

Institut für Bodenkunde „N. Puschkaroff“, Stickstofflaboratorium, Sofia
Institut für Weinbau, Laboratorium für Physiologie der Weinrebe, Plewen

Untersuchungen über die Stickstoffernährung der Weinrebe unter Anwendung des stabilen Stickstoffisotops ^{15}N

von

D. DINTSCHEFF, K. STOEFF, G. PESCHAKOFF und E. KOLAROWA

Es sind in der Literatur zahlreiche Untersuchungen über die Stickstoffernährung der Pflanzen bekannt. Trotzdem sind unsere Kenntnisse über die Umwandlung des dem Boden zugeführten mineralischen Stickstoffs und dessen Beteiligung an der Stickstoffernährung und dem Eiweißstoffwechsel der Pflanzen noch sehr lückenhaft. Dieser Mangel beruht darauf, daß der als Mineraldünger in den Boden eingeführte Stickstoff einen geringen Bruchteil des Gesamtbodenstickstoffs darstellt und infolgedessen sein Gleichgewicht in Boden und Pflanze nach den bisher bekannten Methoden nicht verfolgt werden konnte. Durch Einsatz der Isotopenmarkierung des Stickstoffs und durch die Entwicklung der Isotopenanalyse sind die erwähnten Schwierigkeiten in der Forschungsarbeit überwunden worden.

Das Interesse an der Anwendung des stabilen Stickstoffisotops ^{15}N bei den agrochemischen und biochemischen Untersuchungen ist angestiegen, besonders nach der Feststellung, daß weder ^{14}N noch ^{15}N von den lebendigen Organismen aus dem Nährmedium selektiv aufgenommen werden und daß ^{15}N keine schädliche Wirkung auf die pflanzlichen und tierischen Organismen ausübt. Dadurch ist die Möglichkeit zur Anwendung von hohen Konzentrationen des stabilen Isotops bei den Untersuchungen gegeben, womit auch eine höhere Genauigkeit der Methode erreicht wird.

Der stabile Charakter des Isotops ^{15}N eröffnet andererseits die Möglichkeit zur zeitlich unbegrenzten Forschung der Stickstoffumwandlungen in den Böden und Pflanzen.

Unter Anwendung der Methode der Isotopenmarkierung des Stickstoffs vorzugsweise bei Gefäßversuchen mit einjährigen Pflanzen gelangten zahlreiche Forscher zu neuen Erkenntnissen über die Stickstoffumwandlungen im Boden (2, 3, 7, 12, 13, 15) und über den Eiweißstoffwechsel in den Pflanzen (5, 6, 14). Im Anfangsstadium befinden sich jedoch die Versuche zur Anwendung des stabilen Stickstoffisotops ^{15}N bei der Erforschung der Stickstoffernährung der Pflanzen unter Feldbedingungen (8, 9). Versuche zur Prüfung der Stickstoffernährung von Dauerkulturen und im besonderen von Reben unter Anwendung dieser Methode sind uns unbekannt.

Die Hauptaufgabe der zahlreichen Untersuchungen über die Ernährung der Rebe mit Mineralstoffen, die in dem Überblick von CHRIST und ULRICH (10) erschöpfend behandelt sind, ist, den Einfluß der Düngung auf Ertrag und Qualität festzustellen. Verhältnismäßig gering ist die Anzahl der Veröffentlichungen, die die Verteilung des Stickstoffs in den verschiedenen Organen der Rebe behandeln. Es handelt sich dabei hauptsächlich um getrennte Bestimmung des Nitratstickstoffs und der löslichen und unlöslichen Stickstoffverbindungen.

Zur Untersuchung der Stickstoffernährung der Rebe wurden von uns in den letzten zwei Jahren Feldversuche unter Anwendung des stabilen Stickstoffisotops ^{15}N angestellt. Wir beachteten dabei hauptsächlich die Translokation und den Metabolismus des Stickstoffs in einigen oberirdischen Organen der Rebe und in den Trauben.

Material und Methoden

Als Mineraldünger verwendeten wir Ammoniumsulfat mit 11,5%igem Überschuß an ^{15}N , was einer 30,3fachen Anreicherung an ^{15}N entspricht. Die 10 g N enthaltende Ammoniumsulfatlösung wurde auf eine Bodenfläche von 1 m² unter den einzelnen Reben verteilt. Die Gabe entspricht 100 kg N/ha. Die Düngung wurde im Frühjahr, ca. eine Woche vor Vegetationsbeginn, durchgeführt. In dem Versuch wurden die im Versuchsfeld des Instituts für Weinbau, Plewen, auf ausgelaugtem Tschernosem-Boden angebauten Reben der Sorte „Bolgar“ im Alter von 10 Jahren aufgenommen.

Die agrochemischen und isotopenanalytischen Untersuchungen der Pflanzen und des Bodens wurden bei Vegetationsbeginn, im Verlauf des Blühens, bei Erbsengröße der Beeren, beim Reifebeginn der Trauben, im Zeitpunkt der physiologischen Reife und vor dem Eintritt des Laubfalls vorgenommen. Um den Einfluß des zugeführten N auf die Ernährung der benachbarten Reben zu überprüfen, wurden sowohl die gedüngten Versuchsreihen als auch die benachbarten Pflanzen getrennt isotopenanalytisch untersucht.

Die agrochemischen Untersuchungen wurden in 2 bzw. 3 Wiederholungen und die isotopenanalytischen in 6 Wiederholungen durchgeführt. Der absolute Fehler bei der Bestimmung der Isotopenzusammensetzung betrug $\pm 0,02\%$.

Der anorganische N in den Bodenproben wurde im Auszug mit 0,5 n Kaliumsulfatlösung, und zwar $\text{NH}_4\text{-N}$ durch Destillation des mit Natronlauge alkalisierten Auszugs und $\text{NO}_3\text{-N}$ gleichfalls durch Destillation in Gegenwart von Eisen-II-sulfat-Lösung als Reduktionsmittel bestimmt. Der organische N im Boden wurde nach der Semimikromethode von KJELDAHL nach Aufschluß der Probe mit konz. Schwefelsäure und Perhydrol bestimmt.

Die in der Pflanzensubstanz vorhandenen Stickstoffverbindungen wurden nach dem von F. W. TURTSCHIN (5) vorgeschlagenen Schema fraktioniert. Das Schema bietet die Möglichkeit zur Aufklärung der Beteiligung des Düngerstickstoffs an dem Aufbau der N-Fractionen in der Pflanze. Als solche Fraktionen betrachten wir das sog. Konstitutionseiweiß des Protoplasmas und das Vorratseiweiß sowie die organischen, eiweißfreien Stickstoffverbindungen, die vorwiegend durch Amide und Aminosäuren vertreten werden. Der Gesamtstickstoff in den nach dem erwähnten Schema getrennten Fraktionen wurde nach der Semimikromethode von KJELDAHL bestimmt. Ammonium- und Nitratstickstoff in den Pflanzenproben wurden ebenfalls durch Destillation bestimmt.

Die angewandten Schemata gestatteten die bei der Untersuchung herangezogenen chemischen und isotopenanalytischen Bestimmungen zu vereinigen. Das aus den einzelnen Fraktionen abdestillierte Ammoniak wurde in Vorlagen mit 0,02 n Schwefelsäure aufgefangen und der Säureüberschuß mit 0,02 n NaOH zur quantitativen Bestimmung des N zurücktitriert. Nach Ansäuern mit Schwefelsäure wurden die titrierten Destillate bis zur Konzentration von ca. 0,5 mg $\text{NH}_4\text{-N}$ je ml eingedampft und für die Bestimmung der Isotopenzusammensetzung verwendet. Die relative Häufigkeit des Isotops ^{15}N wurde bandenspektrometrisch untersucht auf Grund des spektroskopischen Isotopieeffekts, der sich durch Auftreten des Bandenkopfs der $^{14}\text{N}^{15}\text{N}$ -Moleküle bei 3162 Å neben dem Bandenkopf der $^{14}\text{N}_2$ -Moleküle bei 3159 Å äußert. Zu diesem Zweck wurde das durch Kjeldahlisierung erhaltene Ammoniak mit alkalischer Natriumhypobromit-Lösung zu elementarem Stickstoff in einer geeigneten Hochvakuumapparatur umgearbeitet und das erhaltene Stickstoffgas in Entladeröhrchen von etwa 5 ml Inhalt bei einem Druck von ca. 3 Torr abgefüllt. In den Entladeröhrchen erfolgte die elektrodenlose Anregung mittels eines Hochfrequenzsenders nach H. ZAHN (17) bei etwa 7 MHz. Das von den Stickstoffmolekeln emittierte Licht wurde in einem Quarzspektrograph ISP 28 zerlegt. Zur Angleichung der Intensität des Bandenkopfs der $^{14}\text{N}_2$ -Molekel an die des Bandenkopfs der $^{14}\text{N}^{15}\text{N}$ -Molekel wurde ein Stufenfilter nach H. FAUST (11) verwendet. Das Intensitätsverhältnis der Bandenköpfe wurde durch Photometrierung ihrer Schwärzungen auf der Spektralplatte mittels eines Schnellphotometers der Fa. VEB Carl Zeiss, Jena berechnet.

Ergebnisse

1. Umwandlungen des Stickstoffs im Boden

Die Ergebnisse von Tabelle 1 lassen eine maximale Menge an anorganischem N in den Anfangsstadien des Pflanzenwachstums und eine Abnahme desselben in den späteren Phasen erkennen. Die höchsten Mineralstickstoffmengen sind in der Bodenschicht 20–60 cm verteilt. Der organische Stickstoff nimmt mit der Tiefe des Bodenprofils ab.

Tabelle 1

Stickstoffgehalt und Isotopenzusammensetzung in den einzelnen Bodenstickstoff-Fractionen unter den gedüngten Versuchspflanzen
(N-Gehalt in mg/1000 g Boden, ^{15}N At. % Überschuß).

Wachstumsphasen	Bodentiefe in cm	$\text{NH}_4\text{-N}$		$\text{NO}_3\text{-N}$		organ. N	
		N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N
Vegetationsbeginn	0–20	8	0,05	15	0,05	1189	0,00
	20–40	15	2,60	25	2,60	1089	0,02
	40–60	20	2,58	20	2,60	890	0,02
	60–80	15	0,10	8	0,05	—	—
	80–100	5	0,00	8	0,00	—	—
Reifebeginn	0–20	8	0,58	15	0,90	1190	0,02
	20–40	10	0,60	15	0,60	1070	0,02
Vor dem Laubfall	0–20	4	0,00	7	0,00	1180	0,02
	20–40	8	0,00	8	0,00	1080	0,02
	40–60	10	0,00	5	0,00	900	0,02
	50–80	5	—	0	—	—	—
	80–100	0	—	0	—	—	—

Die Angaben über die Isotopenzusammensetzung deuten auf eine starke Verdünnung des zugeführten Ammoniumstickstoffs durch den Bodenstickstoff hin. Von 11,5 At. % vor Versuchsbeginn sinkt die relative Häufigkeit des Isotops ^{15}N auf 2,60 At. % bei Vegetationsbeginn, oder, in anderen Worten, es ist eine 4,5fache Isotopenverdünnung eingetreten. Die Menge des Düngerstickstoffs in der obersten Bodenschicht (0–20 cm) ist gering, weil der Boden von der Oberfläche beim Verarbeiten der Ammoniumsulfatlösung entfernt und nachher wieder zurückgebracht wurde. In der Phase des Reifebeginns nimmt der Anteil des markierten Stickstoffs in der Ammoniumfraktion scharf ab. Die Ammoniumfraktion in der Phase vor dem Laubfall der Rebe enthält überhaupt keinen markierten Stickstoff mehr. Das mit dem Sulfat eingeführte Ammonium wird rasch nitrifiziert und geht in die Nitratfraktion des Bodenstickstoffs über. Diese Schlußfolgerung wird durch die Angaben der Isotopenzusammensetzung des Nitratstickstoffs unterstützt, wonach die relative Häufigkeit des Isotops ^{15}N in der Nitratfraktion der Ammoniumfraktion entspricht. Die relative Häufigkeit des seltenen Isotops in der Nitratfraktion und in der Ammoniumfraktion nimmt in der Phase des Reifebeginns ab. In der Phase des Laubfalls ist kein Überschuß an ^{15}N zu beobachten. Die Ergebnisse der Isotopenanalyse zeigen, daß ein Teil des zugeführten, markierten N in die organische Fraktion des Bodenstickstoffs übergeht. Wenn man den hohen Prozentsatz der organi-

schen Boden-N-Fraktion in Betracht zieht, ist dieser Anteil beträchtlich, obwohl die natürliche relative Häufigkeit des seltenen Isotops mit nur 0,02 At. % übertroffen wird. Es ist aber darauf hinzuweisen, daß diese Ergebnisse in der Nähe der maximalen Isotopenverdünnung, und damit im Bereich des absoluten Fehlers liegen. Andere nicht veröffentlichte Beobachtungen unterstützen aber die obige Schlußfolgerung.

Aus Tabelle 1 ist außerdem ersichtlich, daß der in der organischen Bodenfraktion fixierte N keinen Veränderungen hinsichtlich der Isotopenzusammensetzung während der Vegetationsperiode unterliegt.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß der als Ammoniumsulfat in den Boden eingeführte N wesentlichen Umwandlungen unterliegt. Ein Teil geht in die Nitratform über, verteilt sich ungleichmäßig im Bodenprofil und wird durch die Wurzeln aufgenommen. Die Hauptmenge verteilt sich in der 60 cm tiefen Bodenschicht. Die vertikale Eindringung dieser Stickstoffformen, wenn auch im begrenzten Umfang, erreicht eine Tiefe von 80 cm.

Ein weiterer Anteil des dem Boden zugeführten N geht in die organische Bodenfraktion über und wird von der Rebe im gleichen Jahr nicht aufgenommen.

Durch chemische Vorgänge im Boden entweicht wahrscheinlich ein dritter Anteil des zugeführten N in die Atmosphäre. Die Versuchsanordnung gestattet aber keine quantitative Aussage über die Verluste dieser Art.

2. Translokation und Metabolismus des Stickstoffs in der Weinrebe

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse über Gehalt und Isotopenzusammensetzung des in den einzelnen N-Fractionen der Blätter vorhandenen Stickstoffs ersichtlich.

Tabelle 2

N-Gehalt und Isotopenzusammensetzung in der einzelnen Stickstoff-Fractionen der Blätter während der Vegetationsperiode
(N-Gehalt in mg/100 g Trockensubstanz, ^{15}N At. % Überschuß).

Wachstumsphasen	$\text{NH}_4\text{-N}$		$\text{NO}_3\text{-N}$		organ. eiweiß- freie N-Ver- bindungen		Vorratseiweiß		Konstitutions- eiweiß	
	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N
Blühen										
4.- 6. Blatt	—	—	10	2,62	52	2,62	82	2,60	4044	2,58
10.-12. Blatt	26	2,62	52	2,63	74	2,60	207	2,60	4317	2,60
Erbsengröße der Beeren										
4.- 6. Blatt	13	2,60	6	2,60	24	2,00	85	2,00	3279	2,50
10.-12. Blatt	47	2,60	8	2,58	107	1,90	102	2,00	4590	2,50
Reifebeginn										
4.- 6. Blatt	—	—	5	0,90	15	0,30	61	1,50	1049	2,00
10.-12. Blatt	—	—	5	0,58	15	0,35	69	1,40	1983	2,00
Physiologische Reife der Beeren										
4.- 6. Blatt	9	0,10	9	0,05	13	1,50	91	0,55	1749	0,50
10.-12. Blatt	18	0,05	7	0,02	11	1,50	81	0,50	1213	0,50
Vor dem Laubfall										
4.- 6. Blatt	11	0,00	2	0,00	17	1,00	93	0,50	929	0,50
10.-12. Blatt	29	0,00	4	0,00	32	1,20	212	0,60	1420	0,58

Hierbei wurden die am 4.–6. sowie am 10.–12. Knoten der Sommertriebe inserierten Blätter in verschiedenen Wachstumsphasen untersucht.

Die identische Isotopenzusammensetzung des Stickstoffs in allen N-Fractionen der Blätter während der Anfangsstadien des Wachstums sowie ihre Ähnlichkeit mit der Isotopenzusammensetzung des Ammoniumstickstoffs und Nitratstickstoffs im Boden spiegelt die intensive Beteiligung des dem Boden zugeführten N am Aufbau sämtlicher N-Fractionen der Blätter wieder. Weiterhin ist die starke Isotopenverdünnung des Ammonium- und Nitratstickstoffs im Verlauf der späteren Phasen zu erkennen, was mit der Erschöpfung des im Boden markierten N und mit dessen intensiven Ersatz durch Bodenstickstoff erklärt werden kann. Der in den Blättern vorhandene Ammonium- und Nitratstickstoff vor dem Laubfall stammt nur aus dem Bodenstickstoff. Bis zum Eintritt der physiologischen Reife wird eine beträchtliche Isotopenverdünnung auch in der organischen eiweißfreien N-Fraktion beobachtet, die, wie erwähnt, hauptsächlich Amide und Aminosäuren einschließt. Daraus folgt, daß dieselbe Fraktion neben dem Ammonium- und Nitratstickstoff eine wesentliche Rolle bei der Stickstoffversorgung der Blätter über die Wurzeln spielt. ULRICH (16), BIBLINA (1), POPOFF (4) u. a. stellten gleichfalls fest, daß der Stickstoffgehalt der Blätter in den Anfangsstadien des Wachstums (etwa bis zur Blüte) ein Maximum erreicht und nachher stark, etwa um die Hälfte, zurückgeht. In der Phase der physiologischen Reife und vor dem Laubfall erfährt die organische eiweißfreie N-Fraktion eine erneute Anreicherung an ^{15}N . Es ist anzunehmen, daß diese Erscheinung mit einem Abbau der ^{15}N -haltigen Eiweißverbindungen in den Blättern und einem Übergang der Abbauprodukte zu anderen Organen der Rebe verknüpft sein kann. Die organische eiweißfreie N-Fraktion spielt also eine wesentliche Rolle bei der Überführung des Stickstoffs von den Blättern zu den übrigen Organen der Rebe. Aus Tabelle 2 ist dabei ersichtlich, daß die Stickstoffmengen der Konstitutions- und Vorratseiweiße der Blätter im Verlauf der beiden letzten Phasen scharf zurückgehen. Diese Erscheinung steht in Zusammenhang mit einer Abwanderung des Stickstoffs von den Blättern zu den Trauben und Sommertrieben. Die relative Häufigkeit des seltenen Isotops im Eiweiß-N erfährt eine 5fache Verminderung vor dem Laubfall im Vergleich mit dem Anfangsstadium. Daraus ist zu schließen, daß der Stickstoff dieser Fraktion nicht nur einen starken mengenmäßigen Rückgang erfährt, sondern auch qualitativen Veränderungen und einer intensiven Erneuerung unterliegt. Daher erscheint die Annahme berechtigt zu sein, daß in dem N-Stoffwechsel der Pflanzen nicht nur die Vorrats-, sondern auch die Konstitutionseiweiße beteiligt sind. Die letztgenannten erwiesen sich nicht so stabil und unveränderlich, wie man bisher annahm. Zur gleichen Schlußfolgerung kommt auch TURTSCHIN (5, 6) in seinen Untersuchungen an Hafer.

Die in Tabelle 2 dargelegten Angaben über die absolute Stickstoffmenge sowie ihre Isotopenzusammensetzung zeigen, daß in den zwischen dem 10.–12. Knoten inserierten Blättern eine intensivere N-Synthese erfolgt als in den niedriger inserierten Blättern.

Die Ergebnisse über die Isotopenzusammensetzung des Stickstoffs und den Stickstoffgehalt in den einzelnen Fraktionen der Sommertriebe im Abschnitt zwischen dem 4.–6. und zwischen dem 10.–12. Knoten sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Angaben zeigen, daß die Verteilung des Stickstoffs in den verschiedenen Fraktionen und die Umwandlungen während des Wachstums der Pflanzen denselben Gesetzmäßigkeiten unterliegen wie in den Blättern. Bemerkenswert ist nur der Unterschied, wonach die Eiweißfraktion in den Sproßachsen mengenmäßig bis zum Reifebeginn abnimmt und in den beiden letzten Phasen (physiologische Reife und

Tabelle 3

N-Gehalt und Isotopenzusammensetzung in den einzelnen Stickstoff-Fractionen der Sommertriebe während der Vegetationsperiode
(N-Gehalt in mg/100 g Trockengewicht, ^{15}N At. % Überschuß).

Wachstumsphasen	$\text{NH}_4\text{-N}$		$\text{NO}_3\text{-N}$		organ.eiweiß. freie N-Ver- bindungen		Vorratseiweiß		Konstituti- ons-eiweiß	
	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N
Vegetationsbeginn	14	2,60	20	2,62	41	2,60	258	2,58	3497	2,50
Blühen										
4.- 6. Knoten	12	2,60	17	2,63	28	2,62	107	2,60	3389	2,50
10.-12. Knoten	49	2,58	26	2,60	70	2,60	174	2,60	—	—
Erbsengröße der Beeren										
4.- 6. Knoten	32	2,10	44	2,06	94	2,10	134	2,00	568	2,03
10.-12. Knoten	60	2,03	65	2,00	140	2,10	193	2,00	831	2,00
Reifebeginn										
4.- 6. Knoten	8	0,50	7	0,58	11	0,40	74	0,38	246	1,50
10.-12. Knoten	71	0,58	83	0,40	237	0,30	146	0,36	213	1,40
Physiologische Reife										
4.- 6. Knoten	3	0,02	5	0,00	10	0,95	58	0,85	500	0,90
10.-12. Knoten	5	0,00	5	0,00	15	0,80	80	0,90	568	0,80
Vor dem Laubfall										
4.- 6. Knoten	8	0,00	7	0,00	16	0,65	111	0,70	590	0,68
10.-12. Knoten	13	0,00	7	0,00	13	0,60	89	0,63	514	0,60

vor dem Laubfall) wieder ansteigt. Während der letzten Phasen sind mithin Prozesse der Eiweißsynthese in den Sommertrieben zu beobachten. Die Angaben der Isotopenzusammensetzung sprechen auch hier für eine intensive Erneuerung der primär synthetisierten Eiweißverbindungen.

Etwas anders verlaufen die N-Stoffwechselprozesse in den Trauben. Die Angaben der Tabelle 4 zeigen, daß der Stickstoff hauptsächlich in Form von Ammonium-N und organischen, eiweißfreien Verbindungen in die Beeren gelangt. Der Nitrat-N-Gehalt der Beeren ist gering. Die isotonanalytischen Ergebnisse zeigen, daß der Ammonium-N und die organischen eiweißfreien N-Verbindungen in den Beeren bis zum Reifebeginn ausschließlich vom Bodenstickstoff herrühren. Dafür spricht auch die beträchtliche Isotopenverdünnung des Stickstoffs dieser Fraktionen bis zu diesem Zeitpunkt. In den späteren Phasen der physiologischen Reife und vor dem Laubfall beobachteten wir aber eine starke Anreicherung dieser N-Fractionen an ^{15}N , was auf N-Verbindungen mit höherer ^{15}N -Konzentration als Stickstoffquelle für die Bildung des Ammoniums und der organischen eiweißfreien Stickstoffverbindungen in den Beeren hindeutet. Als solche Verbindungen sind wahrscheinlich die Eiweißfraktionen der Blätter und der Sommertriebe anzusehen, die einem intensiven rückläufigen Prozeß im Verlauf der letzten Phasen unterliegen. Die Abwanderung des Stickstoffs, von den Blättern und Sommertrieben in die Beeren verläuft sicherlich in Form von organischen eiweißfreien Stickstoffverbindungen als Amide und Aminosäuren.

Der beobachtete gesteigerte Ammoniumstickstoffgehalt in den Beeren hängt vermutlich mit den Prozessen der Desaminierung und Umaminierung der organi-

Tabelle 4
N-Gehalt und Isotopenzusammensetzung in den einzelnen Stickstoff-Fractionen der Trauben während der Vegetationsperiode
(N-Gehalt in mg/100 g Trockensubstanz, ^{15}N At. % Überschuß).

Wachstumsphasen	NH ₄ -N		NO ₃ -N		organ. eiweiß- freie N-Ver- bindungen		Vorratseiweiß		Konstituti- onseiweiß	
	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N	N-Gehalt	^{15}N
Blühen	119	2,60	18	2,63	78	2,60	259	2,00	2459	1,79
Erbsengröße der										
Beeren	101	2,00	6	2,00	33	2,00	66	1,50	2497	1,50
Reifebeginn	154	0,55	4	0,40	130	0,50	67	1,49	2230	1,49
Physiologische Reife	71	1,50	8	0,00	20	1,50	122	1,55	2000	1,40
Vor dem Laubfall	73	1,50	3	0,02	35	1,50	199	1,50	2295	1,50

schen N-Verbindungen bei der Synthese von neuen Eiweißverbindungen in den Beeren zusammen. Als Herkunftsort des Nitrat-N in den Beeren während der ganzen Vegetation muß man den Boden ansehen. Das wird von den Angaben der Isotopenzusammensetzung der Nitrat-N-Fraktion bestätigt. Aus Tabelle 4 ist noch ersichtlich, daß der Stickstoff in der Konstitutionseiweißfraktion während der ganzen Vegetation eine gewisse Stabilität aufweist. Dafür sprechen sowohl die absolute Menge, als auch die Isotopenanalyse. Die Erneuerung des in der Vorratseiweißfraktion eingeschlossenen Stickstoffs ist gering. Aus dem Gesagten geht hervor, daß vom Beerensatz bis zur Vollreife ausschließlich Prozesse der Synthese von organischen Stickstoffverbindungen in den Beeren ablaufen.

3. Ausnutzung des Stickstoffs von benachbarten Reben

Die stabile Isotopenmarkierung gestattet es festzustellen, ob der dem Boden zugeführte Stickstoff auch an der N-Ernährung der in der Nähe der Versuchspflanzen wachsenden Reben beteiligt ist. Zu diesem Zweck wurden während der Vollreife Stichproben von den zwischen dem 4.-6. Knoten der Sommertriebe inserierten Blättern vorgenommen.

Die Ergebnisse sind in Abb. 1 zusammengestellt. In der Mitte steht die gedüngte Rebe. In senkrechter Richtung sind mit Nummer 1 bis 6 die in derselben Reihe angebauten Reben gekennzeichnet und in waagerechter Richtung mit den Nummern 1 bis 5 die in fünf nebeneinanderfolgenden Reihen angebauten Reben. Die Zahlen im Zähler beziehen sich auf den Gehalt an Gesamtstickstoff in mg/100 g Trockensubstanz und die Zahlen im Nenner auf den Überschuß an ^{15}N in At. %.

Die Isotopenanalyse zeigt, daß der zugeführte Stickstoff an der Ernährung von 5 benachbarten Reben in derselben Reihe und von 3 aufeinanderfolgenden Stöcken der benachbarten Reihen beteiligt ist. Beträchtliche Mengen ^{15}N werden von den nächsten zwei Reben aufgenommen, die sich neben der gedüngten Pflanze befinden. Die von der ersten neben der gedüngten Pflanze angebauten Rebe aufgenommene N-Menge beträgt ca. 50% von derjenigen, die in der gedüngten Rebe nachzuweisen war. Die relative Häufigkeit des seltenen Isotops in den Blättern der gedüngten Rebe beträgt 1,04 At. %. Die Blätter der in unmittelbarer Nachbarschaft angebauten Reben enthalten dementsprechend 0,53, 0,45, 0,48 oder 0,50 At. % ^{15}N . Beträchtliche Mengen von ^{15}N sind in den darauffolgenden Reben zu finden, deren Blätter 0,20,

				6	$\frac{2761}{0,00}$															
				5	$\frac{2679}{0,02}$															
				4	$\frac{2734}{0,02}$															
				3	$\frac{2570}{0,08}$															
				2	$\frac{2587}{0,20}$															
				1	$\frac{2871}{0,53}$															
5	4	3	2	1	$\frac{2780}{1,04}$	1	2	3	4	5										
$\frac{3281}{0,00}$	$\frac{3000}{0,00}$	$\frac{2898}{0,02}$	$\frac{3128}{0,30}$	$\frac{2652}{0,50}$	$\frac{2515}{0,45}$	$\frac{2679}{0,35}$	$\frac{3062}{0,08}$	$\frac{2953}{0,00}$	$\frac{2789}{0,00}$											
				1	$\frac{2570}{0,48}$															
				2	$\frac{2854}{0,30}$															
				3	$\frac{3172}{0,08}$															
				4	$\frac{2679}{0,06}$															
				5	$\frac{2789}{0,00}$															
				6	$\frac{2734}{0,00}$															

Abb. 1

N-Gehalt und Isotopenzusammensetzung der Stickstoffverbindungen in den Blättern der Reben, die der gedüngten Rebe benachbart sind.
(Gehalt an Gesamtstickstoff in mg/100 g Trockensubstanz im Zähler und Überschuß an ^{15}N in At. % im Nenner).

0,35, 0,30 bzw. 0,30 At. % ^{15}N enthalten. Die weiter entfernten Reben zeigen einen viel niedrigeren ^{15}N -Gehalt im Gesamtstickstoffgehalt der Blätter, woraus zu schließen ist, daß die Beteiligung des Düngerstickstoffs an deren Mineralstoffernährung gering ist.

Die gewonnenen Erkenntnisse lassen aufschlußreiche Folgerungen über die Verbreitung des Wurzelsystems in horizontaler Richtung sowie über die minimale Breite der Schutzstreifen bei der Anlage von Felddüngungsversuchen zur Prüfung der Mineralstoffernährung der Rebe ziehen.

Aus der Überlegung, daß der Abstand zwischen den einzelnen Reben in der Reihe 1,4 m und der Reihenabstand rund 2,0 m beträgt, geht hervor, daß das Wurzelsystem der auf die Unterlagsorte *Rupestris* du Lot gepfropften und auf ausge-

laugtem Tschernosem-Boden angebauten Versuchspflanzen sich auf einer Fläche mit einem Durchmesser von etwa 16 m verbreitet. So breit muß auch der minimale Schutzstreifen bei der Versuchsanlage sein, um Nachbarwirkung und gegenseitige Beeinflussung aneinanderstoßender Teilstücke auszuschalten. Es ist zu bemerken, daß die bisher durchgeführten Feldversuche ohne Berücksichtigung dieser Bedingung angelegt wurden.

Die Ergebnisse könnten auch als Anhaltspunkt zur Abänderung der praxisüblichen Verabreichung der Handelsdünger in jeder Pflanzenreihe dienen. Wir sind zu der Annahme geneigt, daß Dank der horizontalen Ausbreitung des Wurzelsystems auch bei Düngung jeder zweiten Reihe eine gleichmäßige Nährstoffversorgung der auf den ungedüngten Bodenstreifen wachsenden Reben gesichert wird. Die experimentelle Bestätigung dieser Annahme kann zu einer wesentlichen Entwicklung auf dem Gebiet der Düngung führen.

Zusammenfassung

Unter Anwendung von mit ^{15}N markiertem Ammoniumsulfat als Düngemittel konnten hauptsächlich folgende Ergebnisse über dessen Umwandlung im Boden und in der Rebe erhalten werden:

Ein beträchtlicher Anteil des dem Boden zugeführten Ammoniumstickstoffs geht verhältnismäßig rasch in Nitratform über. Beide anorganischen Formen (Ammonium- und Nitratstickstoff) verteilen sich ungleichmäßig im Bodenprofil. Der Hauptanteil konzentriert sich in der 60 cm tiefen Bodenschicht, während geringe Mengen eine Tiefe von 80 cm erreichen.

Ein weiterer Anteil des Stickstoffs geht in die organische Bodenfraktion über und wird während des ersten Jahres der Düngung von der Rebe nicht aufgenommen.

Der dem Boden zugeführte ^{15}N wird von der Rebe nur im Verlauf der Anfangsstadien der Entwicklung ausgenutzt. Er wandert in die Blätter, Sommertriebe und Trauben vorwiegend in Form von Ammonium- und Nitrat-N sowie von organischen eiweißfreien N-Verbindungen. Der Stickstoff wird fast ausschließlich in die Konstitutionseiweiße und weniger in die Vorratseiweiße dieser Organe eingebaut.

Zu Beginn der Reife, der physiologischen Reife und vor dem Laubfall geht der in den Blättern und Sommertrieben vorhandene Eiweißstickstoff in die Trauben über.

Im Verlauf sämtlicher Wachstumsphasen wird der in den Blättern und Sommertrieben vorhandene Konstitutionseiweiß-N intensiv erneuert. Daraus ist zu schließen, daß diese N-Fraktion eine wesentliche Rolle im N-Stoffwechsel der Rebe spielt.

Außer bei der Ernährung der gedüngten Rebe wird der dem Boden zugeführte Stickstoff auch von benachbarten Reben aufgenommen.

Literaturverzeichnis

1. BIBLINA, L. J.: Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalt der Reben in Abhängigkeit von den Ernährungsbedingungen. Ber. Moldauisch. Fil. Akad. Wiss. UdSSR, 6 (51) (1958).
2. DINTSCHEFF, D., K. BADJOFF, G. HUBENOFF und R. GEORGIEWA: Untersuchungen über die Umwandlungen des Stickstoffs in dem Boden und Stickstoffaufnahme durch die Pflanzen mit Hilfe des stabilen Stickstoffisotops ^{15}N . Pflanzenbauwiss., 7 (1964).

3. — — und SUN-KA-JUN: Untersuchungen über die Umwandlungen des organischen Stickstoffs in dem Boden unter Anwendung von ^{15}N . Pflanzenbauwiss., 12 (1964).
4. POPOFF, T.: Untersuchungen über die Dynamik des Stickstoffs, Phosphors und Kaliums bei der auf Tschernosem-Boden angebauten Weinrebesorte Bolgar. Ber. Inst. Weinbau Plewen, Bulgarien, 1 (1962).
5. TURTSCHIN, F. W., S. N. BERSENJEWA, I. A. KORITZKAJA, G. G. SHIDKICH und G. A. LOBOWIKOWA: Die Geschwindigkeit der Eiweiß- und Chlorophyllerneuerung in den höheren Pflanzen. Ber. Akad. Wiss. UdSSR, Biol. Ser., 6, 66—78 (1953).
6. — — , M. A. GUMINSKAJA und E. G. PLISCHESKAJA: Untersuchungen über die Stickstoffernährung und den Stoffwechsel in den Pflanzen unter Anwendung des Stickstoffs ^{15}N . Session Akad. Wiss. UdSSR über friedl. Anwendung d. Atomenergie, Moskau, 234—253 (1955).
7. BROADBENT, F. and F. STOJANOVIC: The effect of partial pressure of oxygen on some soil nitrogen transformation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 16, 359—366 (1959).
8. CHENG, H.: Chemical distribution of added nitrogen in soil. Soils a. Fertilizers, 25, 179 (1963).
9. — — and L. T. KURTZ: Chemical distribution of added nitrogen in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 3, 312—316 (1963).
10. CHRIST, E. G. and A. ULRICH: Fruit nutrition, 3, 295—343 (1954).
11. FAUST, H.: Zur spektroskopischen ^{15}N -Bestimmung unter Anwendung eines Stufenfilters. Z. anal. Chem., 175, 9 (1960).
12. JANSON, S.: Balance sheet and residual effects of fertilizers nitrogen in a 6-year study with ^{15}N . Soil Sci. 1, 31—37 (1963).
13. MACVICAR, R., W. GARMAN and R. WALL: Studies of nitrogen fertilizer utilisation using ^{15}N . Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 15, 205—208 (1950).
14. MICHAEL, G., H. FAUST und B. BLUME: Die Verteilung von spätgedüngten ^{15}N in den reifenden Gerstenpflanzen unter besonderer Berücksichtigung der Korneiweiße. Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenkunde, 91, 158—169 (1960).
15. TURTSCHIN, F. W., S. N. BERSENJEWA, I. A. KORITZKAJA, G. G. SHIDKICH und G. A. LOBOWIKOWA: Die Stickstoffumwandlung im Boden nach Angaben der Untersuchungen unter Anwendung des Isotops ^{15}N . Transact. 7th Internat. Congr. Soil Sci., 2, 236—245, Madison (1960).
16. ULRICH, A.: Nitrate content of grape leaf petioles as an indicator of the nitrogen status of the plant. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 41, 213—218 (1952).
17. ZAHN, H.: Über die spektroskopische Methode zur quantitativen Bestimmung von ^{15}N in Stickstoff. Optik aller Wellenlänge, Akademie-Verlag, Berlin, 58—62, (1959).

Eingegangen am 25. 9. 1964

Prof. K. STOEFF
 Akad. Landwirtschaftswiss. in Bulgarien
 Sofia
 Bul. „Dragan Zankow“ 5