

Entwicklung der Grundnährstoffgehalte in Böden Österreichs

F. Heinzlmaier, G. Dersch, A. Baumgarten und M.H. Gerzabek

Temporal trends of macro nutrient contents in Austrian soils

1 Einleitung und Zielsetzung

Abbildung 1 spiegelt den Nährstoffverbrauch in Österreich vom Beginn der 1960er-Jahre bis zum Düngjahr 2002/03 wieder. Während in den 60er und Anfang der 70er-Jahre der Verbrauch an Phosphat und Kali am höchsten war, befand sich der Stickstoffverbrauch zu dieser Zeit im Steigen. Diese Tendenz war die Folge der durchwegs sehr niedrigen Nährstoffgehalte in den Böden (v.a. an Phosphor), einer immer effizienter werdenden Produktion von Stickstoffdüngern, bei gleichzeitiger Intensivierung der pflanzlichen Produktion. Der höchste Stickstoffverbrauch war 1985 mit 165.000 t/Jahr zu verzeichnen, seither sinkt dieser Verbrauch kontinuierlich. Der Verbrauch an Phosphat und Kali begann sich bereits in den 70er-Jahren zu verringern, wobei diese Abnahme bis zum heutigen Zeitpunkt andau-

ert und im Gegensatz zum Stickstoff viel drastischer verläuft. Zurzeit befinden wir uns mit den ausgebrachten Düngermengen auf dem Niveau der späten Fünfziger Jahre (GERZABEK et al., 2004a), die Nährstoffgehalte, vor allem P in den Böden liegen jedoch wesentlich höher als vor 50 Jahren (siehe Abbildung 1).

Seit dem EU-Beitritt 1995 ging der Stickstoffeinsatz in Österreich durchschnittlich um etwa 25.000 Tonnen bzw. 20 % zurück, der Rückgang bei Kali betrug ca. 25 % und jener von Phosphat sogar 30 % (Tabelle 1).

Mit dem Beitritt Österreichs zur EU gab es einen Wandel in der Landwirtschaft. Die Einführung von Förderprogrammen für extensive Wirtschaftsweisen veranlassten viele landwirtschaftliche Betriebe zur Reduktion ihrer Produktionsintensität. Extensive Bestandesführungen im Pflanzenbau, die Zunahme biologisch wirtschaftender Betriebe

Summary

Temporal trends of nutrient contents in Austrian soils are presented in this study. These findings are based on samples of routine soil analysis of the Austrian Agency for Health and Food Safety (AGES). The selected soil samples come from the Waldviertel and the eastern part of Austria and cover the time period from 1991 to 2003. The assessment of temporal trends in the nutrient supply is conducted concerning the available secondary production regions of Austria as well as summarizing the two primary production regions of the Nordöstliches Flach- und Hügelland and the Mühl- und Waldviertel, where the main part of the analysed soil samples comes from. The results show decreasing potassium contents in the whole arable region of Eastern Austria as a consequence of the diminishing nutrient application in agriculture during the last three decades.

Key words: Soil, nutrient supply, temporal trends.

Zusammenfassung

Zeitliche Änderungen der Nährstoffgehalte in den Böden Österreichs werden in folgendem Beitrag vorgestellt. Als Basis für diese Erkenntnisse diente ein umfangreiches Datenkollektiv der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES) von Bodenproben aus dem Waldviertel und dem gesamten Gebiet Ostösterreichs der Jahre 1991 bis 2003. Die Darstellung zeitlicher Trends in der Nährstoffversorgung erfolgt bezogen auf die verfügbaren Kleinproduktionsgebiete Österreichs und zusammenfassend für die beiden Hauptproduktionsgebiete „Nordöstliches Flach- und Hügelland“ sowie „Mühl- und Waldviertel“, aus denen der größte Anteil der Bodenuntersuchungsergebnisse stammt. Die Ergebnisse zeigen sinkende Kaliumgehalte im gesamten Ackerbaugesamt Ostösterreichs als Folge des seit drei Jahrzehnten rückläufigen Grundnährstoffeinsatzes in der Landwirtschaft.

Schlagworte: Boden, Nährstoffversorgung, zeitliche Trends.

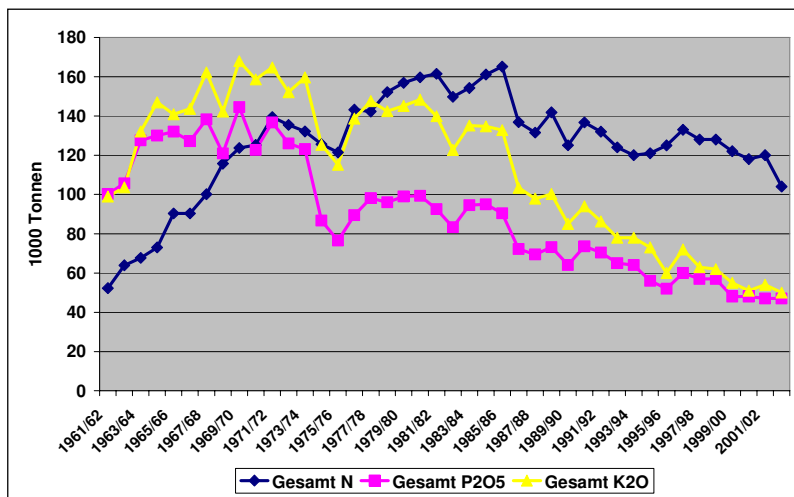


Abbildung 1: Entwicklung des Nährstoffaufkommens (1000 t) in Österreich von 1960 bis heute (Daten des Internationalen Düngemittelverbandes: ANONYMUS, 2006a)

Figure 1: Development of Austria's nutrient consumption (1000 tons) from 1960 until now (data from the International Fertilizer Association: ANONYMUS, 2006a)

Tabelle 1: Nährstoffverbrauch (t) in Österreich von 1995–2005 (ANONYMUS, 2006b)

Table 1: Nutrient consumption (tons) in Austria from 1995 to 2005 (ANONYMUS, 2006b)

Jahr	Stickstoff	Phosphat	Kali
1995/96	125.309	52.272	59.755
1996/97	131.819	59.969	71.573
1997/98	127.537	57.264	61.537
1998/99	119.492	53.503	59.716
1999/00	121.644	48.548	55.241
2000/01	117.093	47.192	53.929
2001/02	127.585	47.138	50.099
2002/03	94.435	45.193	50.014
2003/04	100.789	39.357	49.532
2004/05	99.702	36.320	45.820

sowie Flächenstilllegungen einerseits und steigende Preise für Düngemittel andererseits sind die Hauptfaktoren für den Rückgang des Nährstoffverbrauchs in Österreich.

Ähnlich wie in Österreich ist in den umliegenden europäischen Ländern ein rückläufiger Verbrauch an Phosphor und Kalium zu beobachten. In Deutschland beträgt der Rückgang vom Beginn der 90er-Jahre bis zum Jahr 2003 bei beiden Nährstoffen etwa 66 % (Daten des Internationalen Düngemittelverbandes, ANONYMUS, 2006a). BAUMGÄRTEL (2004) sieht den Grund dafür in den Beratungsempfehlungen der Düngegeratung sowie im Spargedanken der Landwirte. Nach einer Phase des Aufdüngens zwischen 1950 und 1980 mit stark positiven P- und K-Bilanzen von 59 P₂O₅ bzw. 78 kg K₂O/ha liegen die Bilanzen heute mit -30 kg P₂O₅ bzw. K₂O/ha im negativen Bereich.

In Ungarn stieg der Düngereinsatz in der Landwirtschaft von den sechziger Jahren beginnend bis Anfang der neunziger Jahre um ein Vielfaches an, sodass die anfangs bei 11 kg P₂O₅/ha liegenden jährlichen Phosphor-Bilanzen

zwischen 30 und 39 kg P₂O₅/ha betragen. Mit der Wirtschaftskrise und den damit einhergehenden politischen und wirtschaftlichen Änderungen am Ende der achtziger Jahre begannen die P-Bilanzen wieder negativ zu werden und auf das niedrigste Niveau im gesamten 20. Jahrhundert zu sinken (CSATHÓ und RADIMSKY, 2005a). In den übrigen CEE-Ländern begann die intensive NPK-Düngung erst einige Dekaden später als in den westeuropäischen Ländern. In den achtziger Jahren stiegen in den osteuropäischen Ländern die P-Bilanzen von ausgeglichenen bis negativen Bilanzwerten auf positive Werte bis zu 68 kg P₂O₅/ha, wie beispielsweise in der Tschechischen Republik (KLIR, 2005). Seit den neunziger Jahren sanken diese Bilanzen aufgrund der grundlegenden politischen Veränderungen und des wirtschaftlichen Umbruchs wieder auf das Niveau der sechziger Jahre, mit einer P-Bilanz zwischen -16 (Bulgarien: NIKOLOVA, 2005) bis +14 kg P₂O₅/ha (Albanien: CSATHÓ und RADIMSKY, 2005b).

Die Frage, die sich nun aufdrängt, betrifft die Auswirkungen der Änderungen der Düngepaxis auf die Nährstoffgehalte der Böden, speziell in Österreich. Dabei soll in dieser Arbeit der Schwerpunkt auf die Hauptnährstoffe Phosphor und Kalium gelegt werden, da bei diesen auch eine ausreichende Datenbasis gegeben ist.

2 Material und Methoden

Das Institut für Bodengesundheit und Pflanzenernährung der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit in Österreich (AGES) bzw. dessen vormalige Organisationseinheiten bzw. Vorgängerinstitution untersucht seit Jahr-

zehnten Bodenproben von landwirtschaftlich genutzten Flächen im privatwirtschaftlichen Wirkungsbereich, wobei die Untersuchungsmethoden den einschlägigen nationalen Normen für die Analyse pflanzenverfügbarer P- und K-Gehalte entsprechen (ANONYMUS, 2005).

2.1 Beprobungstiefen

Im Ackerland stammt der größte Teil der Daten aus dem Nordöstlichen Flach- und Hügelland, wo die Tiefenstufen 0–25/30 cm überwiegen. Zum Teil erfolgten auch Beprobungen auf 0–40 cm Tiefe. Da jedoch der Bearbeitungshorizont in der Praxis kaum bis 40 cm Tiefe reicht, wurden alle Standorte mit einer Beprobungstiefe von 0–≤ 30 cm ausgewertet.

Im Grünland wurden lediglich Standorte mit einer Beprobungstiefe von 0–10 cm ausgewählt; die bis 25 cm Tiefe beprobten Grünlandstandorte wurden außer Acht gelassen.

In den Weingärten spielen auch die pflanzenverfügbaren Nährstoffe im Unterboden eine Rolle. Die Beprobungstiefen variieren hier zwischen 0 bis maximal 40 cm im Oberboden sowie meist zwischen 25 bis 50 cm (maximal bis 90 cm) im Unterboden. Um eine vergleichbare Standortanzahl von Oberboden und Unterbodendaten zu erhalten, wurden die auszuwertenden Beprobungstiefen von 0–25 cm im Oberboden und 25 bis 90 cm im Unterboden gewählt.

2.2 Untersuchungszeitraum

Für die Auswertungen werden die Daten von 1991–2003 herangezogen. Aus diesem Zeitraum konnten über 330.000 Datensätze eindeutig nach Gemeinde, Kleinproduktionsgebiet sowie nach Nutzungsart (Ackerland, Grünland, Weingarten) zugeordnet werden. Der Vergleich der Daten bezieht sich nicht auf Einzeljahre, sondern auf zwei 5- bzw. eine 3-jährige Periode (1991–1995; 1996–2000; 2001–2003). Der Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (ANONYMUS, 1999) empfiehlt die Durchführung von Bodenuntersuchungen alle 4 bis 6 Jahre; demnach kann davon ausgegangen werden, dass die zu den zwei 5-jährigen bzw. zu der einen 3-jährigen Periode zusammengefassten Jahre in etwa dasselbe Gebiet der jeweiligen Wiederholungsbeprobung repräsentieren.

2.3 Regionale Kompartimentierung

Verglichen werden die Bodenuntersuchungsergebnisse innerhalb eines Kleinproduktionsgebietes (KPG) bzw. Hauptproduktionsgebietes (HPG). Österreich besteht aus 8 Hauptproduktionsgebieten, die auf insgesamt 87 Kleinproduktionsgebiete bzw. 2381 Gemeinden aufgeteilt werden. Die Bezeichnung der Hauptproduktionsgebiete erfolgt über einen einstelligen Code (1–8), jene der Kleinproduktionsgebiete über einen dreistelligen Code (101–816) (Tabellen 2 und 3).

Tabelle 2: Hauptproduktionsgebiete (HPG) Österreichs; KPG: Kleinproduktionsgebiet

Table 2: Austria's primary production regions (HPG); KPG: secondary production regions

HPG Code	Bezeichnung HPG	Anzahl KPG im HPG
1	Hochalpen	25
2	Voralpen	9
3	Alpenostrand	10
4	Wald- und Mühlviertel	6
5	Kärntner Becken	3
6	Alpenvorland	11
7	Südöstliches Flach- und Hügelland	7
8	Nordöstliches Flach- und Hügelland	16

Tabelle 3: Kleinproduktionsgebiete in den HPG 4 und 8

Table 3: Secondary production regions as components of the primary production regions 4 and 8

KPG Code	Bezeichnung KPG	Anzahl Gemeinden im KPG
401	Mittellagen des Mühlviertels	73
402	Hochlagen des Mühlviertels	51
403	Hochlagen des Waldviertels	19
404	Nordwestliches Waldviertel	18
405	Mittellagen des Waldviertels	40
406	Südliches Waldviertel	23
801	Wachau	8
802	Westliches Weinviertel	40
803	Östliches Waldviertel	8
804	Herzogenburg, Tulln, Stockerauer Gebiet	25
805	Hollabrunn – Mistelbacher Gebiet	28
806	Laaer Bucht	7
807	Östliches Weinviertel	41
808	Marchfeld	25
809	Wiener Boden	44
810	Baden – Gumpoldskirchener Gebiet	22
811	Steinfeld	22
812	Wulkabecken und Randlagen	31
813	Oberpullendorfer Becken	19
814	Weinbaugebiet Neusiedler See	24
815	Parndorfer Platte	11
816	Seewinkel	7

Die erste Ziffer dieses dreistelligen Codes gibt gleichzeitig das Hauptproduktionsgebiet an, dem das jeweilige Kleinproduktionsgebiet zuzuordnen ist. Unter einem Kleinproduktionsgebiet versteht man ein kleinräumiges Gebiet mit ähnlichen natürlichen, wirtschaftlichen und agrarstrukturellen Produktionsbedingungen. Je nach Lage dieses Gebietes in Österreich kann es aus nur wenigen (5) bis vielen (160) Gemeinden bestehen. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die 8 österreichischen Hauptproduktionsgebiete, in Tabelle 3 sind die den beiden Hauptproduktionsgebieten Mühl- und Waldviertel sowie Nordöstliches Flach- und Hügelland zugeordneten Kleinproduktionsgebiete angeführt. Der überwiegende Teil der von der AGES untersuchten Bodenproben stammt aus diesen beiden Hauptproduktionsgebieten.

2.4 Grafische Darstellung der Auswertungen und statistische Tests

Die Darstellung der Nährstoffgehalte erfolgt bezogen auf die 3 Perioden wie unter 2.2 angegeben, als kumulativer Verlauf der Perzentile eines Nährstoffes pro untersuchtem Kleinproduktionsgebiet und Landnutzung sowie als prozentuale Entwicklung der Nährstoffgehaltsklassen eines Nährstoffes pro Hauptproduktionsgebiet und Landnut-

zung über die einzelnen Jahre. Für die Zuordnung der pflanzenverfügbaren K-Gehalte zur jeweiligen Bodengehaltsklasse wird eine mittlere Bodenschwere (Tongehalt zwischen 15 und 25 %) gemäß der Einteilung der Bodengehaltsklassen in Anlehnung an die Richtlinien für die sachgerechte Düngung unterstellt (Tabelle 4).

Die Unterschiede der Bodengehalte im Zeitverlauf wurden mittels Varianzanalyse nach Tukey auf dem Signifikanzniveau von 0,05 mit dem Statistikprogramm SPSS, Version 12.0 (JANSSEN und LAATZ, 2005) getestet, wobei Varianzgleichheit unterstellt wird. Werte über dem 75. Perzentil plus dem 1,5-fachen Interquartilabstand sowie unter dem 25. Perzentil minus dem 1,5-fachen Interquartilabstand wurden als Ausreißer eliminiert.

3 Ergebnisse

3.1 Verteilung der Bodenuntersuchungen nach Hauptproduktionsgebieten

Tabelle 5 gibt einen Überblick über die Anzahl der von der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit untersuchten Bodenproben in den österreichischen Hauptproduktionsgebieten von 1991 bis 2003, differenziert nach

Tabelle 4: Einteilung der Nährstoffversorgungsklassen (mg/kg) gemäß den österreichischen Richtlinien für die sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006)

Table 4: Classification of the nutrient content classes (mg/kg) according to the Austrian guidelines for an appropriate fertilization (BMLFUW, 2006)

Gehaltsklasse	Nährstoffversorgung	Kalium		Phosphor		Magnesium
		Acker	Grünland	Acker	Grünland	
A	sehr niedrig	< 66	< 50	< 26	< 26	< 30
B	niedrig	66–112	50–87	26–46	26–46	30–55
C	ausreichend	113–212	88–170	47–111	47–68	56–105
D	hoch	213–332	171–332	112–174	69–174	106–190
E	sehr hoch	> 332	> 332	> 174	> 174	> 190

Tabelle 5: Verteilung der untersuchten Standorte nach Hauptproduktionsgebieten

Table 5: Distribution of sampled sites in Austria's main production regions

Hauptproduktionsgebiete		Acker	Landnutzung		Gesamt
			Grünland	Weingarten	
1	Hochalpen	20	98	10	128
2	Voralpen	4.091	6.962	312	11.365
3	Alpenostrand	4.088	1.485	7	5.580
4	Wald- und Mühlviertel	44.216	11.270	254	55.740
5	Kärntner Becken	9	12	0	21
6	Alpenvorland	28.229	5.579	467	34.275
7	Südöstliches Flach- und Hügelland	2.119	135	206	2.460
8	Nordöstliches Flach- und Hügelland	111.803	840	107.869	220.512
Gesamt		194.575	26.381	109.125	330.081

Landnutzung. Auffallend ist die hohe Probenanzahl im Nordöstlichen Flach- und Hügelland mit ca. zwei Drittel aller untersuchten Bodenproben. Eine größere Datenmenge steht auch aus dem Gebiet des Mühl- und Waldviertels sowie aus dem Alpenvorland zur Verfügung.

3.2 Entwicklung der Nährstoffversorgung österreichischer Böden von 1991 bis 2003

Wie aus Tabelle 5 ersichtlich, findet sich die höchste Anzahl an Bodenuntersuchungen im Nordöstlichen Flach- und Hügelland sowie im Mühl- und Waldviertel. Beispielhaft für die drei Landnutzungen Ackerland, Grünland und Weingarten wird der Verlauf eines Grundnährstoffgehaltes für je ein Kleinproduktionsgebiet aus den genannten Regionen grafisch veranschaulicht. Anschließend werden die Entwicklungen der einzelnen Nährstoffgehaltsklassen für Ackerland und Weingartenböden im Nordöstlichen Flach- und Hügelland sowie Acker und Grünland im Mühl- und Waldviertel tabellarisch beschrieben.

Entwicklung der Kalium- und Phosphorgehalte in ausgewählten Kleinproduktionsgebieten

Abbildung 2 beschreibt die Entwicklung der Kaliumgehalte (mg/kg) im Kleinproduktionsgebiet Wiener Boden (KPG 809) für die Perioden 1991–1995, 1996–2000 und 2001–2003. Etwa 80 % der Ackerböden sind hier ausreichend bis hoch mit Kalium versorgt. Betrachtet man den gesamten Untersuchungszeitraum, so kann eine kontinuierliche Abnahme der K-Gehalte in den drei Perioden festgestellt werden. Der Anteil des E- sowie des D-versorgten Bereiches hat sich um 5 bzw. 10 % verringert, während der Anteil der C-Versorgung

um etwa diese Differenz vergrößert wurde (Abbildung 2). Anders als bei den Nährstoffen P und Mg sind die Änderungen der Kaliumgehalte im Wiener Boden in allen Perioden statistisch signifikant (Tabelle 6).

Die Phosphorversorgung auf den untersuchten Weingartenstandorten im Westlichen Weinviertel (KPG 802) ist ähnlich wie deren K-Versorgung sehr hoch (Abbildung 3). Obwohl es auch hier im Untersuchungszeitraum bereits zu einer Abnahme der Werte gekommen ist, liegen in der Periode 2001–2003 noch etwa 62 % der Standorte in Gehaltsstufe D und E.

Die P-Gehalte in den Unterböden haben sich in geringem Ausmaß vermindert, wobei zwischen der ersten und zweiten Periode die Veränderung der Werte nach unten nicht signifikant war (Tabelle 6).

Abbildung 4 zeigt die Versorgung mit Kalium der Grünlandböden in den Mittellagen des Waldviertels (KPG 405). In der Periode 1991–1995 war die Versorgung zu 70 % noch ausreichend bis gut. Dieser Anteil hat sich jedoch bis zur Periode 2001–2003 auf 45 % reduziert. Eine Abnahme der K-Gehalte im Untersuchungszeitraum ist aus Abbildung 78 ersichtlich, die zeitlichen Änderungen der Kaliumgehalte sind im Gegensatz zu Phosphor und Magnesium auf dem Signifikanzniveau von 5 % hoch signifikant (Tabelle 6).

Tabelle 6 enthält die Ergebnisse der Berechnungen statistischer Unterschiede in den Nährstoffverläufen der oben angeführten Kleinproduktionsgebiete nach Tukey auf dem Signifikanzniveau von 5 %, wobei die 3 Perioden in allen möglichen Kombinationen für diese 3 beispielhaft ausgewählten Gebiete verglichen werden. Alle Werte unter 0,05 weisen somit signifikante Unterschiede in den Verläufen der Nährstoffgehalte über die Zeit auf.

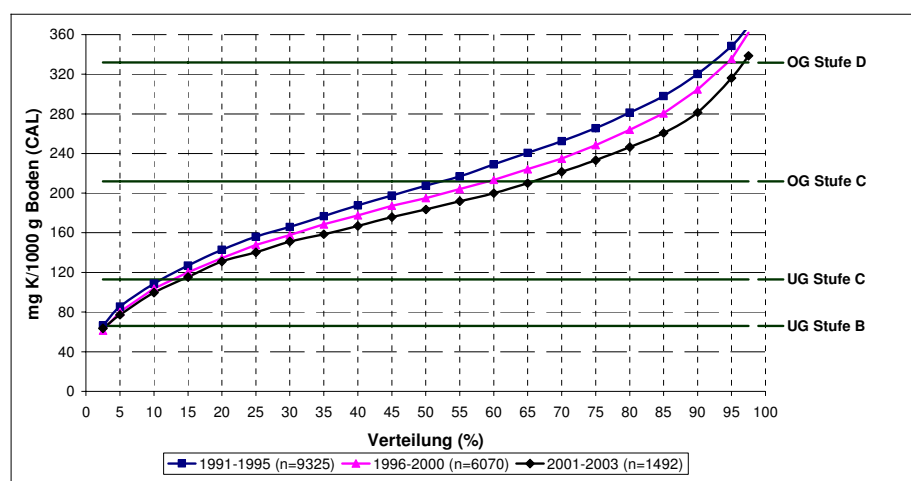


Abbildung 2: Verteilung der K-Gehalte (mg/kg) in den Ackerböden des Kleinproduktionsgebietes Wiener Boden, 1991–2003
 Figure 2: Distribution of the potassium contents (mg/kg) in Wiener Boden's arable land from 1991 until 2003

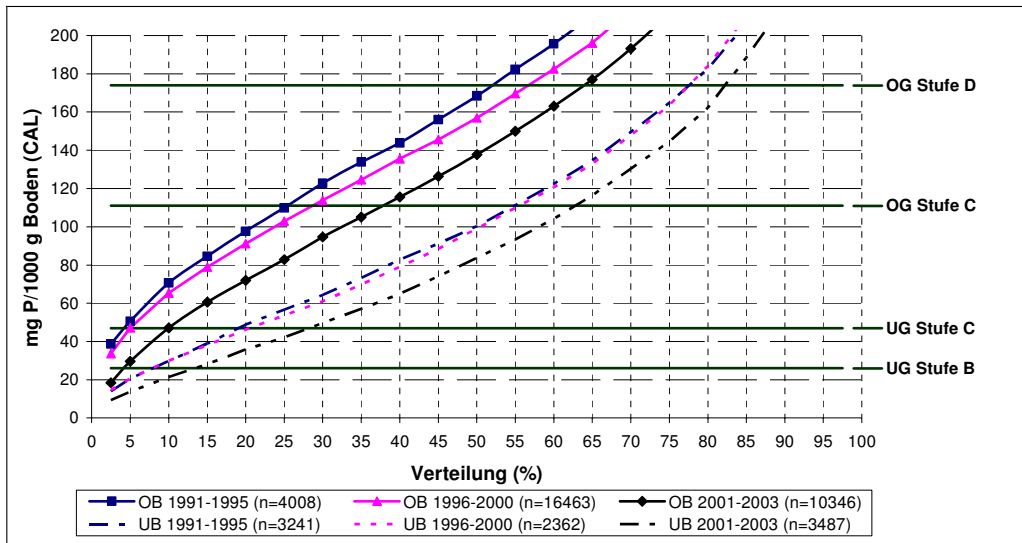


Abbildung 3: Verteilung der P-Gehalte (mg/kg) in den Weingartenböden des Kleinproduktionsgebietes Westliches Weinviertel, 1991–2003
 Figure 3: Distribution of the phosphorus contents (mg/kg) in the vineyard soils of Westliches Weinviertel from 1991 until 2003

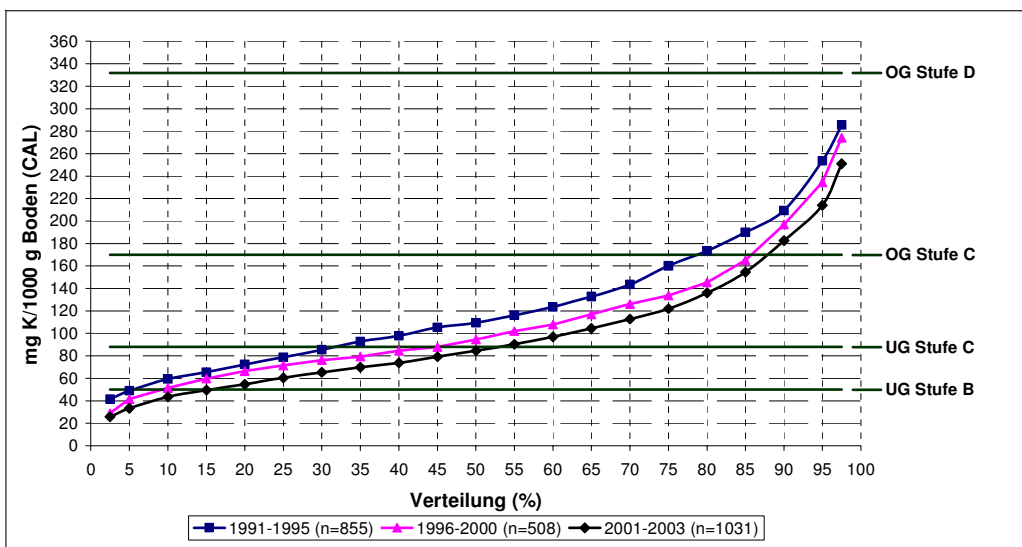


Abbildung 4: Verteilung der K-Gehalte (mg/kg) in den Grünlandböden des Kleinproduktionsgebietes Mittellagen des Waldviertels, 1991–2003
 Figure 4: Distribution of the potassium contents in the grassland soils of Mittellagen des Waldviertels from 1991 until 2003

Entwicklung der Kalium- und Phosphorgehalte in den Böden des Nordöstlichen Flach- und Hügellands sowie im Gebiet des Mühl- und Waldviertels

In Tabelle 7 fällt beim Nährstoff Kalium für das Ackerland im Nordöstlichen Flach- und Hügelland (HPG 8) zunächst der starke Rückgang des Anteiles der Gehaltsklasse D von 41 % im Jahre 1991 auf etwa 28 % im Jahre 2003 auf. Der relativ geringe Anteil der Stufe E schrumpft ebenso leicht in diesem Zeitraum. Die verminderten Anteile der beiden höchsten Versorgungsstufen finden sich in einer Zunahme

der mittleren Versorgungsstufen wieder, wobei Gehaltsklasse C um etwa 10 % auf insgesamt 53 % der untersuchten Standorte angestiegen ist, während sich der Anteil von Versorgungsstufe B um etwa 6 % vergrößerte. Die Zunahme A-versorgter Standorte von 1 auf 2 % kann hierbei vernachlässigt werden. Die Phosphorgehalte sind währenddessen in diesem Gebiet nahezu konstant geblieben.

In den Weingartenoberböden gingen sowohl die Phosphor- als auch die Kaliumgehalte im Untersuchungszeitraum zurück. Die Anteile der hohen Versorgungsstufen (v.

Tabelle 6: Tukey-Test zur Prüfung statistischer Unterschiede der Nährstoffverläufe in den Böden der oben angeführten Kleinproduktionsgebiete (Abbildung 2, 3 und 4)

Table 6: Tukey-test for examining statistical difference of the nutrient developments in the soils of the secondary production regions indicated above (figure 2, 3 und 4)

	Vergleich Periode	mit Periode	Signifikanz					
			Oberboden			Unterboden		
			K	P	Mg			
Unterschiede der Kaliumgehalte im Ackerland des KPG Wiener Boden	1991–1995	1996–2000	0,000	0,013	0,000			
		2001–2003	0,000	0,621	0,650			
	1996–2000	1991–1995	0,000	0,013	0,000			
		2001–2003	0,000	0,033	0,112			
	2001–2003	1991–1995	0,000	0,621	0,650			
		1996–2000	0,000	0,033	0,112			
Unterschiede der Kaliumgehalte im Grünland des KPG Mittellagen des Waldviertels	1991–1995	1996–2000	0,000	0,000	0,600			
		2001–2003	0,000	0,800	0,348			
	1996–2000	1991–1995	0,000	0,000	0,600			
		2001–2003	0,002	0,001	0,091			
	2001–2003	1991–1995	0,000	0,800	0,348			
		1996–2000	0,002	0,001	0,091			
Unterschiede der Phosphorgehalte in den Weingärten des KPG Westliches Weinviertel	1991–1995	1996–2000	0,000	0,000	0,208	0,000	0,936	0,240
		2001–2003	0,000	0,000	0,393	0,000	0,000	0,000
	1996–2000	1991–1995	0,000	0,000	0,208	0,000	0,936	0,240
		2001–2003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	2001–2003	1991–1995	0,000	0,000	0,393	0,000	0,000	0,000
		1996–2000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

a. Stufe E) reduzierten sich zugunsten einer Zunahme der ausreichend versorgten Gehaltsklasse C. Die Standorte mit niedriger P-Versorgung (Gehaltsklasse A und B) liegen unter 10 %. Trotz des drastischen Rückganges der P- und K-Gehalte (der Anteil von Gehaltsklasse E verringerte sich um 30 bis 40 %) sind die Böden noch hoch mit den beiden Grundnährstoffen versorgt.

In den Grünlandböden des Mühl- und Waldviertels ist die Versorgung mit Kalium grundsätzlich ausreichend, jedoch sind Anstiege der Gehaltsklassen A und B, eine leichte Abnahme der Versorgungsstufe C sowie ein stärkerer Rückgang der Stufe D zu bemerken (Tabelle 8). Keine Standorte im Datenkollektiv liegen bei Kalium in der Gehaltsklasse E. Bei Phosphor ist lediglich ein leichter Rückgang der D-versorgten Standorte auffällig. Die übrigen Nährstoffgehaltsklassen lassen keinen eindeutigen Trend erkennen. Fest steht jedoch, dass der größte Anteil der Grünlandböden in diesem Gebiet in Versorgungsklasse A und der zweitgrößte Anteil in Stufe B liegt. Beide Klassen zusammen umfassen etwa 75 % der Standorte.

Hinsichtlich der Grundnährstoffversorgung im Ackerland des Mühl- und Waldviertels sind folgende Sachverhalte fest-

zustellen: Die K-Versorgung ist mit etwa 70–80 % Anteil der Gehaltsklassen C und D als gut zu bezeichnen. Zeitliche Trends sind hier aus den geringen jährlichen Schwankungen kaum festzustellen. Beim Phosphor kommt es zu einer geringfügigen Zunahme der Gehaltsklassen C und D und zu einer leichten Abnahme A- und B-versorgter Böden, wobei jedoch die Versorgung auf einem niedrigeren Niveau als beim Kalium liegt. Der Trend abnehmender Nährstoffgehalte, wie er im Nordöstlichen Flach- und Hügelland bereits auftritt, scheint in diesem Gebiet nicht gegeben. Die hier vorhandene Tierhaltung und damit die regelmäßige Grundnährstoffzufuhr auf Acker- und Grünlandflächen dürfte hierfür eine entscheidende Rolle spielen.

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Allein aus der Analyse des vorliegenden Datensatzes können bereits Auswirkungen des geänderten Düngungsregimes in den neunziger Jahren abgeleitet werden. Die Einführung des Österreichischen Programms für eine umweltgerechte und den natürlichen Lebensraum schützende

Tabelle 7: Zeitliche Änderungen der Anteile der K- und P-Bodengehaltsklassen in den Ackerböden sowie in den Weingartenoberböden des Nord-östlichen Flach- und Hügellands

Table 7: Temporal changes in the nutrient content classes of Austria's northeastern arable and vineyard topsoils

	%	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	
Ackerland HPG 8	K	A	1,1	1,2	1,7	1,4	1,3	1,8	3,1	2,7	1,8	0,8	1,5	1,8	2,1
		B	7,3	6,2	7,7	7,3	7,6	10,0	12,6	15,5	10,0	9,9	10,4	11,6	13,1
		C	43,6	48,0	48,8	45,5	44,9	49,0	56,3	53,2	55,7	56,2	52,5	55,2	53,1
		D	41,0	39,4	36,2	39,3	39,6	33,5	25,5	25,8	28,6	29,0	31,4	28,4	27,7
		E	7,1	5,1	5,5	6,4	6,6	5,6	2,4	2,8	3,8	4,0	4,2	3,0	4,0
		Anzahl	9.543	8.240	12.566	6.965	8.020	13.519	7.034	5.453	5.493	8.099	10.115	3.469	4.330
	P	A	3,6	3,4	2,7	2,3	3,1	2,5	3,5	3,4	2,0	1,8	2,5	3,2	2,7
		B	11,7	10,8	11,3	8,5	11,7	9,3	12,1	12,4	10,3	7,2	9,9	13,2	10,8
		C	61,9	68,2	66,7	65,8	65,4	62,6	67,6	65,0	68,4	65,4	64,4	65,5	64,7
		D	21,6	16,8	18,4	22,2	18,8	24,0	15,9	18,2	18,3	24,4	22,3	17,3	20,9
		E	1,1	0,9	1,0	1,2	1,0	1,6	0,8	1,1	0,9	1,1	0,9	0,8	0,8
Anzahl		9.534	8.208	12.418	6.916	8.027	13.045	6.911	5.295	5.383	7.985	9.932	3.421	4.292	
Weingartenoberboden HPG 8	K	A	0,5	0,8	1,0	0,9	1,0	1,0	1,8	1,1	1,7	1,0	2,2	2,9	4,4
		B	2,5	1,9	2,0	4,5	3,9	5,3	5,2	5,9	6,3	5,0	8,8	9,4	9,5
		C	8,7	13,3	9,8	13,9	17,4	21,1	24,9	23,1	23,7	23,0	26,1	26,2	26,2
		D	22,2	27,6	26,3	27,6	28,4	33,7	33,1	34,3	39,3	35,7	32,2	31,1	32,4
		E	66,1	56,3	60,9	53,1	49,3	38,9	34,9	35,6	29,0	35,3	30,8	30,4	27,5
		Anzahl	1.319	991	1.450	871	4.025	24.557	2.026	1.180	1.315	4.055	14.133	2.423	1.810
	P	A	0,8	0,6	0,6	1,4	1,3	1,5	1,7	1,2	1,7	1,0	3,8	4,7	5,6
		B	2,3	2,6	2,4	3,8	3,1	3,6	3,5	3,6	5,2	3,4	5,3	6,3	7,2
		C	18,5	22,3	16,9	23,9	21,5	25,7	25,3	24,4	26,8	25,6	27,0	33,4	35,3
		D	23,1	27,6	24,7	27,3	27,2	27,4	28,9	27,8	25,2	29,5	27,3	24,8	24,4
		E	55,3	46,9	55,4	43,6	46,9	41,8	40,5	43,1	41,1	40,5	36,6	30,8	27,6
Anzahl		1.401	1.022	1.437	900	4.043	24.008	2.019	1.124	1.279	3.957	13.808	2.385	1.794	

Landwirtschaft (ÖPUL) mit dem Beitritt Österreichs zur EU bewirkte einen starken Rückgang des Mineraldünger-einsatzes in Österreich. Zurückzuführen ist dies auf die Förderung von Extensivierungsmaßnahmen, Flächenstilllegungen und die biologische Wirtschaftsweise.

Eine Einschränkung der Nährstoffapplikation führt zu negativen Nährstoffbilanzen im Boden, eine erhöhte Nutzung der noch ausreichenden Bodenvorräte durch die Pflanze ist die Folge. Die Auswirkungen spiegeln sich in Österreich vor allem in den Kaliumgehalten wider. Am stärksten betroffen ist hier das Nordöstliche Flach- und Hügelland, da in diesem Gebiet kaum mehr Tierhaltung betrieben wird und die entzogenen Nährstoffe nahezu vollends über Mineraldünger ergänzt werden müssen, vor allem wenn auch Erntereste zum Zweck des Strohverkaufs oder für energetische Nutzung das Feld verlassen. Im Waldviertel und im Alpenvorland ist der Einfluss der Tierhaltung erkennbar; die Kaliumgehalte sinken langsamer oder bleiben vielerorts sogar gleich. Die Änderung des Düngerver-

haltens sollte neben den Kaliumgehalten auch in den Phosphorgehalten sichtbar sein. Offensichtlich scheinen diese nicht von einem Rückgang betroffen zu sein.

Die Ergebnisse des analysierten Datenmaterials decken sich hinsichtlich gleich bleibender P-Gehalte im Boden mit den Ergebnissen von SPIEGEL et al. (2001), wonach es bei einem 40-jährigen Dauerdüngungsversuch auf drei Standorten in Österreich zu keiner Abnahme in den pflanzenverfügbaren P-Gehalten in der ungedüngten Variante gekommen ist. Der Versuch wurde in Fuchsenbigl (Marchfeld), Rottenhaus (Alpenvorland) und Zwettl (Waldviertel) mit den drei Düngerebenen Hyperphosphat, Thomasphosphat und Superphosphat auf dem Niveau von 44 kg P₂O₅ und 175 kg P₂O₅/ha durchgeführt. Nach 20 Jahren wurden die Parzellen in eine weiterhin gedüngte und eine „Nachwirkungsparzelle“ ohne weitere Düngung geteilt. Neben den konstant bleibenden P-Werten im Boden der Kontrolle, wurden lediglich mit der Menge von 175 kg P₂O₅/ha die Gehalte im Boden signifikant gesteigert. Die Phosphatgehalte der

Tabelle 8: Zeitliche Änderungen der Anteile der K- und P-Bodengehaltsklassen im Grünland sowie im Ackerland des Mühl- und Waldviertels
 Table 8: Temporal changes in the nutrient content classes of the Mühl- and Waldviertel's grassland and arable soils

		%	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Grünland HPG 4	K	A	3,7	6,2	3,5	7,1	2,9	6,3	18,5	2,3	4,7	9,4	10,9	9,6	6,2
		B	21,1	25,2	25,2	21,3	15,1	29,8	30,7	20,3	34,4	26,8	29,1	29,2	35,4
		C	43,1	45,4	44,0	50,3	41,0	40,8	35,1	51,8	31,3	42,3	39,8	44,9	41,5
		D	32,1	23,2	27,2	21,3	41,0	23,0	15,6	25,7	29,7	21,5	20,3	16,3	16,9
		Anzahl	682	986	511	183	139	191	703	222	64	395	1.785	178	65
	P	A	45,2	40,6	29,8	32,1	26,4	37,7	59,0	57,1	31,8	22,1	22,5	39,1	51,5
		B	30,1	32,4	36,0	37,0	40,7	39,3	24,0	24,7	43,9	43,2	45,5	35,8	22,7
		C	15,2	15,3	23,9	17,9	22,9	14,2	10,2	10,5	13,6	22,1	22,4	18,4	19,7
		D	9,5	11,8	10,3	13,0	10,0	8,7	6,8	7,8	10,6	12,6	9,6	6,7	6,1
		Anzahl	715	970	514	184	140	183	688	219	66	412	1.801	179	66
Ackerland HPG 4	K	A	1,7	3,8	3,7	3,2	2,0	4,2	9,7	4,0	1,0	2,9	3,6	5,7	3,6
		B	14,0	18,7	15,7	17,3	13,9	22,0	23,4	16,0	13,7	17,7	16,7	16,6	15,0
		C	54,5	52,7	55,8	54,5	58,1	51,8	47,8	49,7	52,9	44,9	51,3	50,1	48,4
		D	25,1	21,6	22,0	22,5	24,3	19,4	17,2	26,7	28,1	28,0	24,5	24,7	28,0
		E	4,7	3,2	2,9	2,5	1,8	2,5	2,0	3,6	4,3	6,5	3,9	2,9	5,0
		Anzahl	5.711	5.047	5.187	3.319	1.707	2.251	3.632	2.659	2.296	2.593	4.852	1.879	1.678
	P	A	13,7	13,2	9,9	10,2	11,3	18,1	22,2	27,3	6,8	6,5	5,0	10,5	8,7
		B	27,0	28,6	24,7	26,9	30,7	28,4	30,6	23,5	22,0	25,3	21,0	24,7	22,2
		C	52,1	50,8	57,2	53,7	54,2	48,7	43,0	42,6	60,1	56,6	63,4	56,0	59,0
		D	6,9	7,1	7,6	8,8	3,8	4,8	4,1	6,2	10,9	11,1	10,3	8,9	9,9
		E	0,3	0,3	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,5	0,3		0,3
Anzahl	5.679	5.004	5.067	3.212	1.650	2.198	3.594	2.643	2.283	2.644	4.870	1.883	1.673		

„Nachwirkungsparzelle“ gingen in den 20 Jahren der Nachwirkungszeit wieder leicht zurück. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass auch auf Standorten mit niedriger $P_{CAL/DL}$ -Versorgung noch große P-Mobilisierungsleistungen möglich sind, was die Gehalte der Kontrollvarianten über 40 Jahre Versuchsdauer zeigen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von SPIEGEL et al. (2001) konnten BOSSE und MOHR (2005) Änderungen in den P-Gehaltsklassen von Böden nach unterschiedlich gedüngten P-Mengen aufzeigen.

Die abnehmenden Kaliumgehalte im Ackerland des Nordöstlichen Flach- und Hügellands decken sich auch mit den Untersuchungen von EIGNER et al. (2005). Deren Erkenntnisse stammen aus den EUF-Bodenuntersuchungen (EIGNER et al., 2005), welche für das gesamte österreichische Rübenanbauggebiet existieren. Hierbei wurden von 1997 bis 2005 ebenfalls keine Veränderungen in der P-Versorgung festgestellt, während bei Kalium die „niedrig“ versorgte Stufe um 6 % zunahm, die „ausreichend“ versorgten Böden nahmen im selben Zeitraum um 3 % auf insgesamt

65 % zu. Die Erhöhung der Anteile von Standorten in den Gehaltsklassen B und C gingen zu Lasten des Anteils von D-versorgten Standorten.

Nicht nur in Österreich sondern auch in den angrenzenden Staaten ist die Situation rückläufiger Grundnährstoffgehalte eine ähnliche.

NEUBERT und HEYMANN (2005) berichten von konstanten P-Werten im Freistaat Sachsen von 1997 bis 2004, während bei den K-Gehalten seit 1997 eine deutliche Abnahme der überversorgten Flächen – von 63 auf 37 % – im Untersuchungszeitraum stattfand. Die Versorgungsstufe C blieb dabei weitgehend konstant, während sich die Anteile der unterversorgten Flächen im gleichen Zeitraum erhöhten. Bei Magnesium fand eine Erhöhung der hochversorgten Flächenanteile statt, der Anteil unterversorgter Flächen reduzierte sich von 20 auf 13 %. Die Autoren führen diese Tatsache auf die zwangsläufigen Mg-Gaben bei der Kalium zurück.

In den Böden Niedersachsens ist hingegen auch eine Abnahme der Phosphorgehalte nachzuvollziehen. BAUMGÄRTEL (2004) berichtet von einer Zunahme in der Gehaltsklasse B von 9 auf 22 % im Zeitraum von 1986 bis 2000 sowie von einer Zunahme in der Gehaltsklasse C von 34 auf 58 %, während die Anteile der Versorgungsstufen D und E von 44 auf 15 % bzw. von 12 auf 3 % absanken. Bei Kalium kann aus den Werten der Bodenuntersuchungsstatistik der Landwirtschaftskammer Hannover in den hohen Versorgungsklassen kaum eine Änderung festgestellt werden, während der Anteil von Gehaltsstufe C um 8 % abnahm, zugunsten eines äquivalenten Anstiegs der Gehaltsklasse B. Die eingangs beschriebenen Änderungen in der Grundnährstoffapplikation in Deutschland spiegeln sich also bereits in der Nährstoffversorgung der Böden wieder.

In Ungarn bewegten sich zwischen 1901 und 1960 die P-Einträge um 11 kg P₂O₅/ha, wobei die Entzüge durch die Kulturpflanzen in etwa auf demselben Niveau lagen, was zu einer ausgeglichenen P-Bilanz führte (CSATHÓ und RADIMSKY, 2005a). Der ab diesem Zeitpunkt steigende Nährstoffeinsatz und dessen drastischer Rückgang mit der politischen Wende Anfang der neunziger Jahre zeigt in den Böden Ungarns seine Auswirkungen. Lagen um 1960 noch 43 % der Ackerböden bei Phosphor im sehr schwach und schwach versorgten Bereich sowie 57 % im ausreichend versorgten Bereich (STEFANOVITS und SARKADI, 1963), so gab es bis 1987 eine Verschiebung hin zu 83 % hoch bis sehr hoch versorgter Böden (BUZÁS et al., 1988). Der plötzliche Rückgang des Düngerverbrauchs Anfang der neunziger Jahre ließ diesen Anteil wieder auf 40 % hoch bis sehr hoch P-versorgter Ackerflächen sinken (CSATHÓ, 2004).

Wie in Österreich und Deutschland bereits beobachtet, kam es auch in den osteuropäischen Staaten aus politischen und ökonomischen Gründen zu einer Änderung der Düngerapplikation auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Mit 40–50 % hoch P-versorgten Böden ist die Nährstoffsituation zurzeit in Ungarn, der Tschechischen Republik und Slowenien noch sehr zufrieden stellend. In den beiden erstgenannten Ländern sind dennoch die Auswirkungen des verminderten Düngereinsatzes der neunziger Jahre an der Phosphorversorgung der Böden bereits deutlich sichtbar. Lediglich in Slowenien, dem einzigen CEE-Land mit positiver Phosphorbilanz, nimmt der Anteil hoch versorgter Standorte weiterhin zu (LESKOŠEK, 1998, CSATHÓ, 2005).

Um die Grundnährstoffversorgung in Anbetracht der teils sinkenden Gehalte nicht aus den Augen zu verlieren, ist die Bodenuntersuchung ein wichtiges Instrument, von dem jeder Landwirt im Abstand von etwa fünf Jahren Gebrauch machen sollte. Weitere flächendeckende Bodenzustandsinventuren werden notwendig sein, um zu zeigen, ob sich der in Ostösterreich bemerkbare Trend auch im übrigen Land fortsetzt. Nur ein rechtzeitiges Erkennen niedrigerer Nährstoffgehalte und eine darauf abgestimmte Nährstoffzufuhr kann dem Verlust fruchtbarer Böden entgegenwirken und zur Sicherung der menschlichen Ernährung beitragen.

5 Literatur

- ANONYMUS (1999): Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 5. Auflage, Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Institut für Bodenkunde, Wien.
- ANONYMUS (2005): Chemische Bodenuntersuchungen – Bestimmung von „pflanzenverfügbarem“ Phosphor und Kalium nach der Calcium-Acetat-Lactat-(CAL-)Methode. ON – Österreichisches Normungsinstitut, Wien.
- ANONYMUS (2006a): Internationalen Düngemittelverband, Datenbank: www.fertilizer.org
- ANONYMUS (2006b): Marktbericht Getreide und Ölsaaten Juni 2006, www.ama.at.
- BAUMGÄRTEL, G. (2004): Entwicklung von Phosphat- und Kalibilanzen in Ackerbaubetrieben und Konsequenzen für die Düngung, in: Folgen negativer Nährstoffbilanzen in Ackerbaubetrieben, Bundesarbeitskreis Düngung (Hg.), Frankfurt/Main.
- BOSSE, W., R. MOHR (2005): Vorsorgen statt sanieren, in: Verlagsbeilage Dünger-Magazin zu DLG-Mitteilungen, 6/2005, Frankfurt/Main, 2005.
- BUZÁS, M., A. KARKALIK, L. TIHANYI (1988): Comparison of the recommendations made by the fertiliser recommendation system and the practice of fertiliser application, based on the data set of national maize production data, (in Hungarian). *Hungarochem* '88, 183–189.
- CSATHÓ, P. (2004): pers. communication.
- CSATHÓ, P. (2005): pers. communication.
- CSATHÓ, P., L. RADIMSKY (2005a): Environmental and agronomic NPK balances in Hungary, 1901 to 2000. A review, (in Hungarian), *Agrokémia és Talajtan*, 54, 217–234.
- CSATHÓ, P., L. RADIMSKY (2005b): Environmental NP-balance of Albania, Bulgaria, Latvia, Lithuania, and Romania in 1961, 1985 and 2000. RISSAC HAS, Budapest, Hungary, Manuscript.

- EIGNER, H., F. KEMPL, J. HAGLER (2005): Phosphor, Kalium: Düngegewohnheiten unter der Lupe. Fachblatt der Rüben-, Zucker- und Stärkewirtschaft Österreichs 5/05, Wien, 28 f.
- GERZABEK, M.H., A. BAUMGARTEN, M. TULIPAN, S. SCHWARZ (2004a): Ist die Nährstoffversorgung der Pflanzen noch ausgewogen? Ländlicher Raum 2/2004, print: S. 16–18, online: 8 Seiten, www.laendlicher-raum.at.
- JANSSEN, J. und W. LAATZ (2005): Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- KLIR, J. (2005): OECD soil surface nitrogen and phosphorus balances for the Czech Republic, 1950 to 2004. Research Institute for Crop Production, Prague-Ruzyně, Czech Republic. Manuscript.
- LESKOŠEK, M. (1998): Phosphorus in soil and phosphorus fertilization in Slovenia. In: Codes of good fertilizer practice and balanced fertilization, in: FOTYMA, M. (ed.): Bibliotheca Fragmenta Agronomica. Tom. 3, 401–406.
- NEUBERT, K. H., A. HEYMANN (2005): Die Entwicklung der Nährstoff- und Kalkversorgung der landwirtschaftlich genutzten Böden im Freistaat Sachsen und in den Bereichen der Staatlichen Ämter für Landwirtschaft in den Jahren 1997 bis 2004. Infodienst 11/05, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl.
- NIKOLOVA, M. (2005): Soil surface nitrogen and phosphorus balances for Bulgaria, 1986 to 2002. University of Forestry, Faculty of Agronomy, Sofia, Bulgaria. Manuskript.
- SPIEGEL, H., T. LINDENTHAL, M. MAZOREK, A. PLONER, B. FREYER, A. KÖCHL (2001): Ergebnisse von drei 40jährigen P-Dauerversuchen in Österreich: 1. Mitteilung: Auswirkungen ausgewählter P-Düngerformen und -mengen auf den Ertrag und die $P_{CAL/DL}$ -Gehalte im Boden. Die Bodenkultur, 52, 1, 3–17.
- STEFANOVITS, P., J. SARKADI (1963): Map of possible responses to fertiliser application in Hungary, (in Hungarian), in: P. STEFANOVITS: Magyarország talajai (Soils of Hungary), Akadémiai Kiadó, Budapest. 2. Extended Edition, 383–388.

Autorenanschrift

Dr. Franz Heinzlmaier, AMI Agrolinz Melamine International GmbH, St.-Peter-Straße 25, 4021 Linz

DI Dr. Georg Dersch, Dr. Andreas Baumgarten, Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, Spargelfeldstraße 191, 1226 Wien

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Martin H. Gerzabek, Institut für Bodenforschung, Department Wald- und Bodenwissenschaften. Universität für Bodenkultur Wien. Peter-Jordan-Straße 82b, 1190 Wien

Eingelangt am 4. März 2008

Angenommen am 20. Februar 2009