

FORSCHUNGSVERBUND AGRARÖKOSYSTEME MÜNCHEN

JAHRESBERICHT 2002

Teilprojekt: PG 3 Kurztitel: Langzeitmonitoring und Indikatoren

Thema: Flächen- und betriebsbezogene Indikatoren auf der Grundlage
des Langzeitmonitorings

Antragsteller: Dr. R. Gutser, Dr. H.J. Reents
Mitarbeiter: Dr. I. Rühling, H. Schmid, K.H. Weinfurter
Institution: TUM, Lehrstuhl für Pflanzenernährung
TUM, Koordination für ökologischen Landbau

- I. Einleitung und Fragestellung
- II. Material und Methoden
 - II.1 Analyse landwirtschaftlicher Betriebe in Scheyern und im Landkreis Pfaffenhofen mit Hilfe von REPRO
 - II.2 Langzeitmonitoring, Bodeninventuren
- III. Ergebnisse und Diskussion
 - III.1 Erste Bilanzierungsergebnisse landwirtschaftlicher Betriebe in Scheyern und im Landkreis Pfaffenhofen mit Hilfe von REPRO
 - III.2 Bodeninventur, Verlustpfade und N-Emissionen
- IV. Schlussfolgerungen und Ausblick
- V. Publikationen
 - V.1 Verwendete Literatur
 - V.2 Eigene Publikationen

I Einleitung und Fragestellung

Die Ziele des Teilprojektes PG 3 ergeben sich aus der Problemstellung überhöhter Stofffrachten aus bewirtschafteten Flächen in angrenzende Ökosysteme, die zu Störungen des komplexen Systemgleichgewichts führen können sowie der unterschiedlichen Bewirtschaftungsintensität der beiden Betriebe in Scheyern:

Stoff- und Energieflüsse an Dauermesspunkten, auf Schlägen (Teilschlägen), im Einzelbetrieb und im Gesamtbetrieb sind zu erfassen, zu bilanzieren und daraus für die jeweilige Betrachtungsebene Stoffbilanzen sowie Kennzahlen zur Bewertung der Effizienz und Nachhaltigkeit der Bewirtschaftungsformen abzuleiten. Durch eine entsprechend angepasste Bewirtschaftung soll eine Entlastung der Umwelt erreicht werden, ohne den Betriebserfolg zu gefährden. Zur Bewertung dieser Effekte sind in Zusammenarbeit mit anderen TP (PG 4 etc.) bereits Indikatoren abgeleitet worden.

Ein wichtiger Indikator für den potentiellen N-Austrag ist der N-Saldo der Fläche¹ oder des Betriebs² (UBA, 1999). Den N-Saldo der Hoftorbilanz erhält man, wenn die gesamten Eingänge den Ausgängen (pflanzliche und tierische Marktprodukte) gegenüber gestellt werden. Die Vorgänge im Betrieb bleiben dabei unberücksichtigt (black-box-Prinzip). Die Hoftor- oder Betriebsbilanz ist die Summe der Flächen- und Stallbilanz. Beim N-Saldo wurden die Verluste im Stall und bei der Lagerung der Wirtschaftsdünger noch nicht abgezogen.

Indikatoren für die quantifizierbaren N-Verluste in Atmosphäre und Hydrosphäre sind NO_3 , NH_3 und N_2O , die ca. 50% des mittleren flächenbezogenen N-Saldos (ca. 85 kg N/ha a) im integrierten Betrieb von Scheyern ausmachen (vgl. Jahresberichte des TP PG 3 im FAM 1999 bis 2001). Als N_2 ausgetragener Stickstoff belastet die Umwelt nicht, stellt aber eine Minderung des produktiven N-Potentials dar.

II Material und Methoden

II.1. Analyse landwirtschaftlicher Betriebe in Scheyern und der Region Pfaffenhofen mit REPRO

Die Erfassung und Errechnung der umgesetzten Stoffmengen (C, N, P, K) wurde wie bisher mit REPRO, einem Programm zur Betriebsbilanzierung von der Universität Halle, Inst. für Acker- und Pflanzenbau (HÜLSBERGEN et al., 2000) durchgeführt, welches weiterhin an die Standortbedingungen des tertiären Hügellandes im Raum Pfaffenhofen und die betrieblichen Strukturen angepasst wurde. Hier werden die Ergebnisse vorgestellt, die mit auf den vorliegenden Bericht (HÜLSBERGEN et al., 2002) folgenden Versionen von REPRO modelliert wurden.

¹ Immission, N_2 -Fixierung, Saatgut, organische Düngung, mineralische Düngung, Stroh-/Gründüngung, Nettomineralisation des Bodens (wird in REPRO im erweiterten Modul mitberücksichtigt). P und K-Pool wird also bei der Bilanzierung nicht mit einbezogen.

² Immission, N_2 -Fixierung, Saatgut, mineralische Düngung, Tierzukauf, Futter- und Strohzukauf

Neben den beiden scheyerner Betrieben (1998 – 2000) wurden im Landkreis Pfaffenhofen 24 weitere integriert und ökologisch wirtschaftende, viehhaltende und Marktfrucht-Betriebe aufgenommen und deren Stoffflüsse für die Jahre 1999 bis 2001 bilanziert („externe Betriebe“). Es wurden die Flächen-, Hoftor- und Stallbilanzen für N, P und K errechnet. Während der laufenden Anpassung von REPRO am Lehrstuhl für Pflanzenbau der Uni Halle, trugen Hinweise von Bearbeitern, beispielsweise im Rahmen einer studentischen Seminararbeit über 7 Betriebe, zu einer besseren Anpassung der Stammdaten³ durch Abgleich mit aktuellen Bewirtschaftungsangaben und somit zur Weiterentwicklung von REPRO bei. Beispielsweise konnte die Entwicklung der Tierbestände über Altersgruppen ergänzt werden und damit das Aufkommen an Stallmist besser kalkuliert werden. Des Weiteren wurden Läufer-Schweine im Modul „Tierhaltung“ und die Ergebnisse der Inhaltsstoff-Analytik integriert. Ergänzend wurde jetzt in REPRO die Hoftorbilanzierung und die Modellierung der Tierhaltung für den integrierten Betrieb möglich. Die Hoftorbilanzen können für die einzelnen Nährstoffe graphisch als betrieblicher Kreislauf mit Zufuhren und Abfuhren (In- /Output) und definiertem Saldo dargestellt werden. Bisher ist allerdings eine manuelle Korrektur dieser Kreisläufe bei der Zufuhr organischer Dünger (Pfad Tier – Boden) für integriert wirtschaftende Betriebe neben der Berechnung in REPRO erforderlich: Exkremate (Ausscheidungen auf der Weide), die in der tabellarischen Bilanzierung mit einbezogen werden, bleiben im Kreislauf von REPRO unberücksichtigt. Sie müssen für diesen daher separat berechnet werden. Die Fruchtartendiversität wurde mit dem Shannon-Weaver-Index (HÜLSBERGEN et al., 2002) bewertet, der wie folgt klassifiziert ist (Tab. 1).

Tab. 1: Zielbereiche des Indikators „Fruchtartendiversität“

Shannon-Weaver-Index	Bereich	Begründung
≤ 1,25	sehr geringe FA-Diversität	Verarmung der Agrarlandschaft erhöhtes Krankheits- und Schaderregerrisiko einseitige Fruchtfolgen, wenig Anbaupausen
1,25 – 1,75	geringe – mittlere FA-Diversität	verminderte Stabilität und Regulationsleistung
1,75 – 2,50	mittlere - hohe FA-Diversität	Bereicherung der Agrarlandschaft
> 2,50	sehr hohe FA-Diversität	günstige Fruchtfolgegestaltung Einsparung von Pflanzenschutzmitteln hohe Stabilität, hohes Regulationspotential

³ Das Modul Stammdaten enthält Koeffizienten, Algorithmen, Indikatoren und Zielwerte, d.h. alle Modellparameter, die zur Abbildung von Betriebssystemen benötigt werden. Es ist ein Datenpool aus den Dauerversuchen Seehausen, LUFA-Daten, Standort-, Klima- und Bewirtschaftungsdaten (z.B. werden die N-Gehalte aus Düngung geschätzt bzw. aus der Analytik verwendet), wenn vorhanden, aus Scheyern.

II.2. Langzeitmonitoring mit Bodeninventuren

Die Methodik der Bodeninventuren wurde bereits im Jahresbericht 53 (Matthes et. al. 2002) und die Beprobung 1991 in SINOWSKI (1995) beschrieben. Es wurden in den Jahren 1991, 1995 und 2001 (WEINFURTNER, 2002) Bodeninventuren an Rasterpunkten und z.T. zusätzlichen Punkten durchgeführt. Die geostatistischen Auswertungen von WEINFURTNER (2002) erstreckten sich auf die Variogrammanalyse und die darauf erstellten Interpolations-Karten mit der räumlichen Verteilung der in der Bodeninventur 2001 untersuchten Bodenparameter sowie die Veränderungen dieser Parameter von 2001 zu 1991 (Residuen-Karten).

III Ergebnisse und Diskussion

III.1 Betriebscharakteristik und Bilanzen

Ausgewählte Kriterien lassen die Differenzierung der Betriebe mit integrierter und ökologischer Bewirtschaftung gut erkennen (Tab.2).

Tab. 2: Betriebscharakteristika der Betriebe in Scheyern und im Landkreis Pfaffenhofen

Betrieb		001	002	005	007	008	009	010	011	012	013	014	015	016
Betriebsform		integriert												
Anbaufläche	ha AF	45,1	92,0	35,7	70,0	44,7	20,1	60,6	15,9	17,2	15,9	25,2	31,4	20,8
Schlaggröße	Ha	2,0	4,0	2,1	1,8	1,2	0,8	3,2	2,1	2,3	0,7	0,9	1,8	0,8
Ackerzahl	(AF)	58	55	53	49	52	50	57	52	47	48	58	55	33
Viehbesatz	GV/ha AF	0,2		1,1	1,3	1,2	2,3	1,2	2,8	3,2	2,7	1,9	3,2	1,0
Fruchtartendiversität		1,8	1,6	2,0	2,4	2,1	1,9	2,2	1,8	2,1	1,4	1,7	2,1	2,4
Getreide	% d. AF	70,8	76,1	37,8	77,4	86,5	69,7	44,1	46,1	42,3	87,7	25,1	29,2	62,9
Ölfrüchte	% d. AF	27,1	22,4	15,5	9,3			20,9						9,3
Hackfrüchte	% d. AF	1,9	1,2	29,6			19,1	28,8	34,1	52,5		23,3	48,9	
Körnerleg.	% d. AF								1,5					
Klee gras	% d. AF			6,8			11,2		16,8		12,3	51,6	14,3	21,2
Brache	% d. AF	0,3	0,3	10,4	13,4	13,5		6,2	1,5				7,7	6,6
Untersaat	% d. AF													
Zwischenfrüchte	% d. AF	15,3		8,4	33,2	32,6	21,1	27,8	47,6	45,1	35,8	15,6	24,8	32,5

Tab. 2 (Fortsetzung): Betriebscharakteristika der Betriebe in Scheyern und im Landkreis Pfaffenhofen

Betrieb	017	018	021	003	004	006	019	020	022	023	024	Scheyern	
Betriebsform	integriert			ökologisch								int.	öko.
Anbaufläche ha AF	33,1	31,6	34,9	46,7	52,8	208,8	42,3	167,7	80,3	40,7	18,0	29,9	31,6
Schlaggröße Ha	1,1	1,3	2,0	2,1	2,2	4,8	3,7	3,7	6,2	1,5	2,3	4,3	2,3
Ackerzahl (AF)	48,7	53,0	43	55	43	51	55,3	49,0	58,0	58,7	50,0	53,0	54,0
Viehbesatz GV/ha AF	1,5	2,2	2,1	0,2								1,1	2,1
Fruchtartendiversität	2,2	2,3	2,0	2,3	1,9	2,8	2,4	2,6	2,3	3,0	1,4	1,6	2,7
Getreide % d. AF	57,2	51,4	45,7	60,3	68,9	61,0	51,3	73,6	59,6	45,0	59,5	63,1	39,7
Ölfrüchte % d. AF		6,3				5,2							14,5
Hackfrüchte % d. AF	32,0	26,6	39,9			1,2				9,8		36,9	17,6
Körnerleg. % d. AF				17,2	10,4	7,6	1,0	8,1	18,5	10,4	13,3		
Klee gras % d. AF	6,1			22,5	18,9	22,2	38,4	12,2	21,9	15,8	27,3		28,2
Brache % d. AF	4,6	12,0	14,4			0,1	9,3	0,5		1,1			
Untersaat % d. AF						13,0		65,4		3,1			32,8
Zwischenfrüchte % d. AF	48,3	38,5	19,3	28,0	18,6	12,9	15,6	7,1	57,4	23,5	15,9	44,8	22,8

Mittelwerte 1999 - 2001 (Scheyern 1998 - 2000)

Die ökologischen Betriebe haben im Schnitt eine nahezu doppelt so große Anbaufläche (82 ha) und Schlaggröße (3,3 ha) - letzteres ist bei den Betrieben von Scheyern umgekehrt - aber mit 0,8 GV/ha einen weniger als halb so großen Viehbesatz, wie die integrierten Betriebe. Der Tierbesatz ist nach Einordnung in Zielwert-Bereiche für diesen Indikator (HÜLSBERGEN et al., 2002) optimal. Die Fruchtartenvielfalt („-diversität“) ist in beiden Betriebsformen mit 2,0 bzw. 2,3 (int./öko.) hoch und damit bereichernd für die Agrarlandschaft. Allein der Scheyerner integrierte Betrieb liegt mit einer Fruchtartendiversität von 1,6 im Bereich verminderter Stabilität und Regulationsleistung.

Der Humusversorgungsgrad als Maß für die Humusreproduktion (HÜLSBERGEN et al., 2002) ist im Mittel aller integrierter und ökologischer Betriebe (mit 121 bzw. 146) über-optimal (Tab 3). Diese hohe Humusversorgung erhöht das N-Potential für den Boden und damit die Ertragssicherheit, allerdings auch das Potential für N-Austräge. Davon ausgenommen ist der leicht unterversorgte integrierte Betrieb in Scheyern, der nach REPRO nur mit einem Humus-Versorgungsgrad von 82% ausgewiesen ist.

Tab. 3: Humusversorgung und Flächensalden der Betriebe in Scheyern und der Region Pfaffenhofen

Betrieb		001	002	005	007	008	009	010	011	012	013	014	015	016
Betriebsform		integriert												
Humus-Bilanzsaldo	HE	-0,10	-0,18	-0,18	0,21	0,20	0,32	-0,20	-0,08	-1,05	0,40	0,55	0,65	0,55
Humus-Versorgungsgrad %		90	79	82	127	122	141	81	94	49	145	159	199	173
Änderung Bodenvorrat C	kg / ha*a	-61	-104	-109	123	113	182	-109	-45	-608	234	318	375	325
Änderung Bodenvorrat N	kg / ha*a	-6	-10	-10	12	11	17	-10	-4	-58	22	30	36	31
N-Saldo	kg / ha*a	69	46	70	85	64	104	79	72	78	151	40	123	42
P-Saldo	kg / ha*a	5	50	-4	22	14	41	0	2	19	36	12	43	2
K-Saldo	kg / ha*a	28	42	-26	34	10	9	-4	-57	-36	91	17	35	39
Betrieb		017	018	021	003	004	006	019	020	022	023	024	Scheyern	
Betriebsform		integriert			ökologisch								int.	öko.
Humus-Bilanzsaldo	HE	-0,18	-0,12	-0,55	0,23	0,06	0,16	0,94	0,42	0,48	-0,12	0,04	-0,21	0,48
Humus-Versorgungsgrad %		85	90	56	131	108	121	258	151	166	89	107	82	143
Änderung Bodenvorrat C	kg / ha*a	-104	-67	-318	134	32	94	546	246	278	-73	24	-125	281
Änderung Bodenvorrat N	kg / ha*a	-10	-6	-30	13	3	9	52	23	26	-7	2	-12	27
N-Saldo	kg / ha*a	81	107	133	10	14	20	-40	10	8	33	12	86	1
P-Saldo	kg / ha*a	12	19	11	-8	-7	-8	-7	-9	-9	-7	-10	-8	-2
K-Saldo	kg / ha*a	22	52	-9	-13	-10	-17	-26	-15	-19	-25	-46	-20	25

Mittelwerte 1999 - 2001 (Scheyern 1998 – 2000)

Die Ergebnisse der Hoftor-, Flächen- und Stallbilanzierung des Stickstoffhaushalts sind für die scheyerner Betriebe mit ihrem Input (kursiv) und Saldo (Säulen) errechnet (Abb. 1). Während die Hoftorbilanz⁴ beider Betriebe nur relativ geringe Unterschiede in den N-Salden aufweist (86 kg N/ha a integriert gegenüber 80 kg N/ha a ökologisch), weichen die entsprechenden Werte der Flächen- und Stallbilanz jeweils deutlich voneinander ab. Der höhere N-Überschuß im Stall des Ökobetriebes ist sowohl auf die größere Tier-Besatzdichte als auch auf Aufstallungsart mit Festmist zurückzuführen. Der höhere N-Überschuß der Flächenbilanz des integrierten Betriebes ist auf höhere NH₃-Verluste (Gülleinsatz) sowie auf den deutlich höheren N-Input zurückzuführen. Für das Grünland (Mittelwert über Wiese, Mähweide und Weide) des Öko-Betriebes errechnet sich ein auffallend niedriger N-Überschuß. Dabei (nicht aufgeführt) traten auf Wiesen Negativsalden und auf Weiden höhere Positivsalden auf.

Abb. 2 zeigt für die integriert oder ökologisch in der Region Pfaffenhofen wirtschaftenden Betriebe N-Salden von Hoftorbilanzen.

⁴ Die Entzüge und somit die N-Salden wurden für Silomais im integrierten Betrieb (1999 und 2000) leicht nach unten korrigiert.

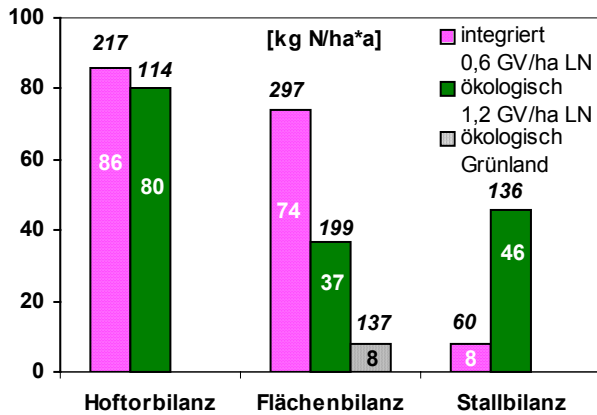


Abb. 1: N-Salden der Hoftorbilanz, der Flächenbilanz von Acker und Grünland sowie der Stallbilanz (1998 bis 2000)

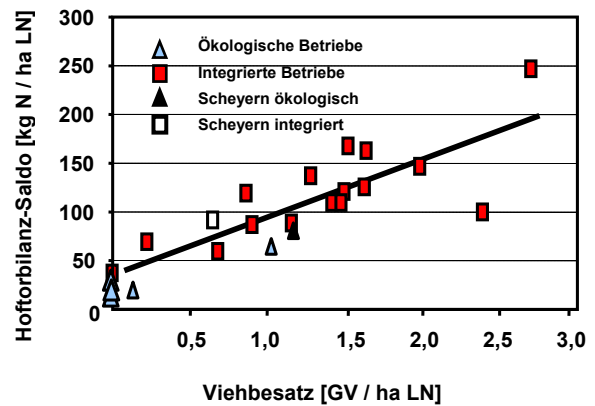


Abb. 2: N-Saldo der Hoftorbilanzen und Viehbesatz des ökologischen und integrierten Betriebes in Scheyern und von Betrieben in der Region Pfaffenhofen

Grundsätzlich steigen diese mit höheren Tier-Besatzdichten an. Ökobetriebe weisen niedrigere N-Überschüsse auf als integriert wirtschaftende Betriebe. Die beiden scheyerener Betriebe finden sich bei insgesamt hoher N-Intensität im Mittelfeld der Vergleichsbetriebe im Landkreis Pfaffenhofen.

Die Salden der Hoftorbilanzen weisen bei den untersuchten Betrieben insgesamt eine große Spannweite auf (Tab. 4). Das ist sicherlich weniger mit der ursprünglich unterschiedlichen Versorgung der Böden insbesondere mit Grundnährstoffen zu erklären, als vielmehr mit den Düngestrategien, deren Gaben oft über die Erhaltungsdüngung hinausgehen. In Scheyern wurde auf die P- und K-Düngung verzichtet, da die Böden bereits zu Beginn des FAM optimal und darüber hinaus versorgt waren. Eine Zufuhr über das Saatgut oder Tierzukauf schlägt sich geringfügig, die in den zugekauften Futtermitteln enthaltenen Nährstoffmengen (P, N) z.T. stärker in der Hoftorbilanz nieder.

Im integrierten Betrieb in Scheyern wurde die Tierhaltung simuliert, d.h. der im Betrieb erzeugte Mais ging an benachbarte Bullenmäster gegen Zukauf äquivalenter Güllemengen:

Der mittlere jährliche Zukauf betrug 36 kg N/ha (1998 – 2000) und entsprach damit einem GV-Besatz von 0,6/ha. N-Verluste im Stall und Lager gingen mit 8 kg N/ha in die „simulierte“ Stallbilanz zusätzlich mit ein.

Tab. 4: Hoftorbilanzen der Betriebe in Scheyern und der Region Pfaffenhofen

Betrieb	001	002	005	007	008	009	010	011	012	013	014	015	016
Betriebsform	integriert												
N-Input	193	144	193	227	169	210	166	192	185	458	172	143	115
N-Output	124	113	73	90	80	46	79	47	85	211	47	22	56
N-Saldo	69	32	120	137	89	163	87	146	100	247	125	121	59
P-Input	32	73	18	45	26	55	19	27	43	81	24	23	14
P-Output	27	26	15	19	18	9	16	10	19	45	10	5	13
P-Saldo	4	47	3	25	8	46	2	17	24	37	14	18	1
K-Input	56	73	40	53	17	33	14	15	26	125	26	17	35
K-Output	34	35	25	17	15	8	18	11	32	36	12	4	17
K-Saldo	22	38	15	37	2	26	-4	4	-6	89	14	13	18
Betrieb	017	018	021	003	004	006	019	020	022	023	024	Scheyern	
Betriebsform	integriert			ökologisch								int.	öko.
N-Input	198	151	227	67	51	71	98	78	90	72	67	217	114
N-Output	88	41	60	45	34	42	33	46	55	47	53	131	34
N-Saldo	110	110	167	21	17	29	65	32	34	25	14	86	80
P-Input	35	30	29	1	0	0	5	0	1	2	0	21	9
P-Output	21	9	12	9	7	9	7	9	10	9	11	26	8
P-Saldo	14	21	17	-8	-7	-8	-2	-9	-9	-7	-10	-5	1
K-Input	54	18	34	1	1	1	19	0	1	9	1	42	62
K-Output	18	8	15	13	11	18	8	16	20	33	47	63	24
K-Saldo	36	10	19	-13	-10	-18	11	-15	-19	-24	-46	-22	38

Mittelwerte 1999 - 2001 (Scheyern 1998 – 2000)

Die P- und K-Bilanzsalden (Hofor) fielen bewirtschaftungsbedingt z.T. geringfügig negativ aus. Ursache ist die geringe P- und K-Zufuhr und vereinzelt hohe Abfuhr besonders bei den Ökobetrieben. Beispielsweise führt Betrieb 24 nahezu das gesamte Stroh ab und Betrieb 23 betreibt Gemüsebau mit dem überwiegenden Verkauf von Marktfrüchten. Daher fielen die Salden mit -46 kg K/ha hier stärker negativ aus. Dagegen hat der Scheyerner Ökobetrieb einen trotz fehlender P- und K-Düngung fast ausgeglichenen P- und K-Saldo, da über Futter- und Strohkauf die Verluste ausgeglichen wurden.

Die Kreisläufe der beiden Betriebe in Scheyern am Beispiel Stickstoff veranschaulichen die unterschiedlichen Zufuhrgrößen (Input) der Anbausysteme, den Umsatz im Betrieb mit Aufteilung der in den Entzügen der Pflanzen enthaltenen Stoffmengen auf Marktprodukte, Futter und Einstreu sowie letztlich auf den Anfall an organischem Dünger (Abb. 3).

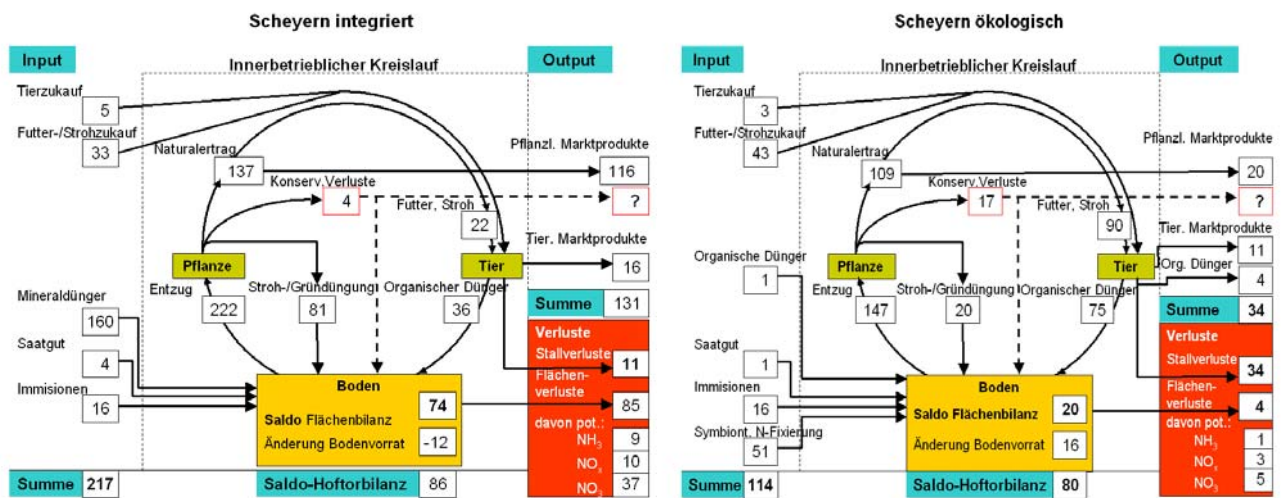


Abb. 3: Betrieblicher N-Kreislauf der beiden Betriebe in Scheyern [$\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$] im Zeitraum 1998 bis 2000.

Die Zufuhren in den Betrieb abzüglich der Abfuhr (Input – Output) ergeben den Saldo der Hoftorbilanz. Der N-Saldo der beiden Hoftorbilanzen unterschied sich nicht deutlich, obwohl das Ertragsniveau im integrierten Betrieb deutlich höher und somit die N-Entzüge mit 215 gegenüber 147 kg N/ha a (int./öko.) entsprechend höher ausfielen. Dagegen fällt die Flächenbilanz im Ökobetrieb deutlich niedriger aus. Beachtliche Unterschiede bestehen in der Stallbilanz – hier wirkt sich der höhere Viehbesatz und die Aufstallungsart (Laufhof, Stallmist) deutlich aus (siehe auch Abb. 1).

III.2 Bodeninventur, Verlustpfade und N-Emissionen

Am Beispiel der Veränderung der N-Vorräte innerhalb von 10 Jahren zeigt sich eine räumliche Abhängigkeit (Abb. 4). Insbesondere im ökologischen Betrieb hat es überwiegend unter Grünland eine Zunahme der N-Mengen in der Krume gegeben, während die N-Gehalte unter Acker (besonders um den Hof Schläge A 11, 10, 17, 18) mit bis zu 600 kg N/ha a abnehmen. Insbesondere im Grünland traten größere Probleme mit der Abgrenzung der Profilhorizontierung in beiden Bodeninventuren auf. Über die Gesamtflächen hat es in dem Bewertungszeitraum aber keine nennenswerten Veränderungen gegeben.

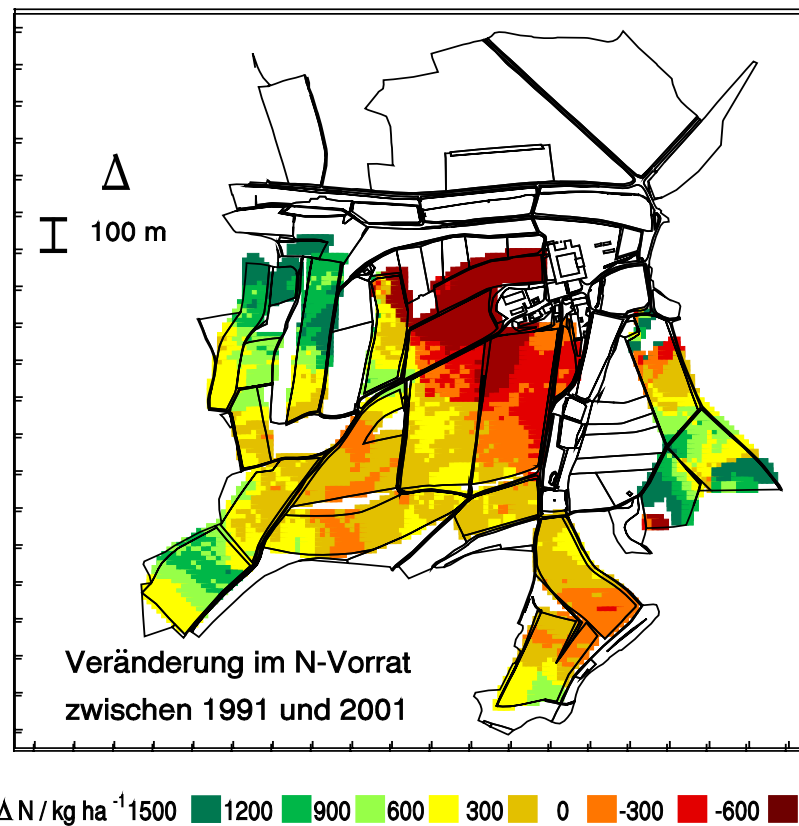


Abb. 4: Veränderung der N-Vorräte beider Betriebsflächen

Aus den Ergebnissen der Bodeninventur (siehe Jahresbericht des FAM, 2000), die sich zudem mit den Prognosen des in REPRO enthaltenen Bodenprozess-Modells (C, N) weitgehend decken (Schwankungen der Bodenvorräte zwischen -12 und 16 kg N/ha a), ist zu folgern, dass die in Abb. 1 aufgezeigten N-Überschußsalden die an die Hydro- und Atmosphäre verloren gegangenen N-Mengen wiedergeben. Im folgenden wurde versucht, unter Einbeziehung von Punkt- und Flächenmessungen anderer Teilprojekte, zumindest für die Ackerschläge eine weitere Quantifizierung dieser N-Austräge auf die einzelnen Verlustpfade zu kalkulieren. Es wurden folgende Austragspfade berücksichtigt:

- NO_3 -Auswaschung: Kombination von Sickerwasser-Mengen (REPRO) und NO_3 -Gehalten von Abflüssen in Naturlysimetern in 180 cm Tiefe (MATTHES et al., 2001) mit Oberflächen- und Zwischenabflüssen (HELLMEIER, 2001)
- NH_3 -Emission: Modellierung der NH_3 -Verluste nach Gülledüngung (nach KATZ in MENZI et al., 1997); Evaluierung dieser Methode mittels NH_3 -Messung im Freiland (dynamische Kammermethode nach WEBER et al., 2000)
- N_2O -Emission: Ganzjährige, punktuelle, kulturartenspezifische Feldmessungen (geschlossene Kammermethode; RUSER, 1999) mit 1-10 kg N/ha Streubreite.

Der für die Ackerflächen des integriert bewirtschafteten Betriebes je ha festgestellte jährliche N_2 -Überschuß⁵ von 75 kg N wird zu 27 kg N in die Hydrosphäre und zu 55 kg N in die Atmosphäre ausgetragen. Letztere Menge teilt sich in die Segmente NH_3 (20 kg N), N_2O (8 kg N) und N_2 (20 kg N) auf (Abb. 5).

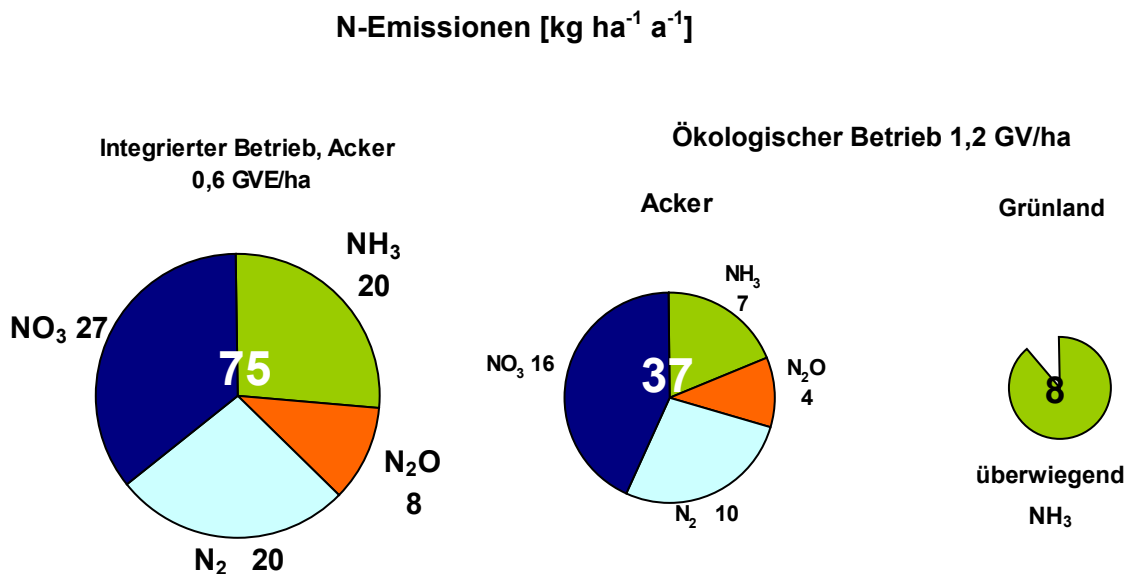


Abb. 5: N-Emissionen von Acker- und Grünlandflächen in beiden Betriebssystemen

Die insgesamt deutlich niedrigeren Austräge aus den ökologisch bewirtschafteten Flächen gehen mit 16 kg N in die Hydrosphäre und 21 kg N in die Atmosphäre verloren. Die mit deutlichem Abstand niedrigsten N-Austräge auf Grünland (\emptyset von Wiese, Mähweide, Weide) dürften überwiegend als NH_3 -Stickstoff verloren gehen. Die im Stall verloren gegangenen N-Mengen sind in dieser Berechnung nicht enthalten (s. Stallbilanz, Abb.1). Probleme bei der Erfassung der Stoffflüsse bereitet zumindest auf Weideflächen die kleinflächig variable Verteilung der Exkremente durch die Tiere.

IV. Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Potential für N-Verluste von Betrieben wird wesentlich von der Tier-Besatzdichte, die Verluste von den Ackerflächen besonders durch die Bewirtschaftungsweise (integriert und ökologisch) bestimmt (GUTSER und EBERTSEDER, 2001). Die in Scheyern praktizierte Landnutzung, bessere Böden integriert sowie weniger gute Böden ökologisch zu bewirtschaften, konnte den im „Entwurf zur nationalen Nachhaltigkeitsstrate-

⁵ Die Entzüge und somit die N-Salden wurden für Silomais im integrierten Betrieb (1999 und 2000) leicht nach unten korrigiert. Daraus ergaben sich entsprechend geringere N_2 -Emissionen.

gie der Bundesrepublik Deutschland“ (2002) für den N-Überschuß der Landwirtschaft genannten Richtwert von 80 kg N/ha nahezu unter Einbeziehung der ausgewiesenen Schutzflächen (Brachen, Gewässerrandstreifen) in Höhe von ca. 15% der Gesamtfläche der Betriebe problemlos erreichen.

Ökologische und integriert-bodenkonservierende Nutzung führte auch aus Umweltsicht zu vertretbaren N-Austrägen durch Auswaschung (durchschnittlich 17 kg N/ha a, bezogen auf die Gesamtfläche beider Betriebe von 105 ha). Dies wird durch die Entwicklung der Nitratkonzentrationen im Grundwasser belegt (HONISCH et al., 2002). Allerdings traten im integriert genutzten System beachtlich hohe N₂O-Emissionen auf, die u.a. durch die hohe N-Zufuhr, die C- und N-Anreicherung in der Krume (0-10 cm) und in Wechselwirkung mit minimierten Nitratausträgen zu erklären sind.

Um Verluste im integrierten Betrieb zu minimieren sollte u.a. auch über die Erreichbarkeit der für diesen Standort gesetzten Ertragsziele nachgedacht werden. Dieser gedankliche Ansatz wurden mit der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung in Scheyern umgesetzt (SCHMIDHALTER et al., 2002). Im ökologischen Betrieb ist eine nennenswerte Verringerung der N-Überschüsse auf Betriebsebene nur durch den Abbau der Tier-Besatzdichte zu erreichen. Allerdings muß eine produktive Nutzung der Grünlandflächen weiterhin gesichert bleiben.

Letztlich ist darauf hinzuweisen, dass für die Bewirtschaftung von Böden des tertiären Hügellandes der Bodenschutz, und hier in erster Linie der Schutz gegenüber Wassererosion, ein übergeordnetes Ziel der Ressourcenschonung darstellte. Dies erforderte Zugeständnisse bezüglich eines höheren N-Inputs und damit einen Anstieg des Verlustpotentials von Stickstoff im integrierten Betrieb (Mehrzieloptimierung).

IV Publikationen

IV.1 Verwendete Literatur

GUTSER, R. und EBERTSEDER, T. (2001). Unvermeidbare Nährstoffverluste in der Landwirtschaft, In: Düngung: Baustein nachhaltiger Landwirtschaft, Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e.V. und des Bundesarbeitskreises Düngung, BAD (Hrsg.) in Würzburg, S. 95 – 114.

HELLMEIER, C (2001): Stofftransport in der ungesättigten Zone der landwirtschaftlich genutzten Flächen in Scheyern/Oberbayern (Tertiärhügelland). Diss. Fak. f. Geowissenschaften der LU München, GSF-Bericht 05/01, 170 S.

HONISCH, M. HELLMEIER, C. and WEISS, K. (2002): Response of surface and subsurface water quality to land use changes. *Geoderma* 105: 277-298.

HÜLSBERGEN, K.-J., DIEPENBROCK, W. und ROST, D. (2000): Kurzbeschreibung des Modells REPRO. Analyse und Bewertung von Umweltwirkungen im Landwirtschaftsbetrieb – Das Hallesche Konzept – Aus: Die Agrarwissenschaften im Übergang zum 21. Jahrhundert – Herausforderungen und Perspektiven. 8. Hochschultagung am 28.4.2000 in Halle/Saale, Tagungsband, S. 75-86.

HÜLSBERGEN, K.-J., ABRAHAM, J., KÜSTERMANN, B. und HENSEL, G. (2002): Einsatz des Modells REPRO im Versuchsgut Scheyern, MLU Halle-Wittenberg, Inst. f. Pflanzenbau und Verein zur Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft e.V., Halle (Hrsg.), Forschungsbericht Teil II, 105 S.

- MATTHES, U., GUTSER, R., GERL, G., und KAINZ, M. (2001):** Stickstoffverluste durch ressourcen-schonende Bewirtschaftung – dargestellt am Beispiel des Versuchsgutes Scheyern. VDLUFA-Schriftenreihe 57, S. 237 – 245.
- MENZI, H., FRICK, R. und KAUFMANN, R. (1997):** Ammoniak-Emissionen in der Schweiz. Schriftenreihe der FAL 26: 107 S. + Anhg.
- RUSER, R. (1999):** Freisetzung und Verbrauch der klimarelevanten Spurengase N₂O und CH₄ eines landwirtschaftlich genutzten Bodens in Abhängigkeit von Kultur und N-Düngung, unter besonderer Berücksichtigung des Kartoffelanbaus. Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau, TU München, FAM-Bericht 36, Diss., 124 S.
- SINOWSKI, W. (1995):** Die dreidimensionale Variabilität von Bodeneigenschaften - Ausmass, Ursachen und Interpolation. Dissertation am Lehrstuhl für Bodenkunde, TU München, FAM-Bericht 7, 156 S.
- SCHMIDHALTER, U., DUDA, R., GUTSER, R., EBERTSEDER, T., HEIL, K. und GERL, G. (2002):** Teilflächenspezifischer Wasser- und Stickstoffhaushalt. Statusseminar des Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM) 27.-29.11.2002 in der GSF Neuherberg, FAM-Bericht 55, S.43 - 46.
- UBA (1999):** Entwicklung von Parametern und Kriterien als Grundlage zur Bewertung ökologischer Leistungen und Lasten der Landwirtschaft – Indikatorensysteme. UBA-Texte 42/99: 258 S.
- WEBER, A., GUTSER, R., HENKELMANN, G. und SCHMIDHALTER, U. (2000):** Unvermeidbare NH₃-Emissionen aus mineralischer Düngung (Harnstoff) und Pflanzenmulch unter Verwendung einer modifizierten Messtechnik. VDLUFA-Schriftenreihe 53/2000, S. 175-182.

IV.2 Eigene Publikationen

- GUTSER, R., und RÜHLING, I. (2002):** Stickstoffflüsse im landwirtschaftlichen Betrieb. Statusseminar des Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM) 27.-29.11.2002 in der GSF Neuherberg, FAM-Bericht 55, S.85 - 90.
- MATTHES, U., SCHMID, H. GERL, G., GUTSER, R., REENTS, H.J. (2002):** Flächen- und betriebsbezogene Indikatoren auf der Grundlage des Langzeitmonitorings. GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg (Hrsg.) FAM-Bericht 53, S.181-191.
- WEINFURTNER, K.H. (2002):** Geostatistische Auswertung der Bodeninventur 2001 des Forschungsverbunds Agrarökosysteme München (FAM), Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und angewandte Ökologie, Schmallenberg, 43 S.