

# Diskussion

Objekttyp: **Chapter**

Zeitschrift: **Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich**

Band (Jahr): **47 (1971)**

PDF erstellt am: **03.07.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## 6. Diskussion

### 6.1 Der Wasserhaushalt

Für den Wasserhaushalt eines Bodens sind in erster Linie Qualität und Quantität der Poren innerhalb eines Profils ausschlaggebend. Bekanntlich unterscheidet man zwischen Grobporen mit einem Durchmesser größer als  $50 \mu$ , aus denen das Niederschlagswasser unter dem Einfluß der Schwerkraft in tiefere Horizonte sickert und damit als sogenanntes Gravitationswasser in normal drainierten Böden den Pflanzen nicht zur Verfügung steht, ferner zwischen Mittelporen (Durchmesser  $10-0,2 \mu$ ), die Niederschlagswasser mit einer Saugkraft von 0 bis 15 at mehr oder weniger lang kapillar festhalten, und schließlich zwischen Feinporen (Durchmesser unter  $0,2 \mu$ ), die das Wasser mit einer Saugkraft von mehr als 15 at binden. Pflanzenverfügbar ist nur Wasser, das in den Mittelporen gespeichert wird, wobei man zwischen leicht verfügbarem ( $0-0,8$  at) und schwerverfügbarem Wasser ( $0,8-15$  at) unterscheidet.

Das *QuAs* stockt auf schlufffreien Rißmoränenboden, die nach RICHARD (1953) außerordentlich porenarm sind. Verdichtungen im Unterboden in rund 50 cm Tiefe geben im Winter, im Frühjahr nach der Schneeschmelze und im Sommer nach Niederschlägen Anlaß zu Vernässungen. Der Wechsel zwischen Wassersättigung und Austrocknungsphase in bestimmter Tiefe führt zu einer Marmorierung des Bodens, also mehr oder minder starker rostfarbener Gleyfleckung im Wechsel mit fahlgrauen Reduktionszonen entlang von Wurzeln (Pseudogley).

Das geringe Porenvolumen dieser Böden macht natürlich eine wirksame Durchlüftung vor allem der tieferen Bodenschichten unmöglich. Dies und der zeitweilig bis 50 cm Tiefe anstehende Stauwasserspiegel verhindern eine gleichmäßige Durchwurzelung des Profils. Die Hauptmenge der Wurzeln von Sträuchern, Kräutern und Bäumen konzentriert sich deshalb in den obersten 20 cm des Bodens, was zu einer starken Wurzelkonkurrenz führt und eine geringe Anzahl und Artmächtigkeit der Phanerogamen zur Folge hat. Die maximal gemessenen Saugspannungen überschreiten in beiden Versuchsflächen im *QuAs* nie 600 cm WS, liegen also noch unter 0,8 at, d. h., es ist während der gesamten Vegetationszeit immer genügend leicht verfügbares Wasser vorhanden. Dies gilt auch für das *MFb*. Immerhin ist hier die Drainage noch so gut, daß kein Stauwasser oberhalb 100 cm Tiefe auftritt. Im *QuAs* ist wassergesättigter Boden dagegen nicht selten. Der Wasserspiegel hält sich innerhalb des Meßbereiches bis Anfang Juni und steigt im Sommer nach stärkeren Niederschlägen kurz-

fristig bis 50 cm Tiefe empor, Verhältnisse, wie sie für Pseudogleye typisch sind. Die Plateau-Lage verhindert seitlichen Wasserabzug, so daß das Niederschlagswasser durch die oberen porösen Bodenschichten sickert und sich an der Verdichtungszone staut. Die Stagnation macht eine ausreichende Durchlüftung unmöglich. Der hydraulische Gradient dürfte demnach lotrecht gerichtet sein.

Daß periodische Vernässung die Konkurrenzkraft der Buche durch Luftmangel im Wurzelbereich entscheidend schwächt, ist bekannt (vgl. z. B. ELLENBERG 1963). So stockt das *Mfb*, in dem die Buche dominiert, auf einer basenarmen, aber ausreichend durchlüfteten und gut drainierten Braunerde. Hier trat während der Vegetationsperiode und allem Anschein nach auch im Winter und zeitigen Frühjahr kein Wasserspiegel oberhalb 100 cm Tiefe auf. Im Gegensatz dazu steht das *Mfc*, dessen Boden einen ähnlichen Wasserhaushalt wie der des *QuAs* aufweist. Auch hier herrscht zu Beginn der Vegetationszeit, also auch zur Zeit des Buchenaustriebs, ein Wasserspiegel. Aus der Hanglage resultiert allerdings kein lotrechter hydraulischer Gradient; vielmehr bewegt sich das

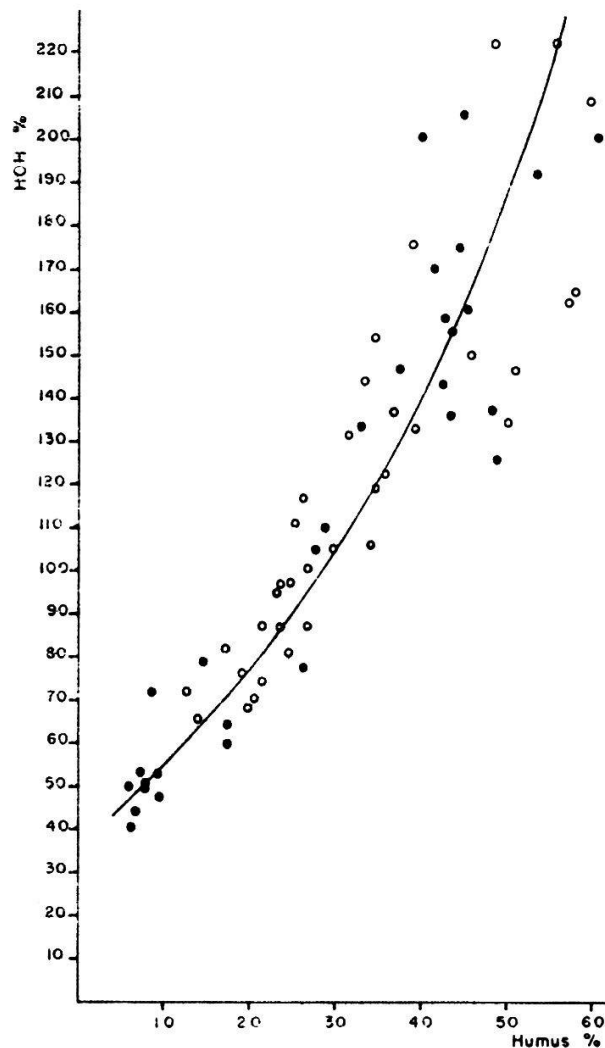


Abb. 18 Korrelation zwischen Humus % und HOH %

gestaute Wasser – parallel zur Bodenoberfläche oder nicht – hangabwärts. Anscheinend sind diese Verhältnisse für die Buche durchaus erträglich, was möglicherweise damit zusammenhängt, daß fließendes Bodenwasser meist reich an Sauerstoff und zahlreichen Nährstoffen ist. Sobald der Hang flacher wird und plateauartigen Charakter annimmt, kann sich die Buche gegen die Tanne bei denselben Saugspannungen nicht mehr durchsetzen.

Die Untersuchungen zeigen, daß in den Böden des *QuAs* und des *MFc* die verwertbare Wassermenge durch den gelegentlichen Wasserrückstau vergrößert wird, dergestalt, daß ein Teil des Gravitationswassers den Pflanzen ebenfalls zur Verfügung steht.

Im *QuAs* ermöglicht ferner die Rohhumusdecke sowie der dicke Moosteppich (*Sphagnum!*) eine enorme Wasserspeicherung. So kann gezeigt werden, daß der Wassergehalt der oberen Bodenschichten mit dem Gehalt an unzersetztem Humus eng korreliert (Abb. 18). Je höher der Anteil an organischer Substanz, desto mehr Wasser kann gespeichert werden. Anders ausgedrückt heißt das, daß die Niederschlagsmengen, die auf den Waldboden treffen, zunächst in der Moos- und Humusschicht aufgesaugt werden und nur langsam an tiefere Bodenschichten abgegeben werden. Aus Tafel 2 ist ersichtlich, daß Regenmengen, die zwischen dem 15. und 25. Juli gefallen sind, eine größere Durchfeuchtung im Profil des *MFc* bewirken als in dem des *QuAs*. Auch in der zweiten Augushälfte werden die oberen 50 cm im Boden des *MFc* wesentlich mehr durchfeuchtet (zwischen 0 und 20 cm WS) als im *QuAs* (20–40 cm WS). Ähnliches kann auch am Saugspannungsverlauf im Mai festgestellt werden. Dies hängt freilich auch damit zusammen, daß in Laubbaumbeständen die Interzeption geringer ist als in Nadelbaumbeständen. So halten Nadelbaumkronen in allen Monaten durchschnittlich 50% der Niederschläge zurück, Laubhölzer dagegen lassen im Winter rund 85%, im Sommer rund 70% auf den Boden gelangen (BURGER 1933). Dies alles, also die speichernde Wirkung des Moosteppichs und die gleichmäßige Interzeption verursachen einen gleichmäßigen Verlauf der Saugspannungen unter dem *QuAs*.

## 6.2 Der Stickstoff

Art und Menge der Stickstoffversorgung im Boden hängen von sehr vielen Faktoren ab, die im einzelnen nicht leicht zu konkretisieren sind. Eine Rolle spielen zum Beispiel die Art der Streu, die Qualität und Quantität des Humus, der Gesamtstickstoff, das C/N-Verhältnis, die Bodenreaktion sowie Temperatur, Feuchtigkeit und Durchlüftung des Bodens (vgl. z. B. ZÖTTL 1958, 1960 b und c, ALEXANDER 1961, SCHEFFER und ULRICH 1961, RUNGE 1968, GIGON 1968, KLÖTZLI 1969 u. a.). Unsere Untersuchungen erlauben nur eine Aussage über die oberen 5 cm des Bodens (ohne Streuauflage), also über die Rhizosphäre des *QuAs*, *Mfb* und *MFc*. Die Unterschiede in der Stickstoffversorgung zwischen diesen drei Vegetationseinheiten sind erwartungsgemäß sehr stark.

Zunächst ist klar zu unterscheiden zwischen dem Rohhumus des *QuAs*, dem

Moder des *Mfb* und dem Mull des *Mfc*. Letzteres stockt auf biologisch recht aktivem Boden, wo die Buchenstreu rasch zersetzt wird und die Humusbestandteile durch zoogene Tätigkeit schnell mit dem Mineralboden vermischt werden (zahlreiche Wurmröhren). Hier herrscht Nitrifikation, während die Ammonifikation keine wichtige Rolle spielt. Allerdings ist die Menge innerhalb sechs Wochen akkumulierten  $\text{NO}_3^-$ -N nicht groß; sie übersteigt nie 10 mg/100 g TG. Ähnliches beobachtete auch LINDQUIST (1931) in *Melico-Fageten* Skandinaviens. Daß Mull im allgemeinen nur einer sehr langsamen Stickstoffmineralisation unterliegt, hängt nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1966) mit der großen Stabilität der Humusstoffe («Dauerhumus») zusammen, wogegen Moder und Rohhumus leicht zersetzbaren  $\alpha$ -Amino-Stickstoff beinhalten (über 50% nach SPRINGER und KLEE 1958, zit. nach ZÖTTL 1960c und WITTICH 1952).

Dies wird deutlich, wenn man den Übergang zwischen *QuAs* und *Mfc* der Station «Gfill-Ischlag» und das *Mfb* der Station «Bim scharfen Eggen» betrachtet. Hier findet man sowohl Ammonifikation als auch Nitrifikation, wobei die  $\text{NO}_3^-$ -Nachlieferung erheblich höher liegt (bis fast 20 mg/100 g TG) als im *Mfc*.

Im *QuAs* selbst herrscht  $\text{NH}_4^+$ -Nachlieferung. Auffallend sind die außerordentlich hohen Werte von  $\text{NH}_4^+$ - $\text{N}_{ak}$  (bis 70 mg) im Transekt der Station

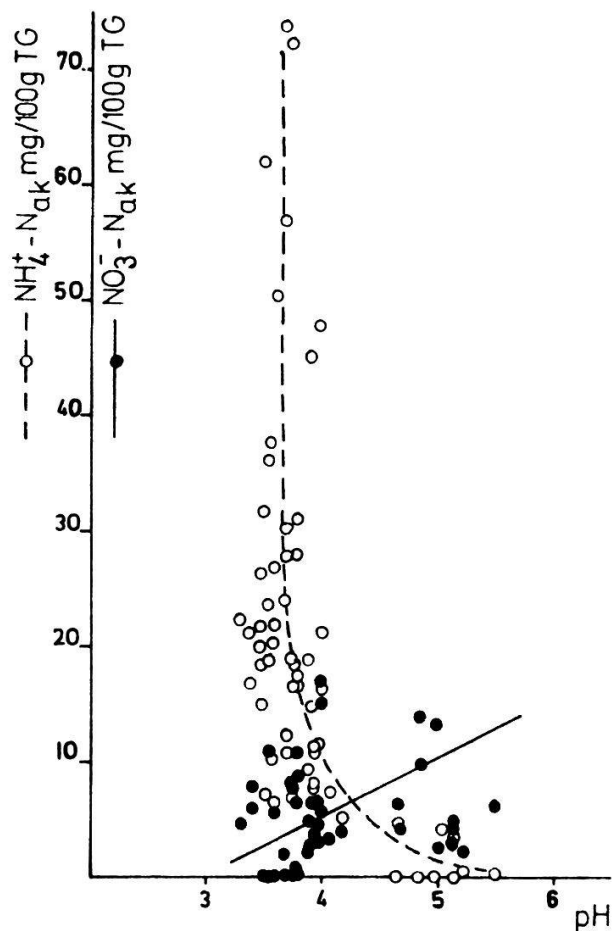


Abb. 19 Korrelation zwischen  $\text{NO}_3^-$ - $\text{N}_{ak}$  bzw.  $\text{NH}_4^+$ - $\text{N}_{ak}$  und pH

«Gfill-Ischlag». Denn nach ELLENBERG (1964) sind saure Rohhumusdecken die relativ stickstoffreichsten Horizonte in Waldbodenprofilen, was mit dem hohen N-Gehalt des reichlich vertretenen Pilzmyzels zusammenhängt (3,5–7% N nach WAKSMAN 1952). Während der Bebrütung sind die im Waldhumus vorhandenen Pilze gegenüber den Bakterien bei Temperaturerhöhung (auf 20 °C) in der Feuchtkammer weniger konkurrenzkräftig und werden zersetzt. Nitrifikation fehlt im *QuAs* vollständig. Das hier typische *Vaccinium myrtillus* gedeiht bei  $\text{NH}_4^+$ -Ernährung besser als bei  $\text{NO}_3^-$ -Ernährung (MARTHALER 1939).

Insgesamt ist also das *QuAs* zweifelsohne am besten, das *MFc* am schlechtesten mit Stickstoff versorgt ( $\text{N}_{ak}$ ; vgl. auch  $\text{N}_{tot}$ ). Das *Mfb* mit seiner gemischten Nitrat- und Ammoniumversorgung steht in der Mitte. Zwischen *Mfb* und *QuAs*

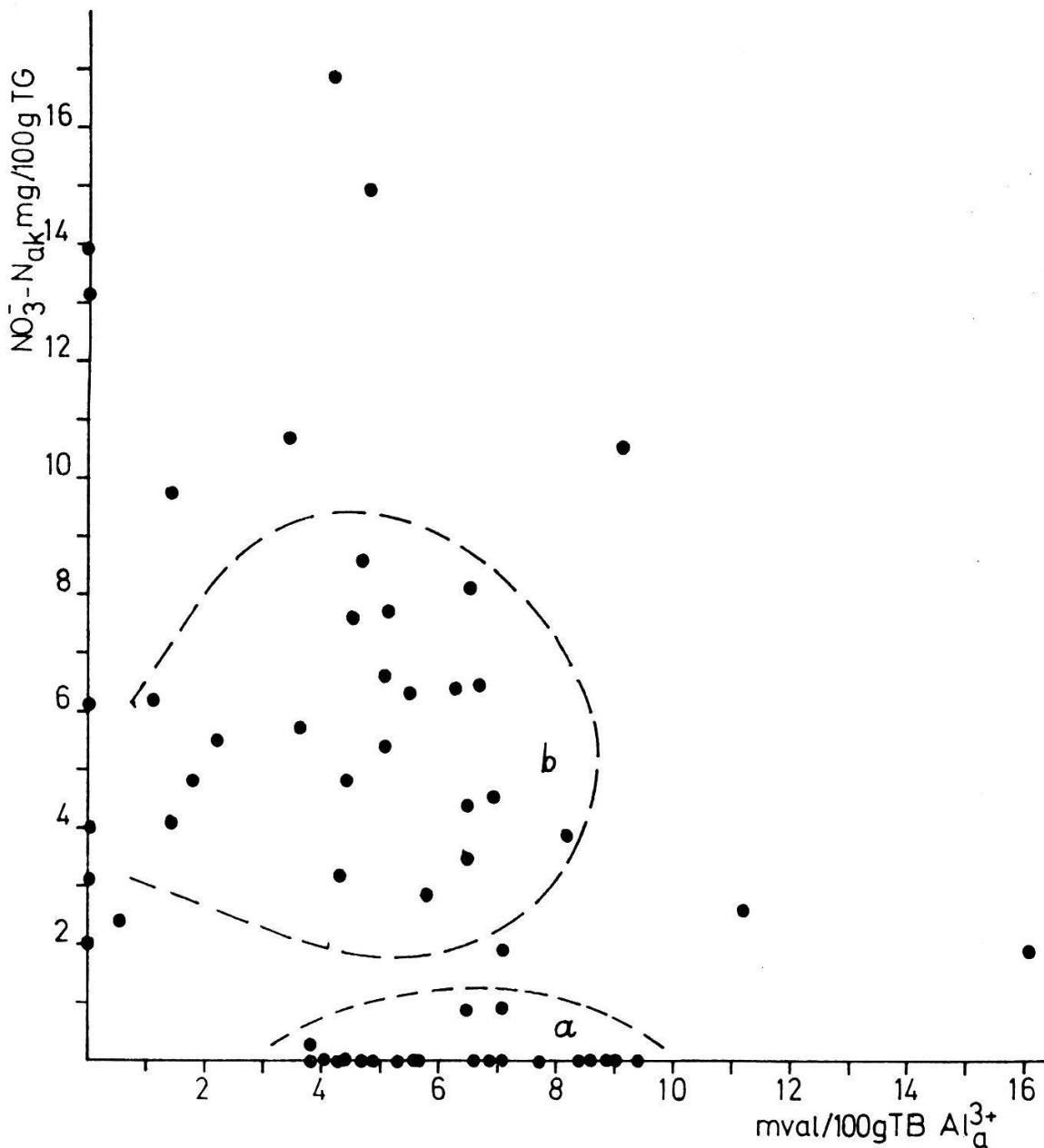


Abb. 20 Korrelation zwischen  $\text{NO}_3^- \text{N}_{ak}$  und  $\text{Al}_a^{3+}$

besteht ein deutlich ausgeprägter Gradient, wobei *Oxalis acetosella* Nitrifikation anzeigt.

Normalerweise wird bei pH-Werten unter 4,5 kaum mehr  $\text{NO}_3^-$ -N akkumuliert (z. B. AALTONEN 1926, SCHÖNHAR 1955, ZÖTTL 1958, 1960a und b, JENSEN 1959, ELLENBERG 1964, LEÓN 1968). Dagegen wurde in Erlenbruchwäldern durchaus auch Nitrifikation bei pH-Werten unter 3,8 (PEARSALL 1938), bei 3,6 (BOLLEN und LU 1968), bei 3,5 (KLÖTZLI 1969), in  $A_0$ -Horizonten amerikanischer Podsole bei 2,9 (KCI; ROMELL 1953) festgestellt. Auch im Boden des *Mfb* wird bei  $\text{pH} = 3,3$  bis 4,0 nitrifiziert (bis fast  $17 \text{ mg NO}_3^- \text{—N}_{ak}/100 \text{ g TG}$ ). Eine deutliche Korrelation zwischen Nitratnachlieferung und pH ist deshalb nicht festzustellen (vgl. dazu KLÖTZLI 1969: Korrelation zwischen  $\text{H}_a^+$  und  $\text{NO}_3^- \text{—N}_{ak}$ ). Dagegen besteht eine Beziehung zwischen Ammonifikation und Bodenreaktion derart, daß bei Werten oberhalb pH 4,2 nicht oder nur wenig Ammoniumionen akkumulieren (Abb. 19). Die Ursache dieser Abhängigkeit ist ungeklärt (ausführliche Diskussion bei RUNGE 1965). Es wird angenommen,

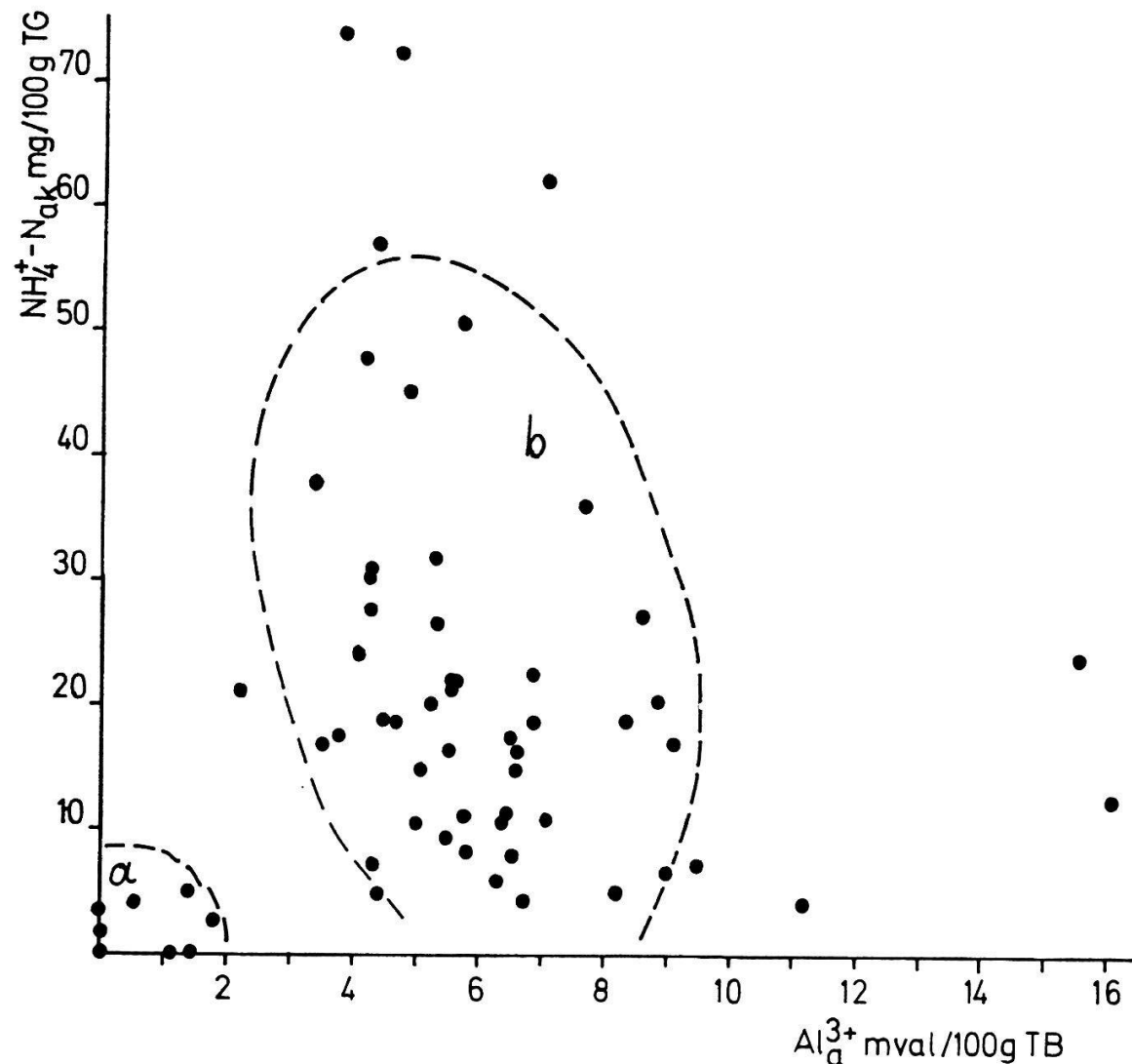


Abb. 21 Korrelation zwischen  $\text{NH}_4^+ \text{—N}_{ak}$  und  $\text{Al}_d^{3+}$

daß Nitrifikation nicht in erster Linie durch niedriges pH gemindert wird, sondern daß möglicherweise austauschbares Aluminium als Nitrifikationsgift wirkt (mdl. nach MORAVEC und NOIRFALISE, zit. nach KLÖTZLI 1969; Säurewirkung der hydratisierten  $\text{Al}^{3+}$ -Ionen von der Zusammensetzung  $[\text{Al}(\text{OH}_2)_6]^{3+}$  vgl. SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1966, S. 160ff., sowie MAGISTAD 1925). Ein Zusammenhang zwischen  $\text{NO}_3^- - \text{N}_{ak}$  und  $\text{Al}_a^{3+}$  ist bei den hier untersuchten Flächen allerdings nur in geringem Maß vorhanden. Aus Abbildung 20 geht hervor, daß bei Al-Gehalten von 2 bis 16 mg/100 g TB im Humus durchaus noch nitrifiziert wird. Reine Rohhumusböden ohne Nitratakkumulation weisen Al-Gehalte von 4 bis 9 mg auf (Punkteschwarm a entlang der Abszisse in Abb. 20). Im Übergangsbereich zwischen *QuAs* und *MFc* sowie im *Mfb* wird aber trotz gleicher Al-Konzentration Nitrat gebildet (Punkteschwarm b). Ein ähnliches Bild zeigt Abbildung 21, wo die Probeflächen des *MFc* im Bereich a auftreten (schwache Ammonifikation, geringe Al-Gehalte). Die Proben aus *QuAs* und *Mfb* konzentrieren sich im Bereich b (höhere Al-Gehalte, geringe bis sehr hohe Ammonifikation).

Nach ZÖTTL (1960c) wird nur nitrifiziert, wenn im Humus mindestens 2,2%  $\text{N}_{tot}$  vorliegen und das C/N-Verhältnis enger als 25 ist. Die Werte für unsere Probeflächen weisen dagegen weit niedrigere  $\text{N}_{tot}$ -Gehalte auf (selten über 2%), während das C/N-Verhältnis auch im *QuAs* meist enger als 25 ist. Überhaupt sind die C/N-Verhältnisse im *QuAs* auffallend niedrig. Im Transekt der Station «Bim scharfen Eggen» tritt ein deutlich ausgeprägter Gradient auf, dergestalt, daß der Gehalt an Gesamtstickstoff vom *Mfb* zum *QuAs* erheblich zunimmt. Dasselbe gilt für die Station «Gfill-Ischlag» vom *MFc* zum *QuAs* (0,4–1,0% im

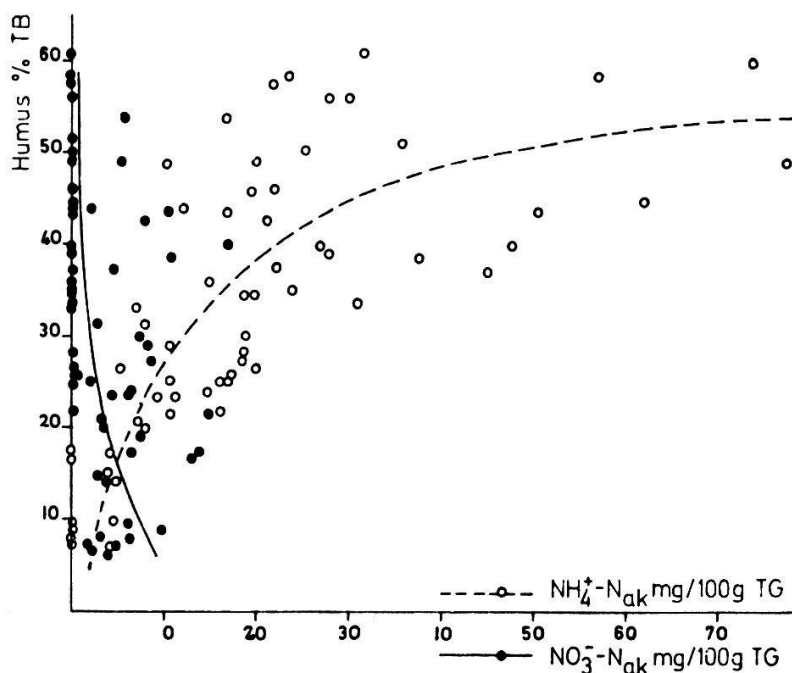


Abb. 22 Korrelation zwischen  $\text{NO}_3^- - \text{N}_{ak}$  bzw.  $\text{NH}_4^+ - \text{N}_{ak}$  und Humus %



*Mfb*, 0,2–0,4% im *MFc* und 1,2–1,9 im *QuAs*).  $N_{tot}$  entspricht damit den gemeinhin in der Literatur angegebenen Werten für Rohhumus (z. B. AALTONEN 1926: 1,5–3%; EHRHARDT 1961: 1,8–2,6%).

Mit der Zunahme der organischen Substanz geht eine Zunahme der Ammonifikation einher. Umgekehrt ist die Nitrifikation mit Humus % negativ korreliert, in unseren Böden allerdings nur schwach (Zunahme der organischen Substanz bedeutet in diesem Fall Mull → Moder → Rohhumus bei tiefen pH-Werten). Diese Verhältnisse sind in Abbildung 22 dargestellt.

Zwischen Gesamtstickstoff ( $N_{tot}$ ) bzw. C/N-Verhältnis und Mineralisationsfähigkeit ( $N_{ak}$ ) besteht normalerweise ebenfalls ein direkter Zusammenhang, so-

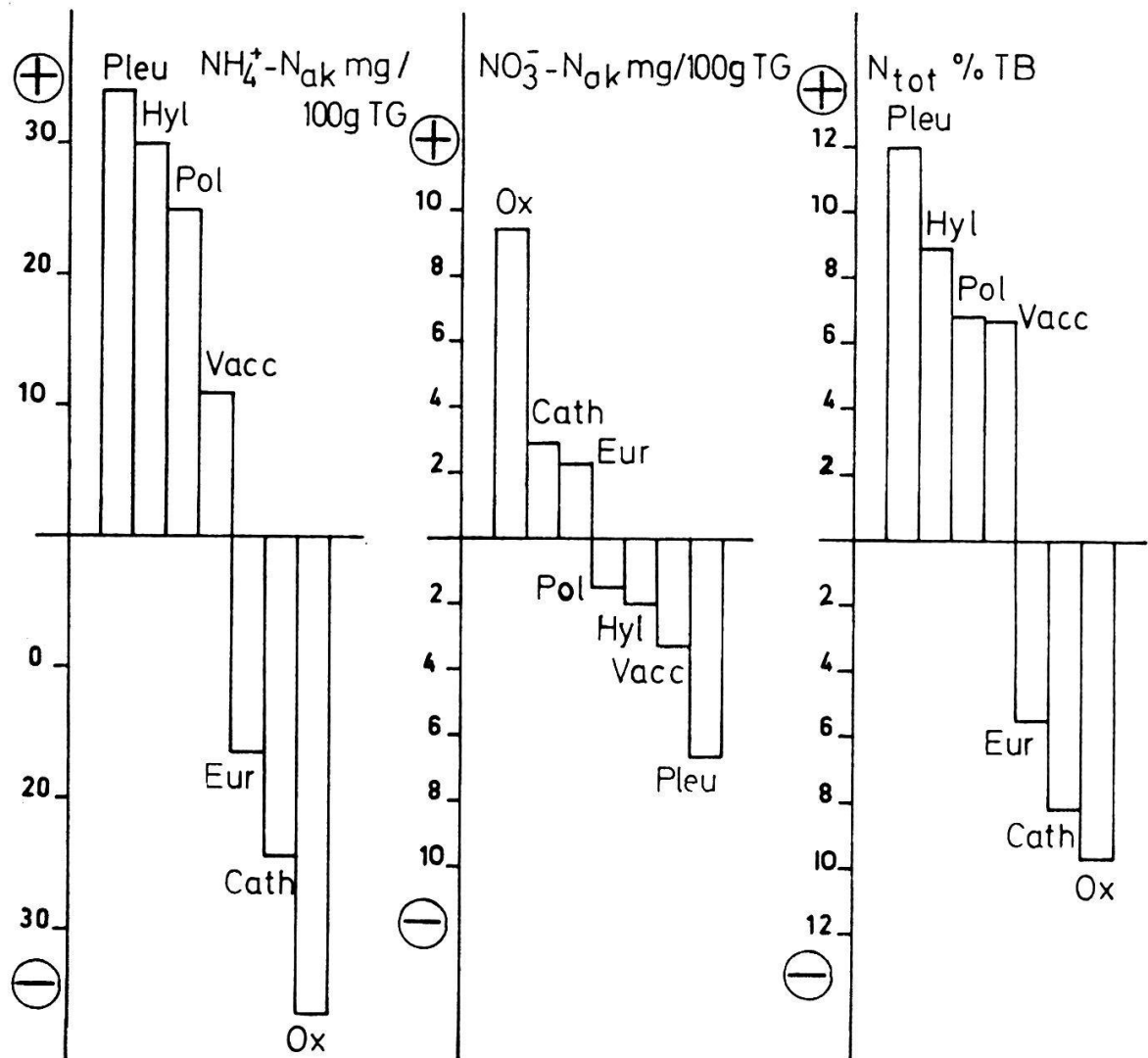


Abb. 23 Korrelation zwischen  $NO_3^- - N_{ak}$ ,  $NH_4^+ - N_{ak}$  bzw.  $N_{tot}$  und den Arten *Pleurozium schreberi* (Pleu), *Hylocomium splendens* (Hyl), *Polytrichum attenuatum* (Pol), *Vaccinium myrtillus* (Vacc), *Eurhynchium striatum* (Eur), *Catharinaea undulata* (Cath) und *Oxalis acetosella* (Ox). Erläuterung im Text

fern es sich um die gleiche Bodenart bei gleicher Bodenfeuchtigkeit handelt (ZÖTTL 1960c, ALEXANDER 1961, BÜCKING 1968). Je höher  $N_{tot}$ , desto mehr wird mineralisiert. Da unsere Proben nicht einheitlich waren, konnte dieser Zusammenhang nicht herausgearbeitet werden.

Daß die Stickstoffverhältnisse in der Vegetation ihren Ausdruck finden, ist selbstverständlich. Die meisten Waldpflanzen gedeihen am besten bei gemischter Stickstoffernährung (BOGNER 1966, SCHLENKER 1968). Diese Arten finden sich deshalb im *MFc* und vor allem im *Mfb*, wobei *Oxalis acetosella* innerhalb der Transekte Nitrifikation anzeigt. Reine  $NH_4^+$ -Ernährung läßt die Krautschicht verarmen. Hier findet sich fast nur noch *Vaccinium myrtillus*, eine Art, die gegen reine  $NO_3^-$ -Ernährung empfindlich reagiert und eine Wachstumsdepression bei pH 8 erkennen läßt (BOGNER 1966). EVERS (1963/1964 und 1964) hat gezeigt, daß *Picea abies* auf sauren Böden am besten bei gemischter  $NH_4^+$ - $NO_3^-$ -Ernährung gedeiht. Demnach wäre das *Mfb* für Fichtenanpflanzungen am ehesten geeignet, wobei allerdings auf Tannen- und Buchenbeimischung wegen der Gefahr der Bodenverdichtung und Bodenverschlechterung unter Fichtenreinbeständen Wert gelegt werden müßte.

Beim Vergleich zwischen Abbildung 4 bzw. Abbildung 11 und Abbildung 7 bzw. Abbildung 14 wird deutlich, daß zwischen einzelnen Pflanzenarten und einzelnen Stickstoffformen innerhalb der Transekte Korrelationen bestehen. So wurde schon öfter erwähnt, daß *Oxalis acetosella* nur dort gedeiht, wo nitrifiziert wird. Solche Beziehungen bestehen auch für einige andere Arten, von denen für das *QuAs* *Vaccinium myrtillus*, *Polytrichum attenuatum*, *Hylocomium splendens* und *Pleurozium schreberi*, für das *Mfb* bzw. *MFc* außer *Oxalis acetosella* *Catharinaea undulata* und *Eurhynchium striatum* untersucht wurden.

Man berechnet für jede Art, getrennt nach Probeflächen, auf denen sie vorkommt oder nicht vorkommt, Mittelwerte des entsprechenden Bodenfaktors. Die Differenz ergibt einen Wert (in der Einheit des Bodenfaktors), der angibt, um wieviel sich durchschnittlich Probeflächen ohne diese Art von denen mit dieser Art unterscheiden.

Die Berechnung verläuft also nach folgender Formel:

$$K = \frac{\sum W_+}{Z_+} - \frac{\sum W_-}{Z_-}$$

$K$  Koeffizient (negativ oder positiv)

$W_+$  Wert eines Bodenfaktors einer Probefläche, in der die zu untersuchende Art vorkommt

$W_-$  Wert eines Bodenfaktors einer Probefläche, in der die zu untersuchende Art nicht vorkommt

$Z_+$  Anzahl der Probeflächen, in denen die Art vorkommt

$Z_-$  Anzahl der Probeflächen, in denen die Art nicht vorkommt

Die Pflanze kann zu einem Bodenfaktor positiv oder negativ korreliert sein, je nachdem ob sie bei optimalem (+) oder bei minimalem (—) Vorkommen dieses Faktors auftritt. Der Koeffizient  $K$  in der Einheit des Bodenfaktors erlaubt selbstverständlich keine gesicherte, über das Untersuchungsgebiet hinausgehende gültige Aussage über die ökologischen Ansprüche dieser Art.

In Abbildung 23 sind die berechneten Werte für  $\text{NO}_3^- - \text{N}_{ak}$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}_{ak}$  und  $\text{N}_{tot}$  zusammengestellt. Man erkennt daraus, daß *Vaccinium myrtillus*, *Polypodium attenuatum*, *Hylocomium splendens* und *Pleurozium schreberi* (*Oxalis acetosella*, *Catharinaea undulata* und *Eurhynchium striatum*) positiv (negativ) zu  $\text{NH}_4^+ - \text{N}_{ak}$ , negativ (positiv) zu  $\text{NO}_3^- - \text{N}_{ak}$  und positiv (negativ) zu  $\text{N}_{tot}$  korreliert sind. So übertrifft zum Beispiel der Durchschnittswert der Probestellen, auf denen *Pleurozium schreberi* gedeiht, den der Probestellen ohne *Pleurozium schreberi* um 34 mg  $\text{NH}_4^+ - \text{N}_{ak}$ . Dort, wo *Oxalis acetosella* gedeiht, herrscht niemals Ammonifikation ( $K = -36,5$  mg). Beide Arten weisen bei allen drei hier berechneten Bodenfaktoren die größten Koeffizienten auf. Sie charakterisieren also *MFc* bzw. *Mfb* einerseits und *QuAs* andererseits sehr gut, was Ammonifikation, Nitrifikation und Gesamtstickstoff betrifft, und schließen sich in ihrem Vorkommen gegenseitig aus. Weniger gut, aber noch ohne weiteres brauchbar zur floristischen Abtrennung, sind die übrigen Arten korreliert.

### 6.3 Humus

Je mächtiger und saurer der Auflagehumus, desto deutlicher erweist sich die obere Vermoderungsschicht als die günstigste Lebensstätte, was zu einer Konzentration der Baum-, Strauch- und Krautwurzeln in dieser Zone führt (MEYER 1959). Denn die C/N-Verhältnisse sind im Moder (*Mfb*) gar nicht so ungünstig; sie liegen zwischen 15 und 20 (typische Grenzwerte 15–25 nach DUCHAUFOR 1960). Hier und im Rohhumus des *QuAs* spielen zweifelsohne die Mykorrhizapilze eine große Rolle, nicht nur für Tanne und Buche, sondern auch für *Vaccinium myrtillus*. Nach HARLEY (1939) wächst zum Beispiel der Wurzelpilz der Buche in der Natur am besten in ammonifizierenden Böden, und nach MELIN (1959) nutzen die meisten Mykorrhizapilze das produzierte Ammonium ebenso gut oder sogar besser als Nitrat. Insgesamt sind die Humusdecken des *QuAs* (und auch des *Mfb*) keineswegs als stickstoffarm zu bezeichnen. Auch ist die Streu der Tanne bei weitem nicht so schwer zersetzlich wie die der Fichte oder Föhre. Sie wirkt auch nicht bodenverschlechternd wie diese, zumal Nadelanalysen (MUSTAFA 1934) zeigten, daß Tannennadeln reich an Kalk, Fichtennadeln reich an  $\text{SiO}_2$  (bis 6% des *TG*) sind. Trotz des hohen Kalkbedarfs der Tanne ist ihr Anspruch an den Boden nicht hoch, da durch ihr tiefgreifendes Wurzelsystem eine Ca-Aufnahme auch auf armen Standorten ermöglicht wird. Insofern kann die Tanne geradezu als bodenverbessernd angesehen werden. Deshalb kommt es auch im Plateau-Tannenwald nie zu extrem dicken Rohhumusdecken mit C/N-Verhältnissen bis 50, wie dies unter Fichtenbeständen der Fall ist.

## 6.4 Mineralstoffe und Austauschkapazität

Verschiedene Mineralstoffe, wie  $P_2O_{5L}$  und  $K_2O_L$ , sind unter der Moder- bzw. Rohhumusschicht der untersuchten Böden im Mineralkörper nur in geringer Konzentration vorhanden. Dies gilt natürlich in erster Linie im Herbst, also zur Zeit der Probeentnahme, weil sie während der Vegetationszeit von den Pflanzen aufgenommen werden. Auswaschung dürfte nur eine geringe Rolle spielen, da die F-Lage der Rohhumus- und Moderschicht als Basenfilter wirkt (VIRO 1955). Die während der Zersetzung der Streu freiwerdenden Basen werden allerdings zum Teil schon im Winter und Frühjahr freigesetzt (MATTSON und KOUTLER-ANDERSSON 1941–1944). Die größte Mineralstoffmenge ist in unseren Wäldern also im Frühjahr in der Humusaufgabe zu erwarten.

Um überhaupt darüber Klarheit zu erhalten, ob sich *MFc*, *MFb* und *QuAs* auch dahingehend unterscheiden, daß der Mineralkörper verschiedene Mengen austauschbarer Nährstoffe enthält, wurde die Analyse über laktatlösliches Phosphat und Kali sowie über *KUK* nur an Proben vorgenommen, die aus 5 bis 15 cm Tiefe stammen, also unter der Humusaufgabe liegen. Denn daß zwischen Mull des *MFc* und Rohhumus des *QuAs* Unterschiede bestehen, ist ohnehin zu erwarten, weil hier die Qualität und Quantität der Streu, die Streuzersetzung, der C-Gehalt u. a. eine entscheidende Rolle spielen (Mittelwerte für *KUK* im Humus terrestrischer Mineralböden in Mitteleuropa ungefähr 200 mval/100 g Boden nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1965). Deshalb erschien uns die Nachlieferung der Nährstoffe aus dem Unterboden wichtiger.

Wesentliche Unterschiede zwischen den drei Vegetationseinheiten konnten aber im Gegensatz zu den Stickstoffverhältnissen im Oberboden nicht festgestellt werden. Das Substrat, auf dem *QuAs*, *MFb* und *MFc* stocken, hat also überall annähernd ähnliche mineralische Zusammensetzung. So liegen die  $P_2O_{5L}$ -Werte meist im Bereich zwischen 0,5 und 1,5 mg/100 g *TB*, was eine recht geringe P-Versorgung bedeutet (vgl. z. B. ELLENBERG 1963: 3,5–5,0 mg P/100 g *TB* im *Carici-Fagetum* wird als mäßige Versorgung bezeichnet). Auffallend sind einige höhere Werte (bis maximal 3,6 mg) im *QuAs* der Station «Bim scharfen Eggen». Eine Aufdüngung durch eine ziemlich nahe gelegene Forststraßenkreuzung ist hier nicht auszuschließen. Immerhin dürfte die P-Versorgung in den übrigen Jahreszeiten nicht allzu schlecht sein, da bekanntlich  $NH_4^+$ , das hier in reichlichem Maße vorhanden ist, die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphat entscheidend erhöht (SCHEFFER und ULRICH 1960, S. 220). Legen wir die Berechnung der Nährstoffeinheit nach KLÖTZLI (1969) zugrunde, wonach der Anteil an laktatlöslichem Phosphat rund ein Hundertstel des Anteils an Gesamtstickstoff im Humus ist und  $N_{tot}$  und  $P_2O_{5L}$  gut korreliert sind (ALEXANDER 1961), so können wir nach Mittelung des  $N_{tot}$ -Wertes für *QuAs* (1,52%), *MFb* (0,78%) und *MFc* (0,28%) einen Phosphatgehalt von 15,2 mg (*QuAs*), 7,8 mg (*MFb*) und 2,8 mg/100 g *TB* (*MFc*) berechnen. Diese nur als Anhaltspunkt der P-Versorgung der oberflächennahen Bodenschicht anzusehenden Werte zeigen deutlich,

daß laktatlösliches Phosphat hier in wesentlich größerer Menge vorliegt, wobei am meisten im *QuAs* austauschbar ist.

Nach HARLEY und MCCREADY (1950) liegt das Optimum der P-Versorgung bei  $\text{pH} = 5$ , wobei nach SEBALD (1956) das Wurzelwachstum junger Buchen durch gute Phosphorversorgung gefördert wird. Da wir annehmen müssen, daß der Phosphorkreislauf im *QuAs* und *MFb* zum großen Teil den Mineralbodenhorizont gar nicht berührt, sondern die Humusschicht das beim Streuabbau freiwerdende Phosphat auffängt und den Pflanzen wieder zur Verfügung stellt, dürfte zumindest eine mäßige P-Versorgung gewährleistet sein. Dies können wir auch für das *MFc* annehmen, da hier ohnehin reichlich Buchenstreu anfällt und eine große biologische Aktivität besteht.

Ähnliche Verhältnisse herrschen in der Nachlieferung von Kalium. Auch hier sind relative Unterschiede nicht festzustellen. Immerhin fällt auf, daß das Transekt «Bim scharfen Eggen» durchschnittlich  $2 \text{ mg K}_2\text{O}_{2L}/100 \text{ g TB}$  mehr enthält als das Transekt «Gfill Ischlag» ( $2,3\text{--}4,8 \text{ mg}$  bzw.  $4,8\text{--}7 \text{ mg K}_2\text{O}_L/100 \text{ g TB}$ ). Diese K-Versorgung ist mäßig bis schlecht, obwohl der Tongehalt recht hoch ist. Allerdings ist zu bedenken, daß Kalium im Mineralboden zum großen Teil in schwer verfügbarer, also nicht austauschbarer Form vorliegt (Fixierung an Tonmineralien, deshalb auch Schutz vor Auswaschung).

Auch die Basenversorgung ist in den untersuchten Böden mäßig. Hierüber gibt zunächst am deutlichsten der *V*-Wert Auskunft. Bei einem *V*-Wert von durchschnittlich 15%, typisch für *MFb* und *QuAs*, ist der Ionenbelag des Bodens zu 15% aus Ca-, Mg-, K- und Na-Ionen und zu 85% aus H- und Al-Ionen zusammengesetzt. Je höher also der *V*-Wert, desto höher der *S*-Wert und desto niedriger die Menge der austauschbaren Wasserstoffionen (und Al-Ionen). Vergleichen wir die *V*-Werte der beiden Transekte, so bemerken wir keinen Unterschied zwischen *QuAs* und *MFb*, wohl aber zwischen *QuAs* und *MFc*. Im ersten Fall ist die Basensättigung sehr gering (10–20%; vgl. dazu FREI und JUHASZ 1963 und 1967: Humushorizonte von Parabraunerden um 60%, von basenarmen Braunerden um 30–50%); wir haben dementsprechend eine hohe Austauschazidität, die mit den tiefen pH-Werten der entsprechenden Böden in Übereinstimmung steht. Die *S*-Werte sind dagegen ausgesprochen niedriger (zwischen 0,5 und 3 mval/100 g TB), was bedeutet, daß die Sättigung von Mg, Ca, Na und K nur einen geringen Anteil an der *KUK* hat. Anders verhält sich der Boden des *MFc*. Hier liegen *V*-Wert (rund 50–80%) und *S*-Wert (bis 10 mval) am höchsten, der *H*-Wert am niedrigsten (9–12 mval).

Daß  $\text{Al}_a^{3+}$  einen großen Teil der Umtauschkapazität einnimmt, geht schon daraus hervor, daß die Werte für *KUK* größer sind als die für  $\text{H}_a^+$ . Die Kationenumtauschkapazität weist innerhalb der Transekte keinen Gradienten auf. Sie schwankt unregelmäßig zwischen 10 und 15 mval (vgl. dazu *T*-Werte für Rohhumus in Fichtenwäldern des Harzes: Über 150 mval/100 g Boden nach GENSSLER 1959). Die Menge der austauschbaren Kationen bleibt also in allen drei Vegetationseinheiten gleich; unterschiedliche Verteilung zeigen nur der Anteil der austauschbaren H-Ionen einerseits und die Metallkationen ander-

seits. Im übrigen ist eine Mineralstoffzufuhr im *MFc* wegen dessen Hanglage nicht auszuschließen (Hangwasserzug). Eine Auswaschung ist dagegen im *QuAs* nicht anzunehmen, einmal wegen der adsorbierend wirkenden Rohhumusdecke, andererseits wegen des im Frühjahr, also zur Zeit der größten Streuzersetzung, ziemlich hoch anstehenden Stauwassers.