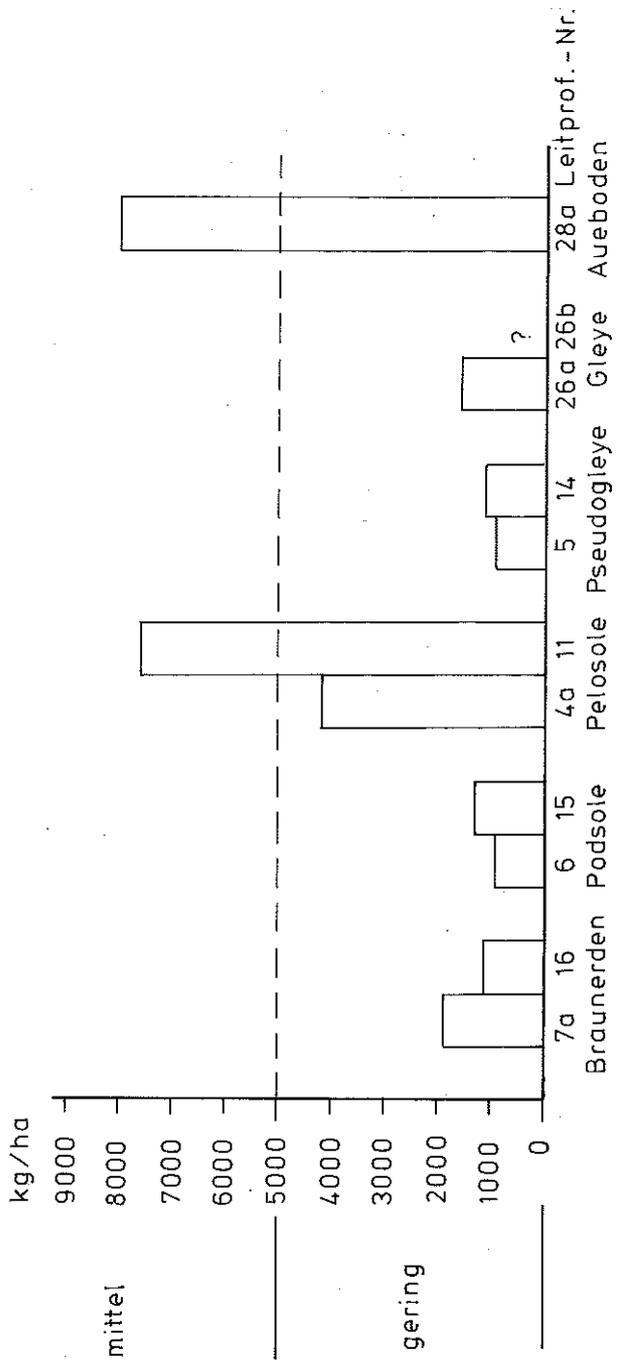


Abb. 39: Gesamtstickstoff-Vorräte im Hauptwurzelaum der Waldböden; die Bewertungskriterien wurden aus Angaben der Literatur abgeleitet.

Trotz der scheinbar vorprogrammierten schlechten Stickstoff-Versorgung der Vegetation zeigt sich in den Kiefernadeln des Reichswaldes nach den Angaben von REIGBER & BRAUN (1985) nur selten Stickstoffmangel. Die Verfasser führen dies auf einen immissionsbedingten Stickstoffeintrag zurück. Betrachtet man die von REIGBER & BRAUN aufgeführte Verteilung der Standorte des Sebalder Reichswaldes, an denen Stickstoffmangel vorliegt, etwas genauer, so erkennt man eine gewisse Konzentration auf die Keupersandböden und Böden mit quartären Sanddeckschichten am NW-, W- und SW-Fuß des Kalchreuther Höhenzuges. Dort treffen geringe Stickstoffvorräte (Abb. 39: Leitprofile 6, 14, 15, 16) und relativ geringe Immission von Stickstoffverbindungen zusammen. Zum Kalchreuther Höhenzug nehmen die Niederschläge (s. Klimawerte der Tabelle 1) und damit sowie durch die Kammwirkung der Wälder für Emmissionen aus dem Nürnberg-Fürth-Erlanger Ballungsraum die eingetragenen Stickstoffmengen zu. Die Übersichtsskizze von REIGBER & BRAUN (1985: 38) zeigt dort auch eine deutlich verbesserte Stickstoffversorgung der Kiefern.

Die Stickstoffversorgung der Vegetation des Sebalder Reichswaldes wird also aktuell durch die atmosphärisch eingetragenen Stickoxide bestimmt. Sollte allerdings, was kurzfristig sicher nicht zu erwarten ist, die Stickoxid-Belastung der Luft merklich zurückgehen, ist mit einer prekären Stickstoffmangelsituation auf den sandigen Standorten des Sebalder Reichswaldes zu rechnen.

5.3 Der Wasserhaushalt

Der Wasserhaushalt ist ein wichtiger Teil in der Beurteilung des ökologischen Zustandes eines Waldbodensystems. Für eine überschlägige Bewertung soll die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums nFKWe (einschließlich des Grobporenanteils) Verwendung finden. Die diesbezüglichen Daten für unsere Waldbodenprofile (Hauptwurzelraum) sind einander auf der Abb. 40 gegenübergestellt.

Unter allen untersuchten Böden zeigen zwar die *Braunerden* die beste Speicherfähigkeit für pflanzenverfügbares Wasser, doch sind auch die dort zur Verfügung stehenden Mengen nur als mittel, fast schon als gering zu bewerten. Es besteht im Prinzip eine gewisse Neigung zu Wassermangel in Trockenphasen, die jedoch in Abhängigkeit von der Reliefsituation durch seitlichen Zuzug von Hangwasser gemildert werden kann (s. z.B. Ausführungen zu Leitprofil 7a oben).

Bei den untersuchten *Podsolen* besteht einerseits eine geringe Speicherfähigkeit für pflanzenverfügbares Wasser aufgrund der Porengrößenverteilung, andererseits ist der Wurzelraum durch Stauwasser im Unterboden etwas eingeschränkt (s. Abb. 34). Es ergibt sich so gegenüber den Braunerden eine deutlich verringerte nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes. Die Böden sind in Feuchteperioden gut durchfeuchtet, doch kann in Trockenphasen sehr schnell Wassermangel eintreten.

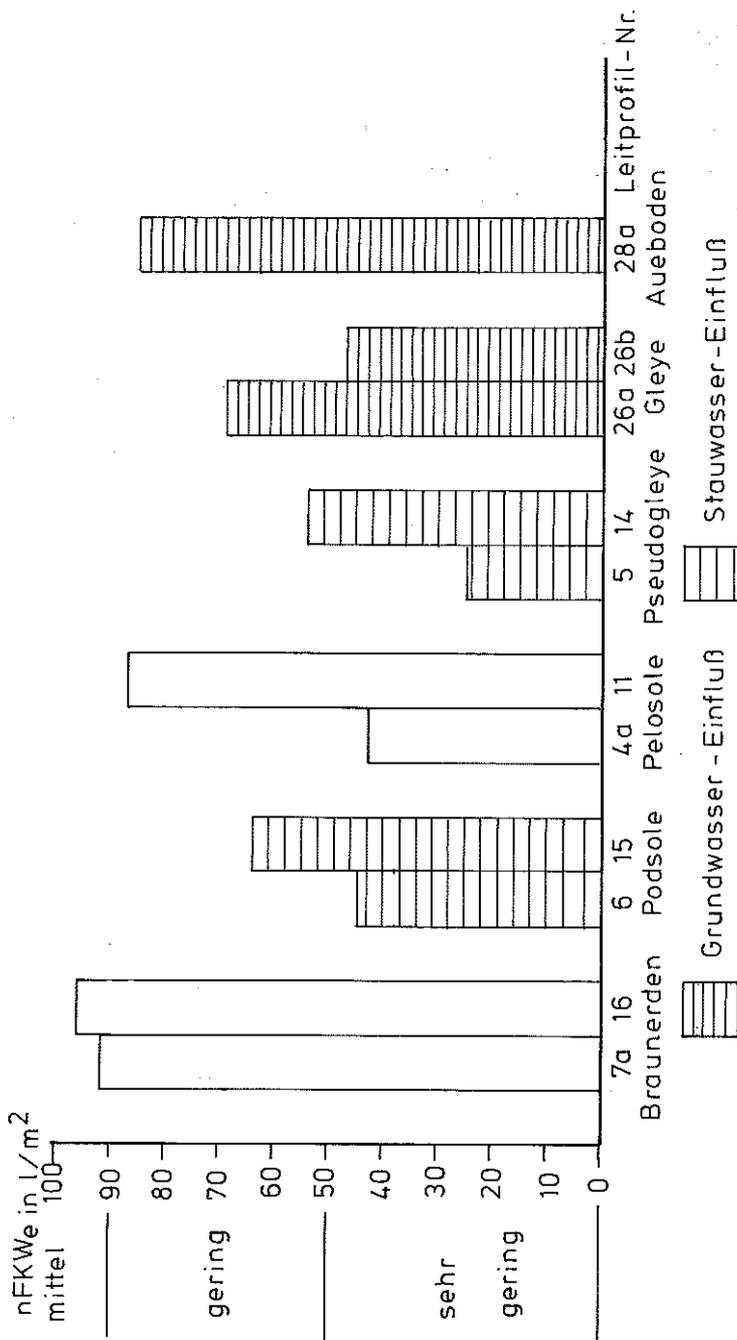


Abb. 40: Pflanzenverfügbare Wassermengen im Hauptwurzelraum der Waldböden, dargestellt anhand der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums (nFKWe) (Groporenanteil mitberücksichtigt); die Bewertungskriterien folgen AG Bodenkunde (1982).

Anzuschließen sind hier die *Pseudogleye*, bei denen im Prinzip die gleichen Probleme wie bei den Podsolen bestehen. Die Speicherfähigkeit für pflanzenverfügbares Wasser ist gering (eingeschränkter Hauptwurzelraum, hoher Größtporenanteil). Allerdings besteht oftmals bei den Pseudogleyen eine relativ lang andauernde Durchfeuchtungsphase, so daß die schlechte Wasserspeicherfähigkeit selten, also nur in längeren Trockenperioden zum Tragen kommen dürfte.

Die *Pelosole* auf Feuerletten neigen zwar nicht zur Austrocknung, doch ist der in ihnen speicherbare Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser infolge der Porengrößenverteilung sehr gering. Geht diese Wasser in Trockenperioden verloren, so enthalten die Böden zwar noch beträchtliche Wassermengen, die von den Pflanzenwurzeln aber nicht aufgenommen werden können. Wassermangel ist die Folge. Hinzu kommt als weiterer Mangel eine schlechte Durchlüftung, die Bodenleben und Feinwurzelwachstum stark behindert. Der Hauptwurzelraum ist deswegen für die forstlich am häufigsten geförderten Baumarten Fichte und eingeschränkt auch Kiefer in der Regel sehr geringmächtig (Abb. 34). Diese schweren Tonböden können nur von einem standortgemäßen Mischbestand aus Stieleiche, Hainbuche und Winterlinde optimal genutzt werden.

Andere Verhältnisse zeigen dagegen die *kalkhaltigen Pelosole* z.B. auf Lias Gamma (Leitprofil 11). Der Kalkgehalt begünstigt die Aggregation der Tonsubstanz. Zwischen den Aggregaten entstehen Sekundärporen, die die Porengrößenverteilung in Richtung Mittelporen verschieben. Damit verbessert sich auch die Fähigkeit zur Speicherung pflanzenverfügbaren Wassers (Abb. 40) und die Durchlüftung gegenüber kalkfreien Tonböden. Da wegen der immer noch relativ schlechten Durchwurzelung des Bodens der Hauptwurzelraum sehr flach ist, bleiben aber auch die Absolutmengen der nutzbaren Feldkapazität nur gering (Abb. 40).

Vergleichsweise wenig Probleme in der Wasserversorgung ergeben sich bei den *Gleyen* und *Aueböden*. Die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums ist zwar aufgrund der Porengrößenverteilungen nur gering, doch reicht i.allg. zumindest der Kapillarraum in die Hauptwurzelzone hinein. Wassermangel ist bei den normalen Gleyen und Aueböden nur bei sehr tiefem Grundwasserstand zu erwarten, bei Naßgleyen überhaupt nicht. Langandauernde hohe Grundwasserstände bedingen allerdings Luftmangel im Wurzelraum, so daß die Gleye nur für an bodenfeuchte Standorte angepaßte Baumarten geeignet sind und für Nadelbäume vor allem für die Kiefer aber auch für die Fichte (Ausbildung flacher Wurzelteller, Windwurfgefährdung), die hier nur in Mischung mit Erle eingebracht werden sollte, Problemstandorte darstellen.

5.4 *Schlußbemerkungen*

Die Zusammenfassung der ökologisch aussagefähigen Merkmale und Eigenschaften der Waldbodensysteme des NW' Sebalder Reichswaldes haben erkennen lassen, daß fast alle Bodeneinheiten in der einen oder anderen Richtung Problem-

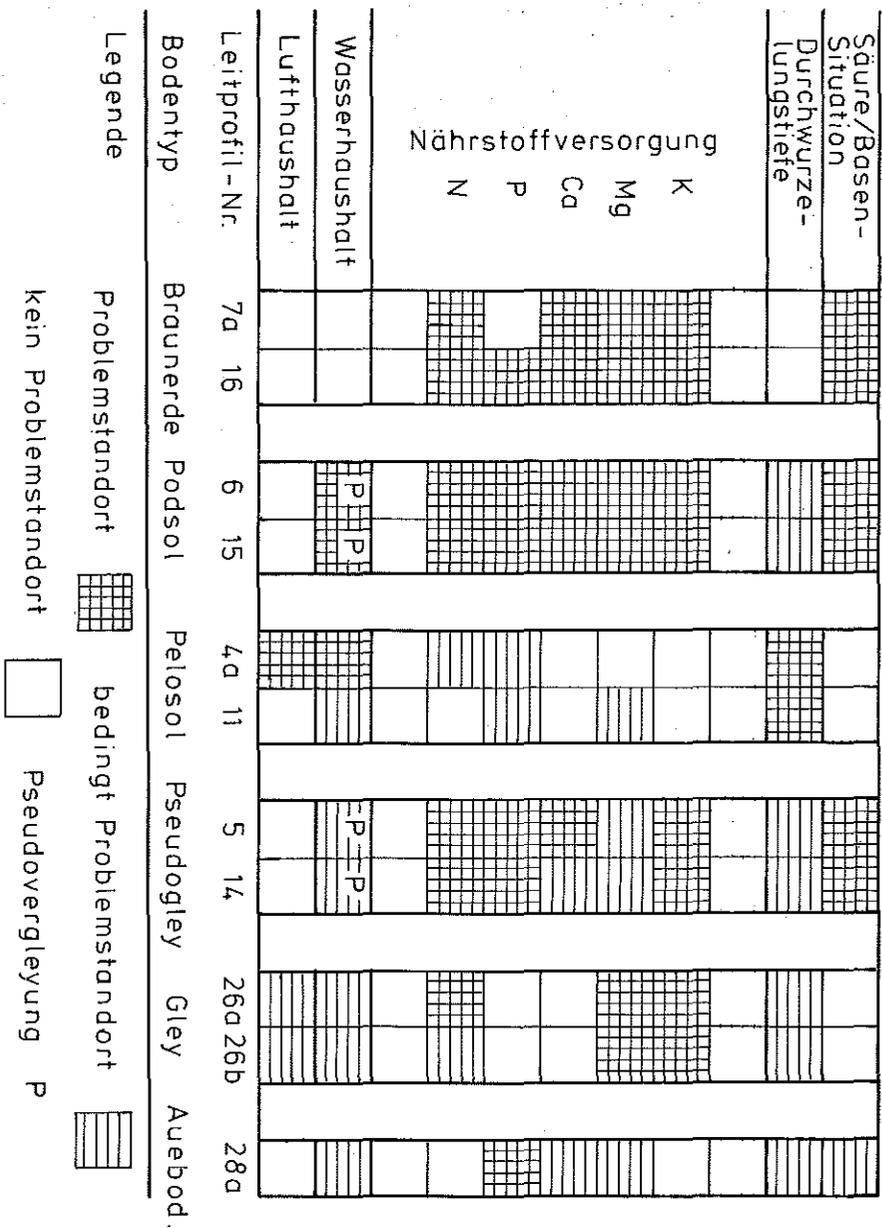


Abb. 41: Zusammenfassende Einschätzung der untersuchten Waldböden in Hinblick auf ihren Wert für die Vegetation, insbesondere für die Baumvegetation.

standorte darstellen (Abb. 41). Es bestehen fast nirgends optimalen Standortbedingungen. Vor allem sind die Standorte nur zu einem sehr geringen Maße für fast reine Kiefern- oder Fichtenforste geeignet, wie sie vielfach noch bestehen. Die Böden stellen damit in der Tat für die Nadelwaldforste disponierende Stressoren dar, die eine latente Vitalitätsminderung der Bäume verursachen. Bis zu einem Auftreten akuter Schäden infolge direkter Einwirkungen der Luftschadstoffe auf die Assimilationsorgane besteht nur noch ein kleiner Schritt.

Den Auswirkungen der Bodenstressoren kann z.T. überhaupt nicht z.T. nur beschränkt und kurzfristig z.B. mit geeigneten Düngemaßnahmen (schwer mobilisierbare, phosphat-, magnesium- und kaliumhaltige Kalkdünger ohne Stickstoffkomponente, die in den Boden eingearbeitet werden (BUCHNER & ISERMANN 1984) entgegengewirkt werden. Die einzigen, dauerhaften Möglichkeiten für eine Gesundung des betrachteten Waldökosystems sind vom bodenkundlichen Standpunkt aus betrachtet eine Verringerung der Luftbelastung durch Säuren und Säureanhydride und einer Anpassung der Bestockung an die bestehenden Bodenverhältnisse, vor allem durch verstärkte Einbringung bodenaufschließender Laubhölzer.

6 Zusammenfassung

In einer SSW-NNE verlaufenden Traverse vom Gründlachtal über Kalchreuth bis zum Schwabachtal östlich von Erlangen wird ein repräsentativer Querschnitt durch die Böden des nordwestlichen Sebalder Reichswaldes entworfen. Die regionale Verteilung der abgrenzbaren Bodeneinheiten ist aus einer Bodenkarte im Maßstab 1 : 10 000 und einem beigefügten Schemaprofil ersichtlich.

Die Bodengesellschaften werden in erster Linie durch das Ausgangsgestein geprägt, wobei der Einfluß von quartären Deckschichten (Hangschutt, Fließerden, Flug- und Dünenande, Löß, Terrassensande) besonders hervorzuheben ist. Auf die jahrhundertelange anthropogene Bodendegradation (Kiefernreinanbau, Streunutzung, Waldweide) wird hingewiesen.

Die Bodeneinheiten werden nach ihren makroskopischen Profilmerkmalen, der ihnen zuordenbaren potentiellen natürlichen Vegetation und ihrer forstlich betrachtet standortgerechten Bestockung charakterisiert. Anhand von 28 Leitprofilen werden schließlich für die verbreitetsten Bodenformen bodengenetisch wichtige, vor allem aber ökologisch aussagekräftige, chemische und physikalische Kennwerte des Bodenzustandes aufgezeigt.

Anhand dieser Analysedaten kann abgeleitet werden,

- daß die Böden überwiegend im Hauptwurzelraum der forstlich bedingt am meisten verbreiteten Baumarten Kiefer und Fichte versauert sind; eine Ausnahme bilden lediglich die Pelosole auf Feuerletten und kalkhaltigem Lias sowie ein Teil der Gleye;

- daß die effektive Durchwurzelungstiefe (= Mächtigkeit des Hauptwurzelraums) bei den meisten Böden sehr gering ist, weshalb die Wasser- und Nährstoffpotentiale der Böden für Fichte und eingeschränkt auch Kiefer nur unvollständig nutzbar sind;
- daß bei den meisten Böden (Ausnahme Pelosole) eine Mangelsituation an pflanzenverfügbarem Magnesium und Kalium besteht;
- daß weiterhin häufig nur geringe Phosphorvorräte (Ausnahme: Braunerden auf Arietensandstein und Gleye) bestehen, die wegen der ungünstigen Bedingungen für das Bodenleben außerdem schlecht mobilisierbar sind;
- daß die pedogene Stickstoffversorgung außer bei Pelosolen auf kalkhaltigem Lias sehr begrenzt ist; allerdings kann die aktuelle Versorgung über Stickstoffeinträge aus Immissionen als gesichert betrachtet werden;
- daß ein großer Teil der sandigen und lehmigen Bodenprofile stauwasser beeinflusst ist, wodurch der Hauptwurzelraum eingeschränkt wird; in Feuchtephasen besteht eine gute Wasserversorgung, in Trockenphasen tritt jedoch schnell Wassermangel infolge der geringen Speicherfähigkeit an pflanzenverfügbarem Wasser ein;
- daß bei tonigen Böden häufig infolge der Porengrößenverteilung und der schlechten Durchwurzelungsmöglichkeit (geringmächtiger Hauptwurzelraum für Fichte und eingeschränkt Kiefer) nur eine geringe nutzbare Feldkapazität zur Verfügung steht;
- daß insbesondere Pelosole und Gleye schlecht durchlüftet sind; bei den Gleyen ist deshalb nur eine Bestockung mit feuchtigkeitsverträglichen Baumarten sinnvoll.

Insgesamt bildet fast jede Bodeneinheit in mindestens einer wesentlichen Hinsicht einen Problemstandort. Die Bodenverhältnisse sind für den Baumbestand als disponierende Stressoren zu werten, die im Sinne der ökosystemaren Wirkungsketten nach ULRICH (1984b) zu einer Vitalitätsminderung der Bäume führen. Auslösende Stressoren wie Agentien aus Luftverunreinigung können so leicht akute Waldschäden erzeugen, wie sie in den Kiefern- und Fichtenforsten des Sebalder Reichswaldes zu beobachten sind. Zur Linderung der eingetretenen Bodendegradation wird eine Umstellung der standortsdegradierenden Nadelholzbestockung auf bodenverbessernde Laubholzbestockung vorgeschlagen.

7 Literaturverzeichnis

- AG Bodenkunde (1971): Kartieranleitung. Anleitung und Richtlinien zur Herstellung der Bodenkarte 1 : 25 000. - 2. Aufl., 169 S.; Hannover.
- AG Bodenkunde (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 331 S.; Hannover.
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (1983): Lufthygienischer Jahresbericht 1982. - Schriftenr. Bayer. Landesamt f. Umweltschutz, 57: 251 S.; München.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1973): Düngerichtlinien für die Forstwirtschaft. - 47 S.; München.
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (1982): Emissionskataster Erlangen, Fürth, Nürnberg. - 88S.; München.
- Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (1974): Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Regnitz. - Bd.I - III; München.
- B e r g e r , K . (1951): Die Dünen im Raum Nürnberg und Erlangen. - Geol. Bl. NO-Bayern, 1: 70-74; Erlangen.
- B e r g e r , K . (1978): Geologische Karte von Bayern 1 : 50 000, Blatt Nürnberg-Fürth-Erlangen und Umgebung mit Erläuterungen. - 219 S.; München (Bayer. Geol. L.-A.).
- B i r z e r , F . (1964): Einige Beispiele für Bodentypen-Wandel in Nordbayern. - Geol. Bl. NO-Bayern, 14: 115-122; Erlangen.
- B l u m e , H. P. & S c h w e r t m a n n , U . (1969): Genetic evaluation of profile distribution of Al-, Fe- and Mn-oxides. - Soil Sc. Soc. Amer. Proc., 33: 438-444; Madison/USA.
- B r a u n , G . (1983): Ergebnisse nadelanalytischer Untersuchungen in bayerischen Forstämtern. - Informationen Bayer. Staatsforstverw., 83/1: 41-42; München.
- B r u n n a c k e r , K . (1955): Die Böden der Terrassen und der Flugsande im Regnitztal. - Geol. Bl. NO-Bayern, 5: 71-77; Erlangen.
- B r u n n a c k e r , K . (1959): Das Spät- und Postglazial in Bayern. - Geologica Bavarica, 43: 75-150; München.
- B r u n n a c k e r , K . (1978): Deckschichten. - (in) Andres G. & Georgotas N. (Hrsg.): Das Mainprojekt. - Schriftenreihe Bayer. Landesamt f. Wasserwirtschaft, 7: 17-23; München.
- B r u n n a c k e r , K . (1982): Äolische Deckschichten und deren fossile Böden im Periglacialbereich Bayerns. - Geol.Jb., F14: 15-25; Hannover.
- B u c h n e r , A. & I s e r m a n n , K. (1984): Wie sind Waldschadensursachen aus der Sicht der Pflanzenernährung zu beurteilen? - Allg.Forst-Zeitschr.: 781-784; München.
- B ü d e l , N . (1957): Grundzüge der klimamorphologischen Entwicklung Frankens. - Würzburger Geogr. Arb., 4/5: 5-46; Würzburg.
- Deutscher Wetterdienst (1952): Klima-Atlas von Bayern 1 : 1 000 000. - Bad Kissingen.
- D i e t z , N . (1973): Bodenkarte von Bayern 1 : 25 000, Nr. 6434 Hersbruck mit Erläuterungen. - 84 S.; München (Bayer. Geol. L.-A.).
- DIN 19 684 - Teil 1 (1977): Bestimmung des pH-Wertes des Bodens und Ermittlung des Kalkbedarfs. - Berlin - Köln (Beuth-Verlag).

- DIN 19 684 - Teil 4 (1977): Bestimmung des Gehaltes an Gesamtstickstoff im Boden. - Berlin-Köln (Beuth-Verlag).
- DIN 19 684 - Teil 5 (1977): Bestimmung des Karbonatgehaltes im Boden. - Berlin - Köln (Beuth-Verlag).
- DIN 19 684 - Teil 6 (1977): Bestimmung des Gehaltes an oxalatlöslichem Eisen im Boden. - Berlin-Köln (Beuth-Verlag).
- DIN 19 684 - Teil 8 (1977): Bestimmung der Austauschkapazität des Bodens und der austauschbaren Kationen. - Berlin-Köln (Beuth-Verlag).
- E l l e n b e r g , H. (1979): Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. - Scripta Geobotanica, IX/92; Göttingen.
- E m b e r g e r , S. (1965): Stickstoffvorräte bayerischer Waldböden. - Forstw.Cbl., 84: 156-193; München.
- F i s c h e r , H. (1985): Zur Soziologie und Ökologie der Wald- und Forstgesellschaften des nördlichen Sebalder Reichswaldes. - 115 S.; Unveröffentlichte Dipl.Arbb., Inst. f. Botanik u. Pharmazeutische Biologie, Univ. Erlangen-Nürnberg; Erlangen.
- Forstamt Nürnberg (1981): Standortsteil zum Forstwirtschaftsplan für den Staatswald des Forstamtes Nürnberg. - 69 S.; Nürnberg (Schreibmaschinen-Manuskript).
- F r e y b e r g , B. v. (1974): Das erste Profil durch die "Rathsbergschichten" (Rhät) am locus typicus bei Erlangen (Bohrung Rathsberg 1, 1971). - Erlanger geol. Abh., 97: 5-23; Erlangen.
- G a u d e t t e , H. E. , F l i g h t W. R. , T o n e r , L. & F o l g e r , D. W. (1974): An inexpensive titration method for the characterization of organic carbon in recent sediments. - J. Sed. Petrol., 34: 249-253; Tulsa/Okla.
- H a a r l ä n d e r , W. (1966): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Nr. 6432 Erlangen-Süd mit Erläuterungen. - 146S.; München (Bayer. Geol. L.-A.).
- H a b b e , K. A. , M i h l , F. & W i m m e r , F. (1981): Über zwei 14C-Daten aus fränkischen Dünenansanden. - Geol. Bl. NO-Bayern, 31: 208- 221; Erlangen.
- H a r t g e , K. H. (1969): Die Ermittlung der Wasserspannungskurve aus den Körnungs-Summenkurven und dem Gesamtporenvolumen. - Z. f. Kulturtechnik und Flurbereinigung, 10: 20-27;
- H a r t g e , K. H. (1971): Die physikalische Untersuchung von Böden. - 168 S.; Stuttgart (Enke-Verlag).
- H a u s s e r , K. et al. (1969): Empfehlungen für das Planen, Anlegen, Behandeln und Auswerten forstlicher Düngeversuche. - Allg. Forst- u. J.-Ztg., 140: 121-132; Hamburg-Berlin.
- H e r r m a n n , R. (Hrsg.) (1955): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch). - Bd.1: Thun, R., Herrmann, R. & Knickmann E.: Die Untersuchung von Böden. - 3. Aufl., 271 S.; Radebeul - Berlin (Neumann-Verlag).
- H e s s e , P. R. (1971): A textbook of soil chemical analysis. - 520 S.; New York (Chemical Publishing Co.).
- H o f m a n n , G. (1966): Bestimmung von T-Wert und austauschbaren Kationen nach Mehlich in einem verkürzten Arbeitsgang. - Unveröff. Manuskript; München (Bayer. Geol. L.-A.).
- H o h e n e s t e r , A. (1960): Grasheiden und Föhrenwälder auf Diluvial- und Dolomitsanden im nördlichen Bayern. - Ber.Bay. Bot.Ges., 33: 30-85; München.

- H o h e n e s t e r , A. (1978): Die potentielle natürliche Vegetation im östlichen Mittelfranken (Region 7). Erläuterungen zur Vegetationskarte 1 : 200 000. - Mitt.Fränk.Geogr.Ges., 23/24: 5-74; Erlangen.
- H o l z a p f e l , R. (1960): Die natürliche und die künstliche Verbreitung der Weißtanne im mittelfränkischen Keupergebiet. - Forstw.Cbl., 79: 289-331; Hamburg - Berlin.
- H ü t t e r o t h , W. (1974): Landeskundlicher Überblick. -(in) Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Wasserwirtschaftlicher Rahmenplan Regnitz. - Bd.I:115-118; München.
- K o h l , F. , D i e t z , T h. , J e r z , H. & W i t t m a n n , O. (1971): Bodenlandschaften und Böden in Bayern. - Mitteiln. Dtsch. Bodenk. Gesellsch., 13: 479-521; Göttingen.
- K r a u s , A. (1984): Zur Bewertung der Nährstoffversorgung in Wald aus der Sicht des Pflanzenbauers. - Allg.Forst.zeitschr., 39 (1984/85): 88-89; München.
- K r u m m , H. (1961): Mineralbestand und Genese fränkischer Keuper- und Lias-Tone. - Geol. Rd-sch., 51: 478-493; Stuttgart.
- K r u m m , H. (1962): Mineralbestand von fünf Tonproben aus dem terrestrischen und marinen Lias der Bohrung Adlitz. - Geol. Bl. NO-Bayern, 12: 91-103; Erlangen.
- M a n i o n , P. (1981): Tree disease concepts. - Prentice Hall.
- M e h r a , O. P. & J a c k s o n , M. L. (1960): Iron oxides removed from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. - Clays and Clay Minerals, 7: 317-327; New York.
- M e i w e s , K. - J. , H a u h s , M. , G e h r k e H. , A s c h e , N. , M a t z - n e r , E. & L a m e r s d o r f , N. (1984): Erfassung des Stoffkreislaufes in Waldökosystemen: Konzept und Methodik. - Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme/Waldsterben, 7: 68-139; Göttingen.
- M e i w e s , K. - J. , K ö n i g , N. , K h a n a , P. K. , F r e n z e l , J. & U l r i c h , B. (1984): Chemische Untersuchungsverfahren für Mineralböden, Auflagehumus und Wurzeln zur Charakterisierung und Bewertung der Versauerung in Waldböden. - Ber. Forschungszentrum Waldökosysteme/Waldsterben, 7: 1-67; Göttingen.
- M ü l l e r , G. (1964): Sedimentpetrologie Teil I: Methoden der Sedimentuntersuchung. - 303 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- M ü l l e r , G. (1977): Wissenschaftliches Gutachten zu ökologischen Planungsgrundlagen im Verdichtungsraum Nürnberg-Fürth-Erlangen-Schwabach. - Text- und Kartenband; München.
- M ü l l e r , S. (1961): Grundzüge der Bodenbildung im württembergischen Keuperbergland. - Mitt. Ver. Forst. Standortkunde, 11: 3 - 60; Stuttgart.
- N e u b a u e r , E. (1985): Die Bodengesellschaften am S-Rand des Kalchreuther Höhenzuges im Gebiet W' von Heroldsberg unter besonderer Berücksichtigung der physikalischen Kennwerte des Bodens. - 256 S.; Unveröff. Dipl.Arb., Inst. f. Geol. u. Min. Univ. Erlangen-Nürnberg; Erlangen.
- O y a m a , M. & T a k e h a r a , H. (1970): Revised standard soil color charts. - Tokyo.
- O t t - E s c h k e , M. (1951): Pollenanalytische Untersuchungen im Nürnberger Reichswald. - Forstw.Cbl., 70: 48-63; Hamburg - Berlin.
- P r e n z e l , J. (1985): Verlauf und Ursachen der Bodenversauerung. - Z. dt. Geol. Ges., 136: 293 - 302; Hannover.

- R a u m , K. (1985): Waldgesellschaften im Sebalder Reichswald und ihre Abhängigkeit von Bodentyp sowie Frequenzuntersuchungen in Düngeflächen. - 203 S.; Unveröff. Dipl.Arbb., Inst. f. Botanik u. Pharmazeutische Biologie Univ. Erlangen-Nürnberg; Erlangen.
- R e h f u e s s , K. E. (1981a): Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. - 193 S.; Hamburg - Berlin (Parey).
- R e h f u e s s , K. E. (1981b): Über die Wirkung von sauren Niederschlägen in Waldökosystemen. - Forstwiss. Cbl., 100: 360-381; Hamburg - Berlin.
- R e i g b e r , E. & B r a u n , G. (1985): Forstliche Bioindikatoruntersuchungen in Bayern. Methodik und erste Ergebnisse 1981/82. - Forstliche Forschungsberichte München, 68: 179 S.; München.
- R e n g e r , M. (1971): Die Ermittlung der Porengrößenverteilung aus der Körnung, dem Gehalt an organischer Substanz und der Lagerungsdichte. - Z. Pflanzenernährg., Düngung und Bodenk., 130: 53-57; Weinheim.
- S a l g e r , M. (1974): Tonmineralogische Untersuchungen der Bohrung Rathsberg 1 bei Erlangen. - Erlanger geol. Abh., 97: 43-48; Erlangen.
- S c h l i c h t i n g , E. & B l u m e , H. P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. - 209 S.; Hamburg - Berlin (Parey).
- S c h w e r t m a n n , U. (1964): Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. - Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, 105: 194-202; Weinheim.
- S e i b e r t , P. (1968): Übersichtskarte der natürlichen Vegetationsgebiete von Bayern 1 : 500 000. Potentielle natürliche Vegetation. - Schriftenreihe für Vegetationskunde, 3: 95 S.; Bad Godesberg.
- S p e r b e r , G. (1968): Die Reichswälder bei Nürnberg. Aus der Geschichte des ältesten Kunstforstes. - Mitt.Staatsforstverw. Bayerns, 37: 178S.; München.
- T i t z e , P. (1969): Der Erlenbruchwald im Naturschutzgebiet "Brucker Lache" im Rahmen seiner Kontakt- und Ersatzgesellschaften. - Erlanger Bausteine zur Fränkischen Heimatforschung, 16: 135-228; Erlangen.
- T ü r k , W. (1987): Der "Falknershügel" bei Tennenlohe - Ein bemerkenswerter Fundort anspruchsvoller Pflanzengesellschaften am Rande des Nürnberger Reichswaldes. - Jahresmitt.Naturhist. Ges. Nürnberg, 1986: 65-79; Nürnberg.
- T ü x e n , R. (1956): Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. - Angewandte Pflanzensoziologie, 13: 5-32; Stolzenau/Weser.
- U l r i c h , B. (1981 a): Theoretische Betrachtungen des Ionenkreislaufes in Waldökosystemen. - Z. Pflanzenernährg., Bodenk., 144: 647-659; Weinheim.
- U l r i c h , B. (1981 b): Ökologische Gruppierungen von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. - Z. Pflanzenernährg., Bodenk., 144: 289-305; Weinheim.
- U l r i c h , B. (1982): Gefahren für das Waldökosystem durch Saure Niederschläge. - Löff-Mitteilungen, Sdh. Immissionsbelastungen von Waldökosystemen: 9-25; Recklinghausen.
- U l r i c h , B. (1984 a): Waldsterben durch saure Niederschläge. - Umschau, 1984: 348-355; Frankfurt/M..
- U l r i c h , B. (1984 b): Ökosystemare Wirkungsketten beim Wald- und Baumsterben. - Der Forst- und Holzwirt, 38: 468-474; Hannover.

- U l r i c h , B. (1986): Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: Langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. - Forstw. Cbl., 105: 421-435; Hamburg, Berlin.
- U l r i c h , B. , M e i w e s , K. - J. , K ö n i g , N. & K h a n a , P. K. (1984): Untersuchungsverfahren und Kriterien zur Bewertung der Versauerung und ihrer Folgen in Waldböden. - Der Forst- und Holzwirt, 11: 278-286; Hannover.
- U l r i c h s , M. (1966): Zur Fossilführung und Genese des Feuerlebens, der Rhät-Lias-Grenzschichten und des Unteren Lias bei Nürnberg. - Erlanger geol. Abh., 64: 42 S.; Erlangen.
- Verein für forstliche Standortserkundung. (1985): Standortskarte Privatwald Erlangen 1 : 5000 (Buckenhof, Uttenreuth, Weiher). - München.
- V o g t h e r r , J. (1952): Das floristisch-pflanzengeographische Waldbild des Nürnberger Reichswaldes jetzt und in der Vergangenheit. - Mitt.Staatsforstverw.Bayerns, 27: 71 S.; München.
- W i e g n e r , G. (1926): Anleitung zum quantitativen, agrikulturchemischen Praktikum. - Sammlung naturwissenschaftlicher Praktika, 12: XVI + 348 S.; Berlin (Borntraeger).
- W i t t m a n n , O. (1983): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern, Übersichtskarte 1 : 1 000 000 mit Erläuterungen. - 30 S.; München (Bayer. Geol. L.-A.).
- W i t t m a n n , O. & F e t z e r , K. D. (1982): Aktuelle Bodenversauerung in Bayern. - Materialien, 20: 71 S.; München (Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen).
- W i t t m a n n , O. & H o f m a n n , B. (1981): Standortkundliche Bodenkarte von Bayern 1 : 25 000, Hallertau mit Erläuterungen. - 199 S.; München (Bayer. Geol. L.-A.).
- Z e c h , W. (1983): Kann Magnesium immissionsgeschädigte Tannen retten? - Allg.Forst-Zeitschr. 38/9/10: S. 237; München.
- Z e c h , W. & P o p p , E. (1983): Magnesiummangel, einer der Gründe für das Fichten- und Tannensterben in NO-Bayern. - Forstw.Cbl., 102: 50-55; Hamburg, Berlin.
- Z e z s c h w i t z , E. v. (1984): Grundsätze für Bodenkartierungen zur forstlichen Standortserkundung. - Geol.Jb., F 16: 3-36; Hannover.