

Anwendung der Stickstoffdüngemittel. Das bedeutet, daß die Ausbringung zu den aufwachsenden Kulturen im Frühjahr erfolgen muß; dann wird nämlich bei gleichzeitig hohem Wasserbedarf der Stickstoff von den Pflanzen voll und nutzbringend verwertet. Für die optimale Bemessung und die zeitgerechte Ausbringung der mineralischen N-Düngemittel gibt es seit langem erprobte Beratungsrichtlinien unter Berücksichtigung des N-Bedarfes der jeweiligen Frucht und Bodeneigenschaften. Besondere Beachtung verdient die Ausbringung von organischen Düngemitteln wegen ihrer unterschiedlichen Wirksamkeit.

Durch verantwortungsbewußte Handhabung der Stickstoffdüngung kann eine optimale N-Wirkung erreicht und eine zusätzliche Belastung von Grund- und Oberflächengewässern weitgehend vermieden werden.

Zusammenfassung

Unter den verschiedenen Stickstoffformen des Bodens kommt dem sehr mobilen Nitrat eine besondere Bedeu-

tung zu im Hinblick auf seine Auswaschung in das Grundwasser und damit auf eine mögliche Belastung des Trinkwassers bzw. der Oberflächengewässer.

Die Nitratauswaschung hängt im wesentlichen von der Höhe der Niederschläge, den Eigenschaften des Bodens (insbesondere Wasserhaltevermögen) und dem Wasserverbrauch durch Kulturpflanzen ab; sie ist während der Vegetationszeit bedeutungslos, tritt aber vor allem gegen Ende des Winters dann, wenn der Boden besser gesättigt ist und eine geringe Evapotranspiration vorliegt infolge niedriger Temperatur und geringem oder völlig fehlendem Pflanzenbesatz auf. Alle Maßnahmen, die dazu beitragen, die Pflanzenproduktion zu fördern unter weitgehender Ausnutzung des Niederschlagwassers, verringern die Auswaschung.

Für leicht verfügbare mineralische N-Düngemittel ist daher ein genaues timing (am besten zur aufwachsenden Kultur) notwendig, etwas schwieriger ist eine verlustlose Anwendung organischer Dünger; dagegen ist die natürliche Stickstoffmineralisation des Bodens, die für den Hauptanteil der N-Auswaschung verantwortlich ist, nicht abzustellen.

Institut für Pflanzenernährung der
Technischen Universität München-Weihenstephan
Vorstand: Prof. Dr. A. Amberger

**Sickerwassermenge
und Stickstoffauswaschung
in Lysimeterversuchen**

Von Anton Amberger und Paul Schweiger

Over a period of 19 years lysimeter-experiments at Weihenstephan on sand, organic loam and loam, gave the following results
1. The percolation rate depends mainly on the rate of precipitation. The effects of temperature (evaporation) and properties of soils (field-capacity) are not so important.
2. Nitrogen-leaching depends mainly on percolation rate and therefore on precipitation. The next important effect is the mineralisation of nitrogen. This was high on loamy soil, no decrease in nitrogen content took place in the percolation water at high rates of application. On sandy soil there was sometimes a small N-leaching in the case of high percolation rates, which is an indication of a thinning effect.

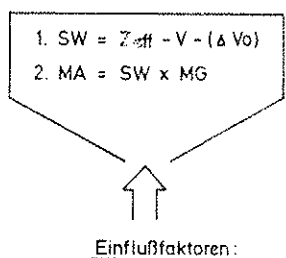
Die Auswaschung von Mineralstoffen aus dem Wurzelraum des Bodens ist ein Verlust von landwirtschaftlichen Produktionsmitteln und kann darüber hinaus zu einer Kontamination des Grundwassers führen. Die Versickerung gelöster Pflanzennährstoffe wird häufig in Lysimeterversuchen gemessen (1).

Von einem „ausgewaschenen Mineralstoff“ wird in der Landwirtschaft meist dann gesprochen, wenn eine Abwärtsbewegung in Tiefen von > 1 m erfolgt ist. Man nimmt an, daß Mineralstoffe aus solchen Tiefen nur mehr zu einem geringen Teil von der Pflanze aufgenommen werden.

Diese Definition gibt allerdings keinerlei Aufschluß über den Verbleib der Mineralstoffe; diese können je nach Bodeneigenschaften und Witterungsbedingungen

- a) an Bodenteilchen sorbiert,
- b) durch chemische Umwandlung, z.B. Denitrifikation, eliminiert,
- c) in das Grundwasser abtransportiert oder
- d) durch aufsteigendes Kapillarwasser in obere Bodenschichten teilweise rückgeführt worden sein.

Hinsichtlich der Mineralstoffauswaschung sind mehrere Vorgänge zu unterscheiden:



SW = Sickerwassermenge
Z_{eff} = effektive Wasserzufuhr
V = Verdunstung
ΔVo = Veränderung des Wasservorrats im Boden
MA = Mineralstoffauswaschung (kg/ha)
MG = Mineralstoffgehalt des Sickerwassers (mg/l)

- 1. Jahreszeit
- 2. Witterung (Niederschlagsmenge, Temperatur)
- 3. Bodeneigenschaften
- 4. Pflanzenbauliche Maßnahmen (Düngung)

Abb.1: Einflussfaktoren der Mineralstoffauswaschung

Wasserbewegung: Die Sickerwassermenge *) ergibt sich aus der effektiven Wasserzufuhr abzüglich des Anteiles, der durch Verdunstung verloren geht. Im Zeitraum $t_2 - t_1$ ist ein gleicher Wasservorrat des Bodens zu berücksichtigen.

Transport von Mineralstoffen im Sickerwasser: Die Auswaschungsrate (kg/ha) ergibt sich aus der Sickerwassermenge multipliziert mit dem Mineralstoffgehalt des Sickerwassers.

Das Gesamtsystem wird von den nachfolgenden Faktoren beeinflusst.

1. Jahreszeit: Unter mitteleuropäischen Witterungsbedingungen ist der Wasserverbrauch durch die Pflanzen in der Vegetationszeit meist größer als die in diesem Zeitraum fallenden Niederschläge. Sickerwasser tritt damit nur in Ausnahmefällen, beispielsweise infolge von Starkregen auf. Im Spätherbst beginnt jeweils eine zusammenhängende Sickerperiode, die mit dem Anstieg der Temperatur und einsetzender Vegetation im Frühjahr wieder endet. Sickerwassermenge und Mineralstoffauswaschung werden daher entscheidend von den Winterniederschlägen beeinflusst.

2. Witterung: Neben der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung ist die Niederschlagsmenge zusammen mit der Temperatur (und eine sich daraus ergebende unterschiedliche Transpirationsrate) für die Höhe der Sickerwassermenge ausschlaggebend. Durch den Einfluß der Witterung auf die Nährstoffdynamik des Bodens kann aber auch das Angebot an auswaschungsgefährdeten, d.h. beweglichen Mineralstoffen, recht unterschiedlich sein.

3. Bodeneigenschaften: Eine hohe Feldkapazität, d.h. ein hohes Wasserspeichervermögen gibt die Gewähr, selbst über längere regenfreie Zeiten hinweg die Pflanzen optimal mit Wasser zu versorgen. Daneben sind aber auch biologische Aktivität, Gesamtvorrat an Mineralstoffen und pH-Wert des Bodens für die Auswaschung bedeutend.

4. Pflanzenbauliche Maßnahmen: Durch die Wahl verschiedener Kulturpflanzen mit ihrem, hinsichtlich Zeit und Menge, sehr verschiedenem Wasserbedarf ergeben sich unterschiedliche Sickerwassermengen. Ferner können sich Düngungsmaßnahmen (nach Menge, Form und Zeitpunkt der Applikation) auf den Mineralstoffgehalt des Sickerwassers auswirken.

*) Unter „Sickerwasser“ ist im folgenden immer diejenige Wassermenge gemeint, die an der Basisfläche des Lysimeters aus dem Boden austritt. Sickerwasser ist also nicht mit dem in der Bodenkunde üblichen Begriff („das nicht im Boden haftende Wasser“) identisch.

I. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Das Weihenstephaner Kastenlysimeter wurde 1927 nach dem System Gerlach erbaut; es hat 4 m³ Inhalt bei einer Bodentiefe von 1 m und wurde seitdem unter verschiedenen Fragestellungen bewirtschaftet.

Versuchsabschnitte

1. 1937 - 1942: Vergleich einer mineralischen Voll-
düngung mit einer N-Mangeldüngung auf verschiedenen Böden (siehe später!).

2. 1954 - 1962: Einfluß einer Strohdüngung auf die Mineralstoffauswaschung verschiedener Böden. Da die Strohdüngung keinen signifikanten Einfluß brachte, wurde aus vier Versuchsgliedern (mineralische Voll-
düngung + unterschiedliche (0 - 25 - 50 - 75 dz/ha) Strohgaben) ein Mittelwert gebildet.

3. 1965 - 1971: Optimale NPK-Düngung auf Lehm-
böden (Mittel aus drei Parallelen).

Witterung, N-Düngung und die jeweils angebaute Frucht dieser Jahre zeigt die nachfolgende Tab. 1.

Bodenarten

In den ersten beiden Versuchsabschnitten waren folgende drei Böden in die insgesamt 12 Becken des Lysimeters eingefüllt: (Tab. 2)

Der Miocänsand Kirchdorf (Sandgrube) hat sehr geringe Werte für organische Substanz, Sorptionskapazität (T-Wert) und Wasserhaltefähigkeit (maximale Wasserkapazität). Damit bietet er den Pflanzen sehr ungünstige Wachstumsbedingungen. Hinsichtlich Wasserversorgung und Sorptionskapazität sind der humose Lehm und Lehm als mittel bis gut anzusehen; beide unterscheiden sich lediglich im C- und N-Gehalt. Der humose Lehm läßt eine höhere N-Mineralisierung und damit größere Auswaschungsraten erwarten. Im folgenden werden diese Böden der Einfachheit halber mit Sand, humoser Lehm und Lehm bezeichnet. Im Versuchsabschnitt 3 war nur noch mehr Lehm Boden in Bewirtschaftung.

Mineralstoffanalysen des Sickerwassers

Der Stickstoff wurde als Gesamt-N nach Jodlbauer-Förster (3) bestimmt; aus Vorversuchen zeigte sich, daß davon über 95% als Nitrat vorliegen. Da die N-Analysen des Sickerwassers vom humosen Lehm in der Periode 1 nur unvollständig vorlagen, konnten sie nicht berücksichtigt werden.

Lysimeterjahr

Das Lysimeterjahr wird jeweils vom 1. Oktober bis zum 30. September gerechnet, da Mineralstoffauswaschung bzw. Wirkung der Düngung des betreffenden Jahres stark von der vorausgegangenen Herbst- und Winterwitterung abhängen.

Tab. 1: Witterung, N-Düngung und angebaute Früchte in den Versuchsabschnitten 1 - 3

Jahr	Witterung (Niederschlag bzw. Temperatur)				Frucht	N-Düngung kg/ha
	mm *)	°C *)	mm **)	°C **)		
1937/38	822	7,6	280	2,5	Zuckerrüben	0 bzw. 150
1938/39	761	7,5	259	1,4	Sommergerste	0 bzw. 80
1939/40	1109	6,5	433	-0,3	Kartoffeln	0 bzw. 150
1940/41	969	5,9	359	0,7	Zuckerrüben	0 bzw. 150
1941/42	731	6,6	314	-0,8	Winterweizen	0 bzw. 80
1954/55	841	7,2	320	1,5	Kartoffeln	60
1955/56	776	6,6	264	0,5	Winterweizen	70
1956/57	979	6,7	352	2,5	Zuckerrüben	100
1957/58	770	7,6	308	1,4	Winterweizen	50
1958/59	692	8,4	277	2,8	Kartoffeln	60
1959/60	711	7,5	256	1,9	Winterweizen	50
1960/61	777	8,5	288	3,1	Zuckerrüben	100
1961/62	780	7,0	320	1,2	Winterweizen	50
1965/66	895	8,0	305	2,5	Kartoffeln	80
1966/67	805	8,1	314	3,0	Winterweizen	60
1967/68	813	7,6	203	2,1	Sommergerste	40
1968/69	669	7,1	207	1,0	Zuckerrüben	80
1969/70	854	6,8	290	0,7	Winterweizen	60
1970/71	733	7,3	220	0,7	Sommergerste	40

*) im Lysimeterjahr; **) in den Monaten Oktober – März

Tab. 2: Eigenschaften der Versuchsböden:

Einzelne Eigenschaften	Mioeän-Sand	humoser Lehm (Mullrendzina)	Lehm (Ackerbraunerde)
pH-Wert (KCl)	6,0	7,0	6,9
Gesamt-N (%)	0,03	0,24	0,12
Gesamt-C (%)	0,12	2,18	0,85
r-Wert (100 mval/100 g Boden)	4,7	22,5	17,3
Carbonat (% CaCO ₃)	–	19,4	–
Max. Wasserkapazität (Gew. %)	27,5	46,8	45,3
Ton (< 2 µ) %	5	16	20
Schluff (2-63 µ) %	7	38	54
Feinsand (63-200 µ) %	15	16	5
Grobsand (200 µ) %	73	30	21

II. ERGEBNISSE

1. Sickerwassermengen

Verschieden hohe Sickerwassermengen werden in der Literatur (3,4,5) stets mit den gleichen Faktoren, nämlich Bodeneigenschaften, Pflanzenbestand, Witterung, Düngung in Zusammenhang gebracht.

Die nachfolgende Abb. 2 zeigt wie sich Niederschlag und Sickerwassermenge im Jahresdurchschnitt des Versuchsabschnittes 2 verhalten.

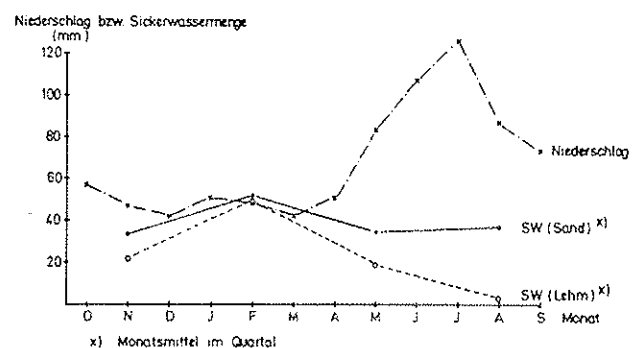


Abb.2: Wasserversickerung im Verlauf des Jahres (Mittelwerte aus 8 Jahren)

Im Herbst übersteigt der Wassergehalt des Bodens unter dem Einfluß der Niederschläge und eines geringen Wasserverbrauches durch Pflanzen – je nach Bodenart früher oder später – die Feldkapazität; Sickerwasserabgabe ist die Folge. Auf dem Sandboden geht auf diese Weise etwa 3/4, auf dem Lehm Boden etwa 1/2 der Wasserzufuhr verloren. Im Winter, wenn Verdunstung und Transpiration sehr gering sind, ist die Sickerwassermenge aller Böden fast so hoch wie die auftretenden Niederschläge. Mit Beginn der Vegetation wird der Sickerverlust des Lehm Bodens zunehmend geringer und weist im Sommer minimale Werte auf. Aus dem Sandboden dagegen muß über das ganze Jahr hinweg mit

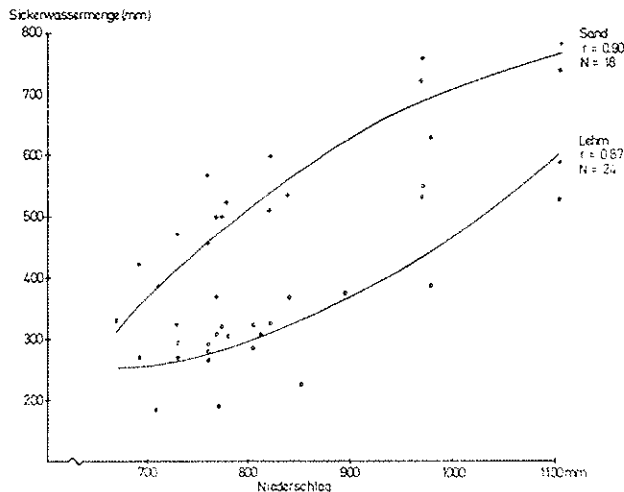


Abb.3: Beziehung zwischen Niederschlag und Sickerwassermenge

ständiger, wenig veränderter Sickerwasserabgabe gerechnet werden. Der humose Lehm verhält sich im erfaßten Zeitraum nahezu gleich.

Die Prüfung einer Versuchsfrage über mehrere aufeinanderfolgende Jahre hinweg, bringt den Einfluß der Witterung hinsichtlich Sickerwasseranfall und Mineralstoffauswaschung zum Ausdruck. Mit Zunahme der Niederschläge steigt sowohl auf Sand- als auch auf Lehm Boden die Sickerwassermenge an (Abb. 3).

Der Sandboden verliert im Bereich von 700 - 1 100 mm Niederschlag um ea. 150 - 250 mm mehr Wasser als der Lehm. Der Sickerwasseranteil am Niederschlag steigt demnach von 45 - 70% auf Sand, aber nur von 38 - 53% auf Lehm an.

Die Kurve des Sandes zeigt im Abschnitt von 700 - 900 mm einen sehr steilen Verlauf; das Verhältnis Sickerwassermenge/Niederschlag ist >1. Die optimale Nutzung der Niederschläge ist bereits überschritten (Rückgang der Evapotranspiration). Die Jahre mit Niederschlagsmengen von >900 mm sind deshalb nicht sehr aussagekräftig, weil zufälligerweise ausschließlich Hackfrüchte angebaut waren, deren Wasserbedarf für sich anders zu bewerten ist als der einer regelmäßigen Fruchtfolge. Auf dem Lehm bewirkt eine größere Niederschlagsmenge im Bereich von 700 - 900 mm nur eine geringe Zunahme der Sickerwassermenge; d.h. das zugeführte Wasser kann auf diesem Boden von den Pflanzen noch gut genutzt werden. Erst mit Niederschlägen über 900 mm ist mit einem größeren, in etwa proportionalem Anstieg der Sickerwassermenge zu rechnen.

Tab. 3: Faktorenanalyse – Sandboden. Faktorladungen sind Bestimmtheitsmaße $B = r^2 \cdot 100$

Variable	Faktor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. N-Auswaschung	4	93	—	—	—	—	—	—
2. Sickerwassermenge	86	—	—	—	—	—	—	—
3. N-Düngung	—	29	3	57	—	—	—	—
4. Zeitpunkt der mineralischen Düngung	23	-8	—	4	29	14	—	—
5. N-Entzug der Pflanzen *)	3	—	—	77	—	—	—	—
6. Jahresniederschlag	83	—	—	3	—	9	—	—
7. Winterniederschlag	68	—	—	2	—	21	-5	—
8. Jahrestemperatur	-12	—	—	—	-4	-73	—	—
9. Wintertemperatur	—	12	6	—	—	-77	—	—
10. N-Gehalt des Sickerwassers	—	92	—	—	—	-4	—	—
11. Fruchtart **)	38	—	37	4	—	-7	—	—
Varianz (cumulativ %)	29	50	55	68	72	91	92	92

*) kg/ha

**) Eigener Punkteschlüssel: Sommergerste = 8, Winterweizen = 10, Kartoffeln = 25, Zuckerrüben = 30 soll die Intensität der Frucht kennzeichnen (FS-Bildung, N-Entzug, Vegetationsdauer);

Die Faktorenanalyse des Sandbodens (Tab.3) zeigt deutlich die hohe Ladung der Sickerwassermenge (Variable 2) in Faktor 1 mit positiver Beziehung zu Niederschlagsgrößen (Variable 6 bzw. 7) und negativer zur Jahresdurchschnittstemperatur (Variable 8); die Höhe der N-Düngung dagegen ist bedeutungslos.

In der Faktorenanalyse des Lehm Bodens (Tab.4) verteilt sich die Ladung der Sickerwassermenge auf mehrere Faktoren:

In Faktor 1 sind, ähnlich wie auf Sand, Beziehungen zu Niederschlagsgrößen zu beobachten. Im Faktor 2 lassen

Tab. 4: Faktorenanalyse — Lehm Boden

Faktorladungen sind Bestimmtheitsmaße $B = r^2 \cdot 100$

Variable	Faktor							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. N-Auswaschung	[52]	7	[31]	-3	2	1	—	2
2. Sickerwassermenge	[65]	13	2	[-7]	—	11	—	—
3. N-Düngung	—	6	3	—	[64]	—	—	—
4. Zeitpunkt der min. Düngung	6	16	2	-33	—	—	—	5
5. N-Entzug der Pflanzen *)	2	73	—	—	13	—	—	—
6. Jahresniederschlag	[81]	3	—	-4	—	—	—	—
7. Winterniederschlag	65	—	2	-8	—	—	—	—
8. Jahrestemperatur	[-12]	—	—	[73]	—	—	-3	—
9. Wintertemperatur	-3	9	—	[77]	—	—	-2	—
10. N-Gehalt des Sickerwassers	5	2	[87]	—	3	—	—	—
11. Fruchtart **)	10	[76]	3	—	—	—	—	—
Varianz (cumulativ %)	27	46	58	77	85	87	88	89

*) kg/ha

**) Eigener Punkteschlüssel: Sommergerste = 8, Winterweizen = 10, Kartoffeln = 25, Zuckerrüben = 30 soll die Intensität der Frucht kennzeichnen (FS-Bildung, N-Entzug, Vegetationsdauer);

Tab. 5: Sickerwassermenge (SW), N-Gehalt des Sickerwassers (N-Gehalt) und N-Auswaschung (N-Ausw.) verschiedener Böden im Versuchsabschnitt 1

Jahr	S a n d			h u m o s e r L e h m			L e h m		
	SW (mm)	N-Gehalt (mg/l)	N-Ausw. (kg/ha)	SW (mm)	N-Gehalt (mg/l)	N-Ausw. (kg/ha)	SW (mm)	N-Gehalt (mg/l)	N-Ausw. (kg/ha)
1937/38 (1)*	598	5,51	33	382	—	—	315	18,41	58
(2)	508	13,78	70	335	—	—	282	19,50	55
1938/39 (1)	568	3,87	22	395	—	—	295	17,62	52
(2)	454	12,11	55	289	—	—	288	20,13	58
1939/40 (1)	778	4,98	35	675	—	—	592	27,36	162
(2)	737	8,14	60	473	—	—	581	32,70	190
1940/41 (1)	759	3,68	28	580	—	—	553	18,98	105
(2)	716	20,95	150	422	—	—	548	26,45	145
1941/42 (1)	368	1,35	5	297	—	—	271	7,74	21
(2)	315	3,17	10	269	—	—	266	17,66	47

*) (1) = ohne N-Düngung, (2) = mit N-Düngung

Tab. 6: Sickerwassermenge (SW), N-Gehalt des Sickerwassers (N-Gehalt) und N-Auswaschung (N-Ausw.) verschiedener Böden im Versuchsabschnitt 2 + 3

Jahr	S a n d			h u m o s e r L e h m			L e h m		
	SW (mm)	N-Gehalt (mg/l)	N-Ausw. (kg/ha)	SW (mm)	N-Gehalt (mg/l)	N-Ausw. (kg/ha)	SW (mm)	N-Gehalt (mg/l)	N-Ausw. (kg/ha)
1954/55	533	9,38	50	358	17,97	64	368	29,89	110
1955/56	360	13,05	47	181	44,19	80	189	25,39	48
1956/57	623	19,90	124	371	36,18	135	379	23,21	88
1957/58	499	18,43	92	264	38,63	102	305	27,86	85
1958/59	423	14,65	62	272	38,60	105	276	23,18	64
1959/60	380	15,00	57	201	68,15	137	190	36,31	69
1960/61	492	13,21	65	318	28,93	92	321	20,56	66
1961/62	509	19,64	100	218	22,01	48	228	16,22	37
1965/66							370	31,62	117
1966/67							304	20,06	61
1967/68							306	13,07	40
1968/69							331	24,77	82
1969/70							224	8,92	20
1970/71							293	12,96	38

sich Zusammenhänge zur Frucht bzw. zum N-Entzug feststellen. Hackfrüchte (Zuckerrüben, Kartoffeln) dürften durch relativ spät einsetzendes Wachstum einen höheren Sickerwasseranteil erwarten lassen als Getreide, das im Frühjahr einen stärkeren Wasserverbrauch hat. Hinzu kommt, daß die Vorfrucht von Hackfrüchten (Getreide) vermutlich einen höheren Wasservorrat des Bodens am Beginn des Lysimeterjahres (Oktober) hinterläßt, der auf die gesamte Wasserbilanz nicht ohne Einfluß ist. Im Faktor 4 schließlich sind Einflüsse der Temperatur zu vermerken, derart, daß höhere Temperaturen eine Verlängerung der Vegetationszeit und damit eine höhere Transpirationsrate mit geringerer Sickerwassermenge zur Folge haben.

2. Stickstoffauswaschung

In der Literatur gibt es zahlreiche Arbeiten zum Thema N-Auswaschung (1). Abhängig von den jeweiligen Standortbedingungen wird den Faktoren Niederschlag, Bodenart und pflanzenbaulichen Maßnahmen unterschiedliche Bedeutung beigemessen. Der Stickstoff ist in Form von Nitrat besonders auswaschungsgefährdet, sofern nicht eine rasche Aufnahme durch Pflanzen oder Reduktion unter bestimmten Bedingungen des Bodens erfolgt. Die Nitratzufuhr in Form von mineralischen Düngemitteln sowie die boden- und witterungsabhängige Mineralisierung führen zu einem unterschiedlichen Nitratgehalt bzw. einer verschiedenen Nitratauswaschung des Bodens. In unseren Versuchen schwankt die jährliche N-Auswaschung auf Sand zwischen 5 und 150, auf humosem

Lehm zwischen 48 und 135 und auf Lehm zwischen 20 und 190 kg N/ha (Tab.5 und 6). Das langjährige Mittel beträgt für Sand 59, für humosen Lehm 95 und für Lehm 76 kg N/ha.

Mit zunehmender Sickerwassermenge steigt auf Lehm-böden die N-Auswaschung nahezu linear an (Abb. 4).

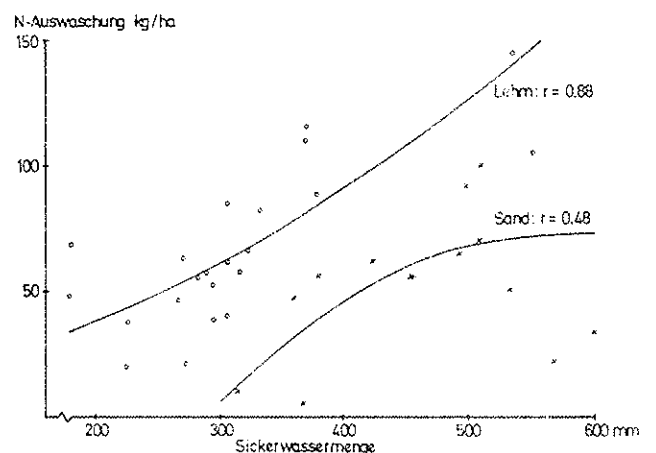


Abb.4: Beziehung zwischen Sickerwassermenge und N-Auswaschung

Auf dem Lehm-boden liegt demnach stets genügend auswaschbarer Stickstoff im Boden vor; der N-Gehalt des Sickerwassers verändert sich daher wenig. Auf dem Sand-boden ergeben sich im Auswaschungsbereich von > 70 kg N/ha große Unterschiede im N-Gehalt des Sickerwassers ohne direkte Beziehung zur Sickerwassermenge, ein Hinweis darauf, daß die N-Auswaschung dieses Bodens nicht nur von den Niederschlägen abhängt. In

einzelnen Fällen ist ein deutlicher Verdünnungseffekt zu beobachten. Ähnliche Ergebnisse bringt auch die Faktorenanalyse (Tab.3). Im Faktor 2 ist die N-Auswaschung gleichbedeutend mit dem N-Gehalt des Sickerwassers, der seinerseits positive Beziehungen zur N-Düngung und in geringerem Umfang auch zu den Wintertemperaturen aufweist. Zusammenhänge zwischen N-Auswaschung und Niederschlagsgrößen bzw. zur Sickerwassermenge sind auf Sand wesentlich geringer ausgeprägt (Faktor 1) als auf Lehm.

Auf dem Lehm Boden (Tab.4) finden sich in 5 Faktoren Beziehungen zwischen N-Auswaschung und Sickerwassermenge. Als ursprüngliche Einflüsse können die Niederschläge (Faktor 1) und in wesentlich geringerem Umfang Temperaturen (Faktor 4) und Düngung (Faktor 2,3,5) angesehen werden. Im Faktor 3 stehen hohe Ladungen von N-Gehalt des Sickerwassers und N-Auswaschung ohne deutliche Beziehung zu ursächlichen Einflüssen und weisen damit auf die Nitrifikationsrate hin, deren Höhe durch die erfaßten Parameter nicht erklärt werden kann. Den Einflüssen von Boden und Jahr (d.h. Jahreswitterung) kommt in den einzelnen Quartalen wechselnde Bedeutung zu.

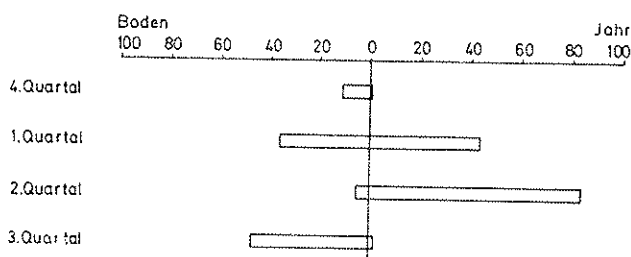


Abb.5: Einfluss von Bodeneigenschaften und Jahreswitterung auf die N-Auswaschung (Varianzanteile in %)

Im Winter sind Boden und Jahr zu etwa gleichen Teilen (über Gesamt-N-Gehalt bzw. Niederschlagsmenge) für die Auswaschung verantwortlich. Im Frühjahr (2.Quartal) ist die Witterung der maßgebende Faktor; der N-Gehalt des Sickerwassers aller Böden erreicht hohe Werte (hohes N-Angebot durch Nitrifikation und mineralische N-Düngung bei anfangs nur geringem Entzug). Im Sommer liefert nur der Sandboden Sickerwasser, die Niederschlagsmenge tritt demgegenüber stark zurück. Im Herbst (4.Quartal) ist kein direkter Einfluß der weiteren Faktoren ersichtlich, aber eine sehr große Wechselwirkung vorhanden (Restvarianz). Regressionsanalysen (1) haben gezeigt, daß auf dem Sandboden die Temperatur, auf dem Lehm Boden die Niederschlagsgrößen den Ausschlag geben.

Zusammenhänge zwischen der Höhe der mineralischen N-Düngung und N-Auswaschung (Abb.6) weisen keine allzugroße statistische Sicherheit auf ($r = 0,52$ bzw. $0,61$). Trotzdem bestehen im Verhalten von Lehm gegenüber Sand wesentliche Unterschiede.

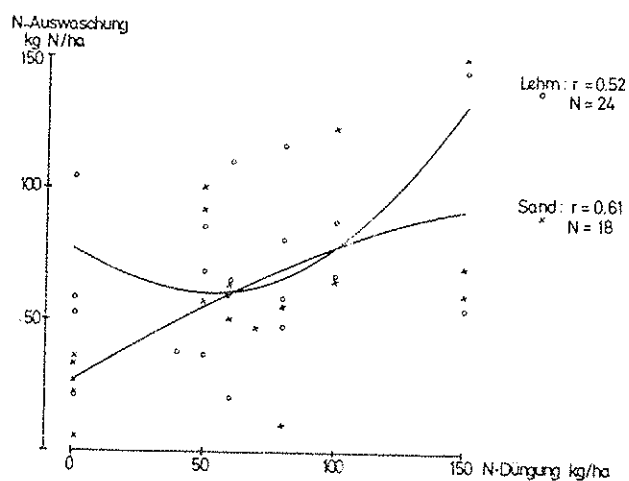


Abb.6: Zusammenhang zwischen N-Düngung und N-Auswaschung

Bereits in der Faktorenanalyse (Tab.3 und 4) war auf Sandboden eine positive Beziehung dieser Größen zueinander zu beobachten (Faktor 2), die sich in der Einzelregression (Abb.6) bestätigt; jedenfalls ist im Falle einer mangelnden N-Düngung eine sehr geringe N-Auswaschung zu beobachten. Auf Lehm Boden dagegen sind in 3 Faktoren Zusammenhänge zwischen N-Düngung und N-Auswaschung festzustellen, ein Hinweis darauf, daß keine direkte Abhängigkeit vorliegt.

Der Punkteschwarm in Abb.6 zeigt, daß in jeder Düngungsstufe eine sehr hohe, ebenso wie auch eine sehr geringe N-Auswaschung möglich ist.

III. DISKUSSION

Ergebnisse aus Lysimeterversuchen werden oft als nicht relevant für die Wasserversickerung bzw. Mineralstoffauswaschung unter Freilandbedingungen angesehen. Neben dem ungeklärten Verbleib der Mineralstoffe erschweren technische Unzulänglichkeiten der Lysimeterversuche die Interpretation der gewonnenen Zahlen. Aussagen können daher nur unter Berücksichtigung des jeweiligen Lysimetertyps (mit seinen spezifischen Fehlern) gemacht werden (1).

Abweichungen in der Sickerwassermenge und damit auch in der Mineralstoffauswaschung gegenüber natürlichen Bedingungen ergeben sich im wesentlichen durch folgende Umstände:

1. Die Ausbildung „tragender Menisken“ an der Basalfläche des Lysimeters führt zweifellos zu einer Verringerung der Sickerwassermenge. Besonders groß kann dieser Fehler im Trichterlysimeter werden, weil durch die nicht vorhandenen Lysimeterwände ein „Vorbeigleiten“ des Wassers am Auffangblech in tiefere Zonen erfolgt.
2. Der kapillare Aufstieg des Grundwassers ist in Lysimetern in der Regel unterbrochen. Der Wasserentzug aus dem Grundwasser (in 1 m Tiefe) kann durch intensiven Pflanzenbestand bis zu 300 l/m^2 während einer Vegetationsperiode betragen (6).

Bemerkenswert erscheint, daß beide Fehlerquellen entgegengesetzt wirken und sich möglicherweise ausgleichen. Unterstützt wird diese Ansicht durch die Tatsache, daß die Sickerwassermenge im Mittel unserer Versuche genau so hoch ist, wie die rechnerisch ermittelte Größe in vergleichbaren Bilanzen für große Räume (7).

Unterschiedliche Nitratgehalte des Sickerwassers, das aus Lysimetern bzw. unter natürlichen Bedingungen gewonnen worden ist, werden immer wieder beobachtet. Nach Kick und Kretschmar (8) war trotz hoher N-Düngung in Tiefen von 1 m nur wenig Nitrat zu finden. Gliemeroth (9) glaubt, daß die tatsächliche N-Auswaschung oftmals überschätzt wird. In vergleichbaren Drainageversuchen fanden mehrere Autoren (10,11) eine durchschnittliche N-Auswaschung von nur 12 - 15 kg N/ha. Eine Erklärung dafür wäre durch eine höhere Denitrifikationsrate gegeben, zumal die Redoxbedingungen in natürlich gelagerten Böden sicherlich anders sind als in eingefüllten Lysimetern, in die durch das Ablaufrohr ein Luftzutritt möglich ist.

Die statistische Auswertung zeigt deutlich, daß die Sickerwassermenge wesentlich genauer aus primären Einflüssen, wie Witterung, Bodenart und pflanzenbaulichen Maßnahmen (einschl. Düngung) erklärt werden kann als die N-Auswaschung. Insbesondere in den Faktorenanalysen ist die Abhängigkeit der N-Auswaschung vom N-Gehalt des Sickerwassers zu beobachten. Damit wird deutlich, daß für die N-Auswaschung die Mineralisierungsrate entscheidend ist, die wiederum von N-Vorrat, pH-Wert, Feuchtigkeit und Temperatur des Bodens abhängt. Wenn trotz Erfassung dieser Größen eine Erklärung der N-Mineralisierung und N-Auswaschung nur schwer gelingt, so ist dies darauf zurückzuführen, daß offenbar ungeeignete Parameter verwendet werden. So wird z.B. die Temperatur durch den Jahresmittelwert sicherlich nur ungenügend repräsentiert. Es müßte also eine Größe gefunden werden, die der tatsächlichen Mineralisierung besser Rechnung trägt. Möglicherweise gäbe die Temperatursumme über einem bestimmten Schwellenwert dafür einen Ansatz.

Zusammenfassung

Über einen Zeitraum von 19 Jahren hinweg brachten die Lysimeterversuche in Weihenstephan mit einem sehr leichten Sand-, einem humosem Lehm- und einem Lehmboden bei Jahresniederschlägen von ca. 800 mm folgende Ergebnisse:

1. Die Sickerwassermenge ist überwiegend auf die Höhe der Niederschläge zurückzuführen. Der Einfluß der Temperatur (Verdunstung) und der Bodeneigenschaften (Feldkapazität) ist von nachgeordneter Bedeutung.
2. Die N-Auswaschung hängt im wesentlichen von der Sickerwassermenge und damit ebenfalls von den Nieder-

schlägen ab. Als nächst bedeutender Einfluß ist die Nitrifikationsrate anzusehen, die auf Lehmböden so hoch ist, daß auch im Falle hoher Sickerwassermengen kein Rückgang des N-Gehaltes des Sickerwassers zu beobachten ist. Auf Sandböden dagegen ist in einzelnen Fällen trotz hoher Sickerwassermengen eine geringe N-Auswaschung zu beobachten, ein Hinweis auf deutliche Verdünnungseffekte.

Literaturverzeichnis

- (1) Schweiger, P.: Der Einfluß von Witterung, Bodeneigenschaften und pflanzenbaulichen Maßnahmen auf Wasserversickerung und Mineralstoffauswaschung im Weihenstephaner-Lysimeter. — Dissertation an der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau der Technischen Universität München in Weihenstephan 1973.
- (2) König, J.: Die Untersuchung landwirtschaftlicher und landwirtschaftlich-gewerblich wichtiger Stoffe I. Band, S.51; Verlag P. Parey, Berlin 1923
- (3) Gerlach, M.: Untersuchungen über die Menge und die Zusammensetzung von Sickerwässern Landw. Jahrbuch 64, 701 - 733 (1926)
- (4) Pfaff, C.: Über Lysimeterversuche — Der Forschungsdienst, SH 6, 102 - 114 (1937)
- (5) Schröder, M., u. Rakosi, D.: Lysimeteruntersuchungen an Standorten mit oberflächennahem Grundwasser. Wasserwirtsch. 58, 80 - 82 (1968)
- (6) Schendel, U.: Der Einfluß oberflächennaher Grundwasserstände auf den Wasserverbrauch von Klee gras — Bayer.Landw.Jahrbuch, 3.SH, 251 - 257 (1967)
- (7) Clodius, S.: Zum Schema des Wasserkreislaufes — Neufassung für 1959; Gas- Wasserfach 104, 755 - 756 (1963)
- (8) Kick, H. u. Kretschmar, R.: Zur Anreicherung von Nitrat-, Sulfat-, Chlorid- und Ammoniumionen im Boden und Grundwasser infolge von Düngungsmaßnahmen — Landw.Forschung 21, 3 - 18 (1968)
- (9) Gliemeroth, G.: Stickstoffverlagerung über Winter in Abhängigkeit von der Wasserführung eines Lößlehmbodens — Z. Acker- und Pflanzenbau 107, 129 - 146 (1959)
- (10) van Schreven, D.A.: Leaching losses of nitrogen and potassium in Polders reclaimed from Lake IJssel — Plant and Soil 33, 629 - 643 (1970)
- (11) Erickson, A.E. u. Ellis, B.G.: The nutrient content of drainage water from agricultural land — Michigan Agr.Exp.Sta.Res. Bull. 31, (1971)