

Cu-, Zn- und P-Parzellenbilanzen dreier landwirtschaftlicher Betriebe des NABO- Messnetzes

**Eine Untersuchung über die Aussagekräftigkeit von
parzellenscharfen Stoffbilanzen über die betriebliche
Bewirtschaftung gleicher Kulturen**



Semesterarbeit im Studiengang Umweltwissenschaften der ETH
Zürich

Anna Doberer
Betreut von Armin Keller, FAL Reckenholz und
Rainer Schulin, Institut für Terrestrische Ökologie

September 2005

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	4
1. EINLEITUNG	5
AUSGANGSLAGE	5
1.1. Fragestellung	5
2. METHODEN	7
2.1. Bilanzierungsmethode und Bilanzraum	7
2.2. Charakterisierung der Betriebe	7
2.3. Bilanzdaten	8
2.3.1. Atmosphärische Deposition	8
2.3.2. Landwirtschaftliche Hilfsstoffe	9
2.3.3. Erntegut	9
2.4. Darstellung der Ergebnisse	10
3. RESULTATE	11
3.1. Bilanzen des Ackerbaubetriebs	11
3.2. Bilanzen des Viehhaltungsbetriebs	13
3.3. Bilanzen des Mischbetriebs	15
3.4. Vergleich der Ergebnisse mit der Studie von Steiger und Baccini	17
4. INTERPRETATION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	22
5. LITERATURVERZEICHNIS	23
DANKSAGUNG	25
ANHANG	26

Zusammenfassung

Erhöhte Schwermetallgehalte im Boden gefährden dessen Fruchtbarkeit und damit unsere Nahrungsgrundlage. Mit der Stoffbilanzierung landwirtschaftlich genutzter Flächen können frühzeitig Schadstoffanreicherungen erkannt, die Ursachen von gemessenen Veränderungen der Schadstoffkonzentrationen im Boden analysiert und geeignete Massnahmen getroffen werden. Im Rahmen der Nationalen Bodenbeobachtung der Schweiz (NABO) werden seit 1996 für 48 landwirtschaftlich genutzte Parzellen die Nutzungen erfasst und die Stoffbilanzen berechnet. Für 18 der NABO-Parzellen werden alle Parzellen des Betriebes erfasst, um die Stoffbilanzen der NABO-Parzelle besser abstützen zu können. In der vorliegenden Arbeit wurde die Heterogenität der Bewirtschaftung von Parzellen dreier landwirtschaftlicher Betriebe untersucht. In der Praxis kann die Nutzung, die Ablegenheit einer Parzelle oder die schlechte Zugänglichkeit die Intensität der Düngung beziehungsweise des Pestizideintrags beeinflussen. Der Vergleich der Cu-, Zn- und P-Bilanzen der NABO-Parzelle mit den restlichen Parzellen und der Betriebsbilanz soll als Interpretationshilfe für die NABO-Parzelle dienen. In einem zweiten Schritt wurden die gewichteten Betriebsbilanzen dieser Studie mit jenen von Steiger und Baccini verglichen.

Um das Spektrum der schweizerischen Landwirtschaft möglichst gut abzudecken wurden ein Viehhaltungsbetrieb, ein Ackerbaubetrieb und ein Mischbetrieb ausgewählt. In dieser Arbeit wurde die Stoffbilanzierungsmethode PROTERRA angewendet. Berücksichtigt wurden die parzellenscharfen Einträge der Jahre 1998 - 2003 durch Dünger (Hofdünger, Mineraldünger), Pestizide, atmosphärische Deposition sowie die Ernte als Austragspfad.

Die Resultate zeigen, dass einzelne Parzellen je nach Betrieb und Element eine zwei- bis viermal grössere Nettoflux als die gesamtbetriebliche Bilanz aufweisen. Die grossen Unterschiede zeigen, dass nicht ohne weiteres von einzelnen Parzellen auf andere oder die Betriebsbilanz geschlossen werden kann, selbst wenn es sich um Parzellen derselben Nutzungsart handelt. Dies trifft sowohl für die Kupfer-, die Zink- als auch die Phosphorbilanz zu. Die Stoffbilanzen zwischen Parzellen des Typs Ackerbau variieren tendenziell stärker als intensiv genutzte oder extensiv genutzte Wiesen und Weiden.

Die NABO-Betriebsbilanzen sind deutlich niedriger als jene der Studie von Steiger und Baccini (1990). Einerseits ist die atmosphärische Deposition von Zn und Cu deutlich zurückgegangen und es wird bereits mehr als 75 % der schweizerischen Landwirtschaftsfläche nach den Richtlinien der Integrierten Produktion bewirtschaftet. Die Studien unterscheiden sich vor allem in der P-Versorgung der Böden. Während die von Steiger und Baccini untersuchten Betriebe eine Überversorgung von 171-196% aufweisen, wurde auf den NABO-Betrieben weniger gedüngt, als die Pflanzen benötigen (67-88%). Durch geringere Düngung, aber auch wegen niedriger Cu- und Zn-Gehalte in Hofdüngern sind die Stoffbilanzen der drei NABO-Betriebe bedeutend niedriger als in der Vergleichsstudie. Die drei NABO-Betriebe stellen eher extensiv wirtschaftende Betriebe dar und weisen einen Netto-P-Entzug auf. Dies ist nicht repräsentativ für die Schweiz, wo noch im Jahr 2003 eine jährliche P-Akkumulation von 6.7 kg/ha landwirtschaftlicher Nutzfläche verzeichnet wird.

1. Einleitung

Ausgangslage

Die landwirtschaftlichen Böden bilden die Produktionsgrundlage für Nahrungs- und Futtermittel. Um diese Lebensgrundlage langfristig zu erhalten, darf die Fruchtbarkeit der Böden nicht gefährdet werden. Mit der Stoffbilanzierung landwirtschaftlich genutzter Flächen können frühzeitig Schadstoffanreicherungen erkannt und die Ursachen von gemessenen Veränderungen der Schadstoffkonzentrationen im Boden analysiert werden. Das direkte Monitoring erlaubt eine Prüfung der Zuverlässigkeit der Stoffbilanzen.

Im Messnetz der Nationalen Bodenbeobachtung der Schweiz (NABO) wird sowohl ein direktes Monitoring (Messungen) als auch ein indirektes Monitoring durchgeführt (Stoffbilanzen). Seit 1985 werden in der Schweiz periodisch Schadstoffbelastungen durch Kupfer, Zink, Cadmium, Blei, Quecksilber, Chrom, Nickel, Cobalt und Fluor im Boden gemessen. Das Messnetz umfasst insgesamt 105 Standorte mit unterschiedlicher Landnutzung (Desaules und Dahinden, 2000).

Um die Ursachen der gemessenen zeitlichen Veränderungen der Schadstoffgehalte in Böden zu erforschen, werden die relevanten Stoffein- und austräge für die landwirtschaftlich genutzten Parzellen im NABO-Messnetz erhoben.

Die Bodenbeobachtung identifiziert die anthropogenen Stoffeinträge und ermöglicht zielgerichtete Massnahmen zur Vermeidung von übermässigen Schwermetallanreicherungen. Beispielsweise wurde mit der Änderung der Stoffverordnung vom 1. Mai 2003 der Einsatz von Klärschlamm, einer der Quellen von Kupfer, Blei und Zink, gesetzlich verboten. Im Futter- und Gemüsebau darf Klärschlamm bereits heute nicht mehr verwendet werden. Für die übrigen düngbaren Flächen gilt eine Übergangsfrist bis 2006.

1.1. Fragestellung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war Parzellenbilanzen von landwirtschaftlichen Betrieben im NABO-Messnetz zu erstellen, um die Heterogenität der Bewirtschaftung der Parzellen und deren Einfluss auf die Bilanzen von Cu, Zn und P zu untersuchen. Aus den Parzellenbilanzen eines Betriebes kann eine gewichtete mittlere Betriebsbilanz geschätzt werden. Die Unterschiede der Stoffein- und -austräge zwischen Parzellen können von verschiedenen Faktoren abhängen. In der Praxis kann die Nutzung, die Ablegenheit einer Parzelle oder schlechte Zugänglichkeit bei grosser Hangneigung die Intensität der Düngung beziehungsweise des Pestizideintrags beeinflussen. Es wurde die folgende Hypothese geprüft: Einzelne Parzellen landwirtschaftlicher Betriebe weisen auf all ihren Parzellen einer Nutzungsart ähnliche Stoffbilanzen auf. Der Vergleich der Bilanz für die NABO-Parzelle mit den restlichen Parzellen eines Betriebes soll zur besseren Aussagekraft und Interpretation für die Bilanz der NABO-Parzelle beitragen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Kupfer-, Zink- und Phosphorbilanzen für Mischbetriebe, reine Viehmast- und Milchwirtschaftsbetriebe untersucht. Die Phosphorbilanz wurde in die Untersuchung miteinbezogen, da diese ein guter

Indikator für die landwirtschaftliche Nutzung ist. Der atmosphärische Eintrag ist im Vergleich zu landwirtschaftlichen Hilfsstoffen meist gering. Mit Hilfe der Phosphorbilanz können die Bewirtschaftangaben auf ihre Plausibilität hin überprüft und die Nutzungsintensitäten abgeschätzt werden. Im Vergleich zu Stickstoff kann Phosphor aufgrund seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften zuverlässiger bilanziert werden.

Das zweite Ziel ist, die gewichteten Betriebsbilanzen dieser Studie mit jenen von Steiger und Baccini (1990) zu vergleichen (Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit messbarem Ein- und Austrag; Nationales Forschungsprogramm Nutzung des Bodens in der Schweiz). Die NABO-Betriebe wurden so ausgewählt, dass sie jeweils ähnliche Anbaukulturen und Tierdichten wie jene der Vergleichsstudie aufweisen.

2. Methoden

2.1. Bilanzierungsmethode und Bilanzraum

Die in dieser Arbeit angewendete Bilanzierungsmethode stützt sich auf die Stoffbilanzierungsmethode PROTERRA, welche für Phosphor- und Schwermetalleinträge in landwirtschaftlichen Böden konzipiert wurde (Steiger und Obrist 1993). Um die Unsicherheit von Bilanzdaten zu berücksichtigen, wurde die Methode mit einem stochastischen Ansatz weiterentwickelt (Keller et al., 2001).

In dieser Studie wurden mit der Methode die parzellenscharfen Einträge der Jahre 1998 - 2003 durch Dünger (Hofdünger, Mineraldünger), Pestizide, Atmosphärische Deposition sowie die Ernte als Austragspfad berücksichtigt. Nicht berücksichtigt wurden Verlagerung und Erosion.

Aus Ein- und Austrägen vom Bilanzzeitraum 1998-2003 in g/ha wurden mittlere Ein- und Austräge in g/ha und Jahr berechnet. Kurzfristige Schwankungen sind nicht von Interesse. Es wurden Streuungen und Unsicherheiten von Konzentrationen berücksichtigt, die Werte sind in Keller et al. (2000) und Keller et al. 2005 (Schriftenreihe der FAL 54) dokumentiert. Die Berechnung wurde mit MATLAB, Version 7 (Mathworks, 2005) durchgeführt.

2.2. Charakterisierung der Betriebe

Die Stoffbilanzierungen wurden für sämtliche Parzellen von drei landwirtschaftlichen Betrieben durchgeführt. Es wurde jeweils ein Betrieb der Betriebstypen „Ackerbau“, „Viehhaltung“ und „Gemischt“ aus den landwirtschaftlichen Betrieben im NABO-Messnetz ausgewählt, um Bilanzierungen verschiedener Betriebstypen vorzunehmen, und die Bilanzen mit jenen der Studie von Steiger und Baccini vergleichen zu können. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die ausgewählten Betriebe. Weitere Details zu den Betrieben sind in Anhang 1-3 aufgeführt. Genaue Angaben zum Tierbestand sind in Tabelle 2 ersichtlich. Als Beispiel wurde der Bestand im Jahr 2001 gewählt.

Tabelle 1: Charakterisierung der Betriebe bezüglich Nutzung, Tierdichte, Betriebsgrösse, Parzellenanzahl und Bilanzzeitraum

Betriebstyp Ort	Nutzungsklasse	DGVE/ ha	Fläche [ha]	Parzellen [Anzahl]	Bilanzzeitraum [Jahre]
Ackerbau Freiburg NABO-Nr 46	Rüben, Mais, Getreide, Wiese, Weide, Raps, Milchkühe	0.9	51.3	15	5
Viehhaltung Bern NABO-Nr 17	Mais, Getreide, Hanf, Weide, Kartoffeln, Wiese, Rinder, Schweine, Mastpoulet	2.8	20.9	21	4
Gemischt Solothurn NABO-Nr 103	Bohnen, Zuckerrüben, Mais, Getreide, Wiese, Weide, Rinder, Milchkühe, Schweine	1.8	21.3	18	6

Tabelle 2: Tierbestand des Ackerbau-, Viehhaltungs- und Mischbetriebs im Jahr 2001

Tierbestand	Ackerbaubetrieb	Viehhaltungsbetrieb	Mischbetrieb
Aufzuchtrinder, 0-1 jährig [Stück]	8	4	10
Aufzuchtrinder, 1-2 jährig [Stück]	8	4	8
Aufzuchtrinder, 2-3 jährig [Stück]	4	4	4
Milchkühe [Stück]	52	0	26
Mutter- bzw. Ammenkühe [Stück]	0	20	0
Mutterkuhkälber (bis 10 Mte) [Stück]	0	34	0
Mastschweine 25 - 100 kg LG [Platz]	107	8	35
Zuchtschweine inkl. Ferkel [Platz]	0	17	17
Pferde über 4-jährig [Stück]	1	2	0
Hühner [100 Plätze]	0	50	0.3

Der Mischbetrieb hat während der Jahre 1998 bis 2003 seinen Tierbestand stark aufgestockt, von 1.4 auf 2.2 DGVE/ha. Hinzugekommen sind vor allem Aufzuchtrinder, Milchkühe und Zuchtschweine. Der Ackerbau- und der Viehhaltungsbetrieb zeigen einen relativ konstanten Viehbestand über den Untersuchungszeitraum. Der Ackerbaubetrieb hält auch einen grossen Bestand an Schweinen und Kühen, ist aber von der Nutzfläche viel grösser als der Viehhaltungs- und Mischbetrieb und daher stark auf Ackerbau spezialisiert.

Die ausgewählten Betriebe sollen ein repräsentatives Bild für die schweizerische Landwirtschaft darstellen. Im Jahr 2003 gab es rund 66 000 Landwirtschaftsbetriebe mit einer durchschnittlichen Grösse von 16 ha. Von den im Jahr 2003 erfassten Betrieben war ein Anteil von 66% auf die Tierhaltung ausgerichtet, 18% waren gemischtwirtschaftliche Betriebe und 16% waren reine Pflanzenbaubetriebe. Rund 37% der gesamten Fläche der Schweiz sind landwirtschaftliche Nutzflächen. Diese Fläche setzt sich vorwiegend aus Wies-, Ackerland und Heimweiden zusammen (61%). Hinzu kommen Reb-, Obst- und Gartenbau, sowie landwirtschaftliche Siedlungsfläche und unproduktive Fläche. Im Jahr 2003 wurden bereits mehr als 75% der landwirtschaftlichen Nutzfläche nach den Richtlinien der Integrierten Produktion bewirtschaftet. Die biologisch bewirtschafteten Betriebe stiegen zwischen 1996 und 2003 von 4 auf 9% an.

2.3. Bilanzdaten

2.3.1. Atmosphärische Deposition

Die Immissionsbelastung durch Schwermetalle im Schwebestaub wird in der Schweiz durch das Nationale Luftmessnetz (NABEL) und durch 150 Messstandorte aus dem Moosmonitorings erfasst. Im NABEL wird mit der Bergerhoff-Methode die Trocken- und die Nassdeposition gemessen. Moose eignen sich als Bioindikator für die atmosphärische Deposition, da sie keine Wurzeln haben, und somit Wasser und Stoffe über die Oberfläche aufnehmen. Ein Vorteil der Methode ist die jahreszeitliche Unabhängigkeit der Messungen.

Die Luftbelastung durch Schwermetalle ist in der Schweiz in den letzten Jahren durch gezielte Massnahmen in der Luftreinhaltung rückläufig (NABEL, 2003).

2.3.2. Landwirtschaftliche Hilfsstoffe

Die Bewirtschaftungsdaten der untersuchten Parzellen (Mengenangaben) werden jedes Jahr von den Landwirten angefordert, kontrolliert und erfasst. Die Angaben basieren auf Unterlagen wie Feldkalender, Parzellenblatt, Fruchtfolgeplan und Wiesen-Journal. Die Konzentrationendaten stammen aus Literatur und Untersuchungen.

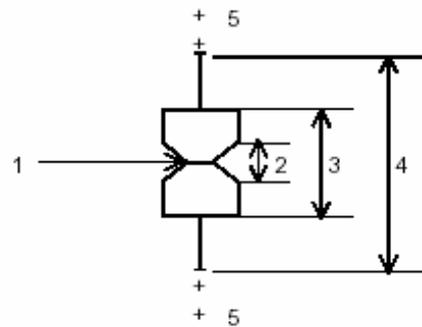
- **Hofdünger:** Die Schwermetallgehalte der Hofdünger variieren je nach Betriebstyp, Tierart, Jahreszeit, Einstreumittel, Güllezusatzstoffe, Tierarzneimittel, Futtermittel und Futtermittelzusatzstoff. Da Futtermittelzusatzstoffe aus Gründen der Tiergesundheit und zur Leistungsförderung mit Spurenelementen und Makroelementen wie Kupfer und Zink angereichert sind, können sie einen wichtigen Faktor für die Stoffbilanzen dieser Elemente darstellen. Zusätzlich können Hofdünger über Korrosion und Abrieb von Stalleinrichtungen und Lagerbehältern, Baumaterialien, Farben, etc. mit Schwermetallen geringfügig angereichert werden (Schultheiss et al. 2004). Besonders hohe Schwermetallgehalte wurden in Schweinegülle und –mist, Rindviehgülle und Geflügelkot nachgewiesen. Die hier verwendeten Schwermetallgehalte der Hofdünger stammen aus einer landesweiten Studie mit etwa 1100 Proben von etwa 30 Betrieben. (Menzi und Kessler, 1998)
- **Mineraldünger:** Es existiert eine Vielzahl verschiedener Mineraldünger. Die wichtigsten Untersuchungen fanden in der Schweiz anfangs der 1990er Jahre statt (Gsponer 1990, Steiger und Baccini 1990, BUWAL 1991). Weitere Untersuchungen liegen aus Deutschland und England vor. Die Ergebnisse dieser Studien bilden die Datengrundlage der hier verwendeten Schwermetallgehalte in Mineraldüngern. Die deutliche Abnahme der Phosphorzufuhr seit 1985 in der Schweiz (-37%) erfolgte vor allem über den geringeren Zukauf von Mineraldüngern (Spiess).
- **Pflanzenschutzmittel:** Unter den schwermetallhaltigen Pflanzenschutzmitteln sind vor allem Cu- und Zn-haltige Fungizide relevant. Sie werden vorwiegend im Rebbau, Kartoffel- und Gemüseanbau angewendet. Die Cu- und Zn-Gehalte der Pflanzenschutzmittel wurden aus dem Zielsortiment der landwirtschaftlichen Genossenschaften (zum Beispiel LANDI) und aus dem Verzeichnis der Pflanzenschutzmittel entnommen.

2.3.3. Erntegut

Zink und Kupfer sind für Pflanzen essentielle Elemente und werden von ihnen aufgenommen. Die Datenlage bei den Konzentrationen der wichtigsten Kulturpflanzen kann als gut bezeichnet werden, da die Problematik von Schadstoffen in Nahrungs- und Futterpflanzen Gegenstand zahlreicher Untersuchungen im In- und Ausland in den 1980er und 1990er Jahren war. Die in dieser Arbeit verwendeten Schwermetallkonzentrationen von Kulturpflanzen basieren in erster Linie auf Studien von Vogler und Schmitt (1990), von Steiger und Baccini (1990) und Jenka et al. (1996).

2.4. Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Vergleichs zwischen den Parzellenbilanzen und der jeweiligen gesamtbetrieblichen Bilanz werden zu besserer Anschaulichkeit auch graphisch dargestellt. Als Graphiktyp wurde der Box-Plot verwendet, welcher zum Vergleich vieler Gruppen geeignet ist. Zur Darstellung der Lage und der Streuung werden Quartile verwendet, Ausreisser werden speziell berücksichtigt (Stahel, 2000).



1	Median	50 % Perzentilwert
2	Konfidenzintervall	95 % Vertrauensbereich für den Median
3	Interquartilsbereich	enthält die Werte zwischen dem 25 % und 75 % Perzentil, und somit 50 % aller Werte
4	Innerer Zaun	Maximal das 1.5 fache des Interquartilsbereichs
5	Aussenpunkte	Werte ausserhalb des inneren Zauns

Abbildung 1: Legende zu der Boxplot-Darstellung der Cu-, Zn- und P-Bilanzen

3. Resultate

3.1. Bilanzen des Ackerbaubetriebs

Der aggregierte Cu-Nettoflux des Ackerbaubetriebs (NABO-Nr.46) lag, wie in Abbildung 2 ersichtlich, bei 550 g/ha und Jahr. Die berechneten Ein- und Austräge finden sich in Anhang A4. Die Werte der einzelnen Parzellen lagen zwischen 0 und rund 2000 respektive 1000 g/ha und Jahr bei Nichtberücksichtigung der am stärksten belasteten Parzelle. Diese Bandbreite fand sich auch innerhalb einzelner Nutzungskategorien wie zum Beispiel „Ackerbau“. In Abbildung 2 ist ersichtlich, dass die Cu-Bilanzen etlicher Parzellen nahezu ausgeglichen waren und die Betriebsbilanz durch einige besonders stark belastete Parzellen erhöht wurde. Auf Parzelle 3, welche besonders hohe Cu-Einträge aufwies, wurden Eiweisserbsen, Kartoffeln, Mais und Raps angebaut. Die Einträge wurden zu rund 80 % durch Pestizide und zu 15 % durch Hofdünger verursacht. Der Hauptinput erfolgte während dem Kartoffelanbau in den Jahren 2000 und 2001 durch das Pestizid Mancozeb. Mancozeb ist ein Fungizid gegen Kraut- und Knollenfäule sowie Dürffleckenkrankheit, d.h. es wird je nach Prophylaxe angewendet. Auf Parzelle 12 wurden 85 % des Cu-Eintrags durch Pestizide verursacht. Wie schon bei Parzelle 3 beobachtet geschah dies während den Jahren, in denen Kartoffelkulturen angebaut wurden. Auch auf Parzelle 1 wurden während zwei der fünf Bilanzjahre Kartoffeln angebaut. Weil Parzellen 1 und 3 mit hohem Cu-Eintrag zusammen 16 ha (ca. ein Drittel der Fläche) ausmachen, beeinflussen diese die Betriebsbilanz. Dass Kartoffelanbau noch kein zwingender Grund für eine stark erhöhte Nettobilanz ist, zeigt Parzelle 4, welche trotz zweijähriger Kartoffelkultur eine nahezu ausgeglichene Nettobilanz aufweist, da keine Pestizide eingesetzt wurden.

Der Zn-Nettoflux des Betriebs lag bei rund 500 g/ha und Jahr. Die Werte der einzelnen Parzellen lagen zwischen -30 (Entzug) und 1110 g/ha und Jahr (Akkumulierung). Wie die Kupferbilanz zeigte auch die Zinkbilanz, dass die Parzellen einer Nutzungsart deutlich voneinander abweichen. Hohe Einträge wiesen wiederum Parzellen 1, 3 und 12 auf, welche vorwiegend für Kartoffel-, Raps- und Getreideanbau genutzt wurden. Im Gegensatz zur Cu-Bilanz erfolgte der Haupteintrag von Zink durch den Einsatz von Hofdünger. Verwendet wurde vor allem Rindergülle. Einen kleinen Anteil des Hofdüngers bildete Schweinegülle. Die einzige Parzelle, welche einen Entzug aufwies, Parzelle 13, wurde als extensive Wiese und Feldgehölz genutzt.

Während die Schwermetallbilanzen fast ausschliesslich auf Akkumulierungen hinwiesen, liess sich gesamtbetrieblich ein Phosphorentzug von $-5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$ beobachten. Die Werte bewegten sich zwischen -30 und $20 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$. Wiesen und Weiden wiesen eher eine negative P-Bilanz auf, Ackerflächen eher eine positive.

Der grösste Eintrag wurde auf Parzelle 3 beobachtet. Die Fruchtfolge von 1999 bis 2003 war Erbsen, 2 Jahre Kartoffeln, Mais und Raps. Grosse Mengen an Phosphor wurden über Hofdünger, vor allem Rindergülle, und den Mineraldüngertyp Triple Super eingebracht. Der hohe P-Eintrag auf Parzelle 3 weist auf eine starke Nutzungsintensität hin und erklärt damit auch die hohen Schwermetallbelastungen auf dieser Parzelle.

Der grösste Entzug ist auf Parzelle 1 zu beobachten. Die Fruchtfolge enthält neben Kartoffel- und Rapsanbau auch intensive Weide und Wiese. Der Eintrag durch Hofdünger betrug auf dieser Parzelle rund 60 %, der Rest erfolgte zu gleichen Teilen über Mineraldünger und Klärschlamm.

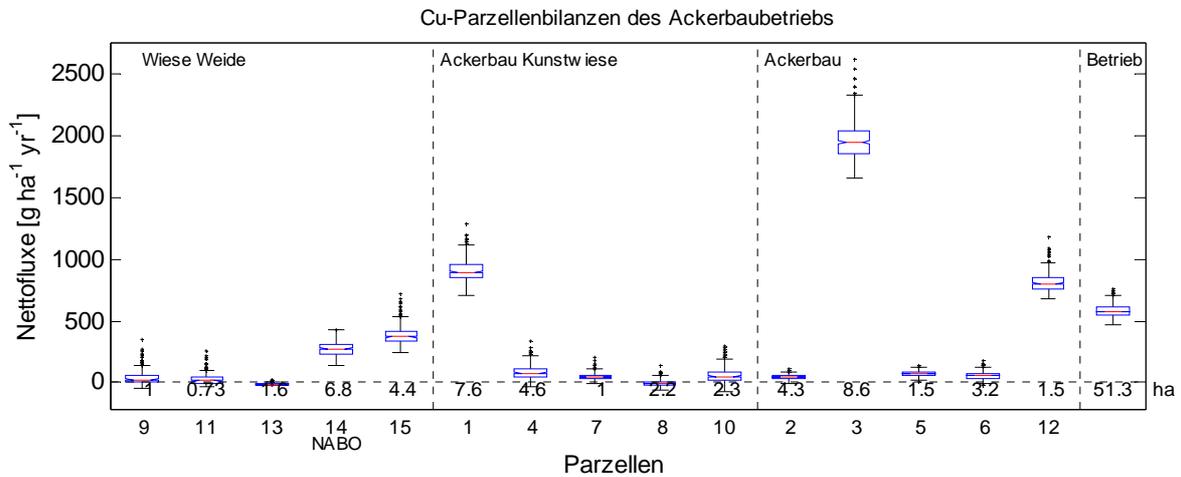


Abbildung 2: Cu-Bilanzen des Ackerbaubetriebs (1999-2003) für Parzellen ($n=15$) und die aggregierte Betriebsbilanz. Die Werte unterhalb der Boxplots bezeichnen die Fläche [ha]. Die NABO-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf Parzelle Nr. 14.

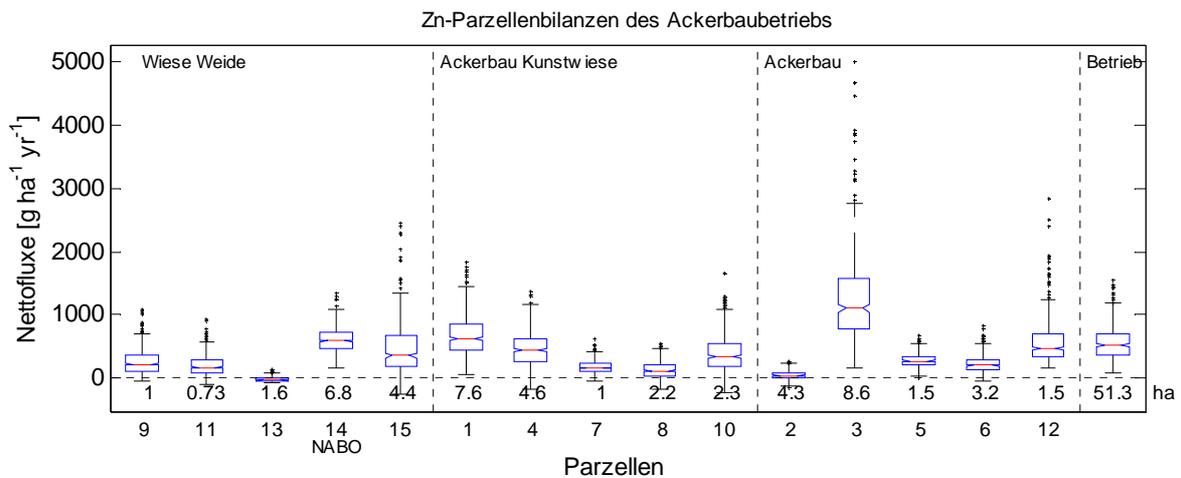


Abbildung 3: Zn-Bilanzen des Ackerbaubetriebs (1999-2003) für Parzellen ($n=15$) und die aggregierte Betriebsbilanz. Die Werte unterhalb der Boxplots bezeichnen die Fläche [ha]. Die NABO-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf Parzelle Nr. 14.

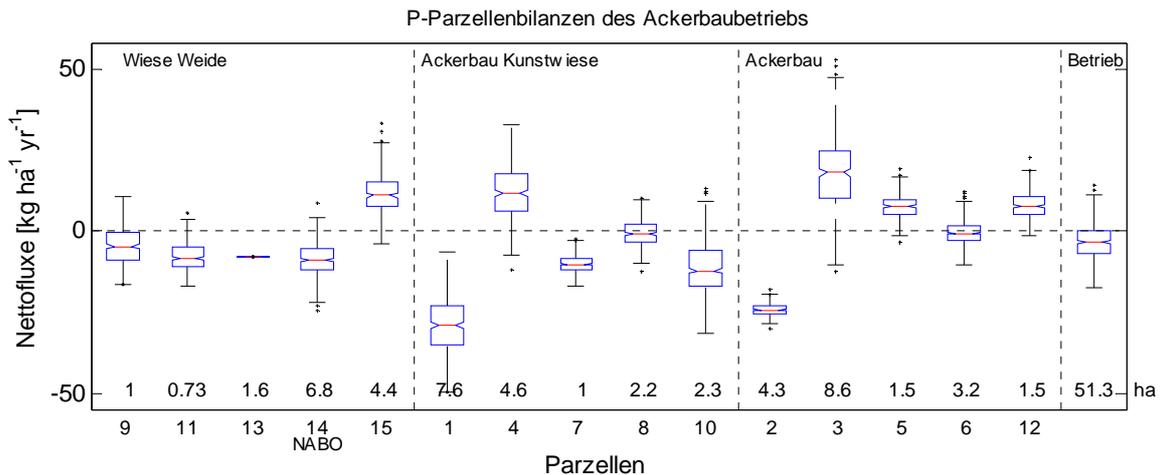


Abbildung 4: P-Bilanzen des Ackerbaubetriebs (1999-2003) für Parzellen (n=15) und die aggregierte Betriebsbilanz. Die Werte unterhalb der Boxplots bezeichnen die Fläche [ha]. Die NABO-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf Parzelle Nr. 14.

3.2. Bilanzen des Viehhaltungsbetriebs

Der Cu-Nettoflux des Viehhaltungsbetriebs (NABO-Nr. 17) lag bei 80 g/ha und Jahr und ist damit rund achtmal niedriger als der Nettoflux des Ackerbaubetriebs. Die Werte der einzelnen Parzellen lagen zwischen -30 und rund 160 g/ha und Jahr. Wiesen und Weiden wiesen tendenziell einen niedrigeren Nettoflux auf, als Kunstwiesen- und Ackerflächen. Es wurden keine kupferhaltigen Pestizide verwendet. Der Eintrag erfolgte hauptsächlich über Hofdünger und in geringem Mass durch atmosphärische Deposition.

Die höchsten Cu-Nettofluxe wurden auf Parzelle 5 und 12 festgestellt. Parzelle 5 wurde im betrachteten Zeitraum für Wintertriticale, intensive Wiese und Hanf genutzt, Parzelle 12 als intensive Wiese, Roggen- und Hanfkultur. Der Kupfereintrag erfolgte über Hofdünger, hauptsächlich bestehend aus Ringergülle und -mist und wenig Schweinegülle. Eine auffallend niedrige Bilanz weist Parzelle 18 auf. Als wenig intensiv genutzte Wiese wurde sie nicht gedüngt – der einzige Eintrag für diese Parzelle stellt die atmosphärische Deposition dar.

Der Zn-Nettoflux des Betriebs lag bei rund 400 g/ha und Jahr. Die Werte der einzelnen Parzellen lagen zwischen -30 (Entzug) und 1110 g/ha und Jahr. Wie bei der Cu-Bilanz wurde der Eintrag durch Hofdünger und in geringem Masse die atmosphärische Deposition verursacht. Die am meisten und am wenigsten belasteten Parzellen waren die gleichen wie bei der Cu-Bilanz.

Der P-Nettoflux des Betriebs lag bei rund -9 kg/ha und Jahr. Die Werte der einzelnen Parzellen lagen zwischen -26 (Entzug) und 6 (Akkumulierung) kg/ha und Jahr. Trotz hoher Tierdichte (1.8 DGVE) und damit relativ viel Hofdüngeranfall, wird der P-Bedarf durchschnittlich nur zu 72% gedeckt (siehe Anhang 14). Der Betrieb exportierte seinen gesamten Hühnermist. Eventuell wiesen die Böden einen P-Überschuss auf und der Betrieb darf gemäss GRUDAF¹ nur eine reduzierte Düngung vornehmen.

¹ Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau

Insgesamt waren die P-, Cu- und Zn-Bilanzen für Ackerbau relativ ähnlich. Abbildung 5 bis 7 verdeutlichen wie die Schwermetall- und Phosphorbilanz miteinander korrelieren. Der P-Eintrag erfolgte praktisch nur über Hofdünger. Grosse Unterschiede in den Bilanzen zeigten sich bei den Wiesen und Weiden, welche unterschiedlich stark genutzt werden (siehe Anhang A2). Die am stärksten mit Schwermetallen belasteten Parzellen 5 und 12 zeigten auch die grössten P-Nettofluxe. Auf der Parzelle 5 wurde innerhalb von 4 Jahren Wintertriticale, intensive Wiese und Hanf angebaut. Auf der Parzelle 4 mit der negativsten Nettobilanz, wurden die gleichen Kulturen angepflanzt. Die Düngung erfolgte wie bei den stark belasteten Parzellen in Form von Rindergülle und -mist sowie Schweinegülle.

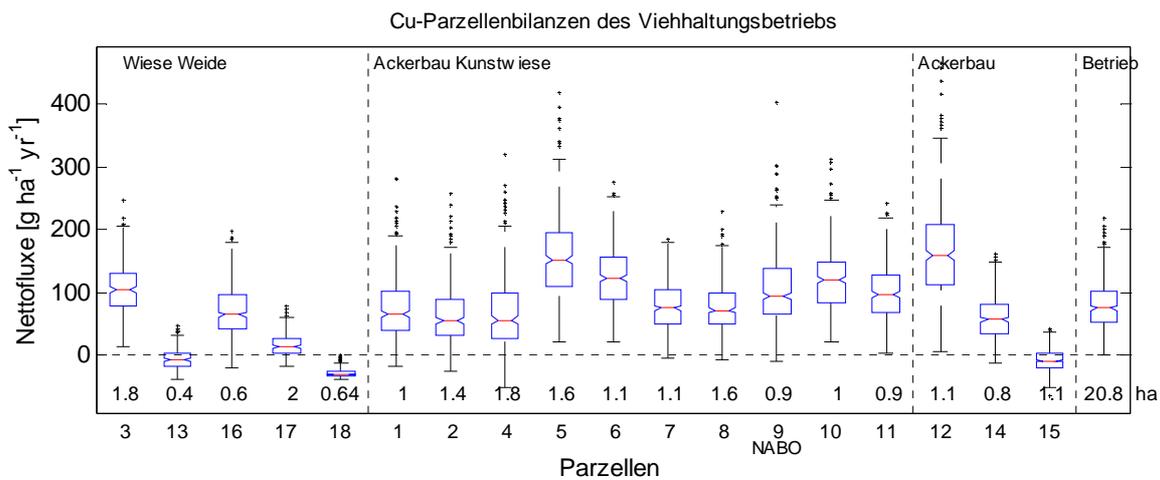


Abbildung 5: Cu-Bilanzen des Viehhaltungsbetriebs (2000-2003) für Parzellen ($n=18$) und die aggregierte Betriebsbilanz. Die Werte unterhalb der Boxplots bezeichnen die Fläche [ha]. Die NABO-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf Parzelle Nr.9.

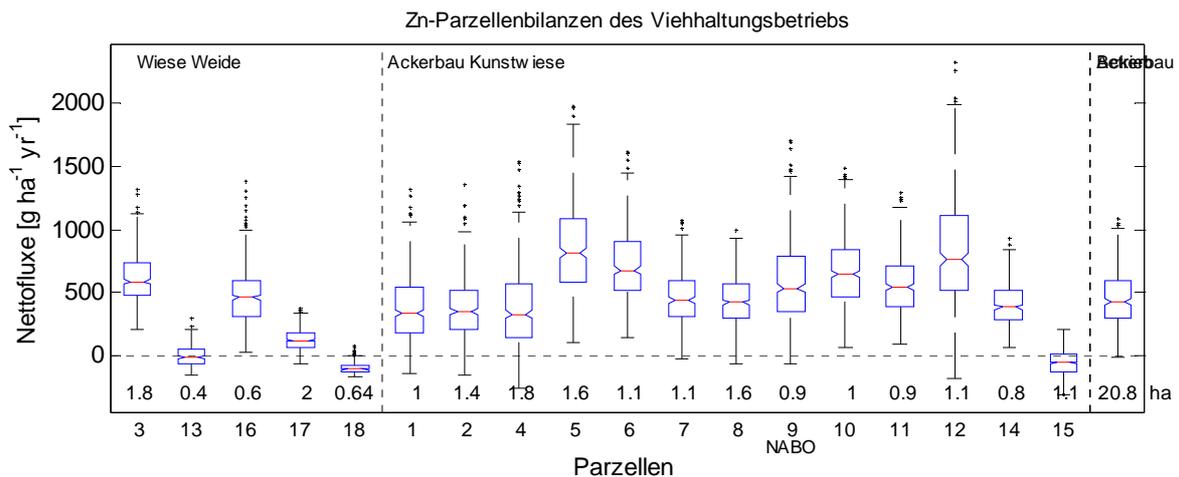


Abbildung 6: Zn-Bilanzen des Viehhaltungsbetriebs (2000-2003) für Parzellen ($n=18$) und die aggregierte Betriebsbilanz. Die Werte unterhalb der Boxplots bezeichnen die Fläche [ha]. Die NABO-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf Parzelle Nr.9.

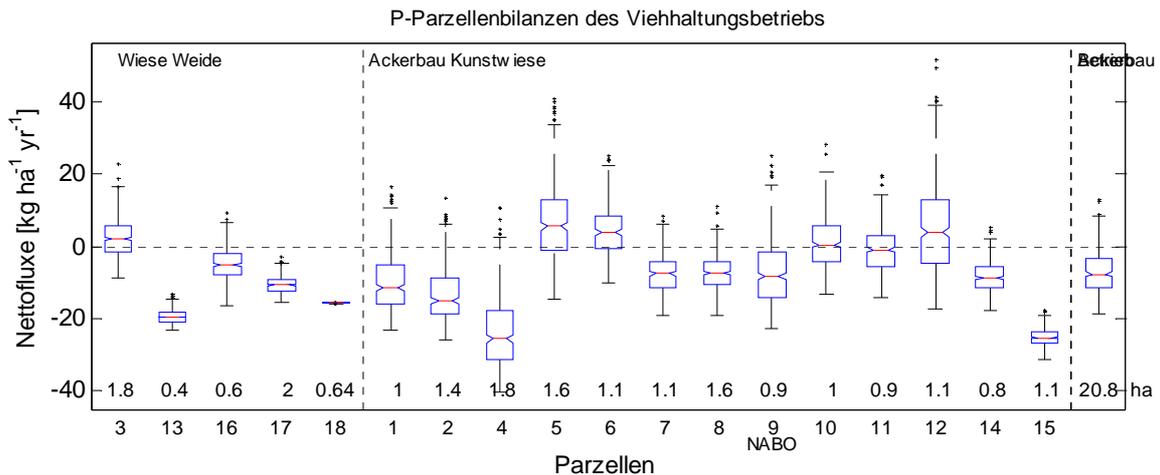


Abbildung 7: P-Bilanzen des Viehhaltungsbetriebs (2000-2003) für Parzellen ($n=18$) und die aggregierte Betriebsbilanz. Die Werte unterhalb der Boxplots bezeichnen die Fläche [ha]. Die NABO-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf Parzelle Nr.9.

3.3. Bilanzen des Mischbetriebs

Der Cu-Nettoflux des Mischbetriebs (NABO-Nr. 103) lag bei rund 90 g/ha und Jahr. Die Cu-Nettoflüsse der einzelnen Parzellen lagen zwischen -13 und 224 g/ha und Jahr. Aus Abbildung 8 ist ersichtlich, dass gleiche Nutzungstypen relativ ähnlich bewirtschaftet wurden. Parzellen 1, 5, 11 und 12 sind intensiv genutzte Wiesen und Weiden und wiesen alle einen Nettoflux um $90 \text{ g/ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ auf. Die extensiv genutzten Wiesen hatten durchwegs negative Nettobilanzen. Die Ackerflächen - vorwiegend Mais, Rüben und Erbsen - wiesen hingegen hohe positive Nettoflüsse auf. Dies trifft auf Parzelle 8 und 21 in etwas schwächerem Mass zu, da deren Fruchtfolgen neben Mais, Rüben und Erbsen auch Getreideanbau enthielten. Der Kupfereintrag erfolgte wie beim Viehhaltungsbetrieb vorwiegend durch den Hofdünger (Schweine- und Rindergülle, Rindermist) und in geringerem Mass durch die atmosphärische Deposition. Auf den Parzellen 9, 13 und 21 wurde für den Mais- und Zuckerrübenanbau noch vereinzelt Klärschlamm zur Düngung eingesetzt, was mittlerweile gesetzlich verboten ist. 20 - 30 % des Kupfers wurde auf diesen Parzellen durch Klärschlamm eingetragen.

Der Zn-Nettoflux des Betriebs lag bei rund 500 g/ha und Jahr. Die Nettoflüsse der einzelnen Parzellen lagen zwischen -10 und 1337 g/ha und Jahr. Die Zinkbilanz verhielt sich qualitativ ähnlich wie die Kupferbilanz. Auch die Haupteintragspfade der beiden Schwermetalle entsprachen sich. Im Gegensatz zum Kupfer wurden auf den Parzellen 9, 13 und 21 nur 8 bis 13 % des Zinks durch Klärschlamm eingetragen.

Der P-Nettoflux des Betriebs lag bei rund $-3 \text{ kg*ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Die Werte der einzelnen Parzellen lagen zwischen -14 (Entzug) und 11 (Akkumulierung) $\text{kg*ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ und waren damit ausgewogener als die Phosphorbilanzen des Ackerbau- und Viehhaltungsbetriebs. Der Eintrag erfolgte nahezu ausschliesslich durch Hofdünger. Der Klärschlamm Einsatz auf Parzellen 9, 13 und 21 machte nur einen Anteil von 1 bis 2% des Gesamtphosphoreintrags aus.

Beim Vergleich der P-Bilanzen mit den Cu- und Zn-Bilanzen ist ersichtlich, dass bei der P-Bilanz innerhalb der einzelnen Nutzungstypen (Wiese und Weide, Ackerbau

und Kunstwiese, Ackerbau) grössere Inhomogenitäten auftraten als bei den Schwermetallbilanzen. Dies lässt sich durch die kulturspezifischen Ernteentzüge erklären.

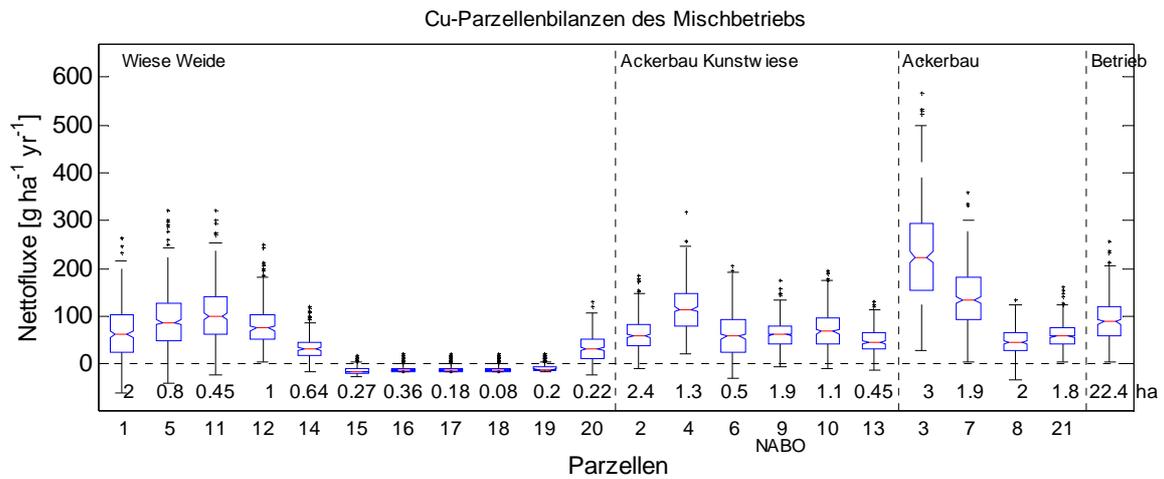


Abbildung 8: Cu-Bilanzen des Mischbetriebs (1998-2003) für Parzellen ($n=21$) und die aggregierte Betriebsbilanz. Die Werte unterhalb der Boxplots bezeichnen die Fläche [ha]. Die NABO-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf Parzelle Nr.9.

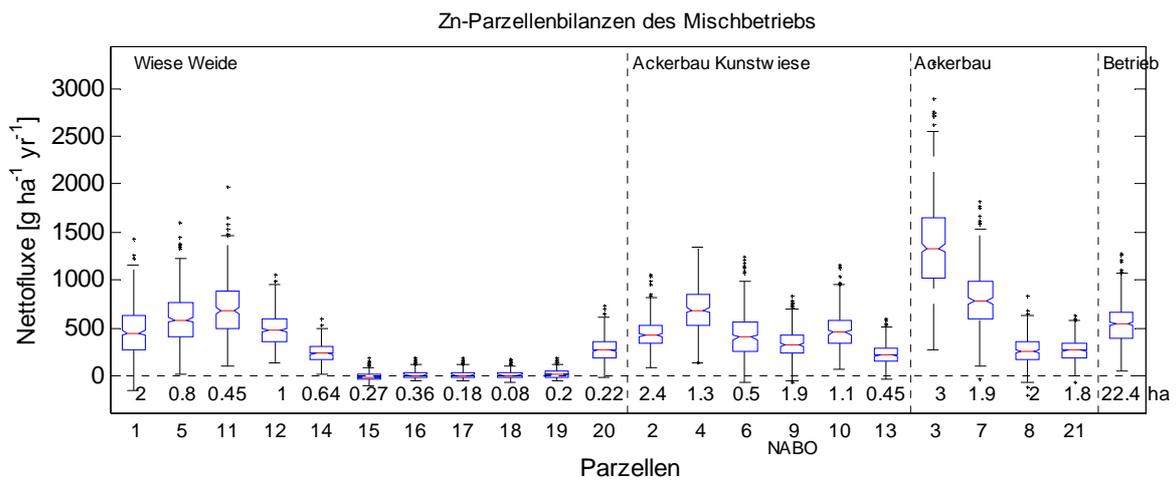


Abbildung 9: Zn-Bilanzen des Mischbetriebs (1998-2003) für Parzellen ($n=21$) und die aggregierte Betriebsbilanz. Die Werte unterhalb der Boxplots bezeichnen die Fläche [ha]. Die NABO-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf Parzelle Nr.9.

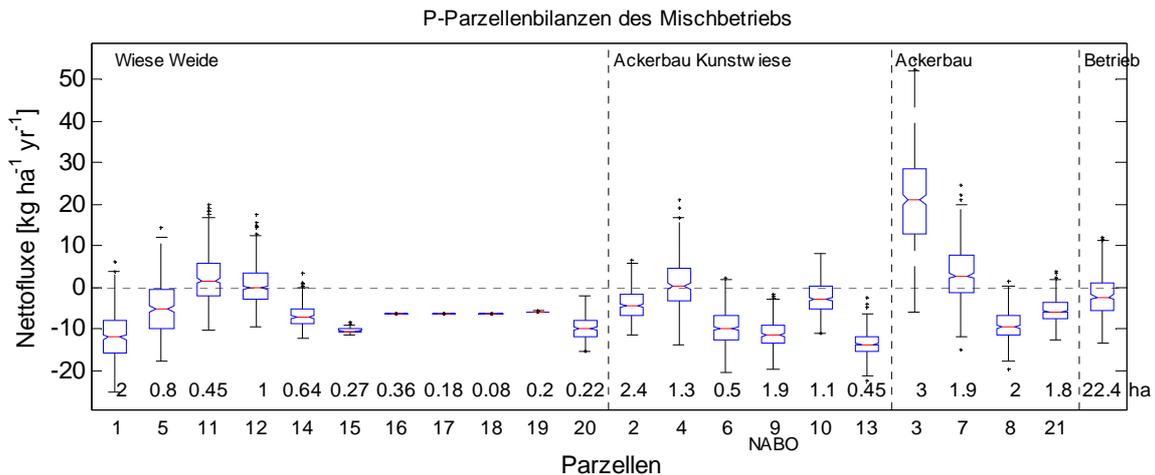


Abbildung 10: P-Bilanzen des Mischbetriebs (1998-2003) für Parzellen ($n=21$) und die aggregierte Betriebsbilanz. Die Werte unterhalb der Boxplots bezeichnen die Fläche [ha]. Die NABO-Dauerbeobachtungsfläche befindet sich auf Parzelle Nr.9.

3.4. Vergleich der Ergebnisse mit der Studie von Steiger und Baccini

Die Ergebnisse der vorliegenden Betriebsbilanzen wurden mit den Betriebsbilanzen von Steiger und Baccini (1990) verglichen. Diese Studie wurde im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms „Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlichen Böden mit messbarem Ein- und Austrag“ durchgeführt. Die betrachteten Betriebe weisen jeweils ähnliche Anbaukulturen und Tierdichten auf. Zu berücksichtigen sind jedoch Unterschiede bezüglich der Systemdefinition und Datenerhebung.

- **Prozesse:** von Steiger und Baccini berücksichtigten in Ihrer Studie Prozesse wie Auswaschung, Erosion sowie Zu- und Verkauf von Tieren und Futtermittel. Da diese Prozesse, wie in Tabelle 3 ersichtlich, nur einen kleinen Beitrag zur Schwermetallbilanz liefern, können die Studien dennoch miteinander verglichen werden.

Die Einträge durch Hofdünger und Atmosphärische Deposition sind quantitativ die wichtigsten Prozesse und werden in beiden Studien berücksichtigt. Zudem heben sich die in der Studie von Steiger und Baccini zusätzlich berücksichtigten Ein- und Austräge teilweise auf.

Die Datengrundlage der Vergleichsstudie zur Atmosphärischen Deposition stammt aus dem Jahr 1983, aus der Schweiz und der BRD. Die für die NABO-Studie verwendeten Daten wurden in den Jahren 2000 beziehungsweise 2003 erhoben. Ein markanter Rückgang ist zu beobachten.

Auffallend gross ist der Cu-Eintrag von bis zu 1730 g/ha*yr durch Pestizide auf Parzelle 3 des Ackerbaubetriebs in der NABO-Studie. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass kaum Pestide zum Einsatz kamen. Dadurch relativiert sich der Unterschied zur Vergleichsstudien, welche Pestizide nicht berücksichtigte.

Tabelle 3: In den Studien berücksichtigte Prozesse am Beispiel der Kupferfluxe

Prozesse	Vergleichsstudie von Steiger und Baccini	NABO-Betriebe
Einträge		
Atmosphärische Deposition	90 - 240 g/ha*yr	3.6 - 7.5 g/ha*yr
Klärschlamm	140 g/ha*yr	0 - 289 g/ha*yr
Hofdünger	110 - 760 g/ha*yr	0 - 340 g/ha*yr
Mineraldünger	6 - 18 g/ha*yr	0 - 23 g/ha*yr
Pestizide	-	0 - 1730 g/ha*yr
Tierzukauf	ja	-
betriebs eigenes Futter	6 - 83 g/ha*yr	-
zugekauftes Futter, Mineralsalz	0 - 82 g/ha*yr	-
Austräge		
Erntegut	65 - 110 g/ha*yr	17 (Mais) - 209 mg/kg TS (Erbsen, Bohnen)
Tier- und Futtermittelverkauf	4 - 14 g/ha*yr	-
Bodenwasser	30 g/ha*yr	-
Erosion	6 - 60 g/ha*yr	-

- Auswahl der Betriebe:** In beiden Studien wurde je ein Betrieb des Typs „Ackerbau“, „Viehhaltung“ und „Gemischt“ ausgewählt. Hierbei handelt es sich allerdings um eine übergeordnete Charakterisierung. Die Art der Kulturen, die Zusammensetzung des Tierbestandes und das Düngungsregime (siehe Phosphorbilanz) variieren zum Teil auch erheblich innerhalb eines Betriebstyps. Beispielsweise weist der Ackerbaubetrieb der Vergleichsstudie 1.2 DGVE auf, während der NABO-Ackerbaubetrieb nur 0.9 DGVE zählt. Genauere Daten zu den Betrieben der zwei Studien sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Vergleich des Ackerbau-, Viehhaltungs- und Mischbetriebs hinsichtlich Tierdichte, Tierbestand und Kulturen

Betrieb		Studie von Steiger und Baccini		NABO-Betriebe
Ackerbau- betrieb	Tierdichte	1.2 DGVE		0.9 DGVE
	Tierbestand	Milchkühe		Schweine, Hühner
	Kulturen	Mais, Getreide, Kartoffel, Randen		Rüben, Mais, Getreide, Raps
Viehhaltungs- betrieb	Tierdichte	3 DGVE		2.8 DGVE
	Tierbestand	Rinder, Schweine, Mastpoulet		Schweine, Milchkühe, Rinder, Kälber
	Kulturen	Mais, Getreide		Mais, Getreide, Hanf, Kartoffeln
Mischbetrieb	Tierdichte	1.6 DGVE		1.8 DGVE
	Tierbestand	Rinder, Milchkühe, Schweine		Schweine, Milchkühe, Rinder, Kälber
	Kulturen	Mais, Getreide,		Bohnen, Zuckerrüben, Mais, Getreide

- Datenerhebung:** Während bei den NABO-Betrieben die In- und Outputs parzellenscharf erfasst wurden, wurden für die Betriebsbilanzen der Vergleichsstudie die Güterflüsse der einzelnen Schläge erhoben (der Begriff „Schlag“ bezeichnet die in der betrieblichen Bewirtschaftung regelmässig genutzte kleinste Einheit). Die Düngerangaben wurden aus vorgegebenen Messprotokollen entnommen und enthielten Angaben über das Datum der

Düngung, die Düngerart, die Ausbringtechnik, die Menge sowie den gedüngten Schlag. In der Bilanz wurde auch der Zu- und Verkauf von Tieren berücksichtigt. Die Elementkonzentrationen von Hofdünger und Erntegut wurden in der Vergleichsstudie durch Mehrfachbeprobungen erhoben. Zusätzlich wurden die Messwerte durch Literaturdaten ergänzt. Beispielhaft sind einige verwendete Datengrundlagen für Ernteentzüge in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Vergleich der Studien hinsichtlich Elementkonzentrationen in Ernteprodukten

Gut	Element	Studie von Steiger und Baccini	NABO-Betriebe
Silomais	Cu [mg/kg]	5.1	4.2
	Zn [mg/kg]	26	32
	P [g/kg]	2	2.1
Getreidestroh	Cu [mg/kg]	4.6	4.3
	Zn [mg/kg]	8.4	9
	P [g/kg]	1.4	1
Weizenkorn	Cu [mg/kg]	4.4	3.3
	Zn [mg/kg]	37	36
	P [g/kg]	2.9	2.9
Gras	Cu [mg/kg]	12	7.7
	Zn [mg/kg]	44	40
	P [g/kg]	3.9	2.9

- Als **zeitlicher Rahmen** diente in der Vergleichsstudie ein Kalenderjahr. Zwei Bilanzperioden, 1987 und 1988 wurden gewählt, um eventuelle klimatische Extremsituationen in einer oder mehreren Jahreszeiten weglassen zu können. Für die Betriebe der Nationalen Bodenbeobachtung wurde jeweils über vier bis sechs Jahre gemittelte Stoffflüsse berechnet.

An diesen Beispielen wird deutlich, dass die Herangehensweise an Bilanzierungen für Landwirtschaftsbetriebe keinem normierten Verfahren unterliegt und grosse Unterschiede zwischen einzelnen Studien bestehen können. Vor diesem Hintergrund können die Ergebnisse beider Studien nur grob verglichen werden.

Tabelle 6: Vergleich der Studien hinsichtlich Cu-, Zn- und P-Nettoflüsse

Betriebstyp	Element	Vergleichsstudie	NABO-Betriebe
Ackerbaubetrieb	Cu [g/ha*yr]	130	550
	Zn [g/ha*yr]	1600	500
	P [kg/ha*yr]	47	-5
Viehhaltungsbetrieb	Cu [g/ha*yr]	650	80
	Zn [g/ha*yr]	2300	400
	P [kg/ha*yr]	53	-9
Mischbetrieb	Cu [g/ha*yr]	300	90
	Zn [g/ha*yr]	1270	500
	P [kg/ha*yr]	62	-3

Die grösste Abweichung zwischen den Studien zeigt sich bei der Phosphorbilanz. Während die Vergleichsstudie Akkumulierungen feststellt, lassen die Daten der NABO-Betriebe einen Phosphorentzug erkennen. Es kann vermutet werden, dass sich die landwirtschaftliche Praxis in den letzten eineinhalb Jahrzehnten, dem Zeitraum zwischen den zwei Studien, geändert hat. Die Integrierte Produktion,

welche unter anderem ausgeglichene Nährstoffkreisläufe anstrebt, ist mit der Neufassung des Landwirtschaftsgesetzes 1999 zum Standard in der Landwirtschaft erklärt worden. Beiträge und Direktzahlungen werden nur noch entrichtet, wenn der Bauer mindestens die Regeln und Vorschriften der Integrierten Produktion befolgt. Mittlerweile werden über drei Viertel der landwirtschaftlichen Nutzfläche nach der IP-Methode bewirtschaftet. Eindeutige Schlüsse lassen sich aus dem Vergleich nicht ziehen, da jeweils nur 3 Betriebe zufällig ausgewählt wurden. Es scheint, dass zufällig drei extensive Betriebe des NABO-Messnetzes ausgewählt wurden.

Bei einer genaueren Analyse der Phosphorbilanz (siehe Anhang) zeigt sich, dass das Input : Output-Verhältnis bei den NABO-Betrieben deutlich kleiner ist als bei den Betrieben der Studie von Steiger und Baccini. Wie viel Phosphor relativ zum Phosphorentzug eingetragen wurde ist in Tabelle 7 ersichtlich.

Tabelle 7: P-Eintrag und P-Austrag der Betriebe beider Studien. Das Verhältnis gibt den P-Eintrag bezogen auf den P-Austrag durch die Ernte an.

Betrieb	Vergleichsstudie		NABO-Betriebe	
	Input	Output	Input	Output
Ackerbaubetrieb	47 kg/ha* yr	24 kg/ha* yr	45 kg/ha* yr	51 kg/ha* yr
Viehhaltungsbetrieb	53 kg/ha* yr	31 kg/ha* yr	28 kg/ha* yr	38 kg/ha* yr
Mischbetrieb	62 kg/ha* yr	33 kg/ha* yr	26 kg/ha* yr	34 kg/ha* yr
	Verhältnis		Verhältnis	
Ackerbaubetrieb	196 %		88 %	
Viehhaltungsbetrieb	171 %		74 %	
Mischbetrieb	188 %		67 %	

Die Input/Output-Verhältnisse einzelner Parzellen eines Betriebes schwanken allerdings erheblich: Zwischen 3% bei extensiv genutzten Wiesen und 136% beim Anbau von Erbsen, Gerste, Mais und Bohnen.

Zu beachten ist, dass die drei NABO-Betriebe in Bezug auf die P-Bilanz für die Schweiz nicht repräsentativ sind. Noch immer ist in der Schweiz eine P-Akkumulierung zu beobachten, auch wenn diese stark rückläufig ist. Der Phosphorüberschuss hat sich seit 1985 um mehr als die Hälfte verringert, von 15.1 auf 6.7 kg je ha landwirtschaftlicher Nutzfläche im Jahr 2003 (BfS, 2004).

Auf Ackerbaubetrieben stellt der Einsatz von kupferhaltigen Fungiziden, besonders im Kartoffelbau, eine bedeutende Kupferquelle dar. Bei Viehhaltungs- und Mischbetrieben wird Cu über Mineralfutter eingebracht. Gegenüber Steiger und Baccini (1990) sind für diese Betriebe die Cu-Einträge bedeutend geringer, da mit den Messwerten der Studie von Menzi und Kessler (1998) gerechnet wurde. Diese sind im Vergleich zu früheren Studien (Menzi et al., 1993) um mehr als die Hälfte tiefer.

Die Zink-Nettoflüsse sind in der aktuelleren Untersuchung deutlich niedriger als in der Vergleichsstudie. In den Jahren 1987/88, als die Vergleichsstudie erhoben wurde, hatten die Zinkeinträge durch die atmosphärische Deposition eine deutlich grössere Bedeutung als die Zinkeinträge durch die Düngung: Die atmosphärische Deposition konnte den Eintrag verdoppeln bis verdreifachen. Für die NABO-Betriebe betrug der Zn-Eintrag durch die Luft hingegen etwa 20% des gesamten Zn-Eintrags.

Ausser bei Spezialkulturen, in denen Cu-haltige Pflanzenschutzmittel verwendet werden, hängt sowohl der Zink- als auch der Kupfereintrag im Wesentlichen vom Tierbesatz der Betriebe ab, da die beiden Metalle bedeutende Makroelemente in Futtermittelzusatzstoffen für die Tierhaltung sind. Dementsprechend weist der Viehhaltungsbetrieb (3 DGVE) mit 2300 g/ha*yr einen deutlich höheren Nettoflux auf, als der Mischbetrieb und der Ackerbaubetrieb.

4. Interpretation und Schlussfolgerungen

Einzelne Parzellen weisen je nach Betrieb und Element einen zwei- bis viermal grösseren Nettoflux als für den gesamten Betrieb auf. Die grossen Unterschiede zwischen den Parzellen zeigen, dass nicht ohne weiteres von einzelnen Parzellen auf andere oder die Betriebsbilanz geschlossen werden kann. Dies trifft sowohl für die Kupfer-, die Zink- als auch die Phosphorbilanz zu.

Die Resultate der Untersuchung zeigen auch, dass selbst die Parzellen der gleichen Nutzungsart und desselben Bewirtschafters sehr unterschiedliche Stoffbilanzen aufweisen können. Als Beispiel sei hier der Ackerbaubetrieb genannt. Die stärksten Kupferbelastungen sind auf Flächen mit Anbau von Eiweisserbsen, Kartoffeln, Mais und Raps (Fruchtfolge) zu beobachten. Andererseits gab es Flächen mit nahezu ausgeglichenen Cu-Bilanzen, die vom selben Bewirtschafter ebenfalls für diese Kulturen genutzt wurden. In diesem Zusammenhang könnte der Einsatz von Pestiziden, die Zugänglichkeit der Parzellen, Entfernung vom Hof, Hangneigung, Bodenfeuchtigkeit oder andere bewirtschaftungsrelevante Faktoren eine Rolle spielen.

Die Stoffbilanzen zwischen Parzellen des Typs Ackerbau variierten tendenziell stärker als intensiv genutzte oder extensiv genutzte Wiesen und Weiden. Ein Grund dafür war, dass je nach Kulturtyp unterschiedliche Mengen und Sorten an Pflanzenschutzmittel eingesetzt wurden. Die Behandlung mit Cu-haltigen Pestiziden im Kartoffelanbau und bei Rübenkulturen ist gegenüber den anderen Kulturen am intensiver.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Stoffbilanzen einzelner Parzellen zu stark von der jeweiligen Nutzungsart, Bewirtschaftungsweise und anderen Faktoren abhängen, als dass einzelne Parzellen repräsentativ für die Schwermetall- und Nährstoffbelastung der landwirtschaftlichen Flächen eines Bewirtschafters wären.

In dieser Arbeit wurden exemplarisch drei Betriebe untersucht. Damit kann die Untersuchung nicht für quantitativ haltbare Aussagen herangezogen werden. Es ging vielmehr um eine erste Abschätzung der Situation in Bezug auf die leitende Fragestellung. Die Bilanzierungs- und Vorgehensweise dieser Arbeit können aber für die Betrachtung einer grösseren Anzahl Betriebe verwendet werden. Hinzu kommt, dass nach der P-Versorgung zu schliessen eher drei extensive NABO-Betriebe ausgewählt wurden. Alle drei weisen einen P-Nettoentzug auf, d.h. es wurde weniger gedüngt, als der Normbedarf der Pflanzen ist. Dies entspricht nicht der durchschnittlichen Nutzungsintensität in der Schweiz – im Jahr 2003 wurde ein Phosphorüberschuss von 6.7 kg/ha verzeichnet. Eventuell sind die Böden der Betriebe mit P überversorgt und es darf nach der Düngungsempfehlung (GRUDAF) nur noch limitiert P gedüngt werden.

5. Literaturverzeichnis

Bannick, Eichmann et al. 2001. Grundsätze und Massnahmen für eine vorsorgeorientierte Begrenzung von Schadstoffeinträgen in landbaulich genutzten Böden. Texte 59/01. Umweltbundesamt, D-14191 Berlin. S 22-27.

BUWAL, 1991. Schwermetalle und Fluor in Mineraldüngern. Schriftenreihe Umwelt Nr. 162. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), CH-3003 Bern.

BfS, 2004. Einblicke in die schweizerische Landwirtschaft. Ausgabe 2004. Bundesamt für Statistik. S 19-35, Neuchâtel

Desaules A. und Studerus K. 1993. Nationales Bodenbeobachtungsnetz – Messresultate 1985-1991. Schriftenreihe Umwelt Nr. 200. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, CH-3003 Bern.

Desaules A. und Dahinden R., 2000. Nationales Boden-Beobachtungsnetz – Veränderungen von Schadstoffgehalten nach 5 und 10 Jahren. Schriftenreihe Umwelt Nr. 320. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, CH-3003 Bern.

Gsporner R. 1990. Schwermetalle in Düngemitteln: Ein Diskussionsbeitrag. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Fachstelle für Bodenschutz Zürich.

International Federation of Agricultural Journalists (25.6.2005). Landwirtschaftsbetriebe. URL: http://www.ifaj2005.ch/_landwch/landwschweiz.html

Jenka B. Pozzi A. und Meili E., 1996. Cadmiumtransfer Boden-Nahrungspflanzen. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Fachstelle für Bodenschutz Zürich.

Keller A., Rossier N. und Desaules A, 2005. Schwermetallbilanzen von Landwirtschaftspartellen der Nationalen Bodenbeobachtung. Schriftenreihe der FAL Nr. 54. Agroscope FAL Reckenholz. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, CH-8046 Zürich.

Keller A., von Steiger B. et al., 2001. A stochastic empirical model for regional heavy metal balances in agroecosystems. J. Environ. Qual. 30, 1976-1989.

Menzi H. und Kessler J., 1998. Heavy Metal Content of Manure in Switzerland. p. 495-506. In Martinez (ed) "Proc. of the FAO-Network on Recycling Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture". Rennes, France.

Schultheiss U., Döhler H. et al., 2004. Erfassung von Schwermetallströmen in landwirtschaftlichen Tierproduktionsbetrieben und Erarbeitung einer Konzeption zur Verringerung der Schwermetalleinträge durch Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft in Agrarökosystemen. Texte 06/04. Umweltbundesamt, D-14191 Berlin. S 75-96.

Stahel W., 2000. Statistische Datenanalyse. Vieweg, Zürich. S 26

Vogler K. und Schmitt H.W., 1990. Schwermetalltransfer Boden –Pflanze. Nationales Forschungsprogramm Boden (NFP22). Forschungsbericht Nr. 53. CH-3097-Liebefeld-Bern. S.97.

Von Steiger B. und Baccini P., 1990. Regionale Stoffbilanzierung von landwirtschaftlich genutzten Böden mit messbarem Ein- und Austrag. Nationales Forschungsprogramm „Boden“. Report Nr. 38. CH-3097-Liebefeld-Bern. S. 53.

Danksagung

Ich danke Armin Keller für die umfangreiche Betreuung dieser Arbeit. Armin Keller hat mir eine gute Auswahl fachspezifischer Literatur zur Verfügung gestellt und die Daten der Nationalen Bodenbeobachtung als Datengrundlage zugänglich gemacht. Sehr profitieren konnte ich durch seine Einschulung in den Umgang mit Matlab. Dies hat mich zugleich motiviert, meine Anwendungskenntnisse mathematischer Software zu vertiefen. Ohne seine Unterstützung wäre mir die Bilanzierung basierend auf einer derart umfangreichen Datenbank nicht möglich gewesen.

Durch diese Semesterarbeit mit Schwerpunkt Schwermetallbilanzierung landwirtschaftlich genutzter Flächen konnte ich einen Einblick in einen angewandten Bereich des Umweltschutzes gewinnen. Ich habe eine konkrete Vorstellung von einem Nationalen Beobachtungsnetz eines Umweltsystems gewinnen können und sah, wie wichtig eine solche Datengrundlage für die Beantwortung verschiedenster Fragestellungen sein kann.

Anhang

Kulturen der Betriebe

A1 Kulturen des Ackerbaubetriebs

Parzelle	1999	2000	2001	2002	2003
1	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Raps für Speiseöl	Kartoffeln	Wiese intensiv, 5N, <700m	Kartoffeln
2	Winterweizen	Zuckerrüben	Wintergerste	Raps für Speiseöl	Winterweizen
3	Eiweisserbsen	Kartoffeln	Kartoffeln	Körnermais	Raps für Speiseöl
4	Kartoffeln	Silomais	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Kartoffeln	Silomais
5	Silomais	Winterweizen	Zuckerrüben	Kartoffeln	Wintertriticale
6	Kartoffeln	Winterweizen	Silomais	Zuckerrüben	Kartoffeln
7	Kartoffeln	Winterweizen	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide mittelintensiv, 4-5U, <700m
8	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Silomais	Zuckerrüben	Kartoffeln	Winterweizen
9	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Wiese mittelintensiv, 4N, <700m
10	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Silomais	Kartoffeln	Weide mittelintensiv, 4-5U, <700m
11	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide mittelintensiv, 4-5U, <700m
12	Zuckerrüben	Winterweizen	Kartoffeln	Wintertriticale	Kartoffeln
13	ext. Wiesen auf stillg. Ackerland			Hecken und Feldgehölz	Hecken und Feldgehölz
14	Raps für Speiseöl	Hecken und Feldgehölz	Hecken und Feldgehölz	Hecken und Feldgehölz	Hecken und Feldgehölz
15	ext. Wiesen auf stillg. Ackerland	Hecken und Feldgehölz	Hecken und Feldgehölz	Hecken und Feldgehölz	Hecken und Feldgehölz

A2 Kulturen des Viehhaltungsbetriebs

Parzelle	2000	2001	2002	2003
1	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Silomais	Wintertriticale
2	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Silomais	Kartoffeln
3	Weide mittelintensiv, 3-4U, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m
4	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Hanf	Wintertriticale	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m
5	Wintertriticale	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Hanf
6	Wintertriticale	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Silomais
7	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Silomais	Wintertriticale
8	Silomais	Wintertriticale	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m
9	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Kartoffeln	Wintertriticale
10	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Silomais	Wintertriticale	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m
11	Wintertriticale	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Silomais
12	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Grünschnittroggen	Hanf	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m
13	Silomais	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese mittelintensiv, 3N, 600-1100m
14	Kartoffeln	Wintertriticale	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m
15	Silomais	Silomais	Wintertriticale	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m
16	Wintertriticale	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m	Wiese intensiv, 4N, 600-1100m
17	Weide mittelintensiv, 3-4U, 600-1100m			
18	Wiese wenig intensiv, 2N, 600-1100m			

A3 Kulturen des Mischbetriebs

Parzelle	1998	1999	2000	2001	2002	2003
1	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5N, <700m	Silomais
2	Winterweizen	Bohnen, Verarbeitung-	Wintergerste	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Wiese intensiv, 5N, <700m
3	Erbsen, Verarbeitung-	Wintergerste	Bohnen, Verarbeitung-	Silomais	Bohnen, Verarbeitung-	Silomais
4	Winterweizen	Silomais	Silomais	Winterweizen	Wiese intensiv, 5N, <700m	Wiese intensiv, 5N, <700m
5	Wintergerste	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5N, <700m	Wiese intensiv, 5N, <700m
6	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Erbsen, Verarbeitung-	Silomais	Silomais	Wintergerste	Wiese intensiv, 5N, <700m
7	Körnermais Zuckerrüben	Winterweizen	Silomais	Wintergerste	Silomais	Zuckerrüben
8	Silomais	Silomais	Winterweizen	Zuckerrüben	Wintergerste	Silomais
9	Wintergerste	Zuckerrüben	Winterweizen	Silomais	Wintergerste	Wiese intensiv, 5N, <700m
10	Körnermais	Winterweizen	Wintergerste	Silomais	Wintergerste	Wiese intensiv, 5N, <700m
11	Winterweizen	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5N, <700m	Wiese intensiv, 5N, <700m
12	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m			
13	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Winterweizen	Silomais	Wintergerste	Silomais	Wintergerste
14	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Weide mittelintensiv, 4-5U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m			
15	Wiese wenig intensiv, 3N, <700m	Wiese wenig intensiv, 3N, <700m	Wiese wenig intensiv, 3N, <700m	Wiese wenig intensiv, 3N, <700m	Wiese wenig intensiv, 3N, <700m	Wiese wenig intensiv, 3N, <700m
16	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese wenig intensiv, 3N, <700m	Wiese extensiv, 1N
17	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese wenig intensiv, 3N, <700m	Wiese extensiv, 1N
18	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese wenig intensiv, 3N, <700m	Wiese extensiv, 1N
19	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese extensiv, 1N	Wiese wenig intensiv, 3N, <700m	Wiese extensiv, 1N
20	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Wiese intensiv, 5-6N, <600m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Weide intensiv, 5-7U, <700m	Wiese intensiv, 5N, <700m	Wiese mittelintensiv, 4N, <700m
21			Zuckerrüben	Erbsen, Verarbeitung-	Silomais	Wintergerste