

Die Mineralisation des organisch gebundenen Stickstoffs in Weinbergböden

Teil I: Die N_{\min} -Dynamik

VON

K. MÜLLER

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Würzburg-Veitshöchheim, BR Deutschland

Mineralization of organically bound nitrogen in vineyard soils

Part I: N_{\min} dynamics

S u m m a r y : From 1984 to 1989 outdoor lysimeter experiments were carried out to investigate the dynamics of N mineralization depending on season, soil quality, N fertilization and presence of grapevines. Soils were derived from three geological formations, each with a low and a high humus content. The results, based on monthly sampling, can be summarized as following:

1. The annual changes of N_{\min} contents formerly observed in the soils of vineyards (MÜLLER 1985) were confirmed by the lysimeter experiments. With all treatments, the N_{\min} levels of soils were highest during mid-summer and lowest during the cold season.
2. The annual occurrence of N_{\min} contents was mainly governed by soil temperature and frequency and quantity of precipitations.
3. The level of N_{\min} was also affected by the geological origin of soil material and the humus contents.
4. Muschelkalk soils, usually connected with high humus contents, regularly showed the highest N_{\min} levels.
5. Among soils of comparable humus contents, new red sandstone soil had always the highest, keuper soil the lowest levels of N_{\min} . Therefore, the humus contents of soils have to be rated with respect to their parent material.
6. As the meteorological conditions, geological formation and humus contents are specific of a vineyard site, the N_{\min} supply power of a certain soil is site-specific as well. It can therefore not be judged by only one, momentary, N_{\min} test.
7. Mineral N fertilization always increased the N_{\min} contents, varying in relation to the meteorological and other conditions of a given site. Without mineral N fertilization, the N_{\min} supply power — indicating a gradual reduction of the N reserves of the soil — continuously decreased.
8. The investigations verified that, under favourable conditions, mineral N fertilization causes a more or less strong priming effect, leading to excessively high N_{\min} contents over several weeks. Occasionally, however, immobilization and incorporation of the mineral N fertilizer into the soil biomass (negative priming effect) was observed, either immediately after fertilization or after a short increase of N_{\min} .
9. Vines growing in the lysimeters reduced the N_{\min} contents of soil not before the 3rd year of planting.
10. Use of shed soils, comparable to freshly trenched soils, caused — with all soil types — very intensive mineralization during the first 2 years of the experiment and corresponding high N_{\min} supply.

Key words : viticulture, soil, nutrition, mineral, nitrogen, mineralization, geological formation, humus, fertilizing, fallow, climate.

Einleitung und Zielsetzung

Der Stickstoff nimmt unter den Pflanzennährstoffen zweifelsohne eine zentrale Stellung ein. Dabei stehen aber gegenwärtig weniger die ernährungsbezogenen Funktionen des Stickstoffs, als vielmehr die Beeinträchtigung der Umwelt und des Grundwassers durch diesen Nährstoff im Vordergrund.

Mit dem Ziel, die jährliche Netto-Mineralisation und die sie beeinflussenden Faktoren (jährlicher Witterungsverlauf, Bodenformation, Humusgehalt, mineralische N-Düngung, Bepflanzung mit Reben) zu untersuchen, wurde am Standort Veitshöchheimer Steige während des Winters 1983/84 eine zweckentsprechende Lysimeteranlage gebaut. Gleich nach Fertigstellung der Anlage wurden die zu untersuchenden Böden in die Lysimeter verfüllt. Zur Beantwortung der genannten Fragestellung war es erforderlich, neben dem jährlichen N-Austrag im Sickerwasser auch die N_{\min} -Gehalte des Bodens sowie den N-Entzug der Reben zu erfassen.

Die Ergebnisse der ersten 6 Versuchsjahre sollen in mehreren Beiträgen dieser Zeitschrift veröffentlicht werden. In der vorliegenden Arbeit wird anhand von 5jährigen Ergebnissen (1984—1988) zunächst der Frage hinsichtlich der jährlichen N_{\min} -Dynamik innerhalb der Böden der untersuchten Versuchskombinationen nachgegangen.

Versuchsanlage und Methodik

Die im Freiland stehende Lysimeteranlage (Abb. 1), bestehend aus ebenerdig eingebauten Lysimetern aus PVC (Länge 100 cm, Breite 75 cm, Höhe 80 cm, mit 600 l Rauminhalt), wurde als vierfaktorieller Versuch unter Einbeziehung folgender Faktoren konzipiert und errichtet:

Faktor A: Bodenformation, mit den Stufen: Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper.

Die Versuchsböden entstammen allesamt bekannten fränkischen Weinbergslagen.

Faktor B: Humusgehalt, mit den Stufen: ca. 1 % Humus (niedrig bis mittel) und ca. 2 % Humus (hoch). Die Auswahl der Böden innerhalb des Rebenareals erfolgte nach dem jeweils angestrebten Humusgehalt. Eine Veränderung der Humusgehalte durch Zugabe von organischen Stoffen wurde bewußt unterlassen.

Faktor C: mineralische N-Düngung, mit den Stufen: $N = 0$ kg/ha und $N = 100$ kg/ha jährlich. Die N-Düngung wurde als Ammonsulfatsalpeter, aufgeteilt in zwei Gaben jeweils im Frühjahr und zur Blüte, in aufgelöster Form ausgebracht.

Faktor D: Bepflanzung, mit den Stufen: Schwarzbrache und Bepflanzung mit Reben, wobei in jeden Lysimeter jeweils eine Rebe gepflanzt wurde. Verwendet wurden Pfropfreben der Sorte Müller-Thurgau auf der Unterlage SO4.

Die insgesamt 24 Versuchskombinationen (3 Bodenformationen \times 2 Humusstufen \times 2 Düngungsstufen \times 2 Bepflanzungsstufen) wurden in jeweils 3facher Wiederholung angelegt. Zusammen mit einer sogenannten Meßreihe von weiteren 12 Lysimetern stehen in der Anlage insgesamt 84 Lysimeter.

Durch den Einbau einer Trennwand in den Boden der Lysimeter (Abb. 1, unten) und der getrennten Sickerwassererfassung aus beiden Lysimeterhälften wurden Möglichkeiten geschaffen, aus der einen Lysimeterhälfte Bodenproben zu entnehmen, ohne dabei den Boden bzw. den Sickerwasseranfall in der anderen Lysimeterhälfte zu beeinträchtigen. Dadurch war es, anders als bei herkömmlich gebauten Lysimetern, möglich, sowohl den N-Austrag im Sickerwasser als auch die monatlichen N_{\min} -Gehalte im Boden zu erfassen. Die in den Lysimetern bei Versuchsanlage verwendeten „geschütteten“ Böden waren in ihrem Zustand und Gefüge mit denen frisch rigolter Weinbergsböden in etwa vergleichbar.

Während des 1. Versuchsjahres wurden die Bodenproben monatlich aus allen drei Wiederholungen entnommen und danach die Streuung der N_{\min} -Einzelwerte berechnet. Nachdem sich die Abweichungen der Einzelwerte in tolerierbaren Grenzen bewegten (bei den meisten Versuchskombinationen war ein Variationskoeffizient < 9 % festzustellen), wurden ab dem 2. Jahr im Wechsel monatlich nur noch aus jeweils

Schema der Versuchsanordnung

Faktoren		B ö d e n													
		Buntsandstein				Muschelkalk				Keuper					
		Humusstufen													
		1%		2%		1%		2%		1%		2%			
		N-Düngungsstufen													
		0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100		
L y s i m e t e r	bepflanzt	3	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
		2	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
		1	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	unbepfl.	3	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
		2	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
		1	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
	WH	0	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□

Schema eines Lysimeters

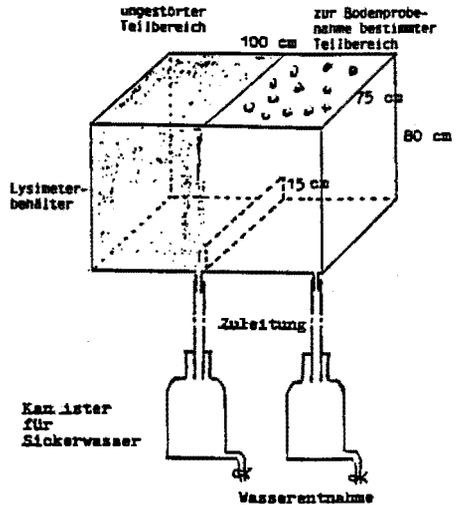


Abb. 1: Versuchsanordnung und Lysimetaraufbau.
 Experimental layout and construction of lysimeter.

einem Lysimeter jeder Versuchskombination Bodenproben entnommen. Auf diese Weise verringerte sich die Probenahme in den einzelnen Lysimetern und deren Beeinträchtigung von jährlich 12— auf 4mal. Durch den Verzicht auf Wiederholungen bei der Bodenprobennahme war dann allerdings eine varianzanalytische Verrechnung der Analysendaten nicht mehr möglich. Anstelle dieser wurde bei der Auswertung jedoch der WILCOXSON-Test angewandt.

Einige wichtige Kenndaten der untersuchten Böden, wie sie zu Versuchsbeginn ermittelt wurden, sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1

Die wichtigsten Bodenkennwerte und Nährstoffgehalte zu Versuchsbeginn im Frühjahr 1984
Main soil characteristics and nutrient contents at the beginning of the experiment, spring 1984

Boden- formation	Humus- gehalt (%)	Boden- art	pH	C _t (%)	N _t (%)	C/N	Nährstoffgehalt (mg/100 g)		
							P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
Buntsandstein	0,92	S	6,5	0,54	0,04	12,6	11	14	6
	1,57	lS	7,2	0,91	0,06	14,2	52	31	14
Muschelkalk	1,50	tL	7,6	0,87	0,09	9,6	6	19	16
	2,08	tL	7,4	1,21	0,12	10,3	33	39	17
Keuper	0,89	sL	7,4	0,52	0,05	10,4	16	33	21
	1,96	stL	7,4	1,14	0,09	12,1	51	56	27

Ergebnisse

In Abb. 2 sind (stellvertretend für das übrige, hier nicht dargestellte Datenmaterial) sowohl der jährliche N_{\min} -Verlauf als auch die mit zunehmender Versuchsdauer von Jahr zu Jahr, in Abhängigkeit von der Bodenformation, dem Humusgehalt, der N-Düngung und der Bepflanzung mit Reben, stattgefundenen Veränderungen des N_{\min} -Gehaltsniveaus wiedergegeben. Zur besseren Interpretation sind in Teil a) der Abb. 2 die mittleren monatlichen Bodentemperaturen in 0—25 cm Tiefe sowie die Monatssummen der Niederschläge dargestellt.

Jährliche N_{\min} -Dynamik: Aus den Kurvenverläufen der Abb. 2 ist ersichtlich, daß die N_{\min} -Gehalte einem witterungsbedingten jährlichen Zyklus mit Höchstwerten während der Sommermonate und Niedrigstwerten während der kalten Jahreszeit folgen. Dabei prägen die Bodentemperatur, die Bodenfeuchte sowie die Ergiebigkeit und Verteilung der natürlichen Niederschläge die Höhe der N_{\min} -Gehalte (MÜLLER 1985). Ab dem 3. Jahr fand eine kontinuierliche Verringerung des N_{\min} -Gehaltsniveaus statt, das allerdings, wie anschließend noch zu sehen sein wird, von den untersuchten Faktoren sehr unterschiedlich beeinflußt wurde.

Bodenformation: Wie aus Abb. 2 b) zu entnehmen ist, waren bei den dort dargestellten Böden der hohen Humusstufe in sämtlichen Jahren beim Muschelkalkboden die höchsten N_{\min} -Gehalte vorzufinden. Die höchste N_{\min} -Verfügbarkeit im Muschelkalkboden war allerdings auch durch die höchsten Humusgehalte bedingt, die diese Bodenformation im Versuch, aber auch auf Rebenstandorten in der Regel aufweist. Bei den in der vorliegenden Arbeit nicht dargestellten drei Versuchsböden mit niedriger Humusversorgung verfügte nicht der Muschelkalk-, sondern der Buntsandsteinboden die überwiegende Zeit über die höchsten N_{\min} -Gehalte. Daraus ergibt sich, daß der Einfluß der Bodenformation auf die aktuellen N_{\min} -Gehalte nicht losgelöst von den Humusgehalten des Boden beurteilt werden kann.

Humusgehalt: Stellvertretend für die übrigen Bodenformationen ist in Abb. 2 c) am Beispiel des Muschelkalkbodens der Einfluß des Humusgehaltes auf die Höhe und den jährlichen Verlauf der N_{\min} -Gehalte dargestellt. Die sehr viel geringere N_{\min} -Nachlieferung des Bodens mit niedrigem Humusgehalt ist unverkennbar. Auch sanken bei niedrigem Humusgehalt die N_{\min} -Gehalte spätestens 2 Jahre nach Versuchsbeginn, nachdem die heftige Phase der N-Mineralisation in den hier verwendeten aufgeschütteten Böden abgeklungen war, auf ein sehr geringes und nahezu gleichbleibendes Niveau ab. Wie es die Reben in den Lysimetern anzeigten, wurde der N-Bedarf auf dem Boden mit niedrigem Humusgehalt ab dem 4. Jahr nur noch mäßig gedeckt. Auf den vergleichbaren, hier nicht dargestellten Buntsandstein- bzw. Keuperböden mit niedrigem Humusgehalt war die N-Versorgung der Reben ohne zusätzliche mineralische N-Düngung ab dem 4. Jahr sogar unzureichend.

Mineralische N-Düngung: Wie aus Abb. 2 d) ersichtlich, bewirkte die mineralische N-Düngung alljährlich einen starken Anstieg der N_{\min} -Gehalte. Durch die verabreichte, mit 100 kg N/ha hoch bemessene jährliche N-Gabe, stiegen die N_{\min} -Gehalte auch in den Böden der hier nicht dargestellten Versuchskombinationen der übrigen Bodenformationen bzw. derjenigen mit niedrigem Humusgehalt so stark an, daß die humusgehaltsbedingten N_{\min} -Unterschiede wesentlich verringert wurden. Die mineralische N-Düngung konnte somit das durch eine geringere Humusbevorratung vorhandene N_{\min} -Defizit während der Vegetationszeit in allen Jahren sehr gut ausgleichen. Dadurch lag das N_{\min} -Angebot auch der Böden mit niedriger Humusversorgung selbst in den beiden letzten Jahren weit oberhalb des tatsächlichen Rebenbedarfs.

In den meisten Jahren waren die durch die mineralische N-Düngung verursachten N_{\min} -Anstiege im Vergleich zur Höhe der verabreichten N-Düngergaben unverhältnismäßig hoch. Abgesehen von 1987 — dem Jahr, das durch einen kühlen und verregneten Sommer gekennzeichnet war — wurde in den übrigen Jahren, vor allem aber 1984 und 1985, durch die N-Düngung ein deutlicher „Priming-Effekt“ hervorgerufen, der zu einer Anhebung des N_{\min} -Gehaltes bis zu einem Mehrfachen der jeweils gedüngten N-Menge führte.

Bepflanzung mit Reben: Wie aus Abb. 2 e) hervorgeht, führte die Bepflanzung mit Reben auf dem hoch mit Humus versorgten Muschelkalkboden, vor allem ab dem 4. Versuchsjahr, zu einer deutlichen Reduzierung der N_{\min} -Gehalte gegenüber „unbepflanzt“. Auf dem hier nicht dargestellten humusärmeren Boden bewirkte die Bepflanzung schon ab dem 2. Jahr eine starke Verminderung der N_{\min} -Gehalte. Die N_{\min} -gehaltsmindernde Wirkung der Bepflanzung mit Reben blieb jedoch, unabhängig von der Höhe des Humusgehaltes, vorwiegend auf die Vegetationszeit beschränkt.

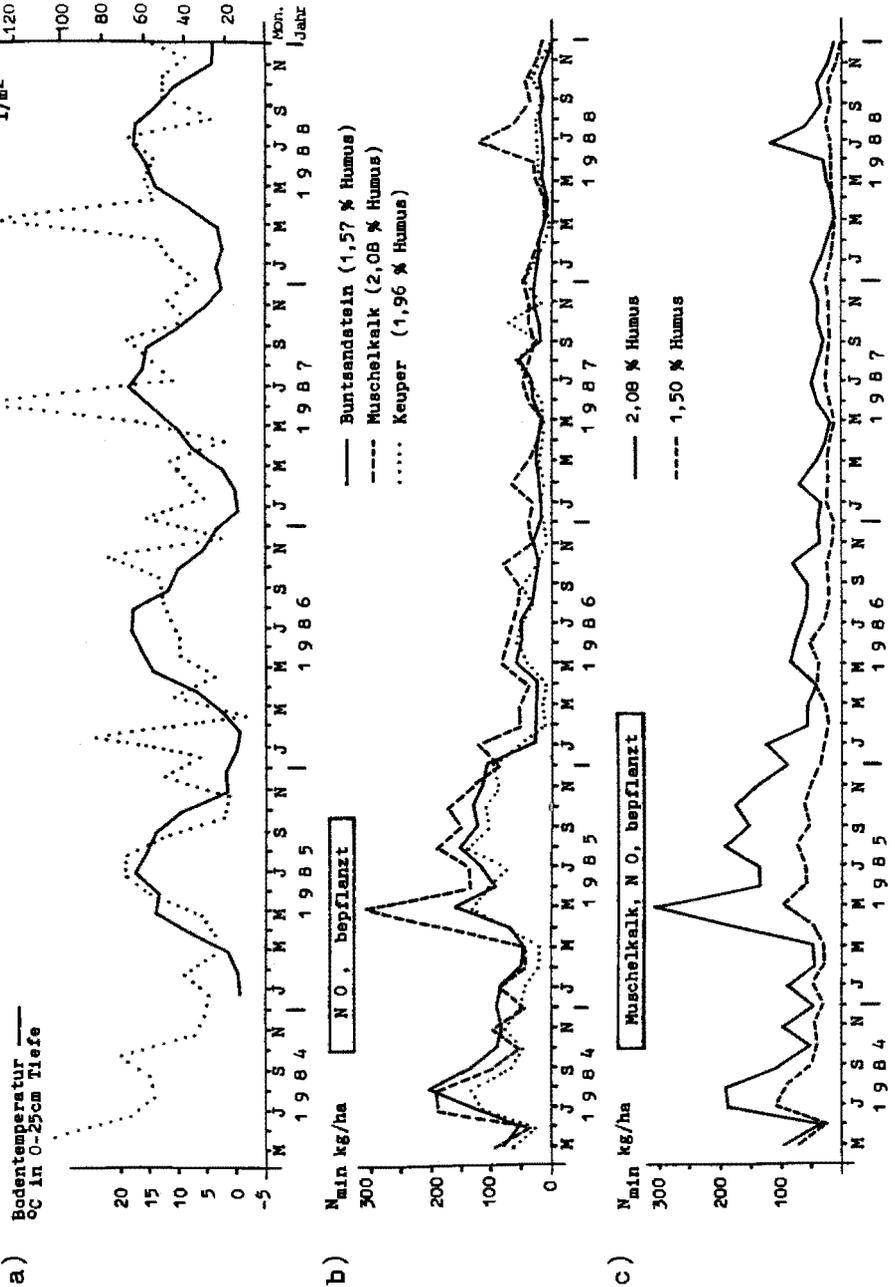
Einen guten Überblick über das natürliche N_{\min} -Nachlieferungspotential gibt der aus jeweils 12 Monatswerten eines Jahres berechnete mittlere N_{\min} -Gehalt. In Abb. 3 ist dieser jährliche N_{\min} -Mittelwert für sämtliche 24 Versuchskombinationen von 1984 bis 1988 dargestellt. Die daraus abgeleiteten Aussagen bezüglich des Einflusses der hier geprüften Faktoren decken sich weitgehend mit denen, die weiter oben anhand der monatlichen N_{\min} -Gehalte gemacht wurden. Dennoch sollen auch diese Ergebnisse hier kurz besprochen werden, weil sie den Einfluß der einzelnen Faktoren besonders deutlich herausstellen und das Zusammenwirken mehrerer Faktoren gleichzeitig erkennen lassen.

Je nach Faktorenkombination wurde ein sehr unterschiedliches mittleres jährliches N_{\min} -Angebot in den Böden vorgefunden. Dieses änderte sich auch von Jahr zu Jahr in Abhängigkeit vom Witterungsablauf.

Die Böden der niedrigen Humusstufe verfügten generell über ein deutlich geringeres N_{\min} -Nachlieferungsvermögen als die der hohen Humusstufe. Bei den ungedüngten

Böden der niedrigen Humusstufe hatte der Buntsandstein und bei denen der hohen Humusstufe der Muschelkalkböden das höchste N_{min} -Nachlieferungspotential. Die geringste N_{min} -Nachlieferung dagegen war in beiden Humusstufen beim Keuperboden vorzufinden.

Wurden die Böden mit Stickstoff gedüngt, so wiesen sie erwartungsgemäß, unab-



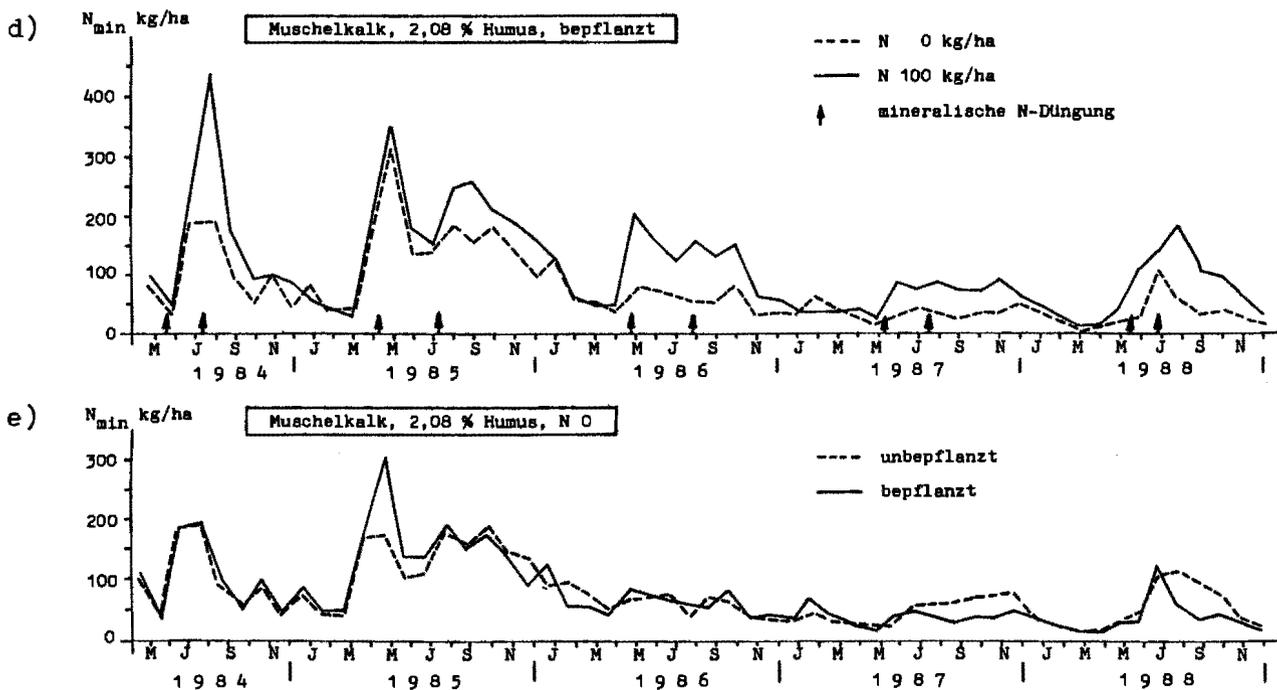


Abb. 2: Bodentemperatur und Niederschläge (a) sowie N_{\min} -Dynamik während der Jahre 1984 bis 1988 in Abhängigkeit von Bodenformation (b), dem Humusgehalt (c), der mineralischen N-Düngung (d) und der Bepflanzung mit Reben (e).

Soil temperature and precipitations (a), and N_{\min} dynamics during 1984 to 1988 in relation to parental soil (b), humus contents (c), mineral N fertilization (d) and presence of grapevines (e).

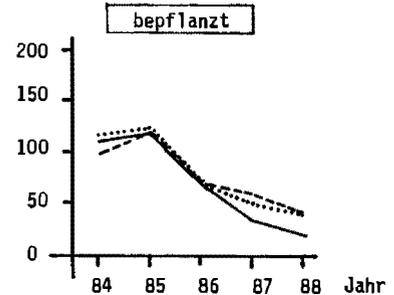
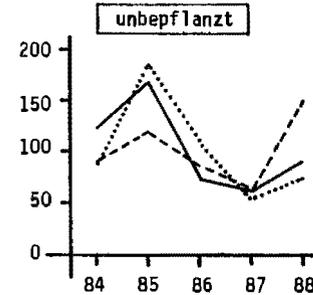
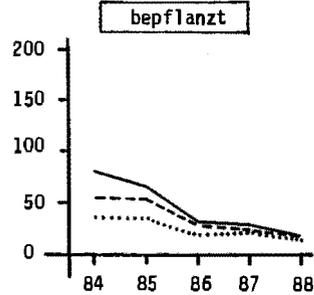
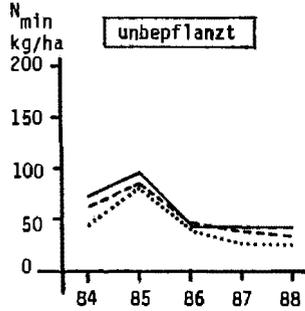
hängig von der Bodenformation und der Humusversorgung, wesentlich höhere mittlere jährliche N_{\min} -Gehalte auf als die ungedüngten. Die Schwankungen der mittleren jährlichen N_{\min} -Gehalte waren in den gedüngten Varianten jedoch wesentlich höher. Besonders in den Jahren mit heißer Witterung, wie 1985 und 1988, führte die mineralische N-Düngung zu einer starken Erhöhung des mittleren jährlichen N_{\min} -Gehaltes.

1. HUMUSSTUFE

Bu = 0,92%, Mu = 1,50%, Keu = 0,89%

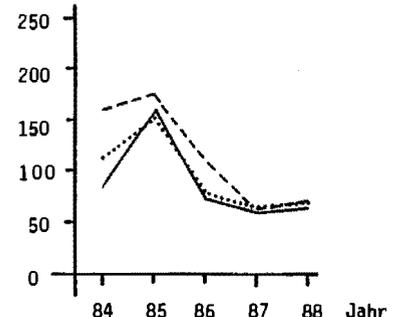
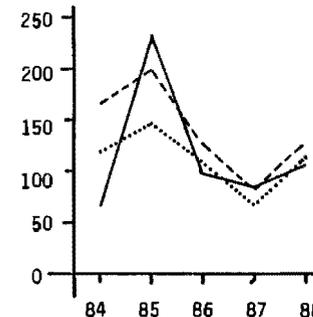
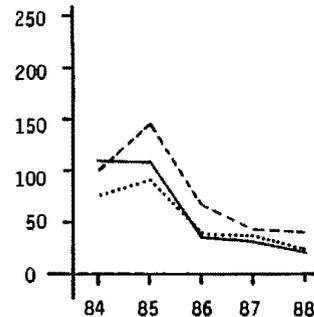
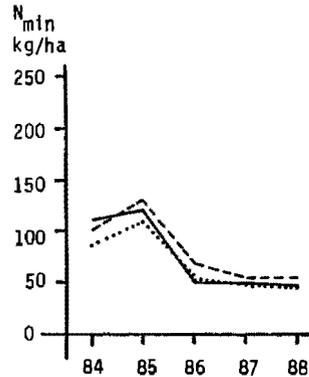
N 0

N 100



2. HUMUSSTUFE

Bu = 1,57%, Mu = 2,08%, Keu = 1,96%



Dies besagt, daß sich die mineralische N-Düngung je nach Jahrgang unterschiedlich auf die mittlere jährliche Verfügbarkeit an mineralischem Stickstoff im Boden auswirkt.

Die Bepflanzung mit Reben führte, unabhängig von der Bodenformation und der Humusstufe, sowohl in den ungedüngten als auch in den mit Stickstoff gedüngten Lysimetern, besonders ab dem 3. Standjahr der Reben, zu einer beträchtlichen Reduzierung des mittleren jährlichen N_{\min} -Angebots. In den ungedüngten Varianten der niedrigen Humusstufe war das mittlere jährliche N_{\min} -Angebot deshalb ab 1986 mit Gehalten von < 31, 29 bzw. 18 kg/ha nur noch mäßig bis unzureichend. In der hohen Humusstufe dagegen war das Angebot auch ohne mineralische N-Düngung, zumindest beim Muschelkalkboden, über die ganzen Jahre und beim Buntsandstein- und Keuperboden bis einschließlich 1987 noch ausreichend.

In den mit Stickstoff gedüngten Varianten bewirkte die Bepflanzung mit Reben eine deutliche Abschwächung der Jahresschwankungen der mittleren jährlichen N_{\min} -Gehalte. Auf den Böden der niedrigeren Humusstufe führte sie trotz der mineralischen N-Düngung von 100 kg N/ha bis einschließlich des letzten Versuchsjahres zu einer kontinuierlichen Abnahme. Die N-Versorgung der Reben war hier allerdings auch im letzten Jahr noch ausreichend gesichert.

Bei hohen Humusgehalten und gleichzeitiger mineralischer-N-Düngung war eine Abnahme der mittleren jährlichen N_{\min} -Gehalte nur von 1985 bis 1987 festzustellen, während 1988 (aufgrund der übermäßig guten Mineralisationsbedingungen) das N_{\min} -Niveau des Vorjahres erhalten blieb bzw. geringfügig angehoben wurde.

In Tabelle 2 sind die N_{\min} -Gehalte im Mittel der Jahre 1984—85 sowie von 1986—88 für sämtliche 24 Versuchskombinationen wiedergegeben. Die Trennung in zwei Zeitperioden wurde vorgenommen, um den Effekt der starken Durchlüftung aufgeschütteter Böden gegenüber dem Verhalten gesetzter Böden herauszustellen. Die Unterschiede zwischen den N_{\min} -gehalten im Mittel von 1984—85 und denen von 1986—88 sind eklatant. Bei den unbepflanzten Versuchskombinationen waren die N_{\min} -Gehalte im Mittel des 1. Versuchsabschnittes - Ausnahmen machten nur die gedüngten Varianten bei den Muschelkalkböden und die der hohen Humusstufe des Keuperbodens- nahezu doppelt so hoch wie die des 2. Abschnittes. Bei den bepflanzten Versuchskombinationen waren die Unterschiede zwischen den mittleren N_{\min} -gehalten der ersten 2 Jahre und denen der darauffolgenden 3jährigen Versuchszeit noch größer und zwar bei allen Böden. Je nach Versuchskombination wurden im 1. Abschnitt um bis zu 3,6 mal höhere mittlere N_{\min} -Gehalte (Variante: Buntsandstein, 1,57 % Humus, Null-N) gemessen als im 2. Abschnitt. Besonders auf den Böden der hohen Humusstufe wurden im Mittel der ersten 2 Jahre auch ohne N-Düngung, erst recht aber mit mineralischer N-Düngung, übermäßig hohe mittlere N_{\min} -Gehalte festgestellt. Sie lagen fast ausnahmslos oberhalb von 100 kg N/ha.

Die statistische Verrechnung des gesamten, während der 5 Versuchsjahre erfaßten Datenmaterials mittels des WILCOXON-Tests (Zahl der Werte für die Bodenformationen $n = 448$, für die Humusgehalte, N-Düngungsstufen sowie Bepflanzung mit Reben jeweils $n = 672$), ergab für alle vier untersuchten Faktoren H 1 %-Werte von 100. Dies bedeutet, daß über 1 Jahr oder über die gesamte 5jährige Untersuchungszeit betrachtet, die Unterschiede zwischen den N_{\min} -gehalten unterschiedlicher Bodenformatio-

Abb. 3: Mittlere jährliche N_{\min} -Gehalte (kg/ha) in 0—75 cm Tiefe der Buntsandstein- (Bu), Muschelkalk- (Mu) und Keuperböden (Keu) in Abhängigkeit vom Humusgehalt, von der mineralischen N-Düngung und der Bepflanzung mit Reben in den Jahren 1984 bis 1988.

Mean annual N_{\min} contents (kg N/ha) in 0—75 cm depth of new red sandstone soils (Bu), muschelkalk soils (Mu) and keuper soils (Keu) in relation to humus contents, mineral N fertilization and presence of grapevines, from 1984 to 1988.

Tabelle 2

N_{\min} -Gehalte der untersuchten Versuchskombinationen in 0–75 cm Tiefe · Mittelwerte der Jahre 1984–1985 sowie 1986–1988

N_{\min} contents of soils for the several treatments, measured in a depth of 0–75 cm · Averages of years 1984–1985 and 1986–1988

Boden- formation	Humus- gehalt (%)	Mineralische N-Düngung (kg/ha)	N_{\min} -Gehalte (kg N/ha)			
			Unbepflanzt		Bepflanzt	
			84–85	86–88	84–85	86–88
Buntsandstein	0,92	0	85	44	75	26
		100	146	75	116	42
	1,57	0	118	50	110	30
		100	149	98	124	67
Muschelkalk	1,50	0	75	41	55	23
		100	105	100	109	56
	2,08	0	117	59	125	51
		100	182	113	168	83
Keuper	0,89	0	64	31	35	18
		100	135	79	120	51
	1,96	0	98	49	82	33
		100	132	96	133	72

nen, Humusgehalte, N-Düngungsstufen und der Bepflanzung mit Reben statistisch gesichert waren. Innerhalb eines Jahres waren die N_{\min} -Unterschiede der einzelnen Monatswerte hauptsächlich während der Wintermonate eindeutig zu erkennen. In den Sommermonaten hingegen machten sich die Auswirkungen der zusätzlichen Einflußgrößen (Witterung, Bewirtschaftung, u.a.) bemerkbar, so daß die Stufen der untersuchten Faktoren nicht immer klar unterscheidbar waren,

Zur Beurteilung des Informations- bzw. des Aussagewertes von aktuellen N_{\min} -Gehalten sowie der Einflußgrößen, die die Höhe eines aktuellen N_{\min} -Gehaltes mitbestimmen, soll hier abschließend noch die Variabilität der in verschiedenen Jahren zu ein- und demselben Termin bestimmten N_{\min} -Gehalte besprochen werden. Dies ist von praktischer Bedeutung, weil bekanntlich anhand der N_{\min} -Gehalte zu Vegetationsbeginn bzw. zum Blütezeitpunkt die jeweils erforderlichen N-Düngungsgaben festgelegt werden. Auch werden die nach Beendigung der Vegetation (November) ermittelten N_{\min} -Gehalte zur Beurteilung der noch im Boden verbliebenen „Rest-Nitrat“-Gehalte verwendet, die während des Winters auswaschunggefährdet sind.

Bildet man die Differenz zwischen dem N_{\min} -Gehalt zum Ende eines Jahres und dem zum Ende des davor gelegenen Jahres, so erhält man, ungeachtet der dazwischen abgelaufenen N_{\min} -Dynamik (verursacht durch N-Mineralisation und N-Immobilisierung sowie N-Input und N-Output), die vom einen zum anderen Zeitpunkt stattgefundenen N_{\min} -Zu- oder -Abnahme.

Wie aus Abb. 4 zunächst schon aus den weißen Säulen ersichtlich, wurden zum gleichen Untersuchungszeitpunkt unterschiedlicher Jahre je nach Humusgehalt, N-Düngung oder Bepflanzung mit Reben sehr unterschiedliche N_{\min} -Gehalte vorgefun-

den. Geringere Gehaltsschwankungen von einem Jahr zum anderen waren lediglich in den Versuchskombinationen mit geringerem Humusgehalt ohne N-Düngung zu verzeichnen. Die mineralische N-Düngung verstärkte die Schwankungen der N_{\min} -Werte der einzelnen Jahre bei beiden Humusversorgungsstufen sehr. Die Bepflanzung mit Reben bewirkte eine Verminderung der N_{\min} -Schwankungen, allerdings nur in den Varianten mit niedrigen Humusgehalten. Auch war allein dort eine von 1984 bis 1988 jährlich abnehmende Tendenz der N_{\min} -Gehalte des Dezembertermins klar zu erkennen.

Die effektiven N_{\min} -Gehaltsänderungen, als Differenz zwischen den N_{\min} -Gehalten eines bestimmten Untersuchungstermins und denen des gleichen Termines des Vorjahres, sind in Abb. 4 mit schwarzen Säulen dargestellt. Innerhalb der niedrigeren Humusstufe wurden je nach Jahr und Faktorenkombination jährliche N_{\min} -Gehaltsveränderungen von -39 kg/ha bis $+105$ kg/ha verzeichnet. In den Varianten der hohen Humusstufe schwankten die N_{\min} -Gehaltsunterschiede von Jahr zu Jahr zwischen -94 kg/ha und $+82$ kg/ha. Dieser Sachverhalt läßt den Schluß zu, daß der aktuelle N_{\min} -Gehalt zu einem bestimmten Untersuchungszeitpunkt in verschiedenen Jahren sehr stark variieren kann.

Diskussion

An der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau Würzburg-Veitshöchheim werden seit 1975 ununterbrochen N_{\min} -Untersuchungen durchgeführt (MÜLLER und BUCHER 1981; MÜLLER 1985). Die in mehreren Düngungsversuchen und auf zahlreichen fränkischen Rebenstandorten vorgenommenen Untersuchungen haben es ermöglicht, sowohl die Aussagefähigkeit als auch die Grenzen der von SCHARPF und WEHRMANN (1976) beschriebenen N_{\min} -Methode im weinbaulichen Einsatz näher kennenzulernen. Ebenso konnten die N_{\min} -Dynamik von Weinbergsböden und die die N_{\min} -Verfügbarkeit beeinflussenden Faktoren eingehend geprüft werden (MÜLLER 1986).

Die gleichzeitige Untersuchung mehrerer Weinbergsböden unterschiedlicher Bodenformation, Humusgehalte, mineralischer N-Düngung und Bepflanzung unter gleichen Standortbedingungen wurde aber erst durch den hier beschriebenen Lysimeterversuch möglich.

Trotz mancher Vorbehalte, die gelegentlich gegenüber Ergebnissen aus Lysimeterversuchen geäußert werden, sind komplexe Fragestellungen, wie die eingangs beschriebenen, nur über derartige Versuche zu beantworten. Die hiermit erzielten Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten sind u.E. grundsätzlicher Art und bleiben von der Art der Versuchsanlage unbeeinflusst. Ihre Übertragbarkeit auf Feldbedingungen ist gegeben, weil die hier erzielten Ergebnisse mit denen entsprechender Feldversuche (MÜLLER 1985) gut übereinstimmen.

Sowohl in den Feld- als auch in den Lysimeterversuchen folgten die N_{\min} -Gehalte, ungeachtet des Einflusses anderer Faktoren, einem witterungsbedingten jährlichen Zyklus mit Höchstwerten während der Sommer- und Niedrigstwerten während der Wintermonate. Dabei prägten Bodentemperatur und Bodenfeuchte sowie die Ergiebigkeit und Verteilung der Niederschläge den Kurvenverlauf. Dieser Befund steht im Einklang mit Ergebnissen, die GÄRTEL (1981) auf Weinbergsböden des Moselgebietes erzielte. PERRET *et al.* (1989) untersuchten die Dynamik des pflanzenverfügbaren Stickstoffs anhand von fortlaufend extrahierter Bodenlösung. Auch unter schweizerischen Weinbaubedingungen mit Jahresniederschlägen von ca. 1500 mm konnte der oben beschriebene jährliche N_{\min} -Verlauf bestätigt werden.

Auf obstbaulich genutzten Böden fand WELLER (1972, 1983) einen ähnlichen temperatur- und witterungsbedingten Jahresverlauf der N_{\min} -Gehalte, wie er für Weinbergsböden typisch ist. Auf Ackerböden dagegen stellten DIEZ und SOMMER (1979) einen völlig anderen jährlichen Verlauf der N_{\min} -Gehalte gegenüber dem auf Weinbergsböden gefundenen Jahreszyklus fest, der vor allem durch den Wachstumsverlauf und den zeitlichen N-Bedarf bei Getreide, aber auch die Temperaturverhältnisse, die durch die Bodenbeschattung des Pflanzenbewuchses verursacht wurden, bedingt war.

Als weiterer bestimmender Faktor für das N_{\min} -Gehaltsniveau im Boden erwies sich in den vorliegenden Untersuchungen auch das Bodenausgangsmaterial. Die Bedeutung der Bodenbeschaffenheit für die Höhe und den jährlichen Verlauf der N_{\min} -Gehalte konnte WELLER (1972, 1983) auch für Obstbaustandorte bestätigen.

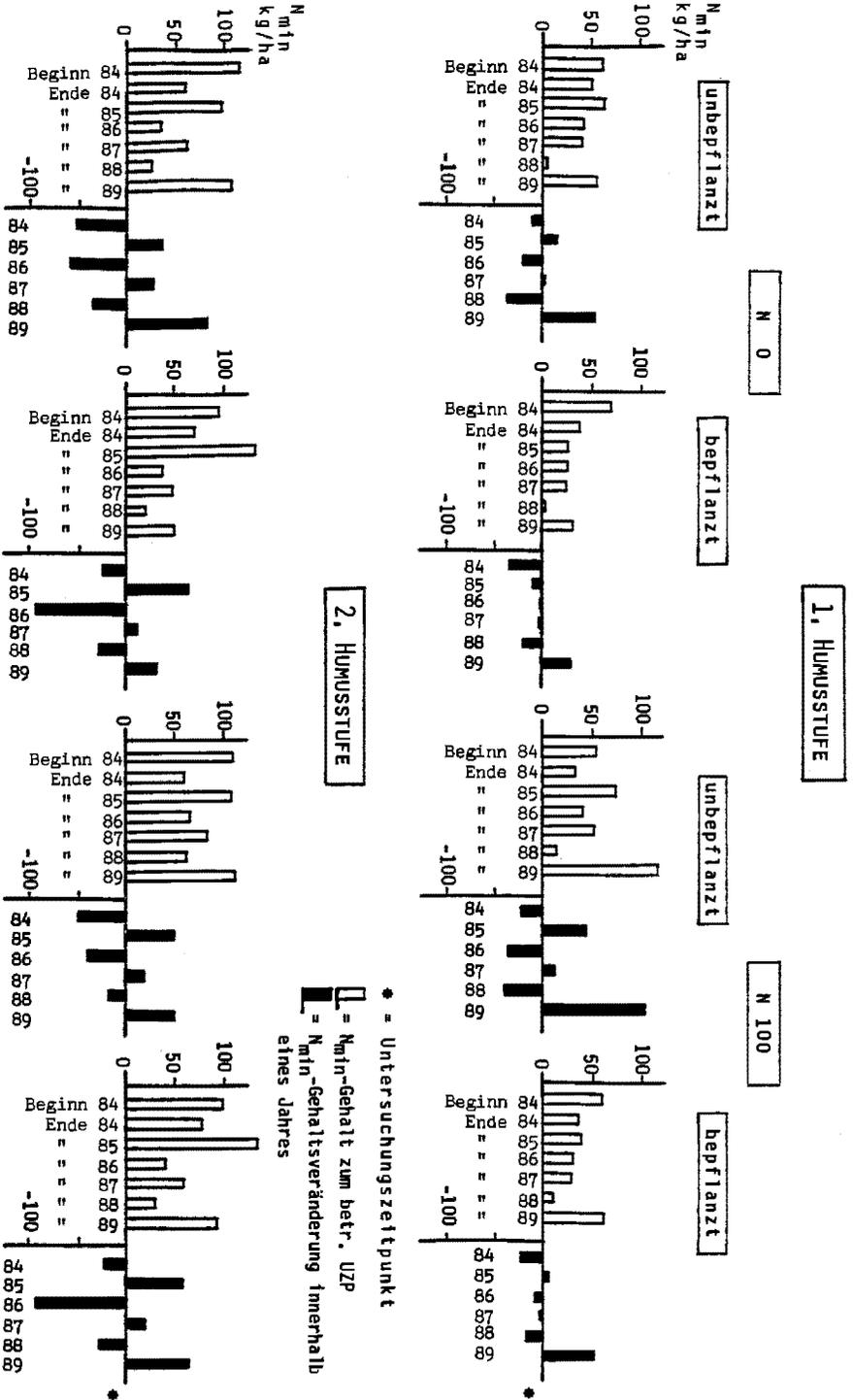
Die Bodenformation bedingt aber, zumindest im Weinbau, vielfach auch die Höhe des Humusgehaltes. Auf alten Rebenstandorten sind Muschelkalkböden in der Regel die humusreichsten, dagegen Buntsandsteinböden die humusärmsten. Keuperböden liegen dazwischen. Höhere Humusgehalte führen aber stets auch zu einem höheren N_{\min} -Gehaltsniveau (MÜLLER 1982, 1985). Unter den hier untersuchten Böden war, bedingt durch den Humusgehalt, das höchste N_{\min} -Nachlieferungspotential beim Muschelkalkboden zu finden. Bei in ihrer Höhe vergleichbaren Humusgehalten unterschiedlichen Bodenausgangsmaterials verfügte jedoch der Buntsandsteinboden über die höchsten und der Keuperboden über die niedrigsten N_{\min} -Gehalte. Da die N_{\min} -Nachlieferungsfähigkeit von standortspezifischen Faktoren wie Klima, Boden und Humusgehalt abhängig ist, ist das N_{\min} -Nachlieferungspotential ebenfalls standortspezifisch. Diese Aussage wird durch einschlägige Untersuchungen von KANNENBERG (1981) bestätigt.

Zur Vermeidung von Fehlinterpretationen soll an dieser Stelle jedoch nochmals darauf hingewiesen werden, daß dieses standortspezifische N_{\min} -Nachlieferungspotential keineswegs durch eine einzelne oder durch sporadisch durchgeführte N_{\min} -Untersuchungen erfaßt werden kann. Solche Untersuchungen zeigen stets nicht mehr und nicht weniger als einen momentanen N_{\min} -Gehalt an. Nur über zumindest ein Jahr fortlaufende, auf ein und demselben Standort durchgeführte N_{\min} -Untersuchungen oder aber über eine Untersuchung nach der EUF-Methode (MÜLLER 1990) kann das N_{\min} -Nachlieferungspotential eines Standortes ausreichend genau erkannt und wiedergegeben werden.

Die vorliegenden Untersuchungen brachten in besonderem Maße auch den Einfluß der mineralischen N-Düngung, der sich in mehrfacher Hinsicht entscheidend auf die N_{\min} -Gehalte des Bodens auswirkt, zum Ausdruck. Wie auch GARTEL (1981) nachweisen konnte, führte die mineralische N-Düngung grundsätzlich zur Erhöhung der N_{\min} -Gehalte im Boden, die aber jahreswitterungsbedingt und in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit sehr unterschiedlich ausfallen kann (MÜLLER 1982, 1986). Auch bei niedrigen Humusgehalten bewirkte die N-Düngung zum Teil hohe N_{\min} -Gehaltsanstiege und konnte somit den Einfluß niedriger Humusgehalte auf die N-Versorgung der Reben zumindest vorübergehend ausgleichen. Dadurch verwischte die mineralische N-Düngung über bestimmte Zeitabschnitte den Einfluß des Humusgehaltes auf

Abb. 4: N_{\min} -Gehalte der Muschelkalkböden in 0—75 cm Tiefe, jeweils zu Beginn bzw. zum Ende der Jahre 1984 bis 1989 und die innerhalb der einzelnen Jahre stattgefundenen N_{\min} -Gehaltsveränderungen (N_{\min} -Differenz zwischen Beginn und Ende eines Jahres) in Abhängigkeit vom Humusgehalt, der mineralischen N-Düngung und der Bepflanzung mit Reben.

N_{\min} contents of muschelkalk soils in 0—75 cm depth, at the beginning and end, respectively, of years 1984 to 1989, and changes of N_{\min} contents during the single years (difference between beginning and end of a year) in relation to humus contents, mineral N fertilization and presence of grapevines.



die N_{\min} -Nachlieferung im Boden. Auch führte laut Untersuchungen von PERRET (1989) eine mineralische N-Düngung von 100 kg N/ha zu einer Erhöhung des NO_3 -Gehaltes der Bodenlösung um das 10fache gegenüber der N-Null-Parzelle. Dieses übermäßige „In-Lösung-Gehen“ des mineralischen Bodenstickstoffs kann aber nur auf reichlich mit Wasser versorgten Böden erwartet werden; in der Schweiz mit 2- bis 3mal höheren Jahresniederschlägen als in deutschen Weinbaugebieten sind solche Böden gegeben.

Unter entsprechenden Bedingungen wird zudem durch die mineralische N-Düngung der sogenannte Priming-Effekt induziert, der auf Rebenstandorten zu einem Anstieg der N_{\min} -Gehalte um ein Mehrfaches der gedüngten N-Mengen führen kann (MÜLLER 1985). Die N_{\min} -Gehaltssteigerungen können über 1-2 Monate anhalten. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen erneut das Auftreten solcher durch die N-Düngung in Weinbergsböden hervorgerufenen Effekte, wie sie MÜLLER auch 1986 und neuerdings SCHMITT *et al.* (1991) beschrieben haben. Laut WELLER (1972) führte die mineralische N-Düngung auch auf obstbaulich genutzten Böden regelmäßig zu einem übermäßigen Anstieg der N_{\min} -Gehalte. DIEZ und SOMMER (1979) bestätigten das gelegentliche Auftreten des Priming-Effekts auch auf landwirtschaftlich genutzten Böden, wobei ihren Ergebnissen zufolge eine erhöhte NO_3 -Freisetzung durch die mineralische N-Düngung nur von kurzer Dauer war. Danach folgte eine organische Festlegung und eine erneute NO_3 -Freisetzung. Laut Ergebnissen von SCHMITT *et al.* (1991) können auch auf Weinbergsböden in Abhängigkeit von den vorhandenen Bedingungen unterschiedlich starke positive Priming-Effekte oder aber auch negative Effekte, d.h. N-Immobilisierungsvorgänge stattfinden. Somit führt die mineralische N-Düngung nicht nur zu einer vorübergehenden Erhöhung der N_{\min} -Gehalte, sondern gleichzeitig auch zu erheblichen zeitlichen Schwankungen der Gehalte an pflanzenverfügbarem Stickstoff im Boden.

Wie die Untersuchungen von MÜLLER und BUCHER (1981), KANNENBERG (1981), NEY-ROUD und PARISOD (1983), MÜLLER (1987) sowie PERRET *et al.* (1989) zeigten, übt die Art der Bewirtschaftung bzw. der Begrünung einen starken Einfluß auf die Höhe und Dynamik der N_{\min} -Gehalte des Bodens aus. Auch die hier im Vergleich zur Schwarzbirne untersuchte Bepflanzung mit Reben stellt eine wichtige Einflußgröße auf die Höhe und den Verlauf der N_{\min} -Gehalte im Boden dar. Die Bepflanzung mit Reben führte aber erst ab dem 3. Standjahr zu einer deutlichen Reduzierung der N_{\min} -Gehalte im Boden. Dies wird verständlich, wenn man berücksichtigt, daß die Stickstoffaufnahme der Reben im Jungfeld nur in sehr bescheidenem Umfang stattfindet und zudem der Rigoleffekt, der stets zu einem hohen Mineralisationsschub und demzufolge einer übermäßigen N_{\min} -Nachlieferung führt, 2—3 Jahre anhält.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigten, daß der aktuelle N_{\min} -Gehalt eines Bodens nicht nur durch Bewirtschaftungs- und Düngungsmaßnahmen, sondern auch durch standortspezifische Faktoren wie Bodenformation, Humusgehalt und Jahreswitterung maßgeblich beeinflußt wird. Auch bestimmt schließlich nicht ein einzelner, sondern das Zusammenspiel mehrerer oder aller Einflußfaktoren die Höhe des aktuellen N_{\min} -Gehaltes. Eine sinnvolle Verwertung von aktuellen N_{\min} -Daten kann deshalb nicht pauschal, sondern nur bei sehr differenzierter Betrachtung unter Einbeziehung sämtlicher beeinflussenden Faktoren vorgenommen werden.

Zusammenfassung

Die hier vorgestellten Ergebnisse der von 1984 bis 1988 monatlich durchgeführten N_{\min} -Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Der auf natürlichen Rebenstandorten beschriebene jährliche Verlauf der N_{\min} -Gehalte, mit Höchstwerten während des Hochsommers und Niedrigstwerten während der kalten Jahreszeit (MULLER 1985), wurde auch im Lysimeterversuch unter Freilandbedingungen bei sämtlichen sechs Böden drei verschiedener Bodenformationen wiedergefunden.
2. Die N_{\min} -Gehalte folgten einem witterungsbedingten jährlichen Zyklus, der vor allem von der Bodentemperatur, der Bodenfeuchte sowie der Ergiebigkeit und Verteilung der natürlichen Niederschläge geprägt war.
3. Die unterschiedlichen Bodenformationen ebenso wie auch die verschiedenen hohen Humusgehalte bewirkten ein unterschiedlich hohes Niveau der N_{\min} -Gehaltskurven.
4. Der Muschelkalkboden in Verbindung mit einem für diese Bodenformation in der Regel höheren Humusgehalt wies fortdauernd auch die höchsten N_{\min} -Gehalte auf.
5. Auf Böden mit gleichhohen Humusgehalten verfügte dagegen der Buntsandstein stets über die höchsten und der Keuperboden über die niedrigsten N_{\min} -Gehalte. Der Humusgehalt eines Bodens ist daher in Abhängigkeit von der jeweils vorhandenen Bodenformation unterschiedlich zu bewerten.
6. Weil sowohl die Witterungsverhältnisse, die Bodenformation als auch der Humusgehalt standortspezifisch sind, ist das N_{\min} -Nachlieferungspotential eines Bodens ebenfalls standortspezifisch. Mittels einer einzelnen N_{\min} -Untersuchung, die lediglich den momentan im Boden vorhandenen N_{\min} -Gehalt wiedergibt, kann dieses Potential jedoch weder erfaßt noch beurteilt werden.
7. Die mineralische N-Düngung führte stets zu einem Anstieg der N_{\min} -Gehalte, der aber witterungsbedingt und in Abhängigkeit von den übrigen Standortverhältnissen immer unterschiedlich hoch ausfiel. Ohne mineralische N-Düngung war bis zum Versuchsende eine kontinuierliche Abnahme des N_{\min} -Nachlieferungsvermögens der Böden festzustellen, die eine allmähliche Verarmung der N-Reserven des Bodens anzeigte.
8. Die Untersuchungen bestätigten ferner, daß die mineralische N-Düngung unter günstigen Bedingungen einen mehr oder minder starken Priming-Effekt auslöst, der zu einem übermäßigen Anstieg der N_{\min} -Gehalte führt und über mehrere Wochen anhält. Aber auch eine verstärkte Immobilisierung und Einbindung des mineralischen N-Düngers in die Biomasse des Bodens (negativer Priming-Effekt) trat gelegentlich entweder unmittelbar nach der N-Düngung oder nach einem kurzen N_{\min} -Anstieg auf.
9. Die Bepflanzung mit Reben übte auf die N_{\min} -Gehalte des Bodens erst ab dem 3. Standjahr einen deutlich reduzierenden Einfluß aus.
10. Durch die Verwendung aufgeschütteter Böden, die bei Anlage des Versuches in ihrem Zustand denen frisch rigolter Böden ähnlich waren, fanden in den ersten 2 Jahren auf sämtlichen Böden überaus intensive Mineralisationsabläufe statt, die zu einer entsprechend hohen N_{\min} -Nachlieferung führten.

Literatur

- DIEZ, TH.; SOMMER, G.; 1979: Veränderungen des Gehaltes an löslichem Bodenstickstoff (N_{\min}) im Jahresverlauf. Bayer. Landwirtschaftl. Jahrbuch 56, 351—363.
- GARTEL, W.; 1981: Wanderung des Nitrats in Weinbergsböden unter Berücksichtigung des durch Mineralisierung des Humus freiwerdenden Anteils. Jahrb. BBA, H 30—31.
- KANNENBERG, J.; 1981: Auswirkungen der Stickstoffdüngung im Ökosystem Weinberg. Rebe Wein 34, 134—138.

- MÜLLER, K.; 1982: Der pflanzenverfügbare Stickstoff in Weinbergsböden und die jährliche N-Düngung. *Dt. Weinbau* **37**, 330—334.
- — ; 1985: Abhängigkeit des pflanzenverfügbaren Stickstoffs (N_{min}) von den Humusgehalten und der mineralischen N-Düngung auf einem fränkischen Rebenstandort. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **148**, 169—178.
- — ; 1986: Untersuchung der natürlichen Nachlieferung des mineralischen pflanzenverfügbaren Stickstoffs durch die Mineralisation der organischen Substanz in Weinbergsböden. *Wein-Wiss.* **41**, 300—309.
- — ; 1987: Die Weinbergsbegrünung aus der Sicht der Rebenernährung; Teil I. Einfluß verschiedener Begrünungen auf die Gehalte an pflanzenverfügbarem Stickstoff in Weinbergsböden. *Rebe Wein* **40**, 150—155.
- — ; 1990: Die EUF-Analyse — was sie ist und was sie kann. *Dt. Weinbau-Jahrbuch* **41**, 87—94.
- — ; BUCHER, R.; 1981: Möglichkeiten des Einsatzes der N_{min} -Methode und der Blattanalyse zur Beurteilung des pflanzenverfügbaren Stickstoffes in Weinbergsböden — fünfjährige Ergebnisse. *Wein-Wiss.* **36**, 330—354.
- NEYROUD, J. A.; PARISOD, J. F.; 1983: Disponibilité de l'azote minéral pour la vigne en relation avec divers fumures et techniques culturales. *Rev. Suisse Viticult. Arboricult. Horticolt.* **15**, 367—371.
- PERRET, P.; KOBLET, W.; HAAB, M.; 1989: Bodenpflegemaßnahmen zur Steuerung des zeitlichen Stickstoffangebotes im Rebbau. *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* **125**, 616—623, 652—657.
- SCHARPF, H. C.; WEHRMANN, J.; 1976: Die Stickstoffdüngung zu Winterweizen nach Bodenuntersuchung. *Mitt. Dt. Landwirtschaft. Ges. H. 4*, 178—185.
- SCHMITT, L.; MÜLLER, K.; AHRENS, E.; 1991: Chemische und mikrobiologische Veränderungen in einem Rigosol nach mineralischer Düngung im langjährigen Feldversuch und kurzzeitigen aeroben Inkubationsversuch. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* (im Druck).
- WELLER, F.; 1972: Untersuchungen über das Stickstoffangebot in obstbaulich genutzten Böden. *Landwirtsch. Forsch.* **27**, II. Sonderh. 171—183.
- — ; 1983: Stickstoffumsatz in einigen obstbaulich genutzten Böden Südwestdeutschlands. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **146**, 261—270.

Eingegangen am 23.1.1991

Dr. K. MÜLLER
 Bayerische Landesanstalt
 für Weinbau und Gartenbau
 Residenzplatz 3
 D-8700 Würzburg
 BR Deutschland