

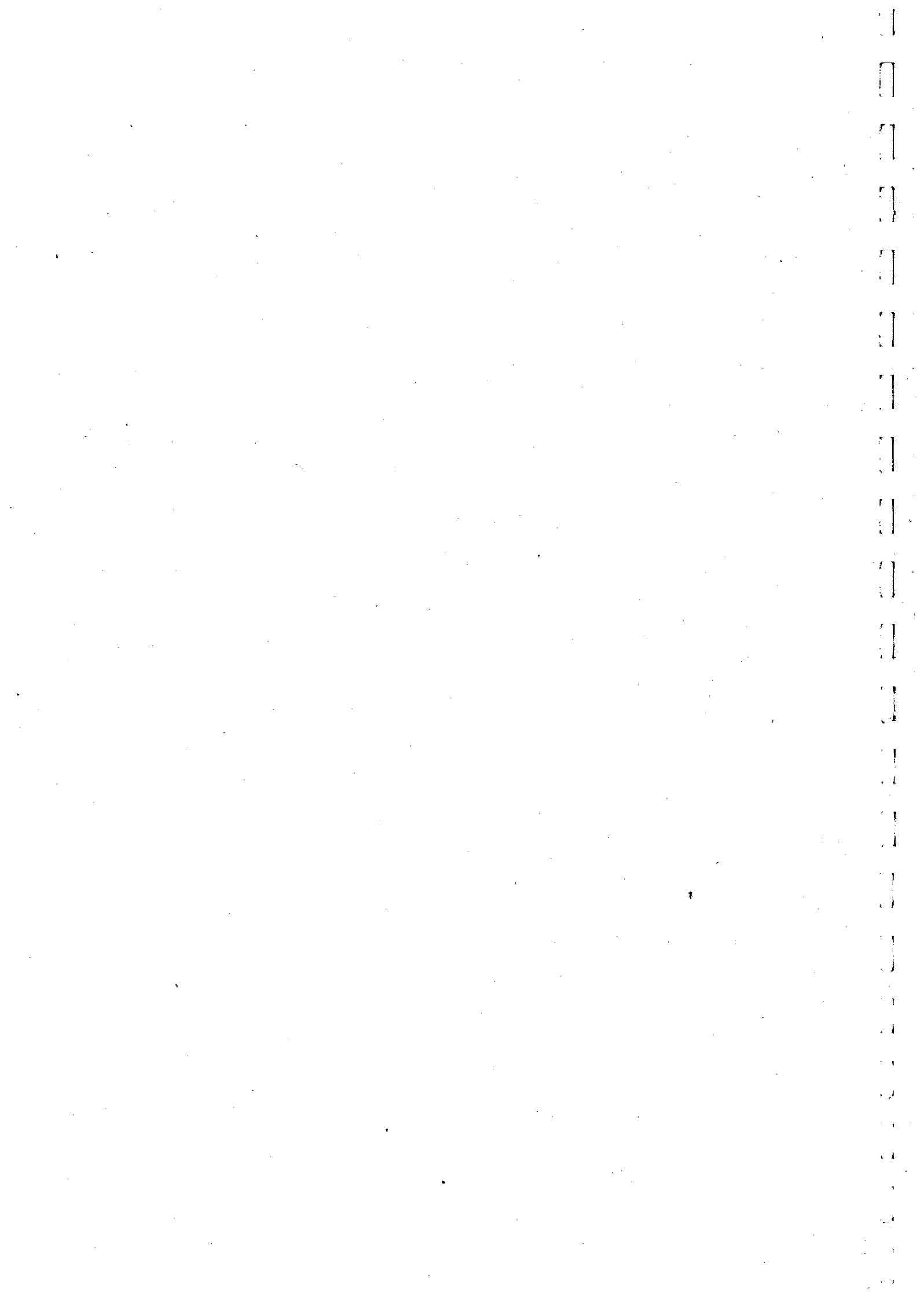
Umweltrelevante Auswirkungen der Feldrandkompostierung

**Studie im Auftrag der Kantone Solothurn, Baselland,
Zürich, Aargau und Bern**



**Alfred Berner, Ing. Agr. ETH
Daniel Scherrer, Ing. Agr. ETH
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)
Bernhardsberg, CH - 4104 Oberwil
Tel. 061/ 401'42'22**

Oberwil, August 1994



Inhaltsverzeichnis

Umweltrelevante Auswirkungen der Feldrandkompostierung	
Inhaltsverzeichnis.....	2
Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis.....	6
Einige Abkürzungen.....	7
Zusammenfassung	8
1 Einleitung.....	11
2 Problemstellung	11
3 Material und Methoden.....	12
3.1 Versuchsaufbau.....	12
3.2 Versuchsstandort, Boden	15
3.3 Messeinrichtungen, Messungen und Analysen.....	15
3.4 Berechnungen und statistische Auswertung der Analysedaten.....	19
3.5 Nährstoffhaushalt, Betriebskosten	20
3.6 Zeitlicher Ablauf.....	20
4 Resultate und Diskussion	21
4.1 Kompostierung.....	21
4.1.1 Temperaturentwicklung.....	21
4.1.2 CO ₂ - und O ₂ -Gehalte der Mietenluft	22
4.1.3 Umsetzhäufigkeit.....	22
4.2 Kompostinhaltsstoffe	22
4.3 Niederschläge, Sickerwassermengen.....	24
4.4 Chemische Analysen Sickerwasser.....	26
4.5 Sickerwasserfrachten.....	28
4.6 Bodenphysikalische Veränderungen.....	29
4.6.1 Scheinbare Dichte.....	29
4.7 Bodenchemische Veränderungen	29
4.7.1 pH -Werte.....	29
4.7.2 Organische Substanz (OS).....	30
4.7.3 Organisch gebundener Stickstoff (N _{kj}).....	30
4.7.4 Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N)	31
4.7.5 Nitratstickstoff (NO ₃ -N)	33
4.7.6 Kalium (K).....	35
4.7.7 Magnesium (Mg).....	37
4.7.8 Mangan (Mn)	37
4.7.9 Eisen (Fe)	38

4.8	Grünabfall-, Kompostmengen und Nährstoffhaushalt auf dem landw. Betrieb in Witterswil.....	39
4.9	Betriebskosten Feldrandkompostierung Witterswil.....	41
5	Zusammenfassende Diskussion.....	43
5.1	Kompostierung, Kompostqualität.....	43
5.2	Physikalische Veränderungen im Boden.....	43
5.3	Vergleich Sickerwasserfracht und Nährstoffanreicherung im Boden.....	44
5.3.1	Verhalten des Stickstoffes im Boden.....	47
5.3.2	Abschätzung des N-Auswaschungspotentials der Feldrandkompostierung im Vergleich mit der landwirtschaftlichen Praxis.....	49
5.3.3	Verhalten des Kalziums im Boden.....	52
6	Schlussfolgerungen aus dem Versuch.....	53
7	Dank.....	54
8	Literaturverzeichnis.....	55
9	Anhang der Rohdaten.....	57

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	pH, Kationenaustauschkapazität (KAK) und Korngrößenverteilung des Versuchsbodens in Witterswil (SO).....	15
Tab. 2:	Physikalische Analysen des Bodens der Mietenplätze.....	17
Tab. 3:	Durchgeführte chemische und biologische Analysen an Kompost, Sickerwasser und Boden.....	18
Tab. 4:	Kompostanalysen und Kresstest.....	23
Tab. 5:	Niederschlagsmengen und aufgefangenes Sickerwasser während der Winter- und Sommerkompostierung in l/m ²	24
Tab. 6:	Sickerwasserzusammensetzung und CSB, Mittelwerte der Winter- und Sommerkompostierung und Vergleichswerte aus der Literatur.....	27
Tab. 7:	Mittelwerte der CSB- und Nährstofffrachten, die mit dem Sickerwasser unter den Kompostmieten aufgefangen wurden.....	28
Tab. 8:	Scheinbare Dichte in kg/dm ³ des Mieten- und Kontrollbodens in 5-15 cm Tiefe.....	29
Tab. 9:	pH-Werte im Boden nach Winter-, Sommer- und Jahreskompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten.....	29
Tab. 10:	Organische Substanz im Boden nach Winter-, Sommer- und Jahreskompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g OS/m ² Bodenschicht.....	30
Tab. 11:	Organisch gebundener Stickstoff im Boden nach Winter-, Sommer- und Jahreskompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g N _g /m ² Bodenschicht.....	30
Tab. 12:	Ammoniumstickstoff (0.01m CaCl ₂) im Boden nach Winter-, Sommer- und Jahreskompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g NH ₄ -N/m ² Bodenschicht.....	31
Tab. 13:	Nitratstickstoff (0.01m CaCl ₂) im Boden nach Winter-, Sommer- und Jahreskompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g NO ₃ -N/m ² Bodenschicht.....	33
Tab. 14:	Kalium (0.01m CaCl ₂) im Boden nach Winter-, Sommer- und Jahreskompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g K/m ² Bodenschicht.....	35

Tab. 15:	Magnesium (0.01m CaCl ₂) im Boden nach Winter-, Sommer- und Jahreskompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g Mg /m ² Bodenschicht.	37
Tab. 16:	Veränderung des 0.1m HCl/ 0.05m H ₂ SO ₄ löslichen Mangans im Boden nach Winter-, Sommer- und Jahreskompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g Mn /m ² Bodenschicht.	37
Tab. 17:	Veränderung des 0.1m HCl/ 0.05m H ₂ SO ₄ löslichen Eisens im Boden nach Winter-, Sommer- und Jahreskompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g Fe /m ² Bodenschicht.	38
Tab. 18:	Grünabfall-, Kompostmengen und mittlerer Nährstoffgehalt bei der Feldrandkompostierung in Witterswil.	39
Tab. 19:	Nährstoffbedarf der Pflanzen und Anfall aus Hofdüngern, Kompost und Mineraldüngergaben in kg pro ha LN des Betriebes in Witterswil. Landw. Nutzfläche 17.6 ha.(Nach LBL Formular „Gesamtbetrieblicher Nährstoffhaushalt“).....	40
Tab. 20:	Arbeitsstunden, Ansätze und Kosten für die Grünabfuhr und die Feldrandkompostierung in Witterswil und Bättwil.	41
Tab. 21:	Betriebskosten von Feldrandanlagen, zentralen stationären Anlagen (Estermann 1994) und von der Gemeinde Witterswil in Franken pro Tonne Abfall.....	42
Tab. 22:	Anteil der Nährstoffe im Sickerwasser an der Nährstoffanreicherung im Boden.....	44
Tab. 23:	Nährstoffanreicherungen im Boden in g/m ² Bodenschicht unter teilweise gedeckten Biotonnemieten, nicht gedeckten Mistkompostmieten und Mieten aus reinem Pferdemist oder 80% Pferdemist + 20% Gemüseabfällen bei einer Kompostierdauer von 1-3 Jahren.....	46
Tab. 24:	Rest-N-Werte nach verschiedenen Kulturen im Boden 1989-1992 (Anonym 1993).....	49
Tab. 25:	Anreicherung und Auswaschungspotential von Nährstoffen unter der Mietenfläche, die zur Kompostdüngung von 1 Hektare Kulturland benötigt wird.....	51

Anhang:

- Anhang Tab. 1: Temperatur, CO₂ und O₂ in den Kompostmieten während der Winter- und Sommerkompostierung.
- Anhang Tab. 2: Niederschlag und Sickerwasser Feldrandkompostierung Witterswil Nov. 92 - Nov. 93.
- Anhang Tab. 3: Analysen Feldrandkompost Witterswil in % TS oder mg/kg TS.
- Anhang Tab. 4: Sickerwasserkonzentrationen Feldrandkompostierung Witterswil.
- Anhang Tab. 5: pH (H₂O) im Boden.
- Anhang Tab. 6: pH (KCl) im Boden.
- Anhang Tab. 7: Organische Substanz im Boden.
- Anhang Tab. 8: N (Kjeldahl) im Boden.
- Anhang Tab. 9: NH₄-N im Boden.
- Anhang Tab. 10: NO₃-N im Boden.
- Anhang Tab. 11: Kalium im Boden.
- Anhang Tab. 12: Magnesium im Boden.
- Anhang Tab. 13: Mangan im Boden.
- Anhang Tab. 14: Eisen im Boden.
- Anhang Tab. 15: LBL Gesamtbetrieblicher Nährstoffhaushalt des Betriebes in Witterswil.

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1:	Anordnung der Mieten auf dem Feld im Winter und im Sommer, dazugehörige Kontrollfelder siehe Abb. 3.....	14
Abb. 2:	Querschnitt durch die Sickerwasserauffangvorrichtung.....	16
Abb. 3:	Plan der Bodenprobe- und Verschiebeflächen der Kompostmieten.....	17
Abb. 4:	Ammoniumstickstoff im Boden (0.01m CaCl ₂ Extrakt) in drei Tiefen nach der Winterkompostierung im April und im August sowie nach der Sommerkompostierung im November (in g NH ₄ -N/m ² Bodenschicht).....	32
Abb. 5:	Nitratstickstoff im Boden (0.01m CaCl ₂ Extrakt) in drei Tiefen nach der Winterkompostierung im April und im August sowie nach der Sommerkompostierung im November (in g NO ₃ -N/m ² Bodenschicht).....	34
Abb. 6:	Kaliumkonzentrationen im Boden (0.01m CaCl ₂ Extrakt) in drei Tiefen nach der Winterkompostierung im April, im August und nach der Sommerkompostierung im November (in g K/m ² Bodenschicht).....	36

Einige Abkürzungen

BSB5	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
FAC	Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, 3097 Liebefeld-Bern
FAW	Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, 8820 Wädenswil
LBL	Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau, 8315 Lindau
StoV	Verordnung über umweltgefährdende Stoffe, Änderungen vom 16. September 1992
TVA	Technische Verordnung über Abfälle vom 10. Dezember 1990
RPG	Bundesgesetz über die Raumplanung vom 22. Juli 1979
USG	Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983

Zusammenfassung

Die Kompostierung von Grünabfällen am Feldrand ist eine Schnittstelle zwischen der Abfallwirtschaft und der Herstellung von organischen Düngern in der Landwirtschaft. In dieser Arbeit werden die Ergebnisse eines Versuches zur Klärung von Fragen der Gewässer- und Bodenbelastung durch Kompostsickerwässer und Fragen der Bodenverdichtung durch Maschinen, die bei der Kompostierung zum Einsatz kommen, dargestellt. Im weiteren wurden auch Fragen der Qualität der hergestellten Komposte bearbeitet.

Um die obenstehenden Fragen zu beantworten, wurden in einem wissenschaftlich begleiteten Praxisversuch folgende Kompostierungsvarianten angelegt:

- An sogenannten Wandermieten wurde je einmal im Winter und im Sommer auf verschiedenen Flächen kompostiert und diese anschliessend begrünt.
- An sogenannten Jahresmieten wurde zuerst im Winter und anschliessend auf derselben Fläche im Sommer kompostiert und diese anschliessend begrünt.
- Beide Mietenarten wurden mit je zwei Materialien angelegt: Mit reinem Grünabfall und mit 75% Grünabfall + 25% Pferdemist.

Während der Kompostierung wurden an der Kompostmiete die Temperatur und die Gehalte der Mietenluft an O_2 und CO_2 verfolgt. Mindestens alle 2 Wochen wurden die Sickerwässer aufgefangen. Am Ende der Kompostierung wurden Bodenproben an den Mietenplätzen und in den Kontrollflächen bis 90 cm Tiefe gezogen. Bis ein Jahr (Herbst 1994) nach der Kompostierung werden diese Probenahmen noch fortgesetzt. Der Kompost wurde chemisch und biologisch analysiert. In den Sickerwässern wurden der CSB, Stickstofffraktionen und weitere Pflanzennährstoffe untersucht, im Boden pH, OS, Stickstofffraktionen, Kalium, Magnesium und die Redoxindikatoren Mangan und Eisen. Ferner wurde die scheinbare Dichte des Bodens an den Mietenplätzen und Kontrollflächen bestimmt.

Kompostqualität:

Das Rohmaterial für die Winterkompostierung wies ein weites C/N-Verhältnis auf und erwärmte sich infolgedessen nur sehr schwach. Auf Beschluss der Begleitgruppe wurde auf eine sonst übliche Stickstoffergänzung verzichtet. Der Sommerkompost erreichte die Hygienisierungskriterien. Bezüglich C/N- und Nitrat/Ammonium-Verhältnis und auch bezüglich des Kressetests kann der erzeugte Sommerkompost im Gegensatz zum Winterkompost als reif beurteilt werden.

Sickerwasser:

Die Nährstoffkonzentrationen und der CSB im Sickerwasser waren im Vergleich zu den Werten in der Literatur klein. Da in diesem Versuch vor allem exogenes Sickerwasser (von der Seite unter die Mieten eingedrungenes Regenwasser) aufgefangen wurde, waren die Sickerwassermengen relativ gross. Der gesamte CSB Eintrag war kleiner, die Frachten beim Stickstoff kleiner oder gleich und beim Kalium grösser als bei den Werten aus der vergleichbaren Literatur.

Veränderungen im Boden:

- Die **scheinbare Dichte** der Böden der Mietenplätze nach Abbruch der Wintermieten war unter den Jahresmieten signifikant und unter den Wandermieten tendenziell geringer als in den Kontrollflächen. Dieser Effekt kann auf die grössere Häufigkeit von Regenwurmgingen unter den Kompostmieten zurückgeführt werden. Nach der Sommerkompostierung traten bei der scheinbaren Dichte keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zur Kontrolle auf. Es konnten somit keine Bodenverdichtungen unter den Mieten festgestellt werden.

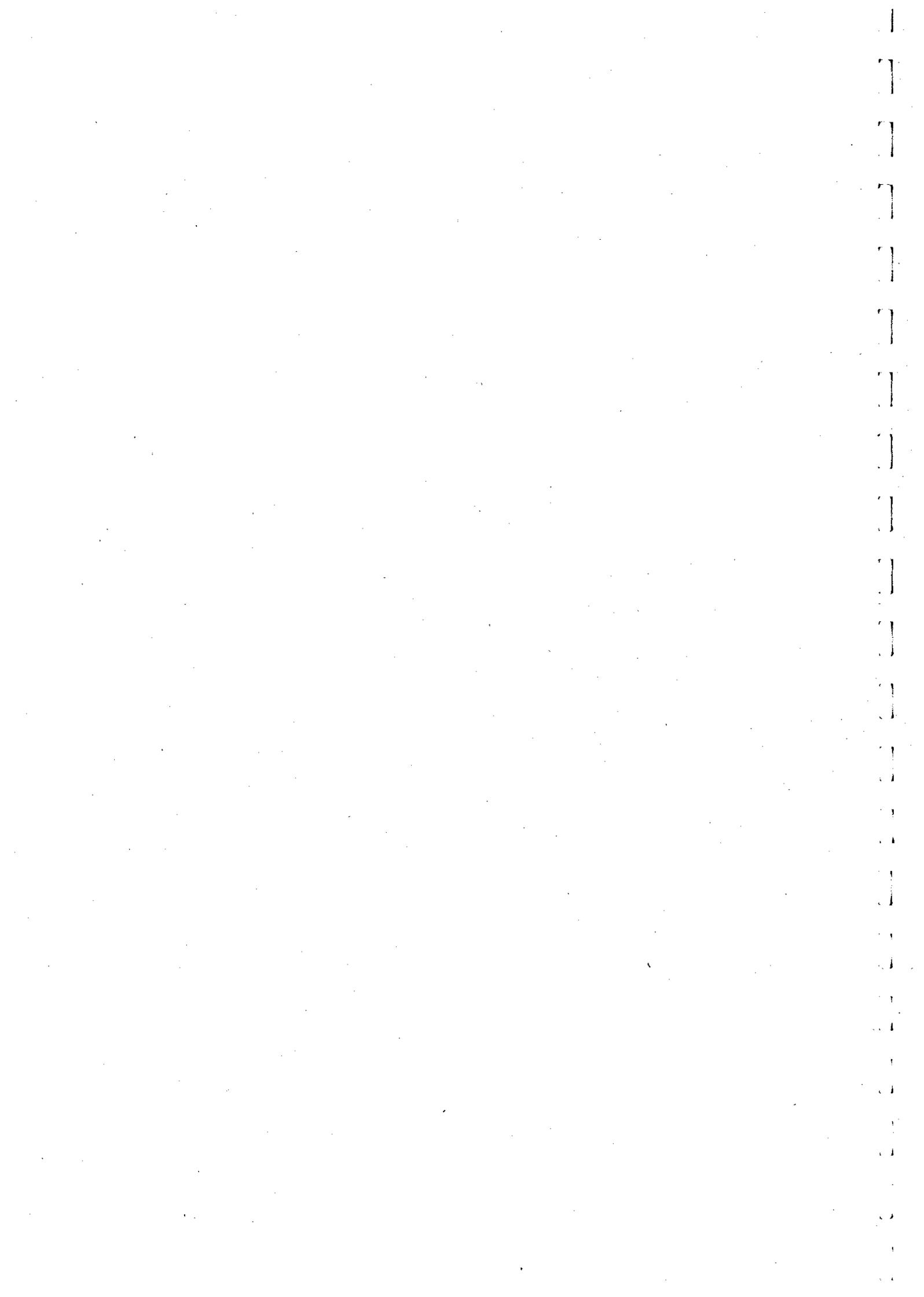
- Das pH (H₂O) wurde unter den Jahresmieten um maximal 0.7 Einheiten erhöht. Es hatte den neutralen Bereich noch nicht überschritten und stellt für die nachfolgenden Pflanzen kein Problem dar.
- **Nmin** stieg im Boden durch Stickstoff aus Sickerwasser und Kompost sowie durch die Mineralisierung von Klee grasrückständen im Boden auf 17.6 g Nmin /m² bei den Wandermieten im Winter und auf 32.7 g Nmin /m² bei denjenigen im Sommer an. Bei der Jahreskompostierung waren die Bedingungen für die Denitrifizierung günstig, sodass nach der zweiten Kompostierung im Sommer nur 18.6 g Nmin /m² festgestellt wurden. Durch die N_{tot}-Fracht aus dem Sickerwasser konnten bei der Wandermiete Winter 1%, bei der Wandermiete Sommer 30% und bei der Jahresmiete 97% der Nmin-Zunahme im Boden erklärt werden. Der Rest der Nmin-Zunahme stammt vermutlich zur Hauptsache von mineralisierenden Klee grasrückständen im Boden unter den Kompostmieten. Direkt mit im Pflanzenbau eingesetzten Düngermengen verglichen sind diese Werte als hoch einzustufen. Ob das Nitrat nach der Begrünung durch die Pflanzen aufgenommen werden kann, hängt vor allem von der Jahreszeit, dem Boden und der Niederschlagsmenge ab. Bei der Jahresmiete mit Mietenabbruch und Begrünung im Frühjahr sollte dies auf dem Standort Witterswil möglich sein. Bei Mietenabbruch im Herbst und Begrünung im Frühjahr ist das Nitrat stark auswaschungsgefährdet.
- **Kalium** gelangte vor allem mit dem Sickerwasser und mit Kompost in den Boden. Nach den Wandermieten im Sommer wurden 127 g K/m² und im Winter 156 g K/m² im Boden gemessen, nach der Jahresmiete 170 g K/m². Im Vergleich mit einer Kaliumdüngung sind diese Mengen als sehr hoch einzustufen. Kalium wird im Boden an Ton absorbiert und praktisch nicht weiter verlagert. Kalium ist deshalb nicht gewässerschutzrelevant. Im Boden sollte das Kalium aber längerfristig durch die Pflanzen entzogen werden, da es sonst zu Salzstress bei empfindlichen Kulturen kommen kann. Dies kann durch 2 Jahre Klee gras mit dem entsprechenden Luxuskonsum der Pflanzen annähernd erreicht werden. Auf dem Standort Witterswil trägt die Kaliumfixierung des Bodens (Lösslehm) weiter zur Absenkung der pflanzenverfügbaren Kaliumgehalte bei.
- **Kohlenstoff- und Gesamtstickstoffgehalte** wurden unter den Kompostmieten erhöht. Die Erhöhungen waren vor allem auf Kompostverlagerungen durch die Regenwürmer und ein nicht vollständiges Entfernen von Kompost nach der ersten Kompostierung zurückzuführen. Die räumliche Variabilität von C und N unter den Mieten war sehr gross. Deshalb müssen die Zahlen über die Anreicherung der Mietenplätze mit C und N mit Vorsicht interpretiert werden. Da die Mietenplätze nach der Kompostierung 2 Jahre lang mit Klee gras bebaut werden, kann der mineralisierte organische Kompoststickstoff durch das Klee gras aufgenommen werden.

Auf viehlosen Betrieben, welche die Limite von 25 t TS Kompost pro ha und 3 Jahre (StoV) voll ausschöpfen können (viehhaltende Betriebe sind durch die P-Bilanz meist enger begrenzt), belegen die **Kompostmieten** (Jahresmieten) nur eine Fläche von etwa **2% der landwirtschaftlichen Nutzfläche**. Durch diesen kleinen Anteil könnte selbst eine kleine Verminderung von 1% der Nitratfracht der Produktionsflächen des Betriebes eine hypothetische, vollständige Auswaschung des Nmin der Mietenflächen ausgleichen.

Die Belastung des Grundwassers mit Stickstoff durch die **relativ kleine, örtliche Quelle** der Mietenplätze kann durch eine Reglementierung der Betriebsweise verringert werden.

Die Betriebskosten der Feldrandkompostierung sind vergleichbar mit zentralen stationären Anlagen. Bei der Feldrandkompostierung fallen aber weniger Investitionskosten an.

Um auf einem Landwirtschaftsbetrieb Feldrandkompostierung betreiben zu können, müssen eine Reihe von Auflagen erfüllt werden. Die bei allen Kantonen gemeinsamen Punkte dieser **Auflagen** sind in einem **Merkblatt** aufgeführt, das von den Vertretern der beteiligten kantonalen Behörden und den Autoren erarbeitet wurde.



1 Einleitung

In der Schweiz besteht ein Gesamtpotential von 580'000 bis 1'200'000 t organischer, kompostierbarer Abfälle (Aebersold et al. 1992). Dies ergäbe eine Kompostmenge von 350'000 bis 720'000 t. Durch die Eigenkompostierung werden etwa 200'000 t in den Haushalten und Gärten direkt verwertet. Über 300'000 t organischer Abfälle werden in rund 120 Werksanlagen kompostiert. Zur Zeit beginnen immer mehr Landwirte kommunale Grünabfälle über das System Feldrandkompostierung für den eigenen Bedarf zu verwerten. Dadurch sichern sie sich auch ein Nebeneinkommen. In viehschwachen Betrieben kann der Kompost im Acker- und Gemüsebau zum Teil den Mist ersetzen. Über die Qualität von Grünabfallkompost aus der Feldrandkompostierung und die Auswirkungen dieses Kompostierungssystems auf den Boden und das Grundwasser ist noch sehr wenig bekannt.

Der Kompost, der in den 120 grösseren Kompostieranlagen erzeugt wird, gelangt zu über 50% in die Landwirtschaft, zu 30% in den Profigartenbau und zu 13% in den Hobbybereich (Schleiss 1990). Die Landwirtschaft ist somit ein Schlüsselabnehmer für die Komposthersteller.

Zur Zeit werden auch Komposte an die Landwirtschaft abgegeben, die sogar Stickstoff blockieren können (Frei 1993) oder andere nachteilige Folgen haben (Baumgarten et al. 1993). Deshalb ist die Skepsis vieler Landwirte gegenüber den Grünabfallkomposten teilweise gerechtfertigt. Der Qualitätssicherung von Komposten kommt daher grosse Bedeutung zu. Die Kenntnisse über die vielfältigen Vorteile der Komposte und dessen Anwendungsbedingungen sind noch nicht überall verbreitet (Baumgarten et al. 1993).

2 Problemstellung

Bei der Feldrandkompostierung wird am Feldrand auf offenem Boden kompostiert. Allfällige Sickersäfte können im Boden versickern und somit Oberflächengewässer oder Grundwasser verunreinigen. Der Boden kann bei unvorsichtiger Kompostierung durch Befahren mit Maschinen verdichtet werden. Die Qualität der Komposte aus solchen Kompostierverfahren ist noch zuwenig untersucht.

Über Menge und Zusammensetzung der Sickerwässer bestehen Untersuchungen aus überdachten und nicht überdachten Anlagen auf befestigtem Untergrund. Als Rohmaterialien dienen Grünabfälle (Fischer und Jauch 1988) und Biotonneabfälle (Fricke et al. 1990, Roth 1991). Hingegen sind keine Messungen bezüglich Sickerwasserfrachten und Ausbreitung der Stoffe im Boden bei praxisnahen Feldrandkompostieranlagen durchgeführt worden. Für die Aufstellung der Betriebsreglemente fehlen Erfahrungen. Deshalb wurde im Auftrag der Gewässer-, Abfall- und Bodenschutzfachstellen der Kantone Solothurn, Baselland, Zürich, Aargau und Bern ein Praxisversuch mit folgenden Fragestellungen durchgeführt:

- Welche **Kompostqualitäten** werden bei der Feldrandkompostierung hergestellt (Nährstoffe, Pflanzenverträglichkeit)?
- Wieviel **Sickerwasser** mit welchen Konzentrationen ist zu erwarten? Wie gross ist die Ausbreitung der Nährstoffe im Boden, ist eine **Grundwassergefährdung** zu befürchten? Wie hoch ist die Nährstofffracht im Vergleich zur landwirtschaftlichen Praxis?
- Entstehen bei der Feldrandkompostierung **Bodenverdichtungen**, die die Bodenfruchtbarkeit gefährden?
- Welche **Betriebskosten** verursacht die Feldrandkompostierung?

- Welche **Erfahrungen** werden bei der Kompostierung gemacht? Welche reglementarischen Vorkehrungen müssen getroffen werden, um eine ordnungsgemässe Feldrandkompostierung zu ermöglichen?

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsaufbau

Für den Versuch wurden folgende Varianten ausgewählt:

Material:

- 100% Grünabfall bestehend vor allem aus Gartenabfällen, Rasenschnitt und Laub
- 75% Grünabfall und 25% Pferdemist eines landwirtschaftlichen Betriebes

Kompostieren in Form von:

- Wandermiete (1x kompostieren am selben Ort und anschliessend begrünen)
- Jahresmiete (1 Jahr kompostieren, 2-3 Mieten nacheinander am selben Ort und anschliessend begrünen)

Jahreszeit für die Kompostierung:

- Winter
- Sommer

Die Kombination der 3 Faktoren ergibt **sechs Kompostierverfahren**:

- Wandermiete Grünabfall Winter
- Wandermiete Grünabfall Sommer
- Wandermiete Grünabfall/Mist Winter
- Wandermiete Grünabfall/Mist Sommer
- Jahresmiete Grünabfall (Winter und Sommer)
- Jahresmiete Grünabfall/Mist (Winter und Sommer)

Bei Komposten, die im Winter hergestellt wurden, wird der Begriff **Winterkompost** respektive **Winterkompostierung** verwendet. Bei Komposten die im Sommer hergestellt wurden, wird der Begriff **Sommerkompost** respektive **Sommerkompostierung** eingesetzt. Dies gilt für Komposte aus Wandermieten wie auch aus Jahresmieten.

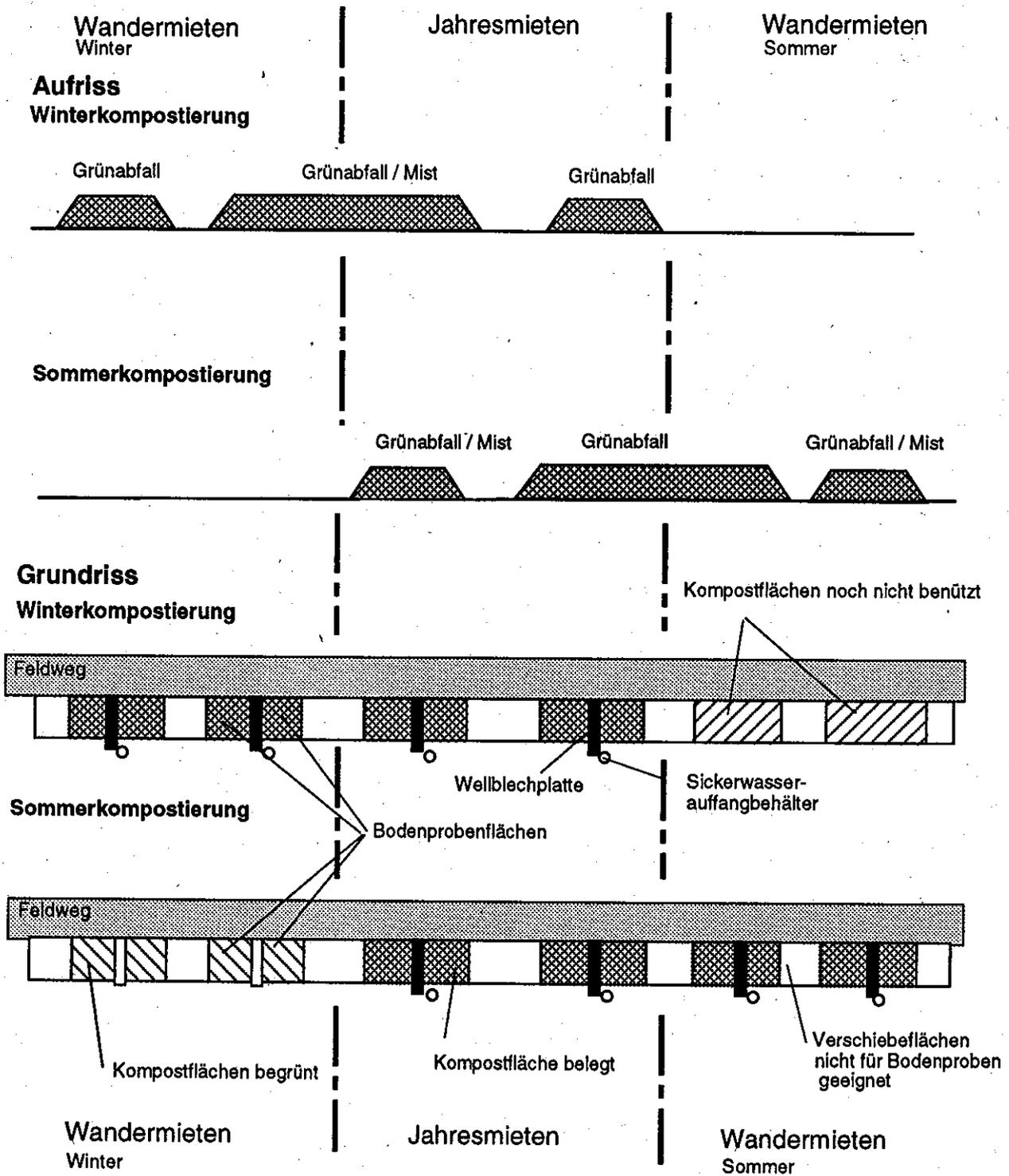
Als Rohstoff dienten Gartenabfälle der Grünabfuhr von Witterswil (1167 Einwohner) und Bättwil (587 Einwohner). Das Grüngut wurde mit Dreiseitenkippern mit angebautem Häcksler abgeführt. Die Annahmekontrolle erfolgte während der Abfuhr durch den Gemeindearbeiter. Nicht reglementkonforme Gebinde wurden stehen gelassen und mit einem aufklärenden Zettel versehen. Dies bewirkte eine hohe Reinheit der Kompostrohstoffe (siehe Kapitel 3.2). Das gehäckselte Rohmaterial wurde direkt an den Mietenplätzen auf eine Pferdemistunterlage abgekippt.

Nach dem Ablauf der Kompostierphase erfolgte nach Einsaat mit Klee gras bei allen Verfahren eine einjährige Nutzung als Futterfläche. Während einer Vegetationsperiode (1994) werden in diesen Flächen noch Bodenproben gestochen und Nährstoffe analysiert.

In Witterswil wurde nach dem Verfahren Lübke kompostiert (Amet 1993, Dunst 1991). Dies bedeutet, dass der Grünabfall mit einer traktorgezogenen Wendemaschine umgesetzt wird, sobald der CO₂-Gehalt der Mietenluft 8% übersteigt. Aus versuchstechnischen Gründen wurden alle Mieten gewendet, wenn dieser CO₂-Gehalt bei einem Verfahren erreicht wurde. Die Mieten wurden ferner mit einem Bakterienpräparat beimpft und bei Bedarf befeuchtet. Die Kompostmieten wurden mit einem Vlies (Toptex Kompostabdeckvlies, Hortima AG, 5212 Hausen bei Brugg) abgedeckt und somit vor Vernässung durch Niederschläge geschützt. Durch dieses Kompostierungssystem wird es möglich, bei idealen Bedingungen und 12-15 maligem Umsetzen im Sommer in 6-10 Wochen reifen Kompost herzustellen. Im Winter dauert die Kompostierphase etwas länger.

Entlang eines Feldweges wurden hintereinander die verschiedenen Kompostmieten angelegt (siehe Abb. 1). Die einzelnen Mieten waren 6-7 m lang, zu Beginn 2-2.5 m breit und 1.4 m hoch. Mit fortschreitender Rotte wurden sie schmaler und weniger hoch (Rotteverlust). Da die Mieten pro Umsetzvorgang in Längsrichtung um einen Meter verschoben werden, mussten nebst den Probenahme flächen auch Verschiebeflächen eingeplant werden (siehe auch Abb. 3). Auf den Probenahme flächen lagen während des ganzen Kompostierprozesses Kompostmieten des gleichen Kompostierverfahrens. Auf den dazwischen liegenden Verschiebeflächen wechselten die Kompostmieten durch die Längsverschiebung den Standort. Deshalb musste das Kompostmaterial mehrmals mit einem Mistkran mit Rübenkorb wieder an seinen Ursprungsplatz rückverlagert werden. Benachbarte Mieten mit gleichem Ausgangsmaterial wurden aneinandergereiht (ca. 16 m lang), bei unterschiedlichen Rohstoffen wurde ein Zwischenraum von 1-2 m eingehalten, damit sich die Materialien nicht vermischen konnten. Nach der Kompostierung wurde das Endprodukt mit einem Mistkran auf einen Miststreuer verladen und auf das Feld ausgebracht.

Abb. 1: Anordnung der Mieten auf dem Feld bei der Winter- und Sommerkompostierung; (dazugehörige Kontrollfelder siehe Abb. 3).



3.2 Versuchsstandort, Boden

Der Versuch wurde in Witterswil (SO), 10 km südwestlich von Basel angelegt. Der Boden ist eine leicht pseudovergleyte Parabraunerde auf Lösslehm (Tab. 1). Die Kompostmieten waren in Nord-Südrichtung angelegt. Die Geländeoberfläche hatte ein durchschnittliches Gefälle von 1.5% in Richtung Osten.

Tab. 1: pH, Kationenaustauschkapazität (KAK) und Korngrößenverteilung des Versuchsbodens in Witterswil (SO).

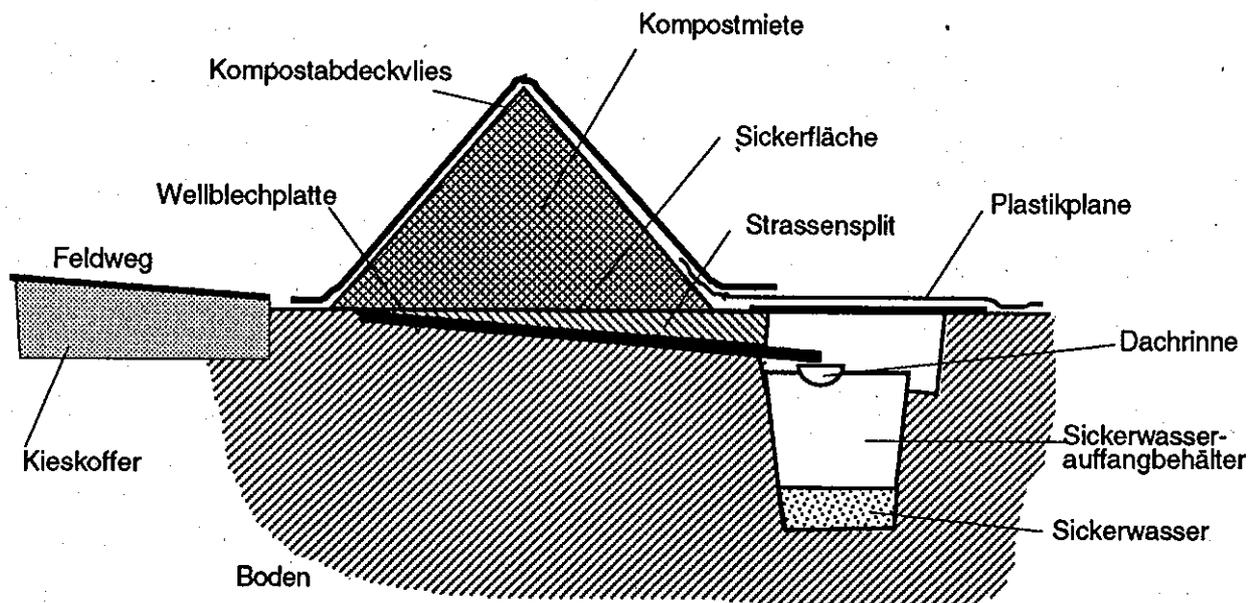
	pH (H ₂ O)	KAK mval/100g	Sand %	Schluff %	Ton %
0-30cm	6.2	12.2	11.7	70.6	15.9
30-60cm	7.1	12.4	12.8	66.7	19.9
60-90cm	7.4	14.6	11.4	62.8	25.3

3.3 Messeinrichtungen, Messungen und Analysen

Kompost

Nach dem Aufsetzen der Kompostmieten mass der Landwirt die Temperatur sowie die CO₂- und O₂-Gehalte in der Mietenluft (Messgerät: Bacharach FYRITE-Indikator für CO₂ bzw. O₂, Kaminfegermeisterverband, Aarau). Die Messungen erfolgten nach dem Aufsetzen der Miete täglich, später noch zweimal in der Woche. Vor dem Abbruch der Kompostmieten wurden Proben für chemische Analysen und Kressetests (Tab. 3) nach den Vorschriften der FAC gezogen. Vom Grünabfallrohmaterial wurden keine Proben genommen, da Grünabfall sehr heterogen ist und somit aussagekräftige Analysen in der Praxis nicht möglich sind.

Abb. 2: Querschnitt durch die Sickerwasserauffangvorrichtung.



Sickerwasser

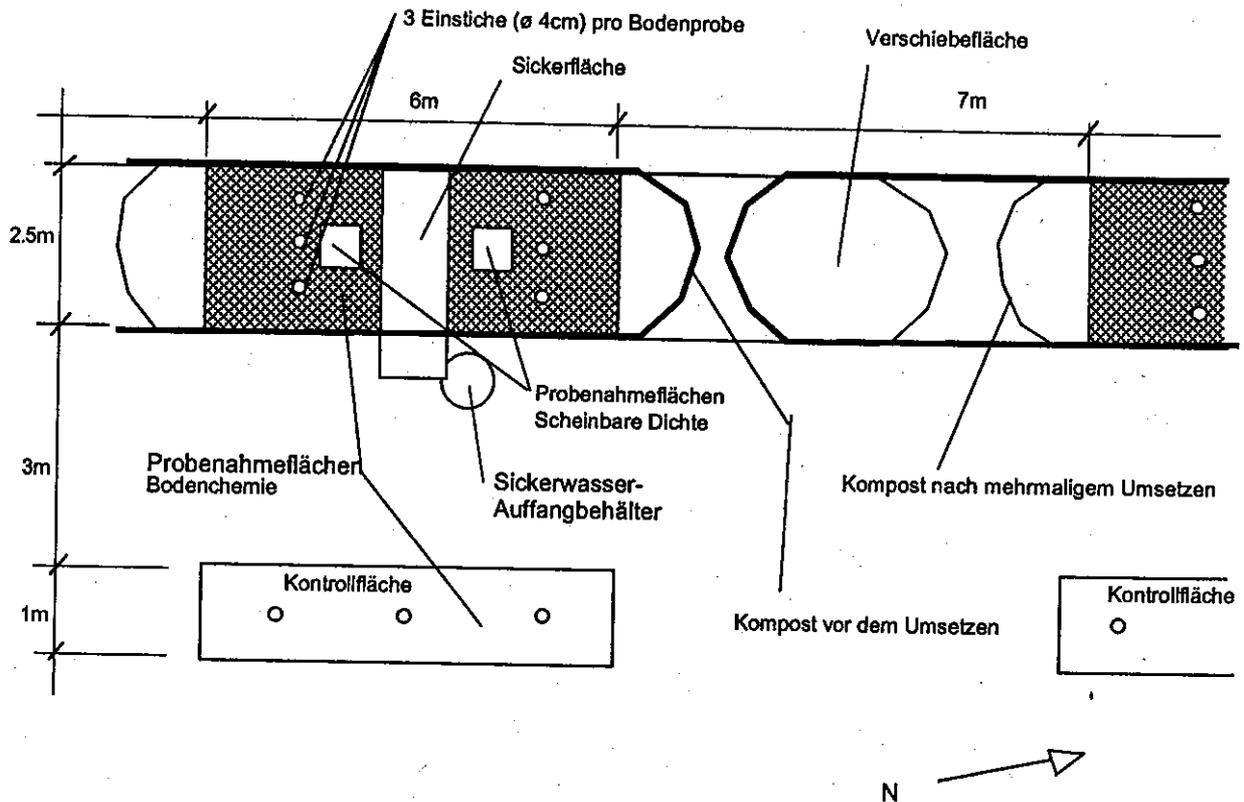
Das Sickerwasser wurde bei allen Kompostmieten quantitativ aufgefangen und gemäss den in Tab. 3 aufgeführten Kenngrössen analysiert. Zur Sickerwassergewinnung (siehe Abb. 2) wurde eine Wellblechtafel (0.95 x 3 m) 5-15 cm tief quer in den Mietenplatz eingegraben und die darüber liegende Sickerfläche (0.95 x 2 m) mit Strassensplit aufgefüllt. Das Gefälle betrug 5% vom Weg in Richtung Feld. Das Sickerwasser wurde mit einer Dachrinne aufgefangen und in einen 30 l Behälter geleitet. Dort wurde es mindestens alle 2 Wochen oder nach grösseren Regenereignissen beprobt und bis zur Analyse tiefgefroren. Die Grube war mit Brettern gedeckt und mit einer grossen Plastikabdeckung vor Regen geschützt. Das vom Vlies abgeleitete Regenwasser wurde mit unterlegten Plastikplanen von der Sickerfläche und der Grube weggeleitet. Weil die Mieten während der Rottezeit schmaler wurden (Rotteschwund ergibt Volumenabnahme), mussten auf der Feldseite die Plastikplanen von Zeit zu Zeit nachgerückt werden. Auf der Wegseite wurde die Miete beim Zurücksetzen mit dem Mistkran wieder näher an den Weg gebracht.

Bei der Kompostierung kann Prozesswasser (**endogenes Sickerwasser**) vor allem während der anfänglichen Hochtemperaturphase entstehen (Fricke et al. 1990). **Exogenes Sickerwasser** hingegen ist Wasser, das von aussen in die Mieten eindringt und die Mieten auswäscht. Dieses Wasser kann bei nicht zugedeckten Mieten als Folge von Niederschlägen entstehen, bei gedeckten Mieten ist es vorwiegend vom Vlies abgeleiteter Regen, welcher von der Seite her eindringen kann und zur Vernässung und Auswaschung des Mietenfusses führt.

Zum Teil ergaben sich Probleme mit Regenwasser vom Feldweg, das unter die Mieten eindrang und mit dem Sickerwasser aufgefangen wurde. Der Kieskoffer eines Weges wird immer höher als die Umgebungsoberfläche gebaut, damit das Regenwasser seitlich wegfliessen kann. Liegt nun seitlich eine Kompostmiete, die durch das Vlies ihrerseits Regenwasser an den Wegrand ableitet, so entsteht am Wegrand ein Wasserüberschuss. Je nach Art der Neigung der Oberfläche, quer oder längs zum Weg, fliesst das Wasser dann unter die Miete oder entlang der Miete weg. Selbst bei sehr kleinen Mulden sammelt es sich und sickert unter den Mieten ein. Bestehen neben dem Kieskoffer Radspuren der

Wendemaschine, so wird dieser Effekt noch verstärkt. Die Jahresmieten und die Wandermiete mit Grünabfall der Sommerkompostierung lagen im Bereich einer kleinen Mulde, wo sich bei starken Niederschlägen das Wasser sammelte. Deshalb wurde in diesem Versuch - vor allem im Sommer mit zunehmend tieferer Radspur - mehr Wasser vom Feldweg als Sickerwasser von den Komposten aufgefangen.

Abb. 3: Plan der Bodenprobe- und Verschiebeflächen der Kompostmieten.



Bodenproben

Physikalische Analysen

Tab. 2: Physikalische Analysen des Bodens der Mietenplätze.

Boden: Scheinbare Dichte

Mit der scheinbaren Dichte sollen Bodenverdichtungen durch das Kompostieren beziehungsweise durch das Befahren der Mietenplätze mit Maschinen erfasst werden (Tab.2).

Die scheinbare Dichte wurde im April nach der Winterkompostierung südlich und nach der Sommerkompostierung nördlich der Sickerflächen gemessen. Der Abstand zu den Sickerflächen betrug 50 cm. Pro Wert wurden 3 Bodenzylinder (11.3 cm ø) aus 5-15 cm Tiefe gestochen.

Chemische Analysen

Bodenproben zur chemischen Analyse wurden mit einem Edelman-Drehbohrer (4 cm \emptyset) gezogen. Pro Miete wurden zwei Probenahmefflächen ausgeschieden (Abb. 3) und je 3 Einstiche gezogen und gemischt. Die Einstiche in den Mietenflächen wurden in der Mitte und je 20 cm vom Rand der Miete vorgenommen. Bei den Kontrollflächen, welche 3 m neben den Mieten lagen, betrug der Abstand zwischen den Einstichen 2 m. Pro Mietenfläche wurden somit 2 Mischproben gezogen und analysiert, pro Kontrollfläche eine. Die Bohrkern wurden in die Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm unterteilt. Bei der Probe 0-30 cm wurde oberflächlich die mit Kompost vermischte Erde entfernt. Die Proben wurden nach der Winterkompostierung aus allen Mieten- und Kontrollflächen im Monat April, bei den Wandermieten Winter und entsprechenden Kontrollflächen im August und nach der Sommerkompostierung aus allen Mieten- und Kontrollflächen im November gezogen. Zur Nachbeobachtung sind Probenahmen im Frühling, Sommer und Herbst 94 bei allen Flächen vorgesehen.

Tab. 3: Durchgeführte chemische und biologische Analysen an Kompost, Sickerwasser und Boden.

<p>Kompost: pH(H₂O), pH(0.1 M KCl) Trockensubstanz (TS) Organische Substanz (OS) = Glühverlust, N_{Kj} (Kjeldahl) NO₃-N (H₂O-Extrakt), NH₄-N (0.1 M KCl-Extrakt) P, K, Mg, Ca im HCl-Aufschluss der Asche CO₂- und O₂-Gehalt der Mietenluft Kresstest: Wachstum von Kresse in 100% Kompost im Vergleich zu Erde. Dauer: 6 Tage bei 20°C.</p>
<p>Sickerwasser: pH CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf) N_{tot} = N_{Kj} + NO₃-N NO₃-N, NH₄-N P, K, Mg, Ca</p>
<p>Boden: pH(H₂O), pH(0.1 M KCl), Organische Substanz (OS) (Dichromat), OS= 1.725°C, N_{Kj} (Kjeldahl), im 0.01 M CaCl₂ Extrakt: NO₃-N, NH₄-N, K, Mg im 0.1 M HCl/ 0.05 M H₂SO₄ Extrakt: Fe, Mn</p>

Anmerkungen zu Tab. 3:

Für NO₃-N, NH₄-N, K, Mg in den Bodenproben wurde der 0.01m CaCl₂ Extrakt gewählt, weil vor allem die mobileren und damit auswaschungsgefährdeteren Nährstofffraktionen erfasst werden sollten. Die Kationen Kalium und Ammonium hingegen werden mit dieser Extraktion nicht vollständig erfasst.

Die Analyse von löslichem Eisen und Mangan wurde gewählt, um Rückschlüsse auf den Redoxzustand des Bodens gewinnen zu können. Unter reduzierenden Bedingungen

werden Fe und Mn zunehmend in ihre löslichere zweiwertige Form überführt. Unter gleichen Bedingungen wird Nitrat denitrifiziert.

Experimentell ermittelte Redoxpotentiale (E_7) für verschiedene Redoxreaktionen sind bei Scheffer und Schachtschabel (1982) aufgeführt:

Redoxreaktion:	E_7 (V)
Beginn der NO_3 -Reduktion (Denitrifikation)	0.45-0.55
Beginn der Mn^{2+} -Bildung	0.35-0.45
O_2 nicht mehr nachweisbar	0.33
NO_3 nicht mehr nachweisbar	0.22
Beginn der Fe^{2+} -Bildung	0.15

Nach der Winterkompostierung wurde bei den Flächen der Jahresmieten und der zukünftigen Wandermieten Sommer eine kleine zusätzliche Neigung des Bodens vom Feldweg ins Feld festgestellt. Um zukünftige Probleme mit eindringendem Regenwasser von der Wegseite her zu verhindern, wurde der Landwirt beauftragt, den Rand um die Sickerflächen mit gleicher Erde um 5-10 cm zu erhöhen. Irrtümlicherweise wurden dann auch die Probeflächen um die gleiche Schichtdicke erhöht. Der Kompost war vorher in praxisüblicher Weise entfernt worden. Anlässlich der letzten Probenahme am 31. März 94 zeigte sich folgendes Bild: Der Boden unter den Jahres- und Wandermieten Sommer wies in 0-7 cm Tiefe ein bis zu 1 cm dickes Kompostband vom April 93 auf. An diesem Standort kann deshalb nicht mehr bestimmt werden, wieviel Kompost während der Kompostierung durch die Würmer in den Boden eingetragen wurde (siehe Kapitel 4.7.2).

Fremdstoffe

Die Fremdstoffe wurden beim Umsetzen eingesammelt und am Schluss der Kompostierung gewogen.

Im Bericht selbst wird nur eine Zusammenfassung der wichtigsten Resultate gegeben. Die vollständigen Resultate sind im Anhang angeführt.

3.4 Berechnungen und statistische Auswertung der Analysedaten

Bei den Veränderungen im Boden muss die Differenz zwischen Mietenwerten minus Kontrollwerten gebildet werden. Um bei der Berechnung eine breitere Datenbasis zu erhalten, wurde für die Kontrolle der Mittelwert der 6 Kontrollparzellen gebildet. Im Bericht wurde ferner der Mittelwert der beiden Kompostmaterialien Grünabfall und Grünabfall/Mist (2x2 Werte) zur Differenzbildung verwendet, da die Unterschiede zwischen den Materialien nicht sehr gross waren. Im Anhang sind alle Verfahren getrennt aufgeführt.

Zum Vergleich der Kompostierverfahren wurden die Analysenwerte von unmittelbar nach dem jeweiligen Versuchsende gezogenen Proben verwendet. Dadurch wurden bei der Wandermiete Winter die Werte der Aprilanalyse und bei der Wandermiete Sommer sowie bei der Jahresmiete und der Kontrolle die Novemberwerte miteinander verglichen. Die Werte der

chemischen Analysen wurden logarithmiert und mit einer einfachen Streuungszerlegung mit anschließendem Duncantest ($p=0.05$) analysiert.

3.5 Nährstoffhaushalt, Betriebskosten

Der Nährstoffhaushalt wurde nach dem Formular „Gesamtbetrieblicher Nährstoffhaushalt“ der Landw. Beratungszentrale Lindau, Version April 1993 berechnet.

Die Betriebskosten wurden nach Aufzeichnungen des Landwirtes erstellt.

3.6 Zeitlicher Ablauf

Winterkompostierung (Dauer: 19-22 Wochen)

- 2.11.92 Start Wandermiete Grünabfall Winter und Wandermiete Grünabfall/Mist Winter
- 9.11.92 Start Jahresmiete Grünabfall/Mist
- 23.11.92 Start Jahresmiete Grünabfall
- 19.4.93 Abbruch Winterkompostierung
- 28.4.93 Bodenproben für chemische Analysen
- 5.5.93 Bodenproben für scheinbare Dichte

Sommerkompostierung (Dauer: 19-24 Wochen)

- 24.5.93 Start Jahresmiete Grünabfall
- 2.6.93 Start Wandermiete Grünabfall Sommer
- 22.6.93 Start Jahresmiete Grünabfall/Mist
- 27.6.93 Start Wandermiete Grünabfall/Mist Sommer
- 2.8.93 Bodenproben für chemische Analysen bei Wandermieten Winter
- 9.11.93 Abbruch Sommerkompostierung
- 17.11.93 Bodenproben für chemische Analysen
- 2.2.94 Bodenproben für scheinbare Dichte

4 Resultate und Diskussion

4.1 Kompostierung

4.1.1 Temperaturentwicklung

Temperaturverläufe der einzelnen Kompostmieten siehe Anhang Tabelle 1.

Winterkompostierung:

Bei der Mischung mit Pferdemist erreichten die Mieten eine Maximaltemperatur von 47°C, bei denjenigen mit reinem Grünabfall nur 38°C und 33°C.

Die Kompostmieten wurden aus Gartenabfällen der Grünabfuhr vom November angesetzt. Das Material bestand in der zweiten Hälfte des Monats weitgehend aus braunen Laubblättern und abgestorbenem, braunem Strauchschnitt. Das C/N-Verhältnis dieses Materials muss daher als eher weit beurteilt werden, was die geringere Temperaturentwicklung erklärt.

Sommerkompostierung:

Die Maximaltemperaturen erreichten im Sommer bei allen Mieten 65°C, die Temperatur lag während 7-9 Tagen über 60°C. Die Wandermiete Grünabfall Sommer und die Jahresmiete Grünabfall/Mist trockneten im Juni aus. Nach dem Befeuchten mit Wasser erwärmte sich die Wandermiete Grünabfall Sommer wieder auf 52°C. Bei Versuchsende war die Mietentemperatur wieder auf die Aussentemperatur abgefallen.

Die Kompostmieten wurden von Mai bis Juli angesetzt. Während dieser Zeit fällt vor allem Rasenschnitt an, aber auch erstaunlich viel struktureicher Strauchschnitt konnte eingesammelt werden. Der Strukturanteil der reinen Grünabfallmieten war deshalb auch zu dieser Zeit genügend, sodass nicht auf ein bereitgestelltes Holzhäckseldepot zurückgegriffen werden musste. Durch den strohreichen Pferdemist wurde die Struktur zusätzlich verbessert. Das gut strukturierte, relativ stickstoffreiche Ausgangsmaterial für die Sommermieten erklärt somit die höhere Temperaturentwicklung gegenüber den Wintermieten.

Hygienisierung des Kompostrohmaterials durch die Temperatur:

Bei der Winterkompostierung konnte keine ausreichende Hygienisierung des Materials erreicht werden. Die Hygienisierung des Rohmaterials ist eine Forderung, die in der Vorschrift über die "Mindestqualität von Kompost" der FAC (3 Wochen > 55°C oder 1 Woche > 60°C) gestellt wird. Bei der Sommerkompostierung wurde diese Forderung erfüllt.

Die niedrigen Temperaturen bei der Winterkompostierung sind wie oben erwähnt eine Folge des zu weiten C/N-Verhältnisses. In der Praxis würde dies durch eine Stickstoffzugabe korrigiert (Mist oder Mineraldünger) oder durch das Zusammenmischen dieses Materials mit N-reicheren Abfällen behoben. Bei diesem Versuch beschloss die begleitende Arbeitsgruppe, auf das Zumischen von Mist oder Mineraldünger zu verzichten, um die Unterschiede im Ausgangsmaterial zu erhalten. Grosse Mengen Unkrautsamen wurden mit diesem Kompost aber trotzdem nicht verbreitet, da das Rohmaterial vor allem aus Blättern bestand. So konnten im Frühjahr im Kompost lediglich einzelne Baumkeimlinge beobachtet werden.

4.1.2 CO₂- und O₂- Gehalte der Mietenluft

Daten zu den CO₂- und O₂- Gehalten der Mietenluft siehe Anhang Tabelle 1.

Winterkompostierung:

Der CO₂-Gehalt stieg entsprechend der geringen Aktivität und Temperatur nur langsam an (Anhang Tab. 1). Er erreichte im Dezember bei den Grünabfall/Mist Mieten Werte von 6.5%, bei den reinen Grünabfallmieten Werte bis 2%, in der folgenden Zeit wurden nur noch Werte zwischen 0 und 2% gemessen. Die O₂-Gehalte lagen entsprechend hoch und wiesen meist Werte von 13-17% auf.

Sommerkompostierung:

Die CO₂-Gehalte aller Mieten schwankten am Anfang zwischen 5 - 9%. Dadurch wurde intensives Umsetzen nötig. Die zuerst angesetzte Wandermiete Grünabfall Sommer trocknete nach einem Monat bereits stark aus und staubte, die CO₂-Gehalte sanken auf 0 - 1%. Nach dem Befeuchten stiegen die CO₂-Gehalte ab Mitte Juli wieder an. Die O₂-Gehalte der Mietenluft schwankten in intensiven Rottephasen zwischen 8 und 15%, mit dem Ausreifen des Kompostes erhöhten sie sich auf 14 - 19%.

4.1.3 Umsetzhäufigkeit

Winterkompostierung:

Die Mieten wurden im November, Dezember und März 2-3 mal in der Woche umgesetzt.

Sommerkompostierung:

Die Mieten wurden zuerst täglich umgesetzt. Mit nachlassender Rotteintensität musste am Schluss nur noch 1 mal pro Woche umgesetzt werden.

Da im Versuch Mieten verschiedenen Alters hintereinander lagen und sich die Mieten durch das Umsetzen längs zur Mietenrichtung bewegten, mussten alle Mieten im Rhythmus der sauerstoffbedürftigsten Miete gewendet werden, damit sie sich nicht vermischen konnten. Dadurch wurden verschiedene Mieten häufiger gewendet, als es vom CO₂-Gehalt her nötig gewesen wäre.

4.2 Kompostinhaltsstoffe

Fremdstoffe:

Der Fremdstoffgehalt der Grünabfälle war sehr gering. Bei der Sommermiete wurden 135 g Fremdstoffe aus ca. 11 t Frischsubstanz (=0.001% der FS) herausgelesen. Dieser Wert ist sehr tief und übertrifft die Forderungen der "Mindestqualität von Komposten" (0.1% für flächige Kunststoffe) bei weitem.

Diese sehr guten Werte werden in Witterswil erreicht, weil nicht dem Abfuhrreglement der Gemeinde entsprechende Abfälle konsequent am Strassenrand stengelassen werden.

Nährstoffe:

Die Ergebnisse der Kompostanalysen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tab. 4 : Kompostanalysen und Kressetest, Feldrandkompostierung Witterswil

	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	TS % der FS	OS % der TS	Nkj % der TS	NO ₃ -N ppm der TS	NH ₄ -N ppm der TS	C/N	P % der TS	K % der TS	Mg % der TS	Ca % der TS	Kressetest *
Winterkompost													
Grünabfall	7.12	7.28	63.2	21.4	0.49	nb	nb	24.9	0.18	0.40	0.34	1.71	74%
Grünabfall/Mist	7.00	7.09	65.0	19.9	0.49	nb	nb	23.1	0.18	0.48	0.30	1.27	96%
Sommerkompost													
Grünabfall	7.62	7.42	61.4	26.9	1.28	500	16	12.0	0.21	0.96	0.44	3.85	127%
Grünabfall/Mist	7.61	7.45	57.8	32.5	1.51	550	16	12.3	0.28	1.32	0.50	3.88	135%

nb = nicht bestimmt

* Relatives Wachstum von Kresse, in % der Kontrolle (Landerde). Werte über 100% weisen auf reife Komposte hin.

Winterkompost:

Dem Kompost wurde Erde zugesetzt, daraus resultieren durch Verdünnung die niedrigen Gehalte an organischer Substanz und an Nährstoffen. Erdzusätze sind zur Stabilisierung der organischen Substanz durchaus erwünscht. Sie werden in der Praxis aus arbeitswirtschaftlichen Gründen aber nicht überall eingesetzt. Der Kompost zeigt noch ein zu hohes C/N-Verhältnis, dies als Folge des Ausgangsmaterials. Das Kressewachstum im Kresstest war für den Kompost aus Grünabfall/Mist aber trotzdem genügend, die Werte des reinen Grünabfallkompostes hingegen deuten auf noch nicht reifen Kompost hin.

Sommerkompost:

Im Sommer erfolgte kein Erdzuschlag, die Nährstoffgehalte sind dementsprechend höher. Die höheren Nährstoffgehalte sind aber auch durch das Ausgangsmaterial bedingt (mehr grüne, junge Pflanzenabfälle). Das Nitrat-N/Ammonium-N-Verhältnis ist mit 31:1 hoch; dies deutet auf reifen Kompost hin. Der Kresstest zeigt an, dass die Pflanzenverträglichkeit des Sommerkompostes gut war.

Nach der Flugschrift 114 der FAW (Gysi et al. 1988) sind Komposte mit einem Nitrat-N/Ammonium-N-Verhältnis von >2 als reif zu beurteilen. Das C/N-Verhältnis soll für reife Komposte <15 sein. Mit den Sommerkomposten wurden beide Kriterien erfüllt. Bei einer Untersuchung von Komposten aus schweizerischen Kompostwerken erreichten nur die Komposte mit einem durchschnittlichen Alter von 11.8 Monaten diese Werte (Schleiss 1990).

Die Kompostierdauer im Versuch Witterswil betrug im Winter 19-22 Wochen, im Sommer 19-24 Wochen. Die Qualitätsziele für Kompost (Hygienisierung, C/N-Verhältnis und Kresstest) wurden beim Sommerkompost vollständig, beim Winterkompost nur teilweise erreicht.

4.3 Niederschlag, Sickerwassermengen

Tab. 5: Niederschlagsmengen und aufgefangenes Sickerwasser während der Winter- und Sommerkompostierung in l/m².

	Nieder- schlag	Wandermiete Winter		Jahresmiete		Wandermiete Sommer	
		Grünabfall A	Grünabfall /Mist B	Grünabfall /Mist C	Grünabfall D	Grünabfall E	Grünabfall /Mist F
Niederschlagsmenge und Sickerwasser in l/m²							
Winter	314	43.5	55	51.5	34.7	-	-
Sommer	552	-	-	(167)*	(206)*	(175)*	90
				----- leichte Mulde -----			
Verhältnis Sickerwasser / Niederschlägen in %							
Winter		14%	18%	16%	11%	-	-
Sommer		-	-	(30%)*	(37%)*	(32%)*	16%

(*) siehe Bemerkungen im Text: Sommerkompostierung

Winterkompostierung:

Während der Winterkompostierung wurden 11 - 18% der Niederschläge als Sickerwasser aufgefangen (Tab. 5). Die Hauptmenge fiel vor allem im niederschlagsreichen November 92 an.

Sommerkompostierung:

Bei der Wandermiete Grünabfall/Mist Sommer wurden ähnliche Mengen Sickerwasser (16%) wie im Winter aufgefangen. Diese Mietenfläche lag ausserhalb einer kleinen Mulde. Bei den anderen drei Mietenflächen, die im Einflussbereich dieser kleinen Mulde waren, reichte die Kapazität der Auffangbehälter für die im Sommer intensiveren Niederschläge häufig nicht aus. Das Zusammenfliessen des vom Vlies abgeleiteten Wassers wurde noch zusätzlich durch eine sich mit der Zeit vertiefende Radspur der Wendemaschine entlang des Kieskoffers verstärkt. Am letzten Termin wurde in den Auffanggefässen sogar mehr Wasser gemessen als Regen gefallen war. Bei diesen drei Messstellen ist es deshalb schwierig, eine quantitative Aussage zu machen.

Dass das Vlies den Kompost vor Regen schützt, zeigte die Beobachtung vom 22. Juni - 6. Juli: Der Kompost aus Grünabfällen war nach einem starken Gewitter (32 mm Regen) immer noch staubtrocken, die Auffangbehälter waren am 26. Juni bei der Jahres- und Wandermiete Grünabfall Sommer durch seitlich einflussendes Wasser trotzdem voll.

Bei der Kompostierung treten Sickersäfte als sogenanntes Prozesswasser der Mieten (endogenes Sickerwasser) vor allem in der ersten Woche nach dem Aufsetzen der Mieten auf. Bei überdachten Mieten traten nach 4 Wochen keine Sickersäfte mehr auf (Fricke et. al. 1990, Berner 1993). Wasser, das von aussen in die Mieten eindringt, darin Stoffe löst und wieder aus den Mieten austritt, wird als exogenes Sickerwasser bezeichnet. Exogenes Sickerwasser tritt meist in Zusammenhang mit Regen auf. Es kann deshalb während der ganzen Kompostierzeit beobachtet werden (Fischer und Jauch 1988). Da in den Versuchen aber während der ganzen Kompostierzeit Sickerwasser aufgefangen werden konnte, ist dies ein weiterer Hinweis, dass das Wasser von ausserhalb der Mieten stammte und durch den Mietenfuss zu den Sickerflächen gelangte und aufgefangen wurde.

Bei einem Kompostierversuch mit Kompostvlies des gleichen Herstellers konnte Winkler (1990) bei zugedeckten Mieten nur 1% des Niederschlages als Sickersaft auffangen, bei offenen Mieten 14%. Fischer und Jauch (1988) geben an, bei nicht gedeckten Mieten 11% - 22% des Niederschlages als Sickersaft gemessen zu haben. Fricke et al. (1990) konnten bei nicht gedeckten Biotonnemieten während der Vorrotte bei hohen Temperaturen 10% der Niederschläge als Sickerwasser auffangen, bei ausreifenden Mieten bis 50%.

Auch wenn weiter unten im Bericht immer von Sickerwasser die Rede sein wird, so kann in diesen Versuchen nicht gesagt werden, wieviel endogenes Sickerwasser bei der Feldrandkompostierung entsteht. Was als Sickerwasser bezeichnet wird, ist eine Mischung von endogenem (sofern es überhaupt anfällt) und exogenem Sickerwasser.

Der Versuch zeigte die Verhältnisse, wie sie in der Praxis vorherrschen. Bedingt durch das Gefälle kann vom Vlies und vom Feldweg abgeleitetes Wasser unter die Mieten fliessen und dort den Kompost am Mietenfuss auswaschen. Von dort stammen auch die meisten Nährstoffe, die im Sickerwasser gemessen wurden. Das Abdecken hat gegenüber offenen Mieten trotzdem den Vorteil, dass der grösste Teil der Kompostmiete nicht vom Regen

durchgewaschen wird und damit die Nährstoff-Konzentrationen im Sickerwasser geringer bleiben.

4.4 Chemische Analysen Sickerwasser

Winterkompostierung:

Der pH der Sickerwässer liegt zwischen 7.3 und 7.6 (Tab. 6). Die Nährstoffkonzentrationen und der CSB sind bei der Winterkompostierung sehr gering. Dies ist bedingt durch die tiefen Stickstoffgehalte im Ausgangsmaterial und die damit verbundene wenig intensive Rotte.

Sommerkompostierung:

Durch die höhere Nährstoffkonzentration im Rohmaterial für die Sommerkompostierung und die intensivere Umsetzung der leichter zersetzbaren Materialien (Grasschnitt) konnten während der Kompostierung mehr Nährstoffe mit dem Sickerwasser ausgeschwemmt werden. Der pH-Wert der Sickerwässer lag zwischen 8.0 und 8.3. Die pH-Werte liegen somit ähnlich hoch wie in der zitierten Literatur.

Der CSB der Sickerwässer aus der Biotonne und aus gedeckten Anlagen liegt im Bereich von einigen 10'000 mg O₂/l (Fischer und Jauch 1988, Fricke et al. 1990). Ähnliche Werte fanden auch Donhauser und Dschullk (1993). Die Werte aus dem Versuch Feldrandkompostierung Witterswil lagen im Winter zwischen 200 und 700 mg O₂/l und im Sommer zwischen 400 und 1200 mg O₂/l (Tab. 6). Diese Resultate sind vergleichbar mit den Werten von Abflusswasser aus Grünabfallkompostieranlagen des Kt. Zürich (AGW 1993). Diese Werte gelten nicht für konzentrierte Sickersäfte, sondern für mit Regenwasser verdünnte Sickerwässer. Der BSB₅ von Sickerwässern aus Grünabfallkompostmieten liegt etwa bei 10% des CSB-Wertes (AGW 1993, Tab. 6). Die Kohlenstoffverbindungen sind somit mikrobiologisch relativ stabil.

Die Stickstoffgehalte der Sickerwässer sind abhängig von den Ausgangsmaterialien der Kompostierung. In Biotonnesickersäften kann die Konzentration zwischen 500 bis über 1000 ppm NH₄-N betragen (Fricke et al. 1993, Donhauser und Tschulik 1993). Winkler (1990) fand in Sickerwässern von Küchen- und Gartenabfällen Durchschnittswerte von rund 20 ppm. Bei Böschungsmähgut und bei Garten- und Parkabfällen erreichten die Sickerwässer Durchschnittswerte von weniger als 150 ppm NH₄-N (Fischer und Jauch 1988). In unserem Versuch wurden Durchschnittskonzentrationen bis 24 ppm gemessen, ein ähnliches Resultat wie bei den Kompostplatzabwässern des Kantons Zürich (AGW 1993; siehe Tab. 6).

Nitrat wird beim Ausreifen der Komposte gebildet und findet sich im Sickerwasser reifer Komposte in höheren Konzentrationen als in nicht reifen Komposten. Die Nitratgehalte in den Sickerwässern waren bei Fischer und Jauch (1988) leicht höher, ausser wenn mit einem N-Ausgleich gearbeitet wurde. Mit N-Ausgleich waren sie zehnfach höher. Bei den anderen Autoren (AGW 1993, Winkler 1990, Fricke et al. 1990) lagen die Nitratgehalte im Bereich von 1/10 der Werte, wie sie im Sickerwasser der Mieten der Sommerkompostierung gemessen wurden.

Tab. 6: Sickerwasserzusammensetzung und CSB, Mittelwerte der Winter- und Sommerkompostierung und Vergleichswerte aus der Literatur. Analysenwerte P, Mg, Ca siehe Anhang Tabelle 4.

	pH	CSB mgO ₂ /l	BSB5 mgO ₂ /l	N _{tot} ppm	NO ₃ -N ppm	NH ₄ -N ppm	K ppm
Winterkompostierung:							
Ganze Zeitperiode:							
Grünabfall	7.3	202		3	1	2	96
Grünabfall/Mist	7.6	629		8	4	3	272
Beide Kompostmaterialien:							
erste Periode	7.4	672		4	1	3	219
zweite Periode	7.5	161		7	5	3	148
Sommerkompostierung:							
Ganze Zeitperiode:							
Grünabfall	8.2	510		65	20	11	385
Grünabfall/Mist	8.1	1'150		103	19	20	808
Beide Kompostmaterialien:							
erste Periode	8.0	1'176		100	10	24	729
zweite Periode	8.3	485		68	29	7	464
Vergleichswerte:							
(AGW 1993)							
Grünabfallkompostieranlagen							
Median	7.4	1516	137		2	17	
Fischer und Jauch (1988)							
Böschungsmähgut							
überdacht	7.6-8.0	31'900	569		63	105	
nicht überdacht	7.0-8.1	33'100	706		74	76	
Garten+Parkabfall							
ohne N-Ausgleich	7.1-8.1	4'100	362		40	19	
mit N-Ausgleich	7.0-8.9	7'400	850		233	144	
Winkler (1990)							
Biotonne							
Küchen+Gartenabfälle							
					0	17	
					0	16	
Fricke et al. (1990)							
Biotonne							
	8	35'000	17'000	1'120	3.4	540	5'300

4.5 Sickerwasserfrachten

Tab. 7: Mittelwerte des CSB- und der Nährstofffrachten, die mit dem Sickerwasser unter den Kompostmieten aufgefangen wurden.

	CSB gO ₂ /m ²	N _{tot} g/m ²	NO ₃ -N g/m ²	NH ₄ -N g/m ²	K g/m ²
Winterkompostierung:					
Grünabfall	7.6	0.06	0.02	0.06	3.8
Grünabfall/Mist	20.4	0.25	0.10	0.13	9.9
Sommerkompostierung:					
Grünabfall	76	12.7	3.9	2.2	76
Grünabfall/Mist	112	14.2	2.9	2.6	105
Vergleichswerte:					
Fischer und Jauch 1988					
Böschungsmähgut					
überdacht	220		0.4	0.7	
nicht überdacht	2'730		6.1	6.3	
Garten+Parkabfall, nicht überdacht					
ohne N-Ausgleich	193		1.9	0.9	
mit N-Ausgleich	363		11.4	7.0	
Fricke et al. 1990					
Biotonne Mittelwert					
überdacht	350	12.3	0	6.5	53

Winterkompostierung:

Über den Sickersaft gelangten bei der Winterkompostierung nur sehr geringe Nährstofffrachten in den Boden. Auch der CSB der gesamten Sickerwassermenge war gering (Tab. 7).

Sommerkompostierung:

Trotz Ausschwemmung des Mietenfusses durch Wasser von Vlies und Feldweg können beim CSB die Vergleichswerte (Fischer und Jauch 1988) der gedeckten Mieten noch unterschritten werden. Beim Gesamt- und mineralischen Stickstoff wurden ähnliche Frachten gemessen. Die Kaliumfrachten lagen höher als die Biotonnemittelwerte überdachter Mieten (Fricke et al. 1990).

4.6 Bodenphysikalische Veränderungen

4.6.1 Scheinbare Dichte

Tab. 8: Scheinbare Dichte in kg/dm^3 des Mieten- und Kontrollbodens in 5-15 cm Tiefe.

	Wandermiete Winter	Wandermiete Sommer	Jahresmiete	Kontrolle
Winterkompostierung	1.31 ab	-	1.28 b	1.33 a
Sommerkompostierung	-	1.36 a	1.38 a	1.37 a

Werte mit gleichen Buchstaben in einer Zeile lassen sich statistisch nicht unterscheiden (Duncan 5%). Anzahl Messungen: nach Kompostierung 6, Kontrolle 12.

Nach der Winterkompostierung war die scheinbare Dichte des Bodens unter der Jahresmiete signifikant kleiner als die Kontrolle. Nach der Sommerkompostierung traten keine signifikanten Differenzen auf (Tab. 8). Die kleinere Dichte der Böden unter den Winterkomposten der Jahresmiete könnte auf die vermehrt beobachteten Regenwurmrohren unter den Mietenplätzen zurückzuführen sein.

Eine Verdichtungsgefährdung der Böden unter den Mieten besteht aufgrund dieser Ergebnisse nicht.

4.7 Bodenchemische Veränderungen

4.7.1 pH - Werte

Tab. 9: pH-Werte im Boden nach der Kompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten.

Boden Tiefe	Wandermiete Winter	Wandermiete Sommer	Jahresmiete	Kontrolle
pH (H₂O)				
0-30 cm	6.40 a	6.53 a	7.01 b	6.32 a
30-60 cm	6.92 ab	6.82 a	7.17 b	7.01 ab
60-90 cm	7.05 ab	6.90 a	7.22 b	7.05 ab
pH (KCl)				
0-30 cm	5.98 a	6.34 ab	6.79 b	5.94 a
30-60 cm	6.13 a	6.26 ab	6.57 c	6.10 a
60-90 cm	6.28 a	6.19 a	6.35 a	6.25 a

Werte mit gleichen Buchstaben in einer Zeile lassen sich statistisch nicht unterscheiden (Duncan 5%). Anzahl Messungen: nach Kompostierung 4, Kontrolle 6.

Bei den Jahresmieten hat sich das pH (H₂O) bis 90 cm Tiefe signifikant durch das leicht alkalische Sickerwasser erhöht. Das auf Salze reagierende pH (KCl) des Bodens erhöhte sich nur bis in 60 cm Tiefe signifikant (Tab. 9). Die pH-Werte haben den neutralen Bereich noch nicht verlassen. Für Pflanzen sind somit noch keine Nährstoffblockierungen zu befürchten.

4.7.2 Organische Substanz (OS)

Tab. 10: Organische Substanz im Boden nach der Kompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g OS/m² Bodenschicht.

Boden Tiefe	Wandermiete Winter	Wandermiete Sommer	Jahresmiete	Kontrolle
0-30 cm	8'814 b	9'243 b	9'477 b	7'410 a
30-60 cm	3'217 b	3'687 b	3'307 b	2'730 a
60-90 cm	1'950 a	1'915 a	1'911 a	1'794 a

Werte mit gleichen Buchstaben in einer Zeile lassen sich statistisch nicht unterscheiden (Duncan 5%). Anzahl Messungen: nach Kompostierung 4, Kontrolle 6.

Durch die Kompostierung wurden die Mengen der organischen Substanz im Boden in 0-30 cm und in 30-60 cm signifikant erhöht (Tab. 10). Auffällig ist, dass nach dem zweimaligen Kompostieren bei der Variante Jahresmiete die Menge der organischen Substanz annähernd gleich blieb wie bei einmaliger Kompostierung der Wandermieten.

Unter den Kompostmieten wurde die räumliche Variabilität der organischen Substanz stark erhöht, weil die Regenwürmer Kompost in den Boden mischen und weil Kompostreste der vorherigen Mieten in den Boden eingebracht wurden (siehe Anhang Tabelle 7). Dadurch wurde eine Schätzung der Kompostmenge, die in den Boden gelangte, und die Beurteilung der damit verbundenen Zunahme der organischen Substanz unter den Mieten erschwert.

4.7.3 Organisch gebundener Stickstoff (N_{kl})

Tab. 11 : Organisch gebundener Stickstoff im Boden nach der Kompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g N_{kl}/m² Bodenschicht.

Boden Tiefe	Wandermiete Winter	Wandermiete Sommer	Jahresmiete	Kontrolle
0-30 cm	598 b	682 b	663 b	511 a
30-60 cm	234 a	323 c	282 b	250 a
60-90 cm	143 a	194 b	182 b	168 ab

Werte mit gleichen Buchstaben in einer Zeile lassen sich statistisch nicht unterscheiden (Duncan 5%). Anzahl Messungen: nach Kompostierung 4, Kontrolle 6.

Bis in 60 cm Tiefe konnte in allen Verfahren signifikant mehr organisch gebundener Stickstoff als in der Kontrolle gefunden werden. Bei der Wandermiete Sommer und bei der Jahresmiete wurde der organisch gebundene Stickstoff im Boden bis in 60 cm Tiefe signifikant erhöht (Tab. 11). In 60-90 cm Tiefe unterschieden sich die Werte nicht von der Kontrolle.

Organisch gebundener Stickstoff gelangt mit wasserlöslichen, organischen Stickstoffverbindungen aus dem Kompostsickerwasser und mit Kompost selbst in den Boden. Mit dem Sickerwasser kann organischer Stickstoff in den biogenen Grobporen in tiefere Bodenschichten transportiert werden. Auch beim organisch gebundenen Stickstoff im Boden war eine starke räumliche Variabilität festzustellen (siehe Anhang Tabelle 8). Eine Abschätzung der Mengen war deshalb auch hier sehr schwierig.

4.7.4 Ammoniumstickstoff (NH₄-N)

Tab. 12: Ammoniumstickstoff (0.01m CaCl₂) im Boden nach der Kompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g NH₄-N/m² Bodenschicht.

Boden Tiefe	Wandermiete Winter	Wandermiete Sommer	Jahresmiete	Kontrolle
0-30 cm	0.6 a	2.6 a	9.3 b	0.7 a
30-60 cm	0.5 a	0.9 a	2.2 b	0.6 a
60-90 cm	1.1 a	0.6 a	1.2 a	0.4 a

Werte mit gleichen Buchstaben in einer Zeile lassen sich statistisch nicht unterscheiden (Duncan 5%). Anzahl Messungen: nach Kompostierung 4, Kontrolle 6.

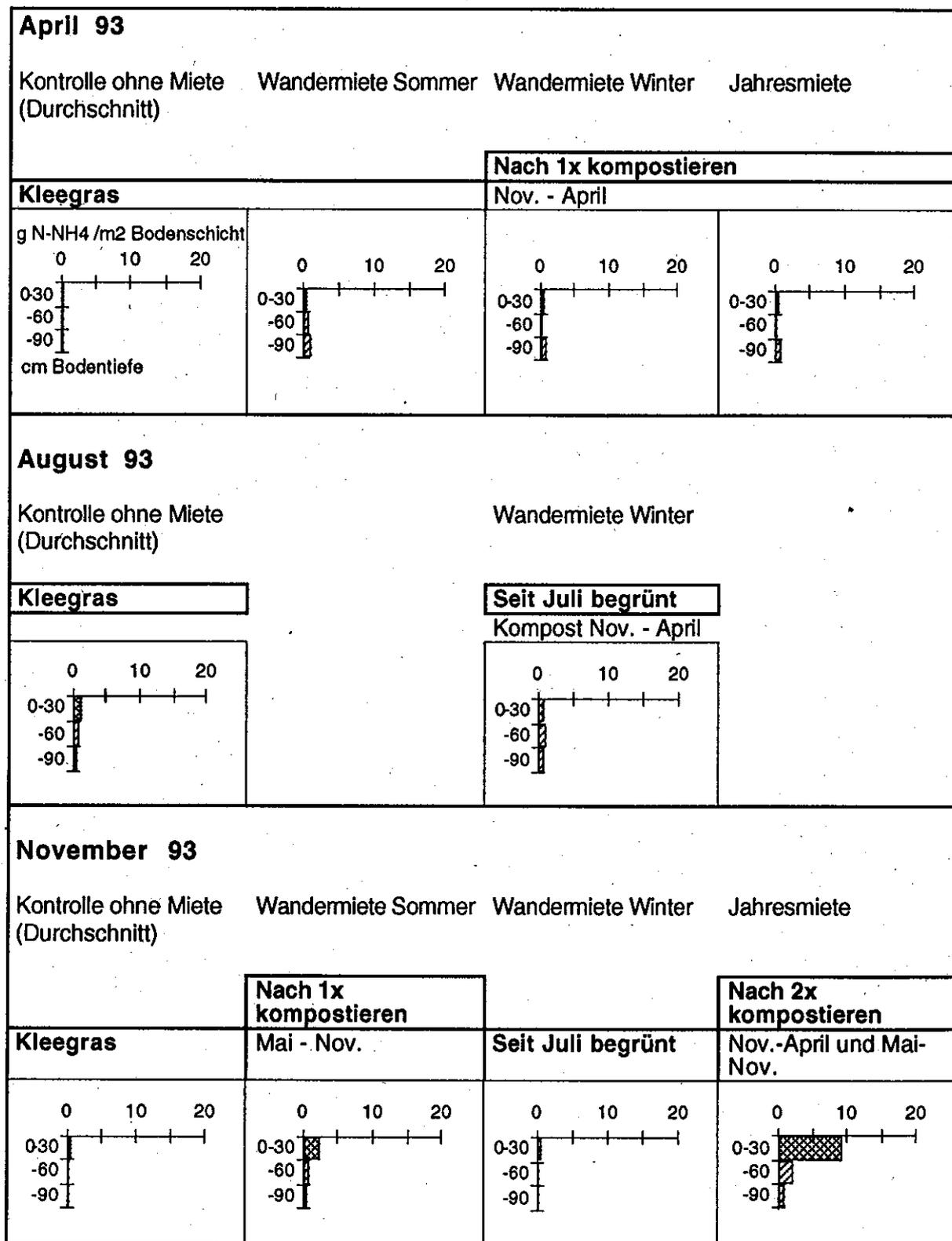
Ammonium gelangt mit dem Sickersaft in den Boden und lagert sich als Kation an den Tonmineralien an. Es ist in 0-60 cm Tiefe unter der Jahresmiete signifikant angereichert (Tab. 12).

Durch die Winterkompostierung wurden die Ammoniumkonzentrationen im April 93 im Boden nicht verändert (Abb. 4). Auch im August konnte keine Veränderung zur Kontrolle Klee gras beobachtet werden. Nach der Sommerkompostierung im November 93 war nur die Erhöhung unter der Jahresmiete bis in 60 cm Tiefe signifikant von der Kontrolle verschieden (siehe auch Tab. 12).

2,4

13,4

Abb. 4: Ammoniumstickstoff im Boden (0.01m CaCl₂ Extrakt) in drei Tiefen nach der Winterkompostierung im April und im August nach erfolgter Aussaat sowie nach der Sommerkompostierung im November (Angaben in g NH₄-N/m² Bodenschicht). Mittelwerte beider Kompostmaterialien Grünabfall und Grünabfall/Mist. In den Spalten sind die Verfahren dargestellt, in den Zeilen die Probenahmezeitpunkte. Die Balken über den Einzelgrafiken geben einen Hinweis zur vorherigen Behandlung im Verfahren.



4.7.5 Nitratstickstoff (NO₃-N)

Tab. 13: Nitratstickstoff (0.01m CaCl₂) im Boden nach der Kompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g NO₃-N/m² Bodenschicht.

Boden Tiefe	Wandermiete Winter	Wandermiete Sommer	Jahresmiete	Kontrolle
0-30 cm	9.7 bc	19.2 c	4.8 b	1.6 a
30-60 cm	6.4 bc	8.1 c	3.1 b	0.5 a
60-90 cm	4.9 c	5.1 c	2.1 b	0.1 a

Werte mit gleichen Buchstaben einer Zeile lassen sich statistisch nicht unterscheiden (Duncan 5%). Anzahl Messungen: nach Kompostierung 4, Kontrolle 6.

Alle Nitratgehalte unter den Mieten waren signifikant erhöht. Die Werte der Jahresmieten unterscheiden sich sowohl von der Wandermiete Sommer als auch von der Kontrolle (Tab. 13).

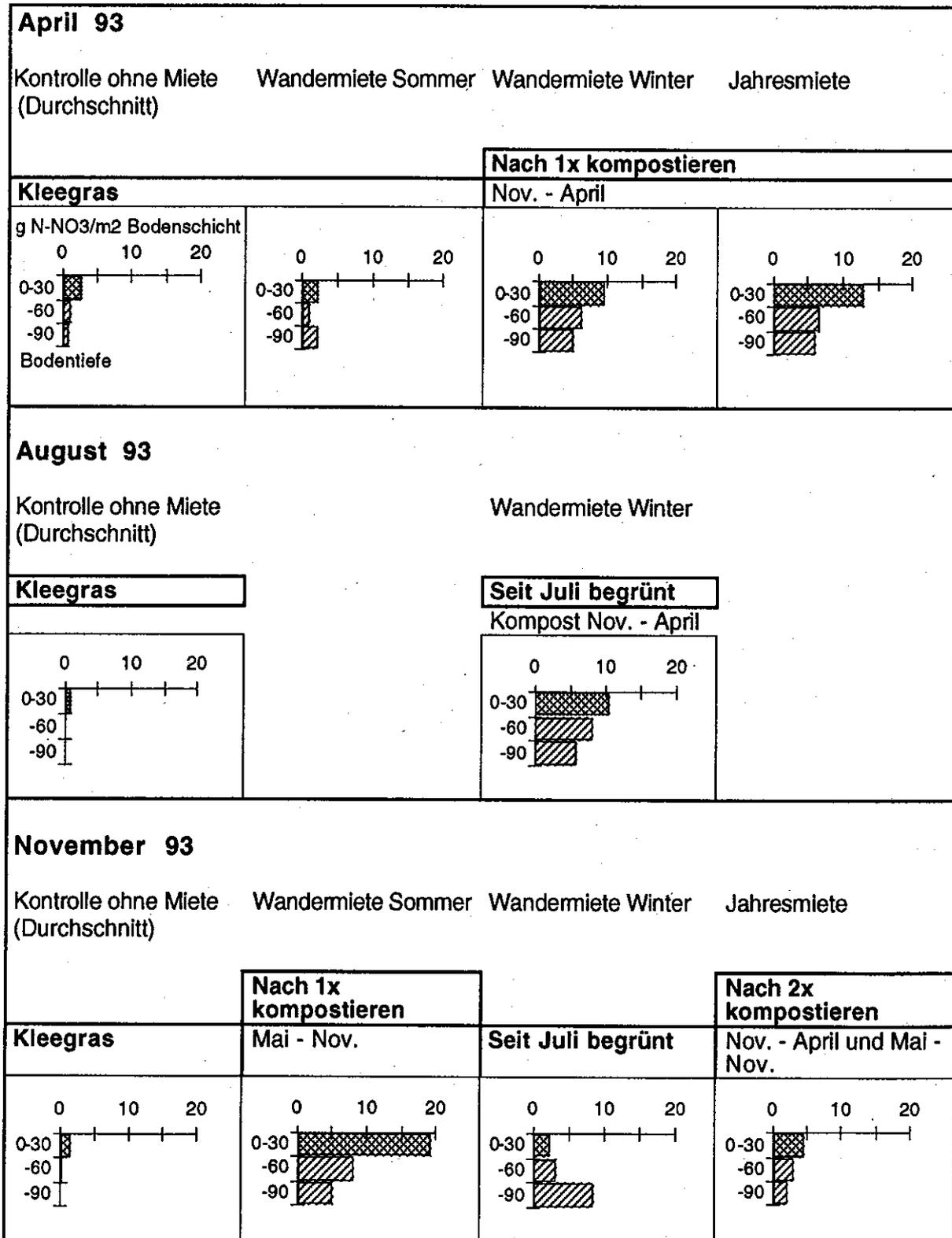
Nitrat kann mit dem Sickersaft oder mit verlagertem Kompost in den Boden gelangen. Unter aeroben Bedingungen wird aber auch Ammonium und organischer Stickstoff mineralisiert und in Nitrat umgewandelt. Nitrat kann als Anion im Boden mit dem Wasser in die Tiefe ausgewaschen werden. Unter anaeroben Bedingungen kann Nitrat denitrifiziert werden und als gasförmige Verbindungen in die Luft entweichen.

Nach der Kompostierung über den Winter waren im April die Nitratgehalte im Boden gegenüber der Kontrolle stark erhöht (Abb. 5). Ein Teil des Nitrates war bereits in 60-90 cm Tiefe verlagert. Im August war am Wandermietenplatz durch Mineralisierung eine leicht höhere Menge Nitrat feststellbar, die bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht stark ausgewaschen wurde, obwohl seit Mitte April bereits 282 mm Niederschlag auf den nackten Boden des Mietenplatzes gefallen war. Ende Juli wurde der Boden mit einem Grubber aufgerissen und eine Klee-grasmischung angesät. Zwischen Anfang August und Mitte November fielen weitere 344 mm Niederschlag. Wie die Abbildung 5 zeigt, waren die grössten Nitratmengen im November zwischen 60-90 cm Tiefe zu finden. Vom Klee-gras wurden bis zu diesem Zeitpunkt 2 Schnitte geerntet, was einem Entzug von etwa 5 g N /m² entspricht. Der Rest des Nitrates wird über den Winter bis zum nächsten Frühjahr vermutlich weitgehend ausgewaschen.

Nach der Kompostierung im Sommer traten im Boden noch höhere Nitratgehalte als nach der Kompostierung im April auf (Abb. 5). Ein Teil war bereits auch wieder in die Bodentiefe von 60-90 cm verlagert. Das Auswaschungsrisiko für dieses Nitrat im November ist sehr hoch.

30,2 7,8

Abb. 5 : Nitratstickstoff im Boden (0.01m CaCl₂ Extrakt) in drei Tiefen nach der Winterkompostierung im April und im August nach erfolgter Einsaat sowie nach der Sommerkompostierung im November (Angaben in g NO₃-N/m² Bodenschicht). Mittelwerte beider Kompostmaterialien Grünabfall und Grünabfall/Mist. In den Spalten sind die Verfahren dargestellt, in den Zeilen die Probezeitpunkte. Die Balken über den Einzelgrafiken geben einen Hinweis zur vorherigen Behandlung im Verfahren.



Bei der Jahresmiete konnten im November viel kleinere Mengen Nitrat als im April festgestellt werden. Die Nitratmengen in den einzelnen Bodenschichten nahmen nach unten ab. In 60-90 cm Tiefe wurden im November unter den Jahresmieten ähnliche Mengen Nitrat festgestellt wie unter der Klee gras im April in der gleichen Tiefe (Abb. 5). Daraus kann geschlossen werden, dass das Nitrat, das im April unter den Jahresmieten festgestellt wurde, während dem Sommer sehr wahrscheinlich nicht ausgewaschen werden konnte. Hinweise, dass das Nitrat durch Denitrifikation abgenommen haben könnte, werden weiter unten in den Kapiteln Mangan und Eisen gegeben.

Weitere Diskussionspunkte sind zudem im Kapitel 5.2 zusammengefasst.

4.7.6 Kalium (K)

Tab. 14: Kalium (0.01m CaCl₂) im Boden nach der Kompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g K/m² Bodenschicht.

Boden Tiefe	Wandermiete Winter	Wandermiete Sommer	Jahresmiete	Kontrolle
0-30 cm	156 b	165 b	179 b	24 a
30-60 cm	19 b	18 b	18 b	6 a
60-90 cm	3 b	3 b	4 b	1 a

Werte mit gleichen Buchstaben in einer Zeile lassen sich statistisch nicht unterscheiden (Duncan 5%). Anzahl Messungen: nach Kompostierung 4, Kontrolle 6.

Kalium gelangte mit dem Sickersaft und mit Kompost in den Boden und wurde dort als Kation an den Ionenaustauscherplätzen des Tonen reversibel gebunden. Dadurch werden die grössten Mengen in 0-30 cm Tiefe abgelagert. Kleine Kaliumzunahmen sind aber bis in 90 cm Tiefe signifikant nachweisbar (Tab. 14).

Nach den Düngungsempfehlungen der LUFA Hameln, BRD (LUFA Hameln 1993), die ebenfalls auf Bodenanalysen im 0.01m CaCl₂-Extrakt beruhen, wird für Feldgras (120 dt TS Ertrag) bis zu einer Kaliummenge von 30 g K/m² im Boden normal gedüngt, bei Gehalten über 57 g K/m² wird keine Kaliumdüngung mehr empfohlen. Daraus ist ersichtlich, dass die Werte in Abbildung 6 unter den Mieten sehr hoch liegen.

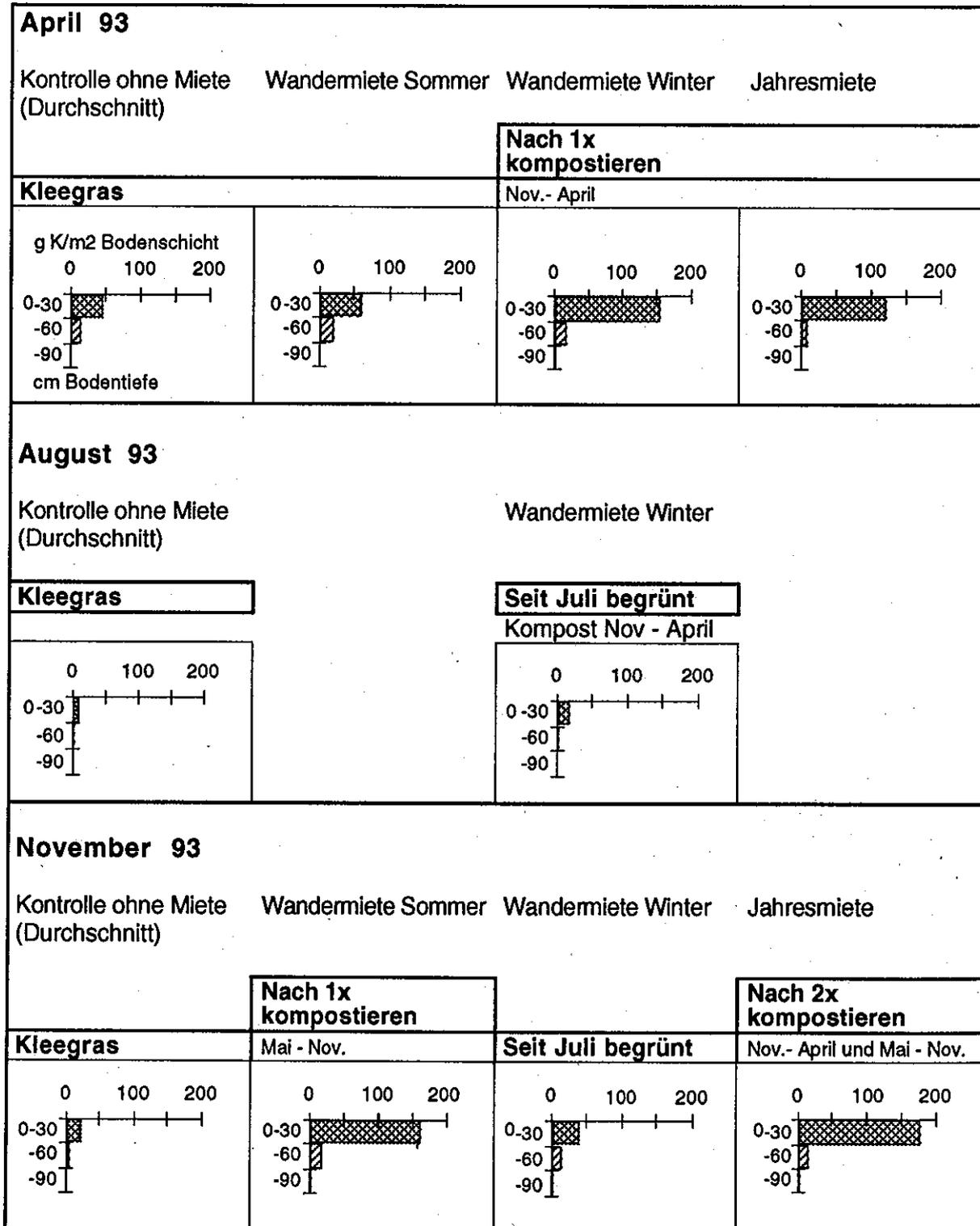
Nach der Winterkompostierung zeigten sich im Boden rund dreifach höhere Kaliummengen als im Kontrollboden unter Klee gras. Die Kontrollwerte fielen von April bis November von 50 g K/m² auf 25 g K/m² ab (Abb. 6), da die Wiese nicht mehr gedüngt wurde. Die mit den Bodenanalysen ermittelten Kaliummengen sanken bei der Variante Wandermiete Winter bis im November wieder unter 50 g K/m².

Nach der Sommerkompostierung wurden ähnlich hohe Werte wie nach der Winterkompostierung gemessen. Bei der Jahresmiete erhöhte sich die Kaliummenge durch die zweite Kompostierung nicht mehr so stark.

155

170

Abb. 6: Kaliumkonzentrationen im Boden (0.01m CaCl₂ Extrakt) in drei Tiefen nach der Winterkompostierung im April, im August nach erfolgter Einsaat und nach der Sommerkompostierung im November (Angaben in g K /m² Bodenschicht). Mittelwerte beider Kompostmaterialien Grünabfall und Grünabfall/Mist. In den Spalten sind die Verfahren dargestellt, in den Zeilen die Probezzeitpunkte. Die Balken über den Einzelgrafiken geben einen Hinweis zur vorherigen Behandlung im Verfahren.



4.7.7 Magnesium (Mg)

Tab. 15: Magnesium (0.01m CaCl₂) im Boden nach der Kompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g Mg /m² Bodenschicht.

Boden Tiefe	Wandermiete Winter	Wandermiete Sommer	Jahresmiete	Kontrolle
0-30 cm	25.4 b	21.7 b	21.5 a	18.0 a
30-60 cm	19.1 c	15.2 b	12.5 a	14.2 b
60-90 cm	21.3 c	13.6 a	11.8 a	17.3 b

Werte mit gleichen Buchstaben in einer Zeile lassen sich statistisch nicht unterscheiden (Duncan 5%). Anzahl Messungen: nach Kompostierung 4, Kontrolle 6.

Die Bodengehalte an Magnesium sind unter den Wandermieten signifikant höher als in den Kontrollflächen. Unter den Jahresmieten unterscheiden sie sich nicht von der Kontrolle.

Die Beurteilung der Magnesiumgehalte ist schwierig, da die Werte in den Kontrollen stark schwanken, was auf eine hohe räumliche Variabilität hinweist (siehe Anhang Tab. 13).

4.7.8 Mangan (Mn)

Tab. 16: Veränderung des 0.1m HCl/ 0.05m H₂SO₄ löslichen Mangans im Boden nach der Kompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens, unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g Mn /m² Bodenschicht.

Boden Tiefe	Wandermiete Winter	Wandermiete Sommer	Jahresmiete	Kontrolle
0-30 cm	41.5 b	44.8 b	88.4 c	22.6 a
30-60 cm	23.8 b	22.7 ab	52.4 c	15.2 a
60-90 cm	14.8 a	14.7 a	24.6 b	14.0 a

Werte mit gleichen Buchstaben in einer Zeile lassen sich statistisch nicht unterscheiden (Duncan 5%). Anzahl Messungen: nach Kompostierung 4, Kontrolle 6.

Unter allen Mieten stieg die Löslichkeit des Mangans bis in 30 cm Tiefe signifikant an (Tab. 15). Bei der Jahreskompostierung war dies sogar bis in die Tiefe von 90 cm der Fall.

Bedingt durch den Sauerstoffmangel unter den Mieten und den Kohlenstoffeintrag über Sickerwässer entstanden unter den Mieten reduzierende Verhältnisse. Bei diesen Bedingungen wurde Mangan reduziert und die Löslichkeit dadurch erhöht. Die Manganmenge nahm vor allem unter den Jahresmieten während der zweiten Kompostierung zu (siehe Anhang Tab. 14), was auch mit dem grösseren Sickerwasseranfall durch die Muldenlage zusammenhängen dürfte.

4.7.9 Eisen (Fe)

Tab. 17: Veränderung des 0.1m HCl/ 0.05m H₂SO₄ löslichen Eisens im Boden nach der Kompostierung (Mittelwerte der Verfahren Grünabfall und Grünabfall/Mist) und Kontrollwert des unbelasteten Bodens, unmittelbar nach dem Abräumen der Mieten in g Fe /m² Bodenschicht.

Boden Tiefe	Wandermiete Winter	Wandermiete Sommer	Jahresmiete	Kontrolle
0-30 cm	58.4 a	85.4 b	125.6 c	58.9 a
30-60 cm	39.8 a	55.9 b	64.2 b	45.6 a
60-90 cm	44.4 a	52.2 a	47.5 a	48.7 a

Werte mit gleichen Buchstaben in einer Zeile lassen sich statistisch nicht unterscheiden (Duncan 5%). Anzahl Messungen: nach Kompostierung 4, Kontrolle 6.

Bei der Wandermiete Sommer und bei der Jahresmiete traten signifikante Löslichkeits-erhöhungen bis in 60 cm Tiefe auf (Tab. 16).

Unter den Jahresmieten und unter einer Hälfte der Wandermiete Grünabfall Sommer konnte auch die blaugraue Farbe des reduzierten Fe²⁺ im Boden beobachtet werden. Diese Verteilung der Reduktionsflecken hing mit der leichten Muldenlage dieser Mieten zusammen. Die grössere Feuchtigkeit im Boden hatte den Sauerstoffmangel und damit die reduzierenden Verhältnisse noch verstärkt. Dieser stärker reduzierende Bereich, in dem selbst Eisen reduziert wurde, bleibt auf die obersten 60 cm beschränkt.

4.8 Grünabfall-, Kompostmengen und Nährstoffhaushalt auf dem landw. Betrieb in Witterswil

Tab. 18: Grünabfall-, Kompostmengen und mittlerer Nährstoffgehalt bei der Feldrandkompostierung in Witterswil.

Grünabfall angeliefert 1993 (Dez. 92 - Nov. 93) dies entspricht oder		459 m ³ 230 t Grünabfall ¹ 92 t S		
Menge Kompost 1993 davon Kompost aus 90 t Pferdemist von 6 Pferden ² Kompost aus Grünabfällen Anteil in %	49 m ³	249 m ³ 200 m ³ = 80 %		
Kompost an Gärtner und Hobbygärtner geliefert Kompost auf Betrieb verteilt davon Kompost aus Grünabfällen (80%) oder	23 m ³	226 m ³ 181 m ³ 59 t TS		
Nährstoffgehalt in % der TS	N _{tot} 1.4%	P 0.25%	K 1.12%	Mg 0.47%
in kg /m ³	4.5	0.8	3.7	1.5

¹ Schüttgewicht Grünabfall geschreddert 0.5 t/m³, Trockensubstanzgehalt 40%

² Pferdemist 35% TS, Rotteschwund 50% der TS, Schüttgewicht Kompost 0.324 t TS/m³

Aus 459 m³ geschredderten Grünabfällen plus dem Mist von 6 Pensionspferden wurden 1993 249 m³ Kompost hergestellt (Tab. 17). Der Mist der 6 Pferde wurde mit 90 t berechnet. Daraus entstanden etwa 49 m³ Kompost. Den Grünabfällen können somit 200 m³ zugerechnet werden. Die Hobbygärtner und ein Gartenbauer aus den zwei Gemeinden hatten 23 m³ Kompost bezogen, 226 m³ wurden auf den Flächen des Betriebes verteilt. 80% des Kompostes hatten somit ihren Ursprung im Grünabfall, 20 % im Pferdemist. Für die Nährstoffbilanz wurden nur diejenigen Nährstoffe mit Ursprung im Grünabfall für den Kompost berücksichtigt, die anderen sind im Nährstoffanfall über die Hofdünger enthalten (Tab. 18).

Zur Berechnung der Nährstoffmengen aus dem Kompost wurden die Durchschnittsanalysen der beiden Sommerkompostverfahren mit und ohne Mist verwendet. Dies aus folgendem Grund: die Stickstoffgehalte sind im Grüngut anfangs Sommer hoch und sinken im Herbst mit zunehmendem Laubanteil ab. Die Analysen des Winterkompostes (Novemberrohmaterial) sind nicht repräsentativ für den Jahresbetrieb und würden einen zu tiefen Nährstoffgehalt ergeben.

Bei qualitativ guten Grünabfallkomposten kann unter normalen Bedingungen (mittlere bis leichte Böden, gute Struktur) mit einer mittleren Mineralisierungsrate von 10% im ersten Jahr gerechnet werden, weshalb der wirksame Stickstoff als $N_{\text{wirks}} = 0.1 \cdot N_{\text{tot}}$ eingesetzt wird.

Tab. 19: Nährstoffbedarf der Pflanzen und Anfall aus Hofdüngern, Kompost und Mineraldüngergaben in kg pro ha LN des Betriebes in Witterswil. Landw. Nutzfläche 17.6 ha. (Nach LBL „Formular Gesamtbetrieblicher Nährstoffhaushalt“).

	N _{wirks}	P	K	Mg
Nährstoffanfall Hofdünger minus Nährstoffbedarf Pflanzen	113 114	29 35	253 178	21 16
Zwischenbilanz: Eigenversorgung Betrieb (zur Beurteilung der Nährstoff- versorgung massgebend)	0 0 %	-6 -17 %	+76 +43 %	+5 +31 %
Nährstoffzufuhr Kompost Nährstoffzufuhr Mineraldünger 2t Ammonsalpeter 27.5%	5 31	9	46	16
Gesamtbilanz: Alle Nährstoffe des Betriebes in % des Pflanzenbedarfes	+36 +31 %	+3 +9 %	+123 +69 %	+21 +133 %

Als ausgeglichene Nährstoffbilanz gilt der Bereich 0 bis +20% bei N_{wirks} und P für die Eigenversorgung des Betriebes. K und Mg werden nicht mitberücksichtigt (Buser 1994). Bei Kalium können die Schwankungen der Gehalte in den Pflanzen (Luxuskonsum) und Hofdüngern sehr gross sein, weshalb die Bilanzzahlen mit Vorsicht zu interpretieren sind. Betriebe, bei denen der Anfall an N_{wirks} und P durch die Hofdünger 20% des Bedarfes (Eigenversorgung Betrieb) übersteigt, gelten als "mit Hofdüngern belastet" und dürfen keine Komposte einsetzen. IP-Betriebe im Talgebiet dürfen nicht mehr als 150 kg N_{wirks} pro ha einsetzen. Diese Grenze wird auf dem Betrieb in Witterswil mit dem Ammonsalpeterzukauf gerade erreicht. Der Zukauf an Ammonsalpeter könnte noch reduziert werden.

Die Phosphorbilanz begrenzt den Einsatz auf 265 m³ pro Jahr und die StoV (25 t TS/ha und 3 Jahre) auf 451 m³ pro Jahr. In diesem Falle, und sehr wahrscheinlich auf den meisten Betrieben mit Vieh, begrenzt die Phosphorbilanz den Einsatz von Komposten enger als die StoV. 1993 wurde die Limite bezüglich der Phosphorbilanz in Witterswil zu 68% ausgeschöpft.

Die 265 m³ Kompost, die nach der Phosphorbilanz pro Jahr eingesetzt werden dürfen, könnten mit Jahresmieten (3x kompostieren pro Jahr; 1 t Kompost TS pro m Mietenlänge und Jahr ≈ 3 m³ Kompost pro m Mietenlänge und Jahr) auf 221 m² (88.3 m * 2.5 m breit) kompostiert werden. Dies entspricht 1.3 % der Betriebsfläche. Würde der Betrieb viehlos bewirtschaftet, so könnte gemäss StoV eine Menge von 451 m³ eingesetzt werden. Für die Kompostierung würden dann 2.1 % der Betriebsfläche benötigt. Daraus wird ersichtlich, dass der Anteil der Kompostierflächen an der landwirtschaftlichen Nutzfläche sehr klein ist.

4.9 Betriebskosten Feldrandkompostierung Witterswil

Aus Witterswil und Bättwil wurden von Dezember 92 bis Dezember 93 459 m³ Grünabfälle angeliefert. Dies entspricht ungefähr 230 t Frischsubstanz Abfällen (0.5 t/m³).

Tab. 20: Arbeitsstunden, Ansätze und Kosten für die Grünabfuhr und die Feldrandkompostierung in Witterswil und Bättwil.

	Stunden	Ansatz	Kosten
Grünabfuhr und Häckseln der Abfälle auf den Wagen			
Hilfskräfte	354	25 Fr./h	Fr. 8'850.-
Gemeindearbeiter	177	47 Fr./h	Fr. 8'319.-
Traktor	177	30 Fr./h	Fr. 5'310.-
Häckselwagen	116 Fuhren	40 Fr./Fuhre	Fr. 4'630.-
Total			Fr. 27'109.-
Kompostieren (ohne Ausbringen)			
Arbeitszeit	294	25 Fr./h	Fr. 7'350.-
Traktor	157	25 Fr./h	Fr. 3'925.-
Wendemaschine (Eigentum der Gemeinde)			
Ammortisation 10 Jahre			Fr. 2'500.-
Total			Fr. 13'775.-

In den Aufzeichnungen von Witterswil lassen sich die Kosten der Grünabfuhr nicht von den Kosten der Grünabfallaufbereitung trennen. Deshalb werden die Kosten der Grünmaterialabfuhr in der unten folgenden Zusammenstellung dazugerechnet.

Aus Erhebungen von Praxisbetrieben hat Estermann (1994) Modellrechnungen zum Vergleich der Kosten von Feldrandkompostierungen und zentralen stationären Anlagen errechnet. Dabei wurden einheitliche Ansätze für alle Verfahren gewählt (zum Beispiel: Arbeitslohn Fr. 45.-/h).

Tab. 21: Betriebskosten von Feldrandanlagen, zentralen stationären Anlagen (Estermann 1994) und von der Gemeinde Witterswil in Franken pro Tonne Abfall.

	Feldrand- anlagen	Zentrale stationäre Anlagen	Witterswil
Grünabfuhr	90.- bis 180.-	90.- bis 180.-	
Aufbereitung (Fremdstoffauslese, Sortieren, Zerkleinern, Mischen)	32.- bis 74.-	25.- bis 70.-	
Ansetzen (Transport, Abladen an Mieten)	12.- bis 25.-	4.- bis 6.-	
Grünabfuhr mit Kleinhäcksler und Anlieferung direkt an Miete (Witterswil) (inkl. Fremdstoffauslese bei Abfuhr)			118.-
Umsetzen (Wenden der Kompostmieten)	(pro Umsetzen Fr. 1.5/t) 15.- bis 23.-	(pro Umsetzen Fr.2.-/t) 20.- bis 30.-	49.- (75.-)*
Ausbringen (Aufladen, Ausbringen aufs Feld)	11.- bis 13.-	10.-	11.-
Diverses (Administration, Qualitätstests)	10.-	10.-	10.-
Kapitalkosten (Jährliche Amortisation)	13.- bis 41.-	18.- bis 51.-	11.-
Total ohne Grünabfuhr	103.- bis 180.-	90.- bis 170.-	
Total mit Grünabfuhr	193.- bis 360.-	180.- bis 350.-	199.- (225.-)*

*Arbeitsstunde Fr. 45.-

Für die Kosten der Feldrandkompostierung ist es wichtig, wie die Arbeiten auf dem Sammelplatz organisiert werden können.

Die Kosten für das Umsetzen der Mieten in Witterswil erscheinen hoch. Der Posten Umsetzen enthält aber auch noch die Arbeiten für das Ausrichten der Mieten beim Ansetzen - wenn nicht genau abgekippt wurde. Ferner wurde in Witterswil 1993 noch häufig (zum Teil bis täglich) umgesetzt. Dieser Rhythmus wurde im Herbst verlangsamt auf 1 bis 3 mal pro Woche. Dies sollte nach den O₂ und CO₂ Messungen genügend sein.

5 Zusammenfassende Diskussion

5.1 Kompostierung, Kompostqualität

Welche Kompostqualitäten können bei der Feldrandkompostierung hergestellt werden?

Bei der **Winterkompostierung** war infolge der fortgeschrittenen Jahreszeit nur noch Kompostrohmaterial mit einem weiten C/N-Verhältnis (Laub, Strauchschnitt) verfügbar. Um das Versuchskonzept nicht zu verändern, wurde als Beschluss der Begleitgruppe auf einen Stickstoffzuschlag bei der Variante Grünabfall verzichtet. Dadurch verlief die Rotte langsam und der Kompost wurde bis zum Frühjahr nicht reif. Bei Praxisanlagen wäre der N-Gehalt mit stickstoffreichen Ausgleichsmaterialien (Mist oder Hamstoff) erhöht und eine raschere Rotte erreicht worden. Damit hätten wahrscheinlich auch die Hygienisierungsbedingungen eingehalten werden können. Diese Mängel sind deshalb nicht dem System zu belasten.

Bei der **Sommerkompostierung** wurde Rohmaterial von Mai und Juni kompostiert. Diese Abfälle enthielten genügend holzige Strukturstoffe, sodass auf zusätzlichen Holzhäcksel verzichtet werden konnte. Die Kompostmieten trockneten unter dem Vlies aus. Durch 2-3 maliges Bewässern mit einem Druckfass wurde die Rotte wieder in Gang gebracht. Die Benetzung ab Druckfass ist aber arbeitsaufwendig und dementsprechend teuer. Es wäre einfacher und effektiver, von einem naheliegenden Wasseranschluss via Feuerwehrschauch und Düse direkt während dem Wenden der Mieten das fehlende Wasser in kleineren Mengen beizugeben.

Die Qualität der Sommerkomposte war sehr gut, wie das C/N-Verhältnis von 12 und die Kresstests mit 127% und 135% Ertrag auf reinem Kompost, im Vergleich zu einer Landerde, zeigten. Bei einer Untersuchung an schweizerischen Grünabfallkomposten (Schleiss 1990) wies die Gruppe der durchschnittlich 5.6 Monate alten Komposte ein C/N-Verhältnis von 19 auf, erst die Gruppe der 11.8 Monate alten Komposte erreichte ein C/N-Verhältnis von 15. Fremdstoffe waren nur zu 0.001% im Kompost von Witterswil vertreten. Dies ist 100mal weniger als die Forderung von 0.1% für flächigen Kunststoff in der „Mindestqualität von Kompost“ (FAC 1993). Schwermetalle waren nicht Gegenstand dieser Untersuchungen, da die Rohstoffe aus einer unbelasteten, ländlichen Gegend stammten und nicht vom Kompostiersystem beeinflusst werden.

Fazit:

Bei der Feldrandkompostierung können die Forderungen der „Mindestqualität von Kompost“ eingehalten werden. Die Komposte sind durch das intensive Wenden rascher reif als vergleichbare Komposte, die nicht so intensiv umgesetzt werden.

5.2 Physikalische Veränderungen im Boden

Entstehen bei der Feldrandkompostierung Bodenverdichtungen, welche die Bodenfruchtbarkeit gefährden?

Zum Feststellen von Sackungsverdichtungen bei Böden wird die scheinbare Dichte gemessen (Scheffer und Schachtschabel 1982).

Bei der Winterkompostierung nahm die scheinbare Dichte unter den Jahresmieten signifikant, bei den Wandermieten tendenzmässig ab. Schon bei der Probenahme konnten unter den Mieten mehr Regenwurmrohren als unter den Kleeagraskontrollflächen beobachtet werden. In den Mietenflächen konnten bei den Bodenprobenahmen mehrmals auch Regenwurmkokons festgestellt werden. Dies war in der Kontrolle nicht der Fall. Somit führte die Tätigkeit der Regenwürmer wahrscheinlich zu einer geringeren scheinbaren Dichte unter den Mieten.

Bei der Sommerkompostierung unterschieden sich die scheinbaren Dichten nicht signifikant voneinander. Regenwürmer wurden vor allem im Randbereich der Mietenflächen beobachtet.

Durch die Auflage von organischer Substanz wurden die Regenwürmer zu den Kompostmieten gelockt. Sie hatten durch ihre intensive Grabtätigkeit den Boden aufgelockert, aber auch Kompost in die Umgebung verschleppt.

Fazit:

Das Kompostieren führt zu keiner Verdichtung der Böden. Ein Befahren der Mietenplätze ist durch das Kompostierungssystem nicht nötig und soll vermieden werden.

5.3 Vergleich Sickerwasserfracht und Nährstoffanreicherung im Boden

Wie gross ist die Nährstofffracht durch das Sickerwasser? Woher stammen die Nährstoffe im Boden?

Tab. 22: Anteil der Nährstoffe im Sickerwasser an der Nährstoffanreicherung im Boden in g/m² und 0-90 cm Tiefe.

	C		N _{tot}		N _{min}		K	
	g/m ²	%						
Wandermiete Winter								
Sickerwasserfracht	4.3	1%	0.2	1%	0.1	1%	6.5	5%
Nährstoffanreicherung im Boden	826	100%	16.6	100%	17.6	100%	137	100%
Wandermiete Sommer								
Sickerwasserfracht	29	2%	9.7	4%	3.9	12%	74	47%
Nährstoffanreicherung im Boden	1'670	100%	268	100%	32.7	100%	156	100%
Jahresmiete								
Sickerwasserfracht	59	4%	18	9%	7.1	38%	128	75%
Nährstoffanreicherung im Boden	1'564	100%	196	100%	18.6	100%	170	100%

1 g/m² = 10 kg / ha

Mit den Nährstoffen im Sickerwasser lassen sich beim Kohlenstoff nur 1 - 4% der Kohlenstoffanreicherung im Boden erklären. Beim Gesamtstickstoff sind es 1 - 9%, beim Nitrat 1 - 38% und beim Kalium 5 - 75%.

Ein Teil des durch Sickerwasser nicht erklärbaren restlichen Kohlenstoffs wurde mit Kompost durch die Regenwurmtätigkeit in den Boden eingetragen. Ein weiterer Komposteintrag kommt vermutlich daher, dass beim Laden des Kompostes mit dem Mistkran eine kleine Menge Kompost auf dem Kompostplatz liegenblieb und dass dieser beim anschließenden Ausebnen des Platzes im April 93 in den Boden eingemischt wurde.

Beim Gesamtstickstoff kommen dieselben Anreicherungsquellen in Frage.

Bei der Wandermiete Winter und bei der Jahresmiete wurden bei Versuchsende etwa gleiche Mengen an mineralischem Stickstoff im Boden festgestellt. Bei der Wandermiete Winter stellte die Fracht im Sickerwasser 1% dieser Menge dar, bei der Jahresmiete aber 38%. Nach der Wandermiete Sommer wurde knapp die doppelte Menge N_{min} im Boden gefunden wie bei der Jahresmiete. Durch das Sickerwasser lassen sich 2% erklären. Wird die N_{min}-Anreicherung im Boden mit dem N_{tot}-Gehalt im Sickerwasser verglichen - wird also angenommen, dass der organische Stickstoff im Sickerwasser bereits mineralisiert sei - so sind bei der Wandermiete Winter immer noch nur 1% erklärbar, bei der Wandermiete Sommer sind es dann 30% und bei der Jahresmiete 97%.

Als weitere Quellen von mineralischem Stickstoff können der Boden beziehungsweise die Klee grasrückstände auf folgende Weise in Betracht gezogen werden:

- Bei der Winterkompostierung kühlte der Boden unter den Mieten im Spätherbst nicht ab und die Mineralisierung der absterbenden Klee grasrückstände erfolgte bei höheren Temperaturen als in der Umgebung.
- Ausgewaschene Stoffe (Eluate) von gehäckselter, sich zersetzender Pflanzenmasse können im Boden durch die Bodenmikroorganismen Mineralisierungsimpulse bewirken. Dies konnte Scheller (1993) an abgeschlegelten Gründüngungen zeigen. Kompostsickerwasser entsteht, zumindest am Anfang der Kompostierung, auch aus Eluaten von gehäckselten Pflanzenresten.

Solche Mineralisierungsimpulse würden auch die hohen Nitratmengen nach der Wandermiete Sommer erklären. Das hohe Mineralisierungspotential des Lössbodens hatte vermutlich diesen Impuls noch verstärkt und die Nitratmenge vergrößert. Bei der Jahresmiete wurden im Frühjahr nach der ersten Kompostierung auch hohe Nitrat-Werte unter den Mieten festgestellt (siehe Abb. 5). Erst mit der zweiten Miete hatten sich die Nitratgehalte durch Denitrifizierung wieder vermindert (mehr dazu in Kapitel 5.3.1).

Kalium gelangte in viel grösseren Mengen durch das Sickerwasser in den Boden als Stickstoff und Kohlenstoff. Könnten die im Sommer vor allem bei den Jahresmieten übervollen Sammelbehälter noch dazugerechnet werden, würde sich der Anteil noch erhöhen. Beträchtliche Kaliummengen wurden vermutlich auch durch den Kompost eingetragen. Eine Bilanzierung ist aber auch deshalb nicht möglich, weil der Lössboden als kaliumfixierend bekannt ist (Alföldi et al. 1993) und ein Teil der eingewaschenen Kaliummenge bereits mit dem aus anderen Gründen gewählten Extraktionsmittel nicht mehr analysiert werden kann (siehe auch Kapitel 5.3.3).

Tab. 23: Nährstoffanreicherungen im Boden in g/m² und Bodenschicht unter teilweise gedeckten Biotonnemieten, nicht gedeckten Mistkompostmieten und Mieten aus reinem Pferdemist oder 80% Pferdemist + 20% Gemüseabfällen bei einer Kompostierdauer von 1-3 Jahren.

	C	Nkj	NO ₃ -N	K
0-90 cm Bodentiefe				
Biotonne (Winkler 1990)	1'760	108	-	64
Mistkompost (Berner 1990)	-25 ns *	87 ns	24 **	281 **
Reiner Pferdemist und 80% Pferdemist + 20% Gemüseabfälle (Heller 1994)				
1-3 Jahre Kompostierdauer ¹	-	-	-2 - +5 (N _{min})	22 - 141
1-2 Jahren Kompostierdauer ²	-	-	-	161 - 209
nach 3 Jahren Kompostierdauer ²	-	-	-	454

Winkler 1990: 1x Kompostieren während 51 Wochen. Keine Signifikanzangaben. Kalium: Bariumchlorid Extrakt.
 Berner 1990: 1x Kompostieren während 4-9 Monaten. *) 0-30 cm: +51 g C/m²; ns. Kalium: Doppellaktat Extrakt.
 ns = nicht signifikant verschieden gegen Null, ** = p < 0.01.
 Heller 1994: ¹ Wasser Extrakt, ² NH₄-ac-EDTA Extrakt

1 g/m² = 10 kg/ha

Bei der Kohlenstoffanreicherung im Boden wurden von Winkler (1990) ähnliche Werte gefunden wie in diesem Versuch (Tab. 21). Die Kohlenstoffzunahme bei Berner (1990) in 0-30 cm Tiefe konnte nicht signifikant abgesichert werden. Beim Kjeldahl-Stickstoff wurden die Werte von Winkler durch die Sommerkompostierung um das 2.5-fache übertroffen, durch die Jahreskompostierung um das 1.8-fache. Die Nitratzunahme unter nicht gedeckten Mistkompostmieten (Berner 1990) betrug nur 70% des Spitzenwertes der Sommerkompostierung. Die Kaliumzunahme im Boden unter den Feldrandkompostmieten lag zwischen den oben zitierten Werten der Biotonne und der nicht gedeckten Mistkompostmieten. Bei Heller (1994) wurden an Kompostplätzen von reinem Pferdemist und Pferdemist + Gemüseabfällen N_{min}-Anreicherungen von -2 - +5 g /m² gefunden. Diese Werte liegen deutlich unter den in diesem Versuch festgestellten Werten. Bei Kalium wurde mit dem Wasserextrakt 22 - 141 g K /m² festgestellt, im NH₄-ac-EDTA Extrakt, der auch Reservenährstoffe erfasst, wurden 161 - 209 g K /m² festgestellt, nach 3 Jahren Kompostierung sogar 454 g K /m². Die Kaliummengen im Versuch in Witterswil liegen unter den Mengen der Reserveextrakte bei 1-2 Jahren Kompostierdauer oder erreichen sie knapp. Leider sind bei Heller (1994) keine genaueren Angaben zu den Kohlenstoffgehalten und zur Kompostiertechnik (Abdeckungen, Bewässerung, etc.) enthalten. Vom Kohlenstoffgehalt her wäre es sonst möglich, die Menge Kompost abzuschätzen, die jeweils beim Kompostladen auf dem Platz liegenblieb und auch zur Nährstoffanreicherung im Boden beigetragen hat.

Es scheint ein Problem der Feldrandkompostierung zu sein, dass es schwierig ist, den Kompost wieder so sauber vom Feldmietenplatz zu entfernen, dass höchstens die pro 3 Jahre maximal erlaubten 2.5 kg Kompost TS /m² auf dem Mietenplatz zurückbleiben. In der Praxis bleibt am Mietenplatz vermutlich mehr Kompost (wenige Kilogramm pro m²) zurück. Es besteht

damit eine gewisse Gefahr, dass sich längerfristig Kohlenstoff und organisch gebundener Stickstoff an diesen Mietenplätzen anreichern, wenn nicht grosses Gewicht auf eine vollständige Entfernung des Kompostes gelegt wird.

Fazit:

Die Hauptnährstofffracht gelangt mit dem Kompost in den Boden. Einzig beim Kalium können auch grössere Mengen mit dem Sickerwasser in den Boden eingewaschen werden. In der Praxis muss dem sauberen Entfernen des Kompostes vom Mietenplatz grosse Aufmerksamkeit geschenkt werden, damit langfristig keine Anreicherungen von Kompost im Mietenplatz entstehen.

5.3.1 Verhalten des Stickstoffes im Boden

Ist alles Nitrat, das in den Boden gelangt, auswaschungsgefährdet?

Zur Denitrifizierung werden folgende Bedingungen genannt (Schloemer 1993): Reduzierter O_2 -Partialdruck, Anwesenheit von löslichen Kohlenstoffverbindungen und Nitrat.

Mikroorganismen benötigen für den Abbau von Kohlenstoffverbindungen Sauerstoff. Durch das Sickerwasser und durch den Kompost stieg der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) im Boden an. Durch die Wandermiete Winter wurde er um $14 \text{ g } O_2/m^2$ und durch die Wandermiete Sommer um $94 \text{ g } O_2/m^2$ erhöht. Eine Güllemenge von 100 m^3 entspricht beim Stickstoff ungefähr dem Nährstoffbedarf einer Klee graswiese von 1 ha in einem Jahr. Diese Menge steigert den CSB des Bodens auf $600 \text{ g } O_2/m^2$ (Thaer 1978). In diesem Vergleich sind die Werte des Sickerwassers bescheiden.

Bei der Jahresmiete traten im April selbst in 60-90 cm Bodentiefe bedeutende Nitratmengen auf (siehe Abb. 5). Bis im November hatten die Gehalte abgenommen, auch in 60-90 cm Tiefe war weniger Nitrat vorhanden als im April. Da der Boden durch die Kompostabdeckung und den Kompost selbst vor Regen geschützt war, konnte das Nitrat nicht wie beim Mietenplatz der Wandermiete Winter ausgewaschen werden. Am Jahresmietenplatz konnten für Ammonium im November erhöhte Gehalte in 0-30 cm Tiefe nachgewiesen werden. Dies deutet bereits auf reduzierende Verhältnisse im Boden hin.

Die Kompostmieten behindern den Sauerstoffzutritt zum Boden, sodass reduzierende Verhältnisse entstehen können. Reduzierende Verhältnisse im Boden entstehen aber auch, wenn Mist oder Gründüngung eingepflügt werden (Flessa et al. 1993). Durch das Entfernen der Kompostmieten und das anschliessende oberflächliche Lockern des Bodens zur Saatbeetbereitung kann wieder Sauerstoff eindringen und der Boden kann auf aerobe Verhältnisse umstellen. Die Begrünungspflanzen gedeihen im Normalfall von Anfang an gut.

Dem Boden unter den Kompostmieten wird die Sauerstoffzufuhr durch den Kompost erschwert. Durch das Ableiten des Regenwassers in die Randzonen der Mietenfläche wurde die Feuchtigkeit im Boden erhöht und damit die Sauerstoffzufuhr weiter reduziert. Unter solch reduzierenden Verhältnissen wurden Mangan und Eisen in ihre löslicheren zweiwertigen Formen umgewandelt. Bei ähnlichen Bedingungen wird gemäss Scheffer und Schachtschabel (1982) auch Nitrat reduziert. Unter allen Mieten konnte bis in 30 cm mehr lösliches Mangan

nachgewiesen werden, bei den Jahresmieten traten sogar bis in 90 cm Bodentiefe höhere Werte auf. Erhöhte lösliche Eisengehalte wurden nach der Kompostierung im Sommer bei den Varianten Wandermiete Sommer und Jahresmiete nachgewiesen. Löslicher Kohlenstoff ist im Boden vorhanden und gelangt zusätzlich mit dem Sickerwasser in den Boden. Somit waren alle Bedingungen zur Denitrifizierung von Nitrat erfüllt.

Bei der Denitrifizierung entsteht viel molekularer Stickstoff (N_2) und wenig Lachgas (N_2O). Die Anteile sind aber je nach Umweltbedingungen verschieden (Schloemer 1993). Lachgas ist ein Treibhausgas und hat Auswirkungen auf die Ozonschicht und ist deshalb nicht unproblematisch. Deshalb sollten vor allem die Sickerwasserfrachten und die Stickstoffmengen vermindert werden, sodass nur wenig Nitrat denitrifiziert werden kann.

Ähnlich reduzierende Verhältnisse wie in diesem Versuch wurden auch schon unter Mistkompostmieten nachgewiesen (Berner 1990). Die Persistenz und die Auswirkungen dieser Bodenbedingungen auf die nachfolgenden Begrünpflanzen wird in Witterswil 1994 noch genauer untersucht.

Bei der einmaligen Kompostierung wurde im Boden relativ viel Nitrat mineralisiert. Werden anschliessend starkzehrende, raschwachsende Pflanzen angebaut, so kann dieser Stickstoff zu einem grossen Teil wieder aufgenommen werden. Werden die Mieten im Spätsommer oder Herbst abgeräumt, so erlaubt die Saison kein genügendes Pflanzenwachstum mehr, ein Teil des Nitrates kann über den Winter ausgewaschen werden. Wird aber eine neue, gedeckte Miete am selben Platz angelegt, so kann höchstens Sickerwasser das Nitrat über den Winter verlagern. Durch Denitrifizierung wird die Nitratfracht weiter verringert. Im Frühjahr - nach dem Abräumen der zweiten Kompostmiete - können die Bodennährstoffe wieder gut von den Pflanzen aufgenommen werden.

Fazit:

Die Erhöhung des Sauerstoffbedarfes durch die organischen Verbindungen im Sickerwasser ist im Vergleich zur Düngung mit Gülle klein. Unter den Kompostmieten können reduzierende Bedingungen herrschen, weshalb Nitrat denitrifiziert wird. Dadurch wird nicht alles Nitrat, das in den Boden gelangt, in die Tiefe verlagert und später ausgewaschen.

Die Kompostierflächen werden mit Vorteil im Frühjahr geräumt und anschliessend mit Klee gras und Hafer als Deckfrucht eingesät. Diese Futterpflanzen entziehen dem Boden grössere Mengen an Nitratstickstoff - dadurch sinkt das Stickstoffauswaschungspotential beträchtlich.

5.3.2 Abschätzung des N-Auswaschungspotentials der Feldrandkompostierung im Vergleich mit der landwirtschaftlichen Praxis

Ist durch den Stickstoff im Sickerwasser und den erhöhten organischen N-Anteil im Boden der Mietenplätze eine Grundwassergefährdung zu befürchten?

Zum Vergleich werden an dieser Stelle zuerst einige Grundlagen und Zitate zum N-Austrag in der landwirtschaftlichen Praxis angeführt:

Als wichtige Grössen für die Nitratauswaschung aus landwirtschaftlich genutzten Böden werden folgende Faktoren genannt (Keller 1990, Stauffer und Enggist 1990):

- Bodenart
- vorangehende Kultur
- Bodenbearbeitung
- Düngung
- Witterung

Im 3. Zwischenbericht über das Nitratprogramm des Kantons Bern (Anonym 1993) werden Angaben zu den Nmin-Gehalten nach verschiedenen Kulturpflanzen im Herbst gegeben:

Tab. 24: Rest-N-Werte nach verschiedenen Kulturen im Boden 1989-1992 (Anonym 1993) in g/m² 0-90 cm Bodentiefe.

	Mittelwert	Bereich, in dem 80% der Werte enthalten sind *
Kartoffeln	13.2 g N /m ²	4.0 - 26 g N /m ²
Mais (Silo- und Körner-)	9.2 g N /m ²	2.5 - 20 g N /m ²
Getreide	5.7 g N /m ²	2.0 - 16 g N /m ²
Klee gras	4.6 g N /m ²	1.5 - 9 g N /m ²

* Die Schwankungen zwischen den Jahren sind beträchtlich.

Nach einer Untersuchung im Rahmen des nationalen Forschungsprogrammes (NFP) Boden sind im Herbst Nmin-Gehalte unter 5 g Nitrat-N /m² unbedenklich, Gehalte von 5-10 g Nitrat-N /m² sind tolerierbar und solche über 10 g Nitrat-N /m² gelten als bedenklich (Keller 1990).

Bei der Düngung von Mais und Kartoffeln wird im Mai der Bodenvorrat an mineralischem Stickstoff auf 20g Nmin /m² ergänzt (Walther et al. 1993). Diese Düngung wird aber erst spät als Kopfdüngung ausgebracht, damit sie die Kulturen möglichst gut aufnehmen können. In der Praxis kann die Düngewirkung von Gründüngungen und Hofdüngern schlecht eingeschätzt werden, was bei zu hohen Gaben rasch zu Nmin-Werten von über 40 g /m² bei Mais führen kann (Stauffer und Siegenthaler 1987, Götz-Huwe et al. 1989). Diese Mengen können von der Nachkultur nicht mehr vollständig aufgenommen werden und das Auswaschungsrisiko im Winter ist dementsprechend gross.

Diese Zitate zeigen den groben Rahmen, in den die Resultate der Feldrandkompostierung eingeordnet werden müssen. Der Vergleich des bei der Feldrandkompostierung möglichen Nährstoffaustrages in den Boden und ins Grundwasser mit der „landwirtschaftlichen Praxis“ ist schwierig. Ein direkter Vergleich ist im Versuch Witterswil nur möglich mit den Kontrollfeldern, wo Klee gras angebaut wurde. Das Auswaschungspotential von Klee gras liegt aber deutlich unter demjenigen von Ackerkulturen (Tab. 23).

Nach **einmaliger Kompostierung** (Wandermieten) wurden 21 g Nmin/m² (Winter) bzw. 34 g Nmin/m² (Sommer) und nach der **Jahresmiete** 20 g Nmin/m² in 0-90 cm Tiefe festgestellt. Dieser Stickstoff entstammt bei der einmaligen Kompostierung nur zum kleineren Teil aus dem Sickerwasser, der Rest wird vom Boden mineralisiert. Für die Beurteilung des Stickstoffauswaschungspotentials spielt die Herkunft des Nitrates aber keine Rolle.

Fallen diese **Nitrat-Werte im Herbst** an, so kann das Nitrat von Begrünungspflanzen nicht mehr aufgenommen werden und die Auswaschungsgefahr ist sehr gross. Wieviel Nitrat bis zum Frühjahr ausgewaschen wird, hängt von der Bodenart und von der Witterung ab. Die Lössböden mit guter Wasserspeicherfähigkeit in Witterswil sind weniger auswaschungsgefährdet als sandigere Böden.

Fallen diese **Nitrat-Werte im Frühjahr** an, so können mit sofortiger Begrünung durch eine raschwachsende, starkzehrende Kultur (zum Beispiel Klee gras mit Deckfrucht Hafer) 20-30 g N/m² pro Jahr entzogen werden. Ob in der Anfangsphase dabei noch Nitrat ausgewaschen wird, hängt nebst der Bodenart auch von der Menge der Frühjahresniederschläge ab.

Das Nitrat von im Herbst abgeräumten Mieten muss nicht ausgewaschen werden, wenn anschliessend wieder eine gedeckte Kompostmiete folgt. Durch die Abdeckung müssen wir unter den Mieten nur mit 20% (bei ungünstigen Bodenverhältnissen (kleinen Mulden) mit 40%) der Niederschläge rechnen, dies ergibt eine viel kleinere Nitratverlagerung als bei leeren Mietenplätzen, die den vollen Niederschlägen ausgesetzt sind. Im Frühjahr sind die Chancen wieder da, dass das Nitrat nach Abräumen der Kompostmieten und anschliessender Begrünung durch die Pflanzen aufgenommen werden kann. Deshalb wird empfohlen, die leeren Mietenplätze im Herbst wieder zu belegen und erst im Frühling zu begrünen.

Ferner muss berücksichtigt werden, dass die Mietenfläche zur Produktion des Kompostes selbst auf einem viehlosen Betrieb (Komposteinsatz 25 t TS / ha und 3 Jahre) nur einen Anteil von 2.1% (Jahresmiete, 3x kompostieren pro Jahr) der landwirtschaftlichen Nutzfläche beansprucht (siehe Kapitel 4.8).

Tab. 25: Anreicherung und Auswaschungspotential von Nährstoffen unter der Mietenfläche, die zur Düngung von 1 Hektare Kulturland benötigt wird.

	Jahresmiete		einmalige Kompostierung (Werte Wandermiete Sommer)	
Benötigte Fläche Mietenplatz	21 m ²		63 m ²	
	kg	in g/m ² *	kg	in g/m ² *
In dieser Fläche angereicherte Nährstoffe				
C	32.8	3.28	105	10.5
N _{tot}	4.1	0.41	16.9	1.69
N _{min}	0.4	0.04	2.1	0.21
K	3.6	0.36	9.8	0.98

* in g/m² bezogen auf die ganze mit dem Kompost gedüngte Fläche (1 Hektare).

Werden die Nährstoffanreicherungen unter den Mietenflächen (Tab. 22) mit der Mietenfläche, die für die Herstellung der Komposte zur Düngung von einer Hektare benötigt werden, multipliziert, so wird die Grösse der Anreicherung bei allen Nährstoffen und speziell das Auswaschungspotential beim Stickstoff sichtbar (Tab. 25). Selbst unter der Annahme, dass alles N_{min} nach Abbruch der Jahresmieten ausgewaschen würde, könnte durch eine Verringerung der Auswaschung auf dem restlichen Kulturland um 0.04 g N_{min} /m² (bzw. 0.21 g N_{min} /m² bei einmaliger Kompostierung) - was 0.4% (bzw. 2.3%) des Mittelwertes an Rest-N_{min} nach Mais oder 0.9% (bzw. 4.6%) des Mittelwertes an Rest-N_{min} nach Kleegras (Tab. 24) entspricht - ausgeglichen werden. Solch kleine Auswaschungspotentialverminderungen, die weit unter den jährlichen Rest-N_{min}-Schwankungen liegen (Anonym 1993), können problemlos durch einen effizienteren Düngereinsatz erreicht werden. Auch eine langsame Mineralisierung des an den Mietenplätzen eingetragenen organischen Stickstoffes führt nicht zu einer bedeutenden Erhöhung der gesamten Nitratbelastung eines Betriebes.

In diesem groben Rahmen sind Hinweise gegeben, dass die Gewässerbelastung der Feldrandkompostierung mit Jahresmieten und mit Mietenabbruch im Frühjahr höchstens in einem ähnlichen Rahmen liegen wie bei der „landwirtschaftlichen Praxis“. Diese Aussagen basieren aber nur auf einem Versuch an einem Standort. Weitere einfachere Untersuchungen an Praxismietenplätzen sind erwünscht, damit die Datenbasis erweitert werden kann.

Fazit:

Wird das Auswaschungspotential der relativ kleinen Mietenplätze mit der gesamten kultivierten Fläche, auf die der Kompost ausgebracht wird, verglichen, so stellen die Kompostflächen (Jahresmiete, Frühjahresabbruch und -begrünung) weniger als 1% des Auswaschungspotentials der gesamten Kulturläche dar. Selbst die jährlichen Schwankungen im Auswaschungspotential sind viel grösser. Kompostplätze können aber kleine, örtlich begrenzte Belastungsquellen darstellen.

5.3.3 Verhalten des Kaliums Im Boden

Wie gross ist die Ausbreitung des Kaliums im Boden? Wird Kalium im Boden angereichert? Ist durch Kalium eine Grundwassergefährdung zu befürchten?

Nach einmaligem Kompostieren wurden im Boden 137 bzw. 156 g /m² und nach zweimaligem Kompostieren 170 g/m² Kalium mehr als in der Kontrolle gefunden. Im Sickerwasser wurden 6.5 bzw. 74 g K /m² bei der Wandermiete Winter und Sommer und 128 g K /m² bei der Jahresmiete festgestellt. Das Kalium war zum grössten Teil in den obersten 30 cm des Bodens an den Tonmineralien fixiert. Kalium ist nicht in der eidg. Verordnung über Abwasser-einleitungen aufgeführt; es existieren keine Grenzwerte. Kalium ist somit nicht gewässer-schutzrelevant. Vom Bodenschutz her besteht aber ein Interesse, dass eine Überdüngung vermieden wird. Bei einer Verdoppelung der bei der Jahresmiete erreichten Kaliumgehalte könnten bei trockenem Wetter bei empfindlichen Pflanzen (Salat) Versalzungsschäden auftreten (Anonym 1980).

Durch Klee gras können dem Boden in einem Jahr rund 40 g K /m² entzogen werden (12 t TS * 33 kg K/t TS; Düngungsrichtlinien, Walther et al. 1987). Da die Pflanzen bei hohen Kaliumgehalten im Boden Luxuskonsum treiben, können sich die Entzüge durch intensiven Futterbau auf über 55 g K /m² erhöhen (+35% Zunahme der Kaliummengen in den Ausscheidungen von Kühen und damit im Futter bei hohen Bodengehalten; Flückiger 1986). Rein rechnerisch sind dann 2-3 Jahre Klee grasanbau nötig, um das Kalium des Sickerwassers der Jahresmieten zu entziehen.

Bei der Variante Wandermiete Winter (Abb. 6) sanken die Kaliumgehalte im Boden nach der Kompostierung rasch auf <50 g /m² im August und November ab. Diese starke Abnahme kann nicht allein dem Pflanzenentzug durch die zwei Schnitte Gras, die bis im November weggeführt wurden, erklärt werden. Durch den Entzug des Klee grasses dürften etwa 8 g K /m² den Boden verlassen haben. Ein weiterer Grund für die Abnahme könnte in diesem Lössboden bei der Kaliumfixierung liegen. Das Kalium ist dann nicht mehr durch eine 0.01m CaCl₂-Extraktion messbar, auch nicht auswaschbar durch Wasser, wäre aber trotzdem im Boden vorhanden und könnte beschränkt durch die Pflanzen aufgenommen werden.

Infolge der Kaliumanreicherung ist die Kompostierung auf offenem Boden an einen Wanderzyklus zu binden, damit sich nicht zu grosse Kaliummengen im Boden anreichern und später bei erschöpfter Speicherkapazität der Tonmineralien ausgewaschen werden. Nach einem Jahr Kompostierung sollen mindestens zwei Jahre Klee gras angebaut werden.

Fazit:

Kalium ist nicht relevant für den Gewässerschutz. Kalium aus dem Sickerwasser wird an den Tonmineralien zwischengespeichert und kann nach der Kompostierung während 2 Jahren Begrünung des Mietenplatzes zu einem grossen Teil von den Pflanzen wieder aufgenommen werden.

6 Schlussfolgerungen

Bei der Feldrandkompostierung können **qualitativ hochwertige Komposte** hergestellt werden. Es bestehen zum Teil noch technische Schwierigkeiten (z.B. das Wiederbefeuchten ausgetrockneter Komposte), die durch bessere Ausrüstung behoben werden können.

Damit nicht zu hohe **Arbeitsspitzen** im Frühjahr und im Herbst im Zusammenhang mit den Bestellungsarbeiten **in der Landwirtschaft** auftreten und die Komposte dann vernachlässigt werden, ist eine Arbeitsplanung vor Aufnahme dieses Nebenerwerbszweiges empfehlenswert. Dieses Problem stellt sich aber für jeden landwirtschaftlichen Nebenerwerb.

Durch die Kompostmieten und die korrekt eingesetzten Maschinen wird der **Boden nicht verdichtet**, da die schweren Maschinen und damit das Hauptgewicht auf dem Weg bleiben. Durch die Schulung an Kursen ist das Bewusstsein der Landwirte zu fördern, dass die Mietenplätze gleich wie die Ackerflächen nicht in feuchtem Zustand befahren werden dürfen.

Das Kompostabdeckvlies schützt den Kompost vor Vermässung durch Niederschläge. Das abgeleitete **Regenwasser kann seitlich unter die Mieten eindringen** und den Mietenfuss auswaschen.

Die **Nährstoffkonzentration** im Sickerwasser war relativ gering im Vergleich zu Angaben aus der Literatur. Sie sind mit Abwasser von Grünabfallkompostieranlagen vergleichbar.

Die Nährstoffanreicherungen im Boden werden durch Nährstoffe im Sickerwasser und durch nicht entfernten Kompost bewirkt. Sie erscheinen im direkten Vergleich mit der im Pflanzenbau üblichen Düngung als hoch. Da die **Mietenflächen aber nur etwa 2% der zu düngenden Flächen** betragen, sind sie im Vergleich zu den Nährstofffrachten aus den kultivierten Flächen klein. Mietenabbruch im Frühjahr mit anschließender Begrünung hat sich bezüglich N-Verlusten als günstiger herausgestellt als Mietenabbruch im Herbst. Die Futterpflanzen können dem Boden unter den ehemaligen Mietenplätzen beachtliche Mengen an Stickstoff und Kalium entziehen, die während der Kompostierphase in den Boden gelangten.

Die Daten über die Nährstoffanreicherung im Boden basieren hier nur auf einem Versuch an einem einzigen Standort. Es ist deshalb erwünscht, mit einer vereinfachten Probenahme an definierten Praxisstandorten die Datenbasis zu verbreitern und damit die Aussagesicherheit zu erhöhen.

Als **relativ kleine, örtliche Belastungsquelle** können die Mietenplätze toleriert werden. Sie sind aber zu reglementieren.

Die Mietenplätze werden noch ein Jahr weiter bis Herbst 1994 im bisherigen Raster beprobt und untersucht.

7 Dank

Wir danken den Auftraggebern dieser Untersuchungen und deren Vertretern für die gute Zusammenarbeit:

Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn Herr U. Dietschi und Herr A. Enggist
Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Land Frau A. Spinnler und Herr A. Rohrbach
Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich Herrn G. Kiener und Herrn U. Wagner
Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz Herr A. Burger
Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern Herr F. Duss.

Herrn M. Chardonens, BUWAL, Herrn T. Candinas, FAC, und Herrn R. Estermann für die rege Beteiligung an der Diskussion der Feldrandkompostierung.

Für die sorgfältige Ausführung der chemischen Analysen möchten wir uns bei Silvia Ritz bedanken.

Zum Gelingen dieses Berichtes hat auch das genaue Lesen und Korrigieren durch Paul Mäder beigetragen. Vielen Dank.

8 Literaturverzeichnis

- Aebersold A., Eichenberger S., Künzli Hauenstein M., Schmid H., Schmidweber A. (1993): Vergären oder Kompostieren? Abschlussarbeit für den Nachdiplomstudiengang in Umweltlehre, Universität Zürich.
- Alföldi Th., Mäder P., Oberson A., Spiess E., Niggli U., Besson J.-M. (1993): DOK-Versuch: Vergleichende Langzeituntersuchungen in den drei Anbausystemen Biologisch-Dynamisch, Organisch-Biologisch und Konventionell. III. Boden: Chemische Untersuchungen, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode. Schweiz. Landwirtschaftl. Forschung, 32 (4), 465-477.
- Anonym (1980): Faustzahlen für die Landwirtschaft und den Gartenbau. Ruhr Stickstoff AG, Bochum. 9. Auflage. S. 253.
- Anonym (1993): Programm zur Ursachenbekämpfung der Nitrat Auswaschung im Kanton Bern 1989 bis 1995. 3. Zwischenbericht 1993. Fachkommission Nitratbekämpfung, Projektgruppe Nitrat. Bodenschutzfachstelle des Kt. Bern.
- AGW (1993): Kompostier- und Vergärungsanlagen im Kanton Zürich. Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich. Abt. Abfallwirtschaft, Walchetur, Zürich.
- Arnet R. (1993): Kommunale Kompostierung als Nebenerwerb für Landwirte - ein Hit! UFA-Revue 4/93.
- Baumgarten A., Katter R., Klein F. (1993): Kompostanwendung. In: Amlinger F.: Handbuch der Kompostierung. Ludwig Boltzmann-Institut für biologischen Landbau und angewandte Ökologie. Wien.
- Berner A. (1993): Sickersaftuntersuchungen bei der Feldrandkompostierung. Vortrag am 1. Oltener Kompostforum 3.-5. Juni 93, Olten.
- Berner A. (1990): Einfluss von Mistkompostmieten auf die Umwelt. Landwirtschaft Schweiz Band 3 (3): 95-99.
- Bonjour A. (1994): Mündliche Mitteilung. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Buser A. (1994): Mündliche Mitteilungen. Amt für Landwirtschaft, Liestal.
- Donhauser J. und Tschulik M. (1993): Die Sickerwasserfrage aus wasserwirtschaftlicher Sicht. In: Amlinger F.: Handbuch der Kompostierung. Ludwig Boltzmann-Institut für biologischen Landbau und angewandte Ökologie. Wien.
- Dunst G. (1991): Kompostierung. Anleitung für die Kompostierung am Bauernhof, im Garten und im kommunalen Bereich. Leopold Stocker Verlag, Graz.
- Estermann R. (1994): Kompostieren als neuer Betriebszweig für Landwirtschaftsbetriebe. Diplomarbeit am Institut für Agrarwirtschaft der ETH Zürich.
- FAC (1993): Mindestqualität von Kompost. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Frei U. (1992): Kompostverwendung in der Landwirtschaft. Versuche 1991. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Frei U. (1993): Kompostverwendung in der Landwirtschaft. Versuche 1992. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.
- Fischer P. und Jauch M. (1988): Kompostierung von Grünrückständen. Institut für Boden und Pflanzenernährung, Weihestephan, Freising.
- Flessa H., Dersch P., Beese F. (1993): Einfluss anaerober Mikrobereiche auf die N₂O Emission aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. G. 72, 343-346.
- Flückiger E. (1986): Nährstoffanfall in den Hofdüngern von Rindvieh - eine Modellrechnung. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Liebefeld-Bern.

- Fricke K., Turk T., Vogtmann H. (1990): Grundlagen der Kompostierung. EF-Verlag Berlin.
- Gözl-Huwe H., Simon W., Huwe B., van der Ploeg R.R. (1989): Zum jahreszeitlichen Nitratgehalt und zur Nitratauswaschung von landwirtschaftlich genutzten Böden in Baden-Württemberg. Z. Pflanzenemähr. Bodenkunde, 152, 273-280.
- Gysi Ch., Ryser J.-P., Candinas T. (1988): Wegleitung für die Anwendung von Kompost aus Garten- und Küchenabfällen und Anforderungen an die Kompostqualität. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil. Flugschrift Nr. 114.
- Heller, W. (1994): Mündliche Mitteilungen. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, Wädenswil.
- Jäger M., Reiss H., Rabausch H. (1992): Mietenkompostierung von Grüngut. Untersuchungen über die Möglichkeiten der Kompostierung von Grüngut aus Naturschutzgebieten unter Berücksichtigung von Rotteverlauf, Sickerwasseranfall, Bodenveränderungen sowie Organisation und Kostenstruktur. Diplomarbeit an der Fachhochschule Nürtingen, Fachbereich Landwirtschaft.
- Keller L. (1990): Methoden für die Beurteilung umweltschonender Bewirtschaftungstechniken in der Landwirtschaft. Nationales Forschungsprogramm Nutzung des Bodens in der Schweiz. Nr. 61. Liebefeld-Bern.
- LUFA Hameln (1993): Empfehlungen für die Grunddüngung mit Kalk, Phosphor, Kalium, Magnesium und Spurenelementen aufgrund von Bodenuntersuchungsergebnissen. Postfach 269, 30002 Hannover.
- Scheffer F. und Schachtschabel P. (1982): Lehrbuch der Bodenkunde. 11. Auflage. Enke Verlag Stuttgart.
- Scheller E. (1993): Die Stickstoffversorgung der Pflanze aus dem Stickstoffstoffwechsel des Bodens. Diss Gh Kassel. Verlag Josef Margraf, Hohenloherstr. 2, D-97990 Weikersheim.
- Schleiss K. (1990): Übersicht über die Kompostanlagen in der Schweiz. Abfall-spektrum 4/90.
- Schloemer S. (1993): Grundlagen und Messmethoden der biologischen Denitrifikation. In: Zakosek H. und Lenz F., Nitrat in Boden und Pflanze. Unter besonderer Berücksichtigung des Gemüsebaus. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Stauffer W. und Siegenthaler A. (1987): Die Rolle des Stickstoffes im Maisanbau. UFA-Revue 5/87.
- Stauffer W. und Enggist A. (1990): Einfluss von Gülleausbringtermin, Kultur und Wiesenumbbruch auf die Nitratauswaschung in einem Lysimeterversuch. Landwirtschaft Schweiz Band 3 (7): 373-379.
- Suter, D. (1993): Aspekte der Feldrandkompostierung. Eine junge Abfallbehandlungsart sucht einen sinnvollen Einsatzbereich. Abschlussarbeit des NDS „Umweltverträgliche Abfallbewirtschaftung“ ITR Rapperswil.
- Thaer, R. (1978): Probleme der aeroben Behandlung von Flüssigmist in flüssiger Phase. Grundl. Landtechnik Bd.28, Nr. 2.
- Wather U., Ryser J.-P., Flisch R., Siegenthaler A. (1987): Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau Zürich.
- Walther U., Jäggli F., Flisch R. (1992): Stickstoffdüngung im Ackerbau aufgrund des Nmin-Gehaltes des Bodens. Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau Zürich.
- Winkler A. (1990): Sickerwasseruntersuchung. Endbericht über das erste Untersuchungsjahr. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

Anhang Tab. 1: Temperatur, CO₂ und O₂ in den Kompostmieten während der Winter- und Sommerkompostierung

Temperatur		CO ₂			O ₂		
Wander- miete Grünabfall/ Mist	Jahres- miete Grünabfall/ Mist	Wander- miete Grünabfall/ Mist	Jahres- miete Grünabfall/ Mist	Wander- miete Grünabfall/ Mist	Jahres- miete Grünabfall/ Mist	Wander- miete Grünabfall/ Mist	Jahres- miete Grünabfall/ Mist
2.11.	31	25	2.11.	0	0	2.11.	21
9.11.	47	38	9.11.	0	0	9.11.	13-15
23.11.	38	24	23.11.	0	0-1	23.11.	14-17
30.11.	24	24	30.11.	1-3	0	30.11.	15-16
10.12.	25	24	10.12.	1	4	10.12.	14
21.12.	26	24	21.12.	1	6.5	21.12.	13-14
24.01.	21	24	24.01.	0-1	0-1	24.01.	14-16
15.02.	18	17	15.02.	0	0-1	15.02.	14-16
10.03.	7	14	10.03.	1	0-1	10.03.	15-16
31.03.	9	7	31.03.	1	0-1	31.03.	15-17
24.05.		9	24.05.		0		14-15
2.06.		50	2.06.		8	24.05.	5-12
14.06.		65	14.06.		6	2.06.	11-14
22.06.		56	22.06.		4-6	14.06.	10-20
27.06.		47	27.06.		1-2	22.06.	10-12
5.07.		65	5.07.		0	27.06.	8-14
6.07.		50	6.07.		1	5.07.	9-14
14.07.		52	14.07.		3-5	6.07.	10-15
		Wasser			4-6	14.07.	10-13
21.07.	53	Wasser	21.07.	5-7	5-6	21.07.	12-14
		45			3-6		10-13
2.08.	65	Wasser	2.08.	4-5	4-5	2.08.	11-15
9.08.	55	Wasser	9.08.	3-5	4-5	9.08.	10-12
		38			4-5		13-20
20.08.	51	35	20.08.	2-5	4-5	20.08.	17
26.08.	49	30	26.08.	3-4	4-5	26.08.	10-14
10.09.	45	30	10.09.	1-4	3-5	10.09.	12-14
15.09.	42	28	15.09.	1-3	3	15.09.	11-15
28.09.	39	27	28.09.	1-2	1	28.09.	10-15
5.10.	38	26	5.10.	2-3	0	5.10.	18
20.10.	31		20.10.	1-2	0	20.10.	16
25.10.	28		25.10.	0		25.10.	14-16
	2-3 mal						12-17
	Wasser						

Wasser = Bewässern der Mieten mit dem Druckfass

Anhang Tab. 2: Niederschlag und Sickerwasser Feldrandkompostierung Witterswil Nov 92 - Nov 93

Datum	Niederschlag Aesch	grösstes Ereignis	Winter		Winter		Sommer		Sommer	
			Grünabfall	Wanderermiete Grünabfall /Mist	Grünabfall	Wanderermiete Grünabfall /Mist	Grünabfall	Wanderermiete Grünabfall /Mist	Grünabfall	Wanderermiete Grünabfall /Mist
2.11.			Start	Start						
9.11.	8.0	5.0	0.0	1.6	Start	Start				
23.11.	91.1	23.0	13.7	13.7	13.7	13.7				
30.11.	32.6	13.4	3.5	13.7	10.5	13.1	Start			
10.12.	51.4	13.6	13.7	13.7	13.7	13.7	13.7			
21.12.	20.5	10.3	0.0	0.0	0.0	3.2	3.2			
24.01.	7.3	2.7	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0			
15.02.	19.5	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
10.03.	24.7	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
19.04.	58.9	10.0	11.6	7.9	12.6	4.2	4.2			
24.05.	56.5							Start		
2.06.	23.2	7.4				4.3	4.3	Start		
14.06.	28.3	11.6				13.1	13.1	7.9		
22.06.	25	11.8				13.7	13.7	6.8		
27.06.	33.2	32.3			Start	13.7	13.7	13.7	Start	
5.07.	0	0			0	0	0	0	0	
6.07.	39.2	39.2			13.2	13.4	13.4	4.5	3.2	
14.07.	43.3	18.9			13.7	13.7	13.7	13.7	0	
21.07.	20.4	8.6			0.5	2.6	2.6	2.1	0.4	
2.08.	12.8	7.8			13.1	9.7	9.7	4.2	3.4	
9.08.	19	19			13.7	13.7	13.7	13.1	3.7	
20.08.	16.9	9			6.1	12.1	12.1	13.7	1.1	
26.08.	40.5	23			13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	
10.09.	102.7	22.9			13.7	13.7	13.7	13.7	13.7	
15.09.	25.5	13.5			13.7	13.7	13.7	13.7	7.9	
28.09.	21.4	5.2			13.2	13.7	13.7	13.7	9.5	
5.10.	34.6	15			13.1	13.7	13.7	13.7	12.6	
20.10.	54.7	10.6			13.7	13.7	13.7	13.1	13.7	
25.10.	11.2	7.1			13.7	13.7	13.7	13.7	7.4	
S Winter	314		42.5	53.5	50.5	34.2	34.2	175	90.3	
S Sommer	551.9		42.5	53.5	167.2	205.9	205.9	175	90.3	
S Beide	865.9		42.5	53.5	217.7	240.1	240.1	175	90.3	
Verhältnis Sickersaft / Niederschlägen			14%	17%	16%	11%	11%	32%	16%	
Winter					30%	37%	37%			
Sommer										
S = Summe										

Anhang Tab. 3: Kompostanalysen Feldrandkompost Witterswil in % TS oder mg/kg TS

Winter		pH (H ₂ O)	pH (KCl)	TS %	OS %	Nkj %	NO ₃ -N mg/kg	NH ₄ -N mg/kg	C/N	P %	K %	Mg %	Ca %
Grünabfall	Jahresmiete	7.13	6.99	62.5	22.0	0.53	nb	nb	23.5	0.18	0.43	0.35	1.74
Grünabfall	Wandermiete	7.11	7.01	63.9	20.7	0.45	nb	nb	26.0	0.18	0.37	0.33	1.68
Grünabfall/Mist	Wandermiete	7.26	7.08	65.3	20.2	0.48	nb	nb	24.0	0.17	0.50	0.29	1.30
Grünabfall/Mist	Jahresmiete	7.30	7.09	64.7	19.6	0.49	nb	nb	22.8	0.19	0.46	0.31	1.23
Sommer		pH (H ₂ O)	pH (KCl)	TS %	OS %	Nkj %	NO ₃ -N mg/kg	NH ₄ -N mg/kg	C/N	P %	K %	Mg %	Ca %
Grünabfall	Jahresmiete	7.64	7.42	61.7	26.1	1.30	471	18	11.4	0.20	0.86	0.42	3.96
Grünabfall	Wandermiete	7.60	7.42	61.1	27.8	1.26	529	13	12.6	0.21	0.95	0.45	3.73
Grünabfall/Mist	Wandermiete	7.58	7.47	56.2	34.2	1.56	541	23	12.5	0.32	1.45	0.47	3.35
Grünabfall/Mist	Jahresmiete	7.64	7.43	59.4	30.8	1.46	559	9	12.0	0.24	1.19	0.53	4.40

Anhang Tab. 4 : Sickerwasserkonzentrationen Feldrandkompostierung Witterswil

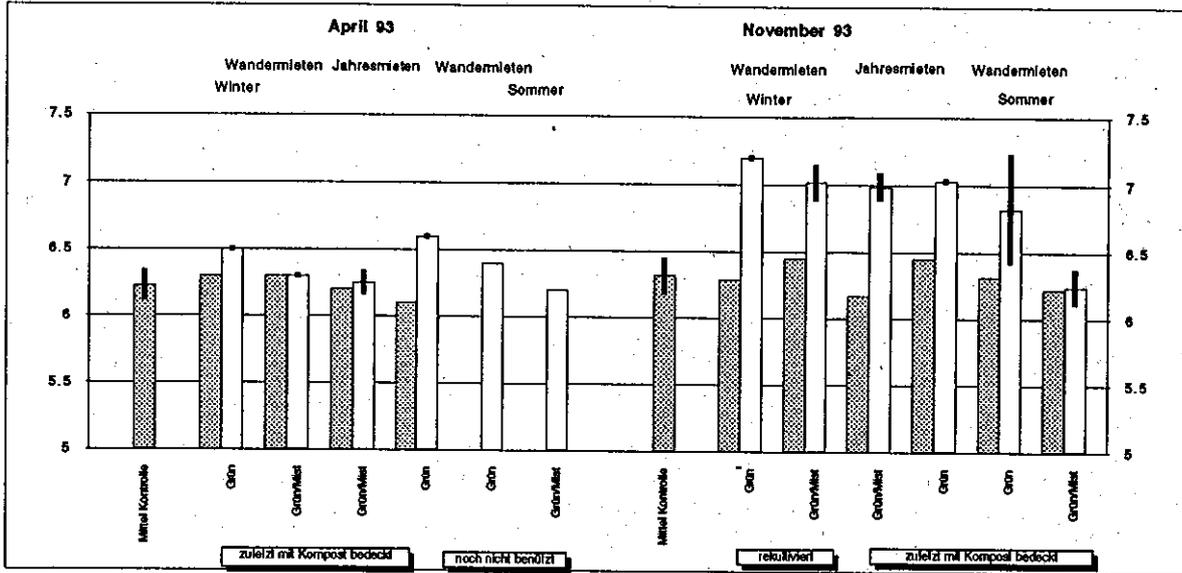
Sickerwasser Winter		pH	CSB mg O ₂ /l	C ppm	Ntot ppm	N-NO ₃ ppm	N-NH ₄ ppm	P ppm	K ppm	Mg ppm	Ca ppm
Grünabfall	Jahresmiete	7.22	411	165	1	0	1	-	172	42	306
Grünabfall	Wandermiete	7.19	131	53	2	0	2	-	74	26	217
Grünabfall	Jahresmiete	7.33	23	9	5	3	2	-	47	15	158
Grünabfall	Wandermiete	7.42	44	18	3	2	3	-	88	18	148
Grünabfall/Mist	Jahresmiete	7.77	901	360	9	3	6	-	359	49	350
Grünabfall/Mist	Wandermiete	7.31	572	229	4	0	2	-	269	46	297
Grünabfall/Mist	Jahresmiete	7.53	11	4	4	3	2	-	33	13	155
Grünabfall/Mist	Wandermiete	7.84	405	162	15	11	4	-	424	47	318
Mittelwerte Sickerwasser Winter											
Grünabfall		7.29	152	61	3	1	2	-	96	25	207
Grünabfall/Mist		7.61	472	189	8	4	3	-	272	39	280
1.-7. Woche		7.37	504	202	4	1	3	-	219	41	293
8.-24. Woche		7.53	121	48	7	5	3	-	148	23	195
Sickerwasser Sommer											
Grünabfall	Jahresmiete	7.91	575	230	77	12	17	6	462	32	200
Grünabfall	Wandermiete	8.38	293	117	61	16	14	2	256	24	166
Grünabfall	Jahresmiete	8.29	282	113	51	18	5	4	397	29	163
Grünabfall	Wandermiete	8.22	380	152	72	34	10	4	426	29	173
Grünabfall/Mist	Jahresmiete	7.75	1476	590	164	4	47	11	1076	63	263
Grünabfall/Mist	Wandermiete	8.05	1183	473	100	10	19	9	1121	45	226
Grünabfall/Mist	Jahresmiete	8.21	662	265	111	44	7	8	783	38	180
Grünabfall/Mist	Wandermiete	8.32	130	52	38	20	6	1	252	30	151
Mittelwerte Sickerwasser Sommer											
Grünabfall		8.20	383	153	65	20	11	4	385	29	176
Grünabfall/Mist		8.08	863	345	103	19	20	7	808	44	205
Erste 9-13 Wochen		8.02	882	353	100	10	24	7	729	41	214
Zweite 9-14 Wochen		8.26	364	146	68	29	7	4	464	32	167

Anhangtabelle: 6 pH Wasser

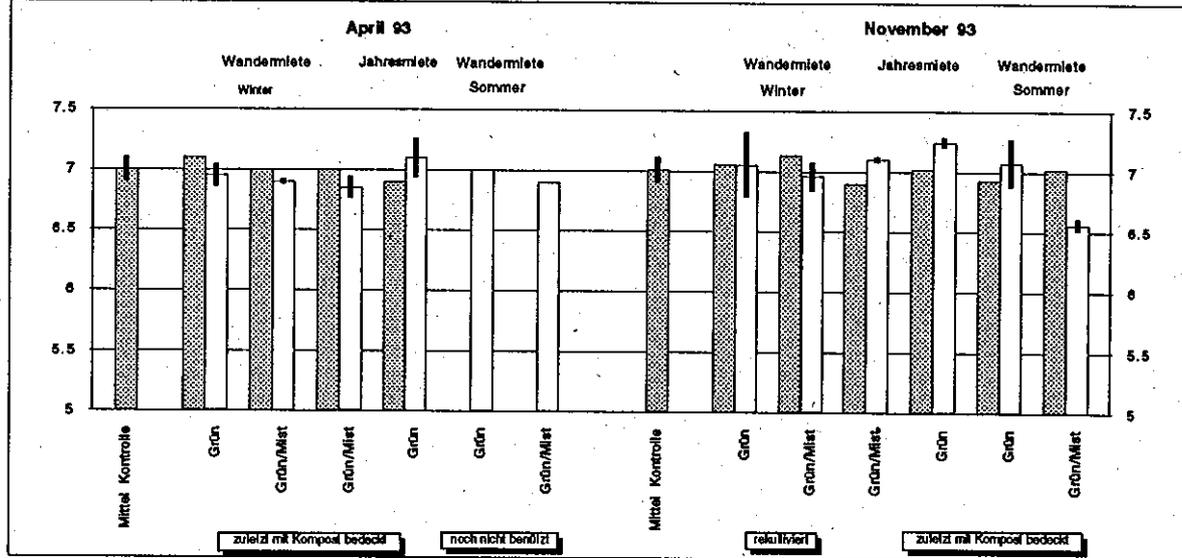
Rohdaten in derselben Anordnung wie auf dem Feld.

Schraffiert: Kontrollparzellen (n=1; Mittel Kontrolle n=6)
 Hell: Mietenparzellen plus/minus Streuung (n=2)

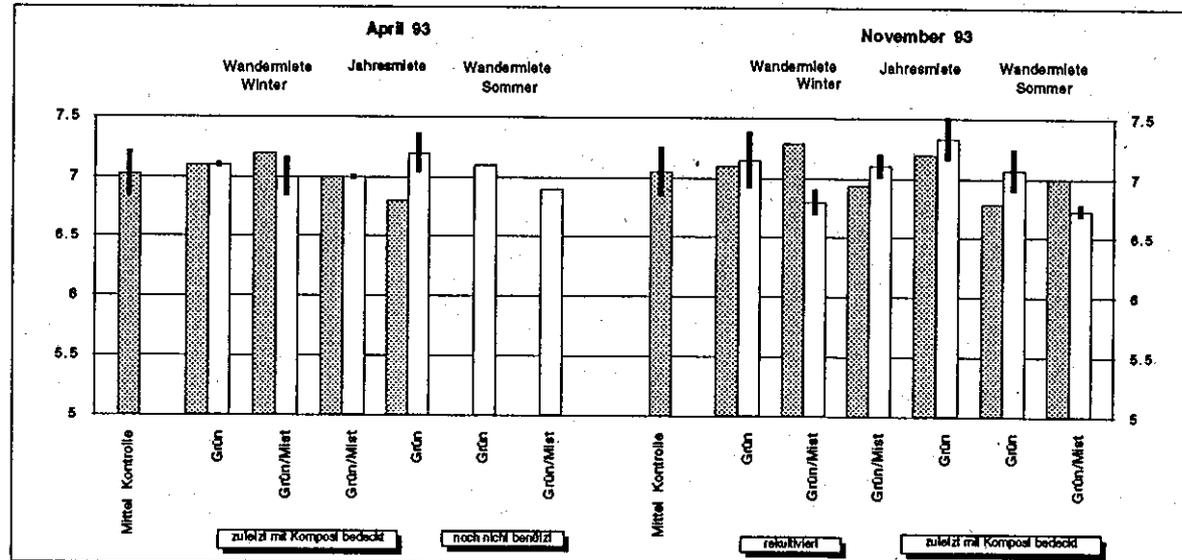
0-30cm



30-60cm



60-90cm

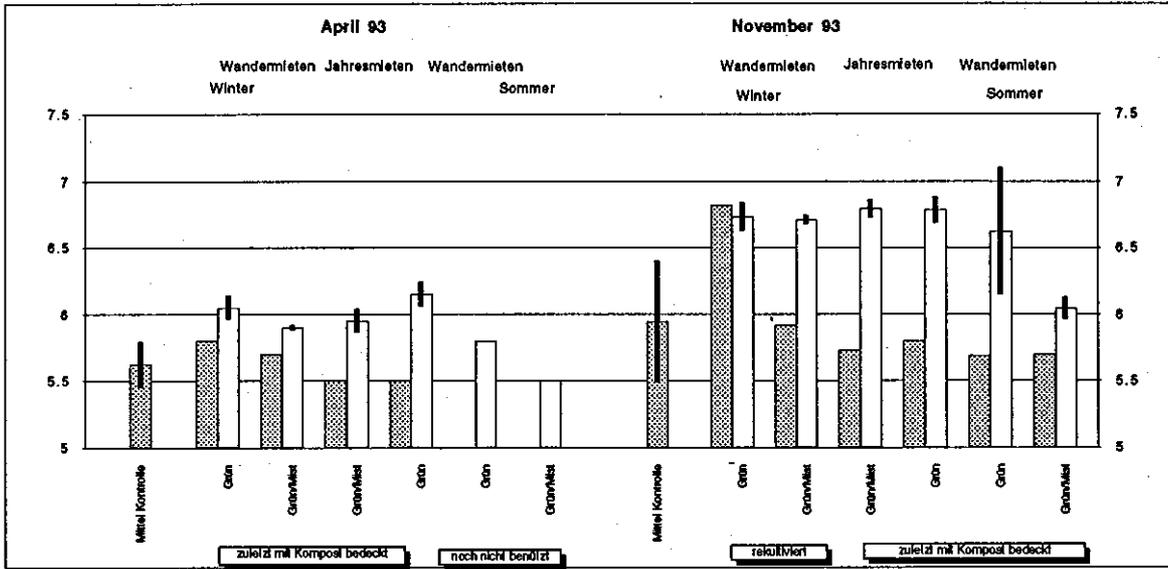


Anhangtabelle: 6 pH KCl

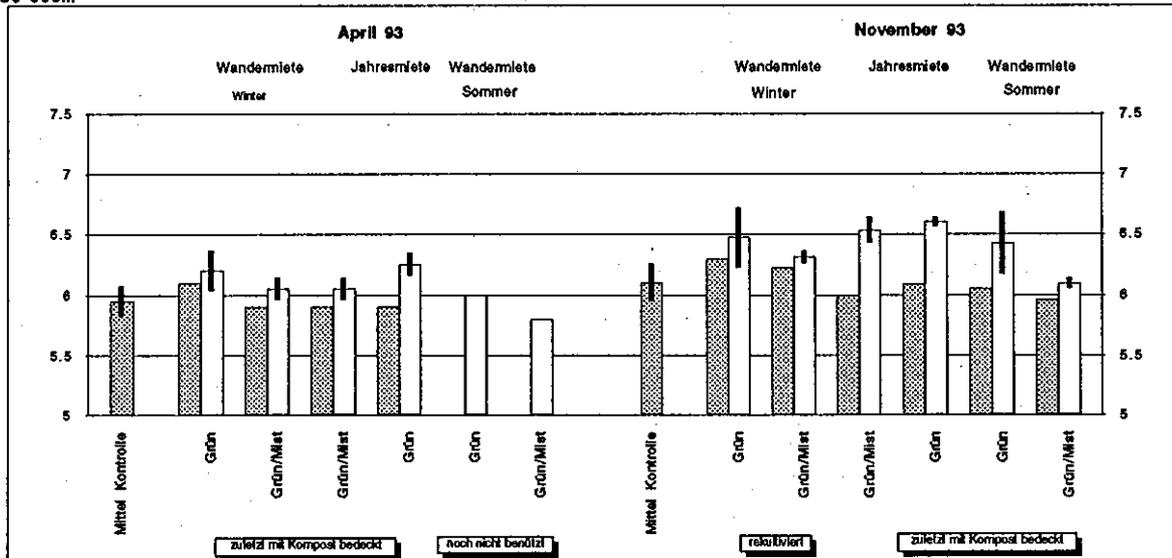
Rohdaten in derselben Anordnung wie auf dem Feld.

Schraffiert: Kontrollparzellen (n=1; Mittel Kontrolle n=6)
 Hell: Mietenparzellen plus/minus Streuung (n=2)

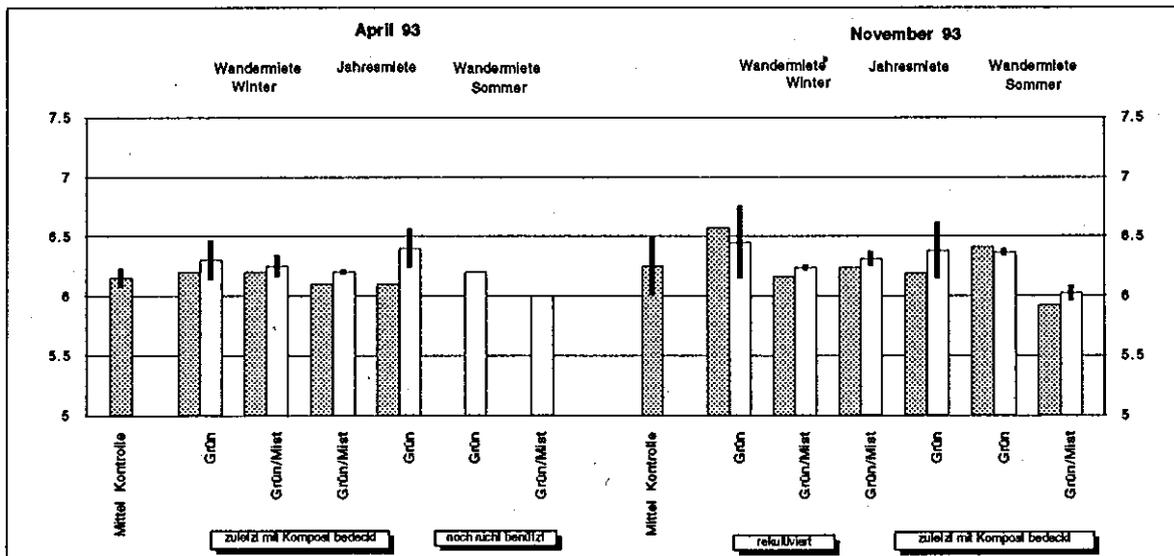
0-30cm



30-60cm



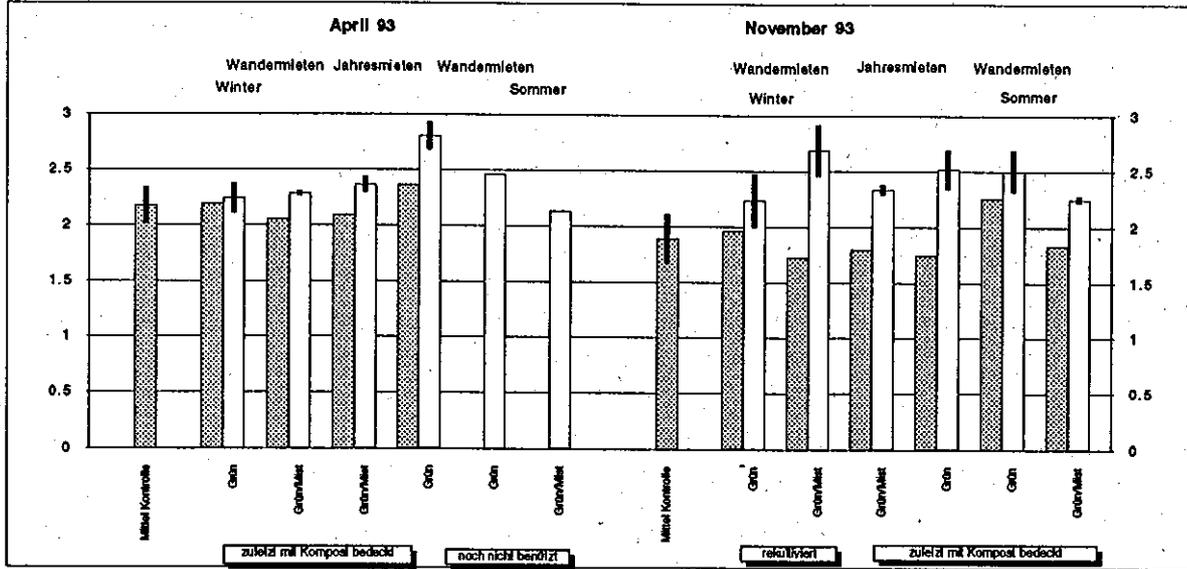
60-90cm



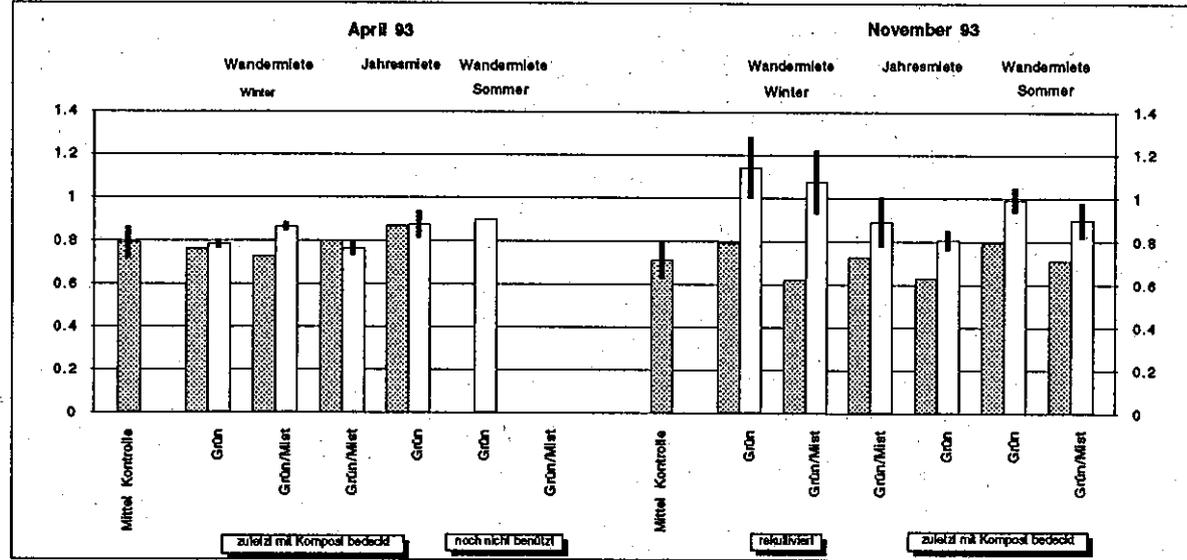
Rohdaten in derselben Anordnung wie auf dem Feld.

Schraffiert: Kontrollparzellen (n=1; Mittel Kontrolle n=6)
 Hell: Mietenparzellen plus/minus Streuung (n=2)

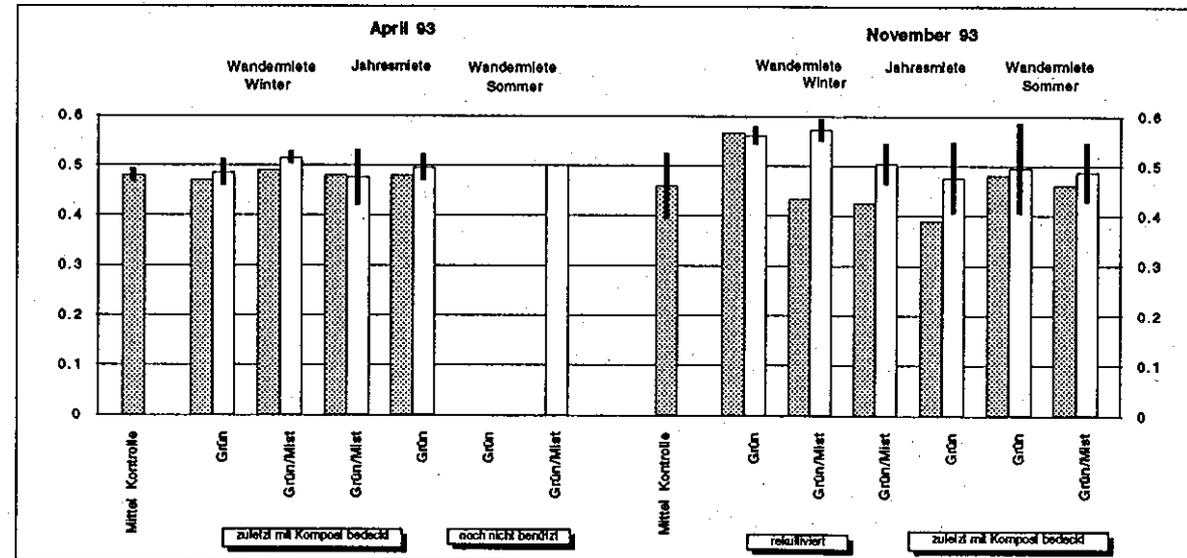
0-30cm



30-60cm



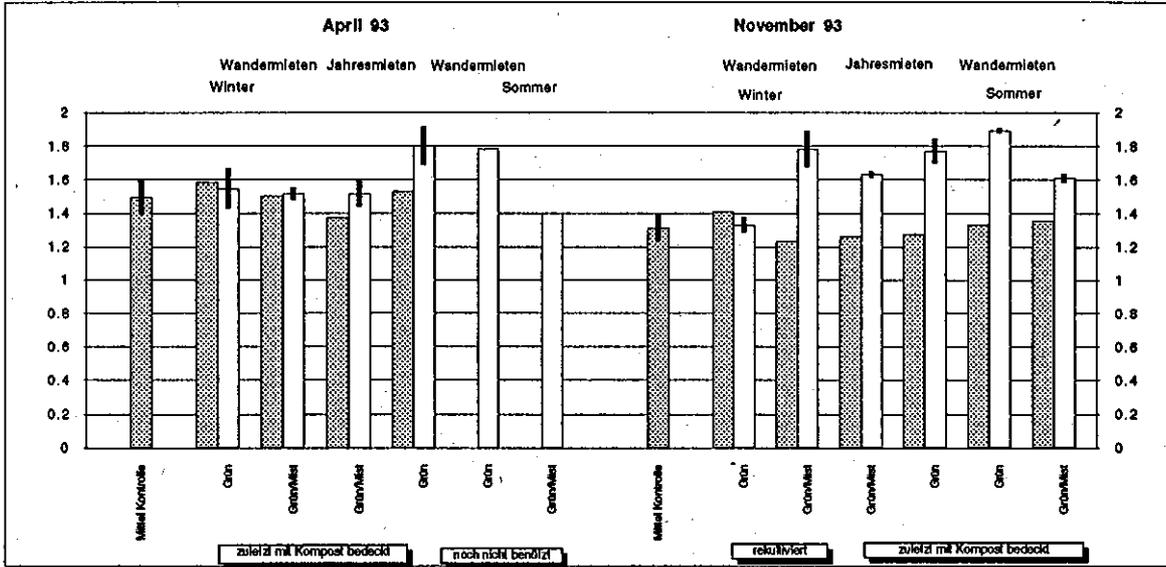
60-90cm



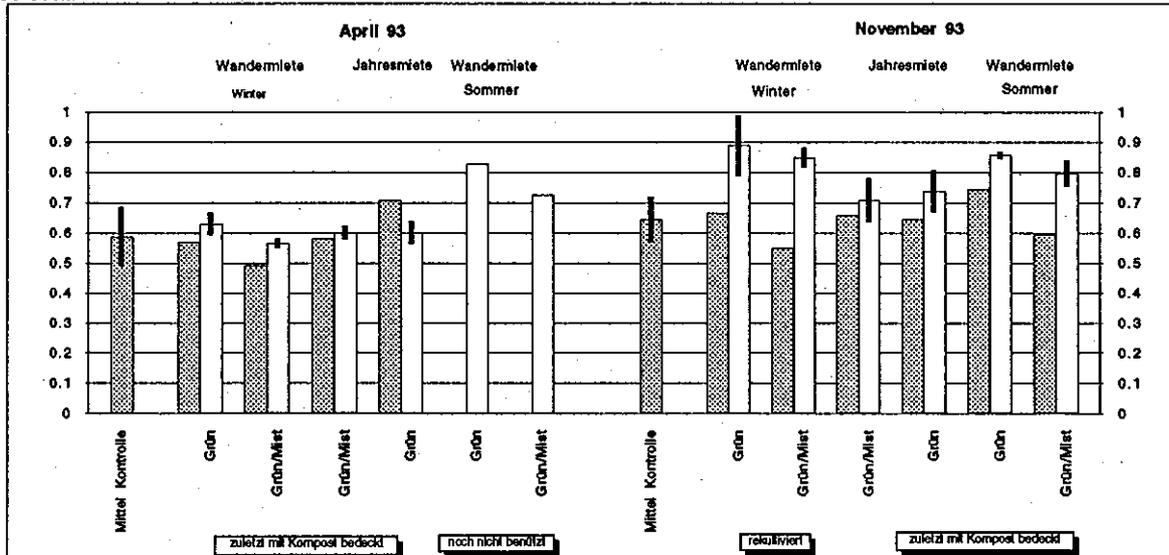
Rohdaten in derselben Anordnung wie auf dem Feld.

Schraffiert: Kontrollparzellen (n=1; Mittel Kontrolle n=6)
 Hell: Mietenparzellen plus/minus Streuung (n=2)

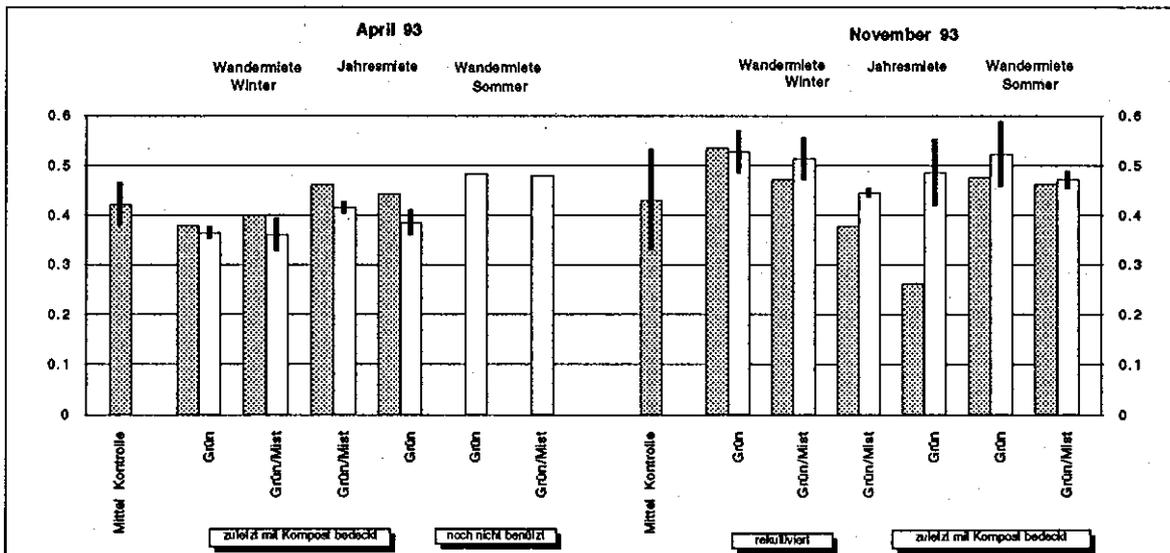
0-30cm



30-60cm



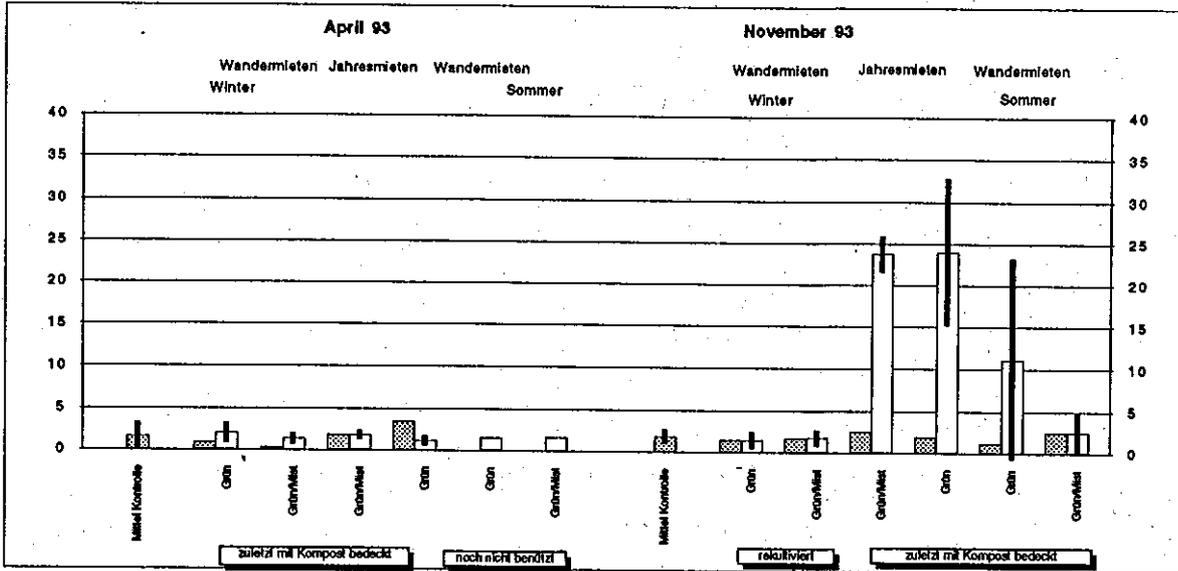
60-90cm



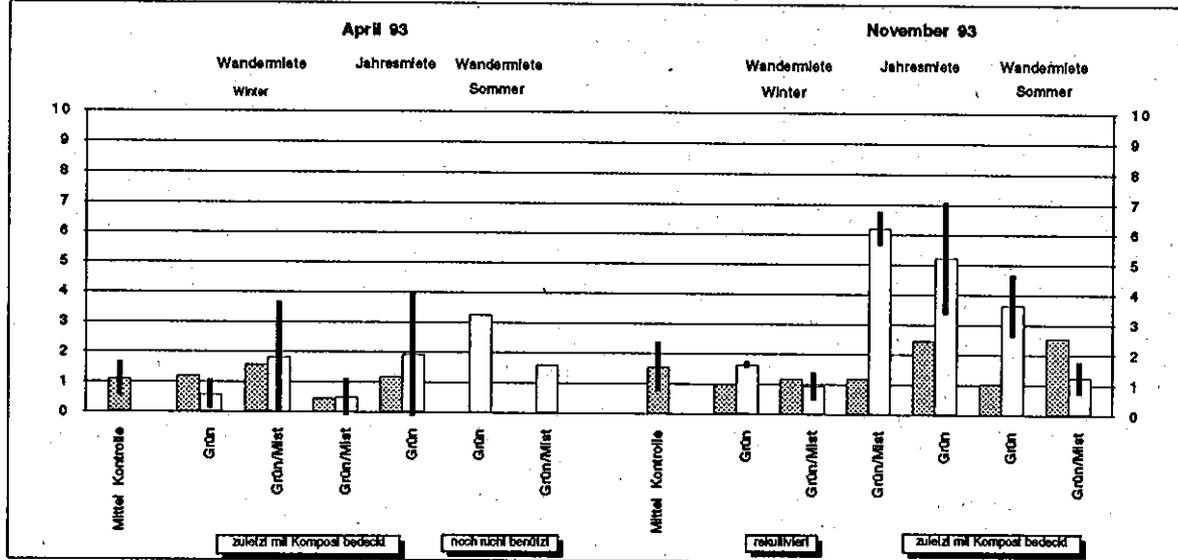
Rohdaten in derselben Anordnung wie auf dem Feld.

Schraffiert: Kontrollparzellen (n=1; Mittel Kontrolle n=6)
 Hell: Mietenparzellen plus/minus Streuung (n=2)

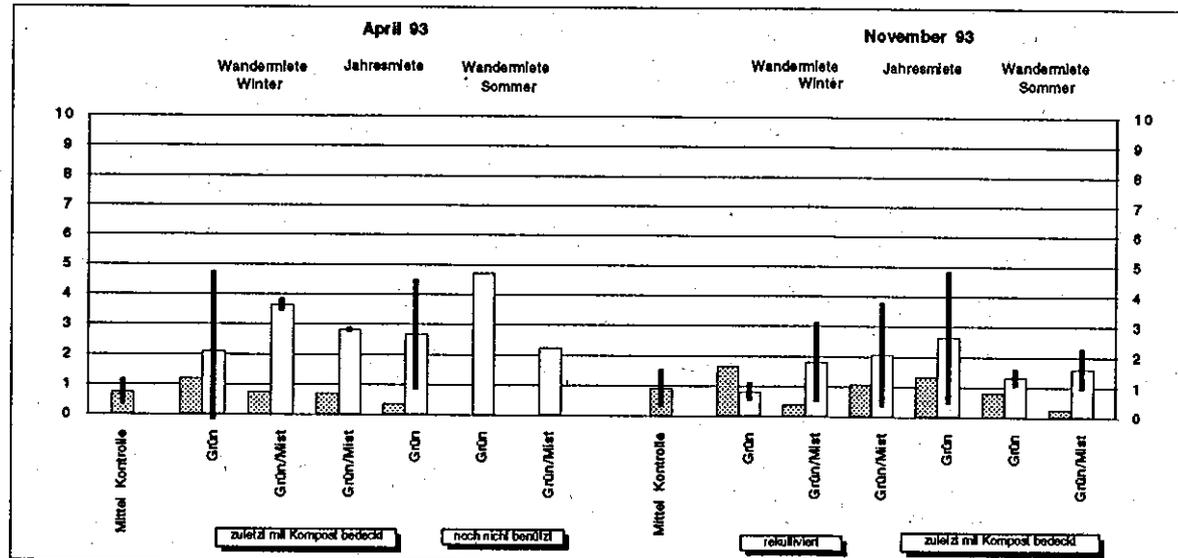
0-30cm



30-60cm



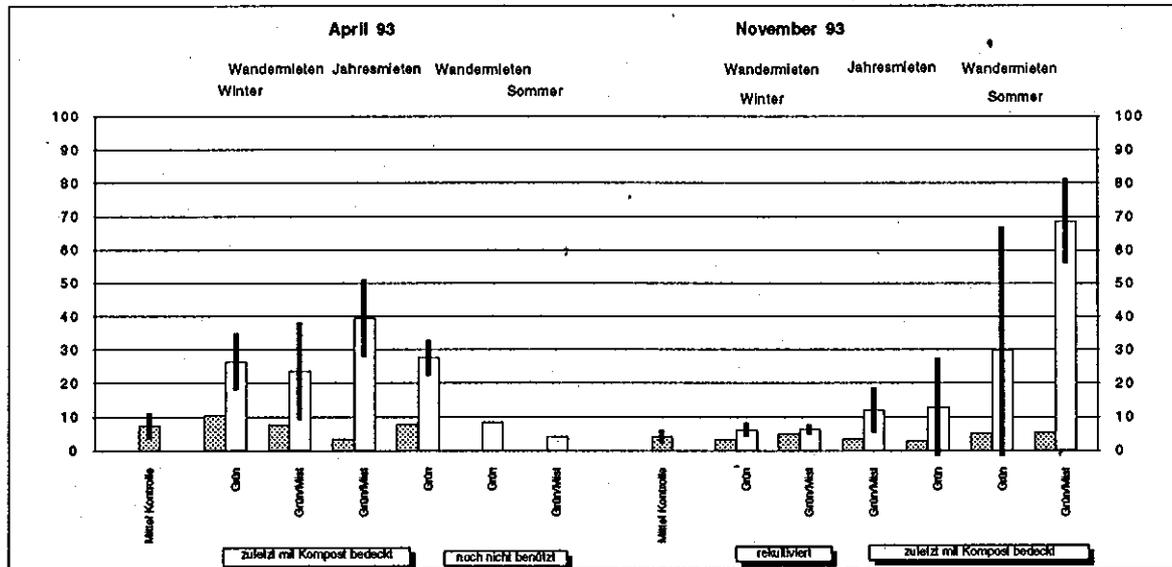
60-90cm



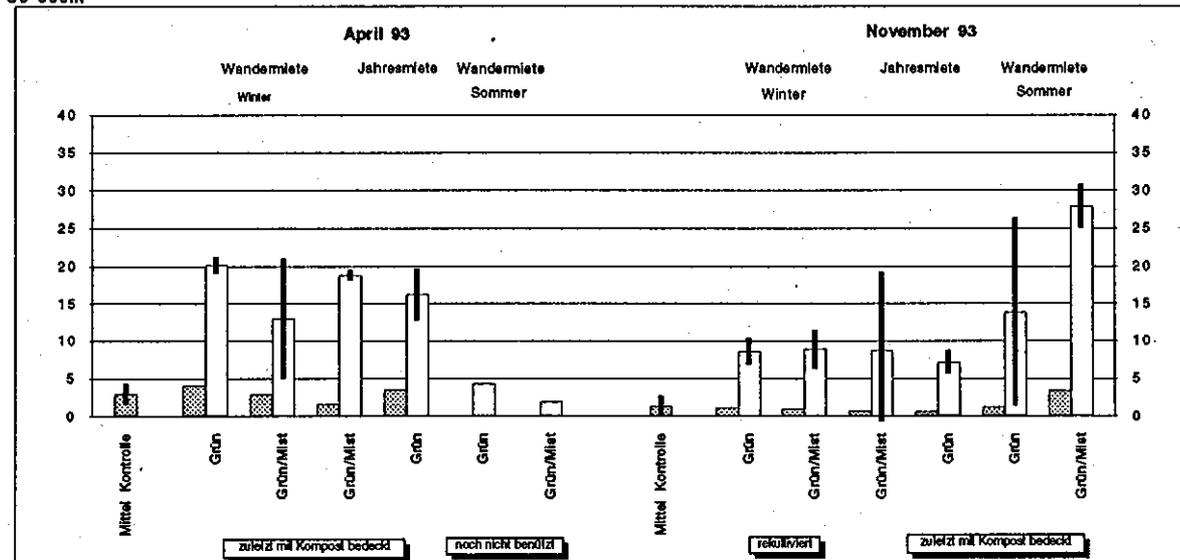
Rohdaten in derselben Anordnung wie auf dem Feld.

Schraffiert: Kontrollparzellen (n=1; Mittel Kontrolle n=6)
 Hell: Mietenparzellen plus/minus Streuung (n=2)

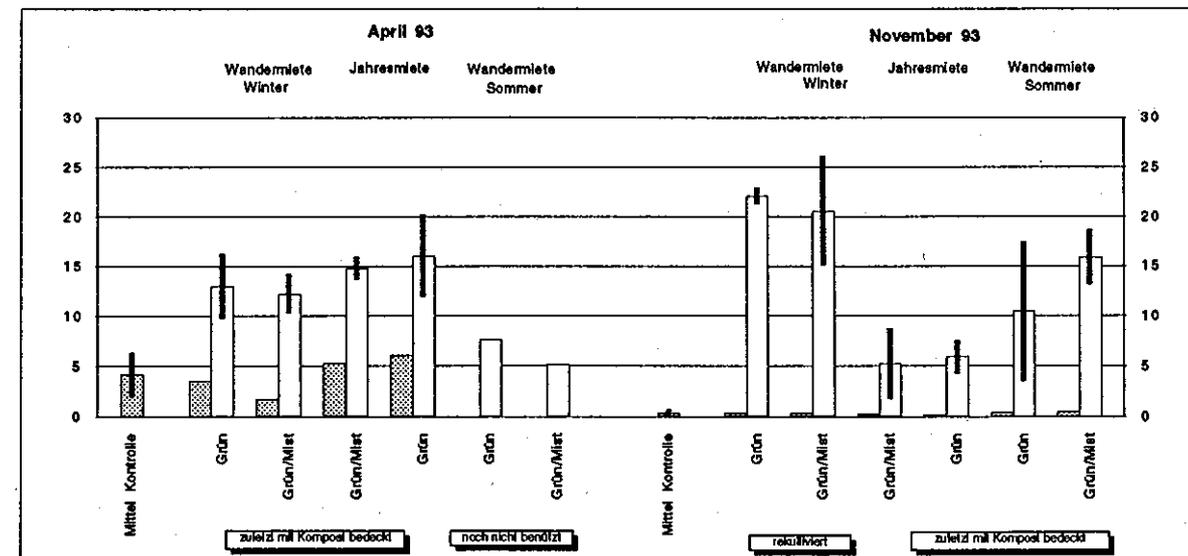
0-30cm



30-60cm



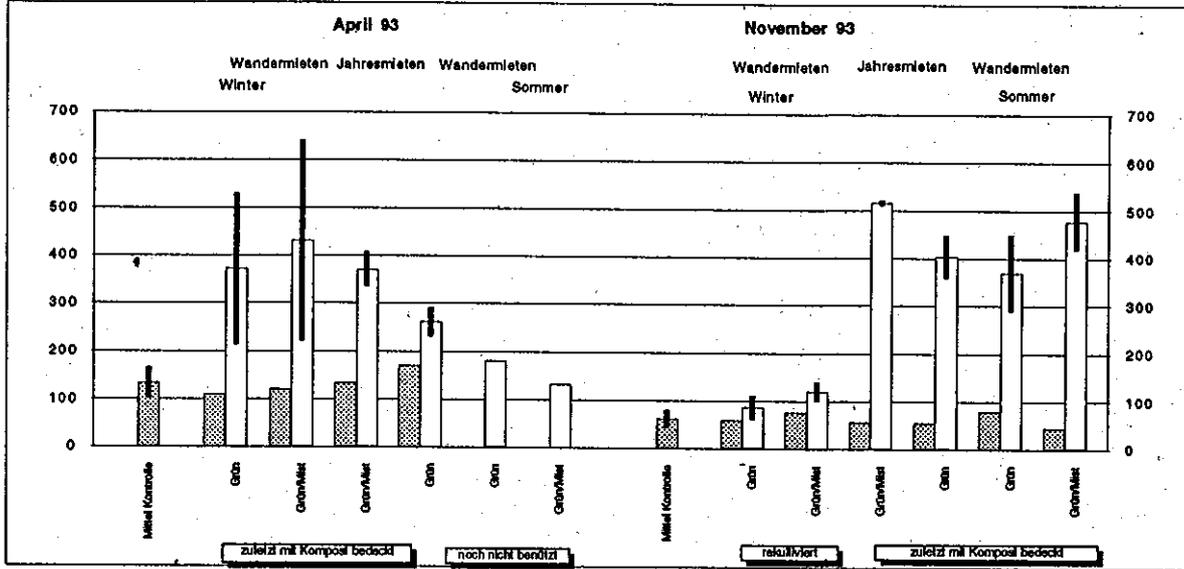
60-90cm



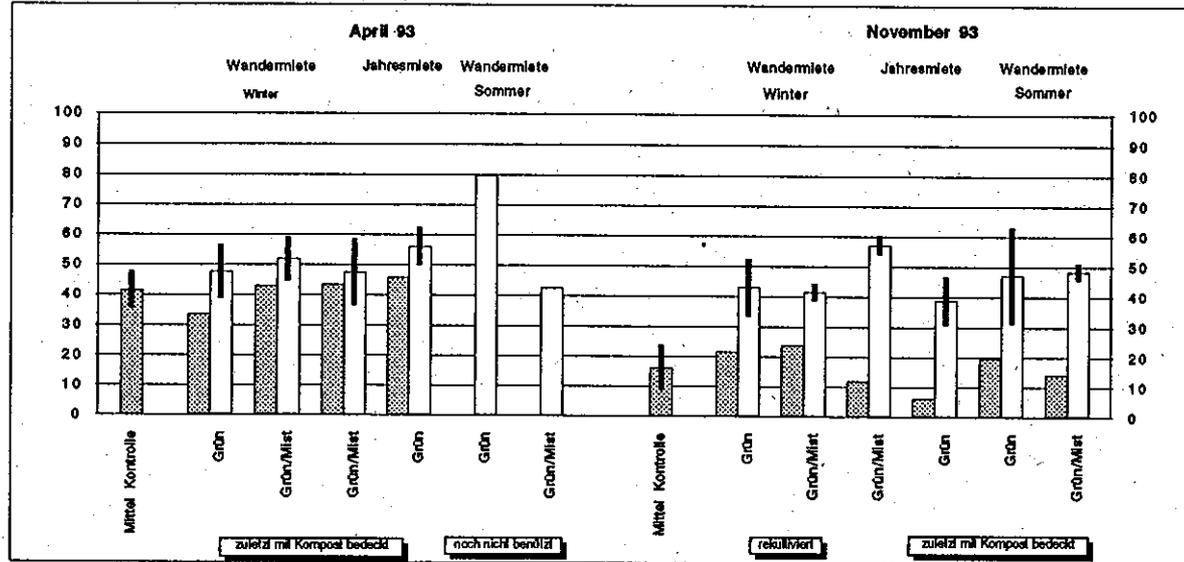
Rohdaten in derselben Anordnung wie auf dem Feld.

Schraffiert: Kontrollparzellen (n=1; Mittel Kontrolle n=6)
 Hell: Mietenparzellen plus/minus Streuung (n=2)

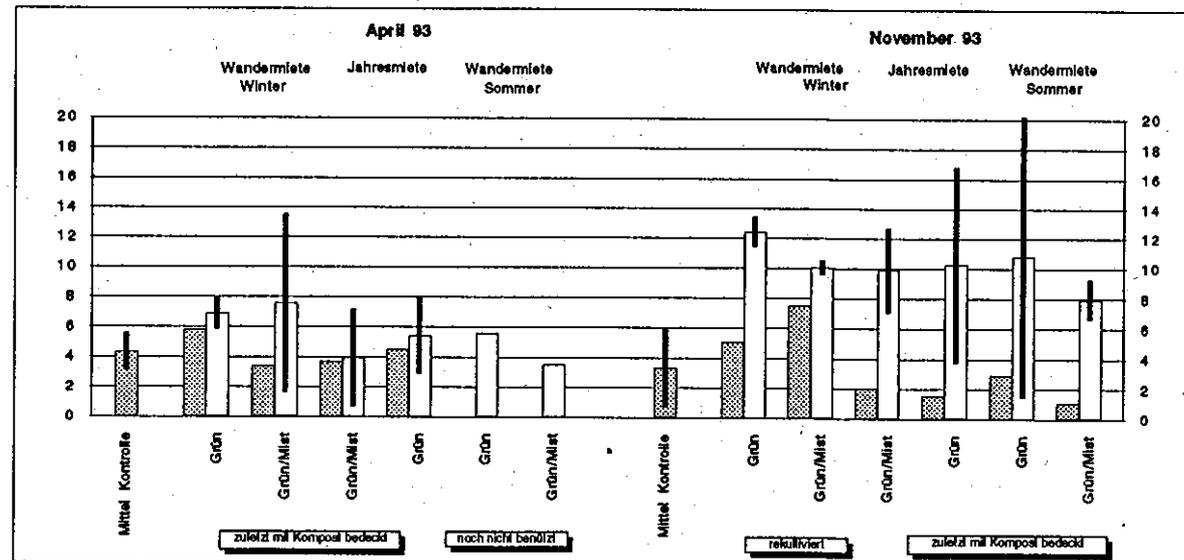
0-30cm



30-60cm



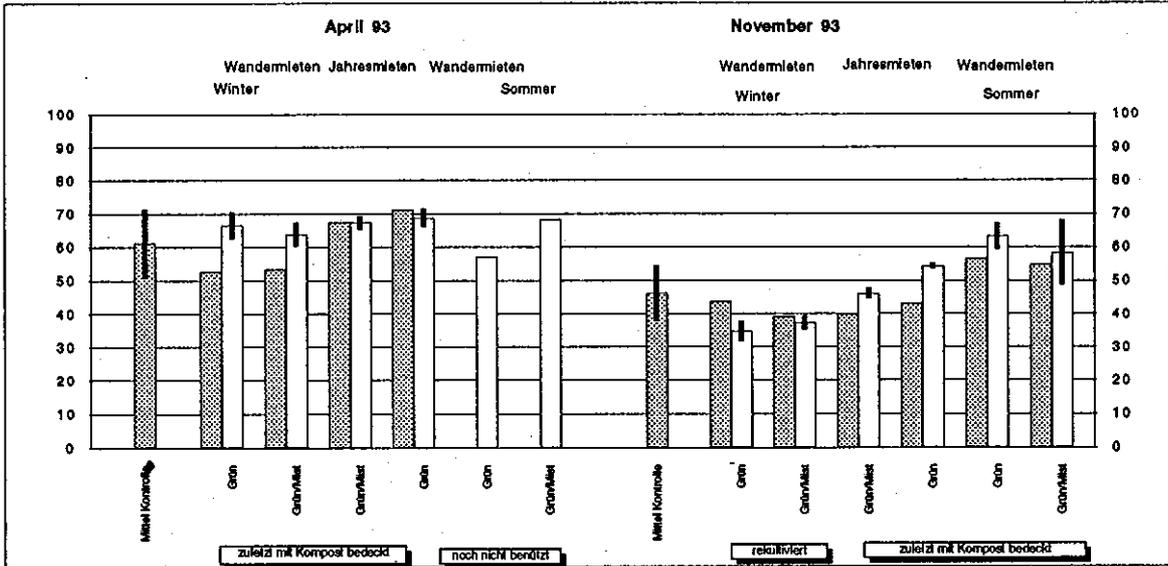
60-90cm



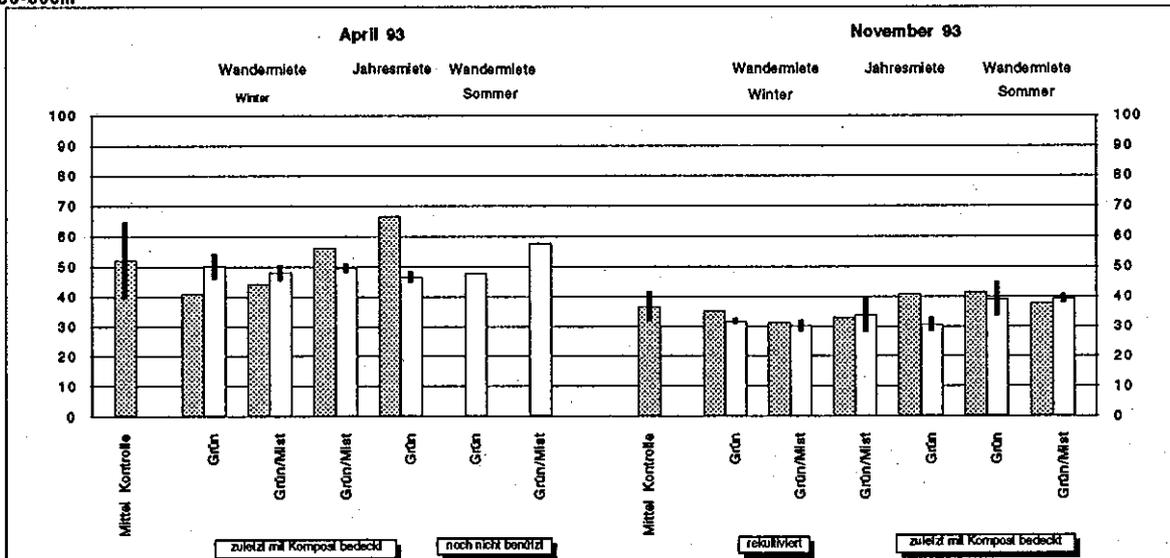
Rohdaten in derselben Anordnung wie auf dem Feld.

Schraffiert: Kontrollparzellen (n=1; Mittel Kontrolle n=6)
 Hell: Mietenparzellen plus/minus Streuung (n=2)

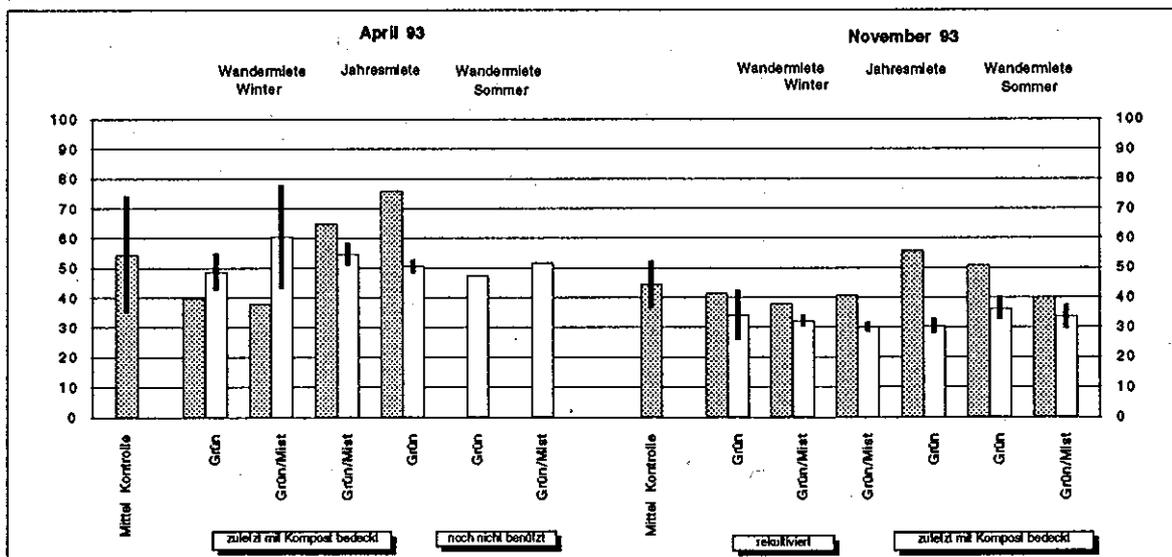
0-30cm



30-60cm



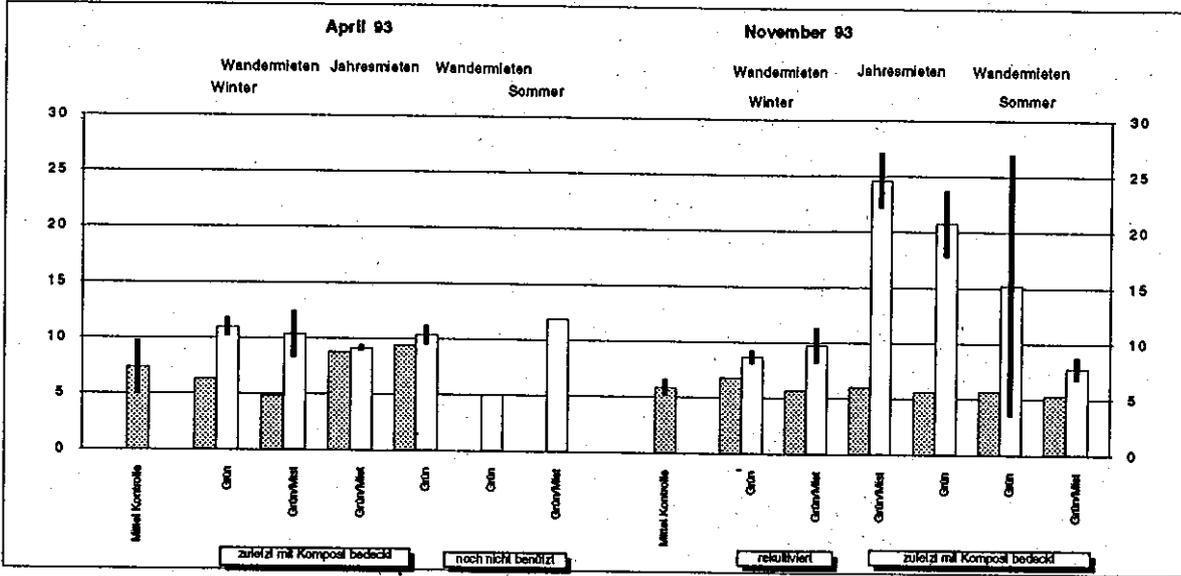
60-90cm



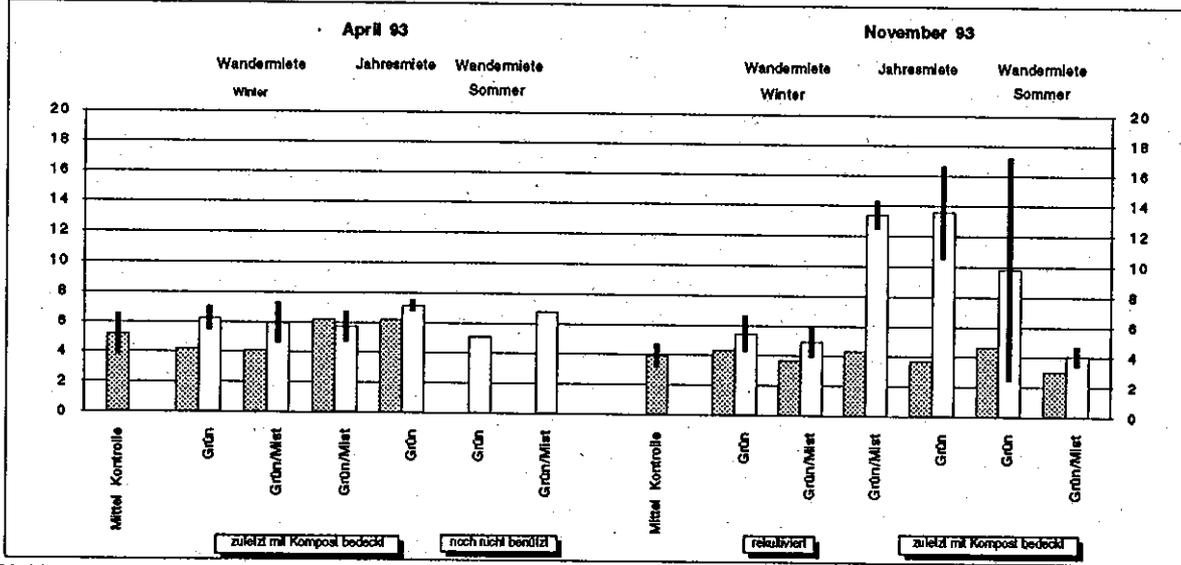
Rohdaten in derselben Anordnung wie auf dem Feld.

Schraffiert: Kontrollparzellen (n=1; Mittel Kontrolle n=6)
 Hell: Mietenparzellen plus/minus Streuung (n=2)

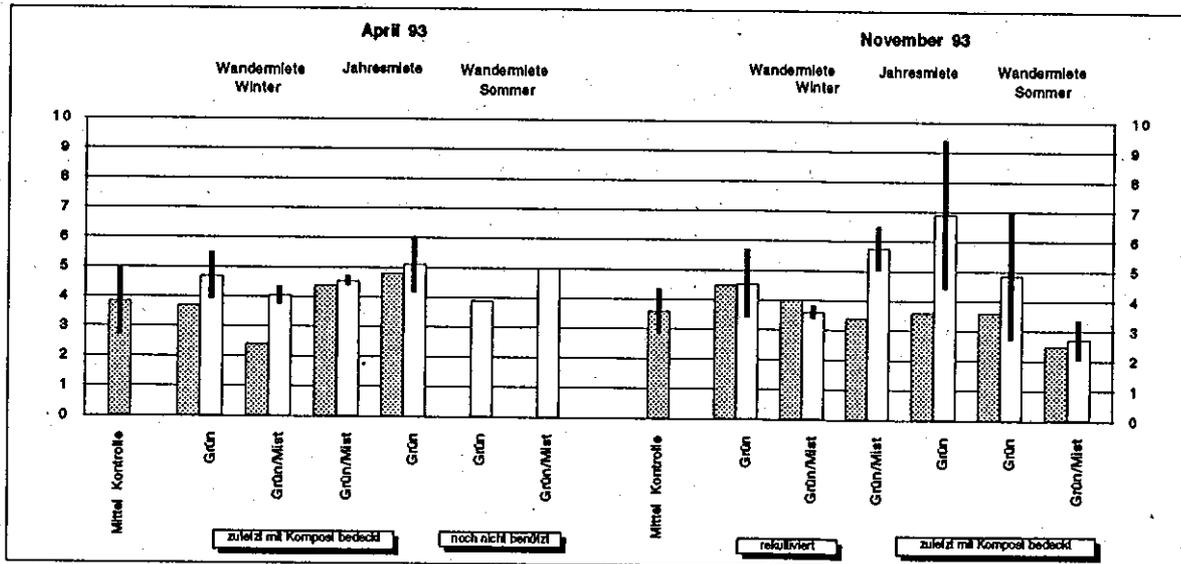
0-30cm



30-60cm



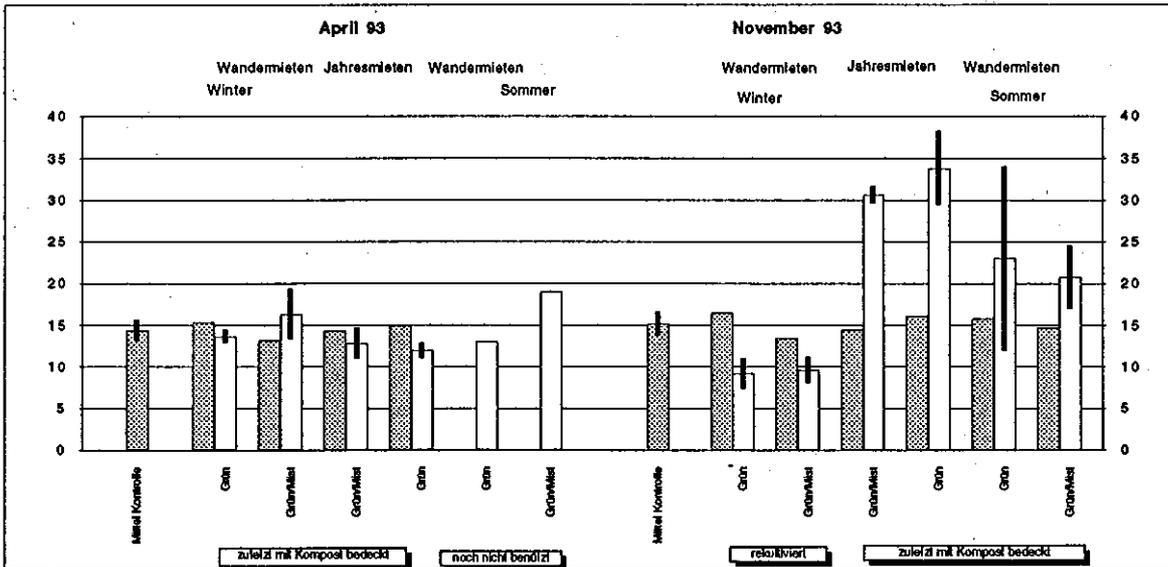
60-90cm



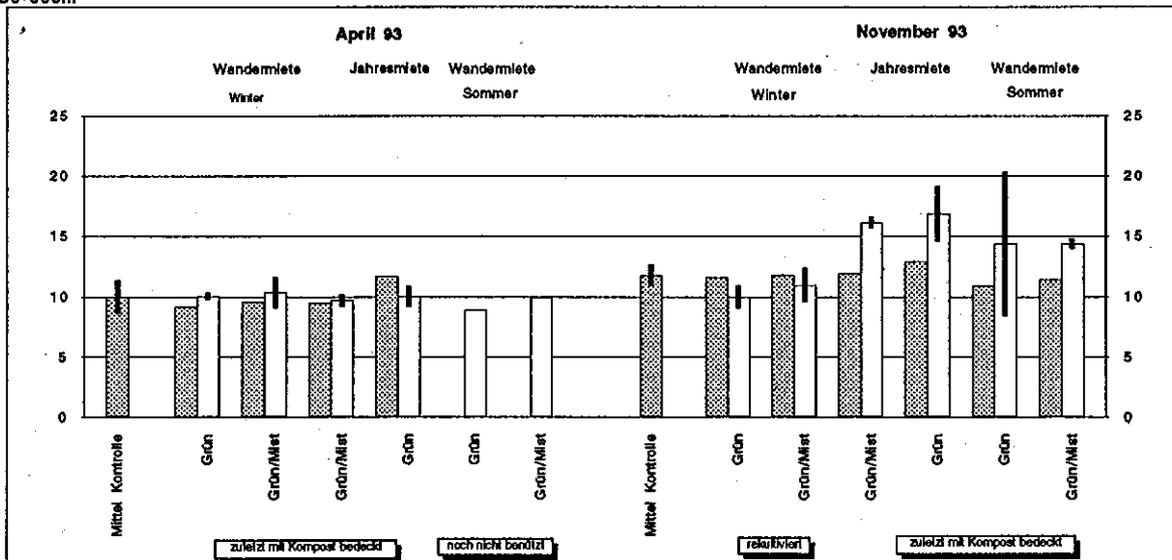
Rohdaten in derselben Anordnung wie auf dem Feld.

Schraffiert: Kontrollparzellen (n=1; Mittel Kontrolle n=6)
 Hell: Mietenparzellen plus/minus Streuung (n=2)

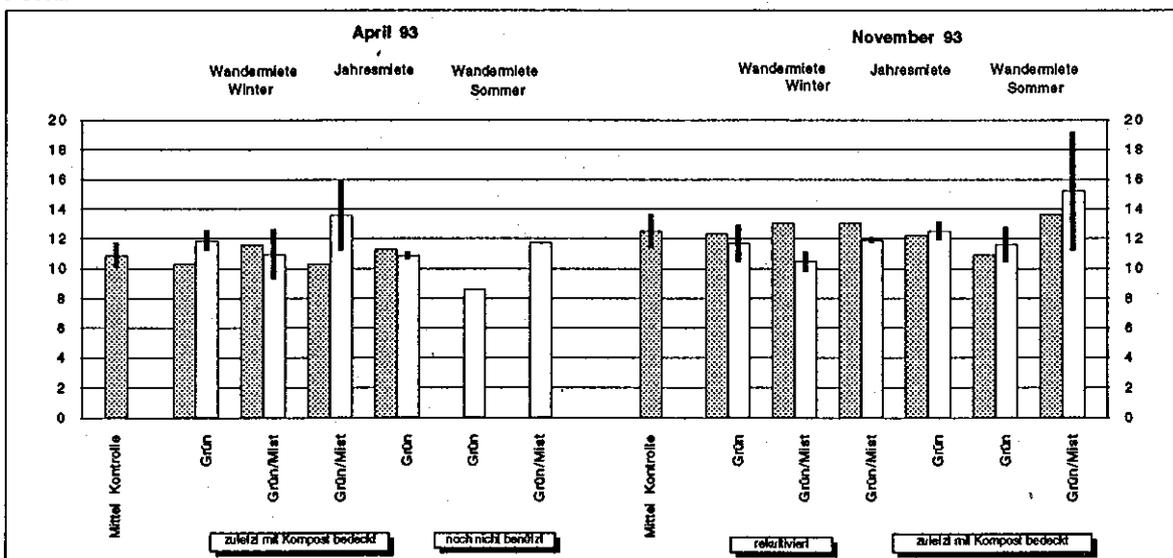
0-30cm



30-60cm



60-90cm



LBL Gesamtbetrieblicher Nährstoffhaushalt

April 1993 (3. Aufl.)
(bilanziert nach Pflanzenbedarf und Nährstoffanfall)

Name: Matter August Adresse: Zohracker Telefon: 061/721 18 42
 PLZ, Ort: 4108 Wittenswil Zone: Tal Höhe ü. Meer: 741 m Landw. Nutzfläche: 17,6 ha Jahr: 1993

Formular A: Nährstoffbedarf der Kulturen

Bedarf der Acker- und Spezialkulturen	Fläche ha	Ertrag d/ha	Menge dt total	Nährstoffbedarf in kg pro dt (oder ha) ¹⁾				Nährstoffbedarf in kg pro Jahr				
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	
Weizen (ohne Stroh)		Kö		2.4	1.00	0.90	0.17					
Gerste (ohne Stroh)	<u>1,14</u>	Kö	<u>58</u>	1.9	1.05	0.85	0.19	<u>110</u>	<u>61</u>	<u>49</u>	<u>11</u>	
Roggen (ohne Stroh)		Kö		1.8	0.85	0.80	0.10					
Hafer (ohne Stroh)	<u>0,98</u>	Kö	<u>47</u>	1.7	0.90	0.75	0.10	<u>80</u>	<u>42</u>	<u>35</u>	<u>5</u>	
Raps (ohne Stroh)		Kö		3.0	2.10	1.45	0.30					
Körnermais (ohne Stroh)		Kö		1.4	0.85	1.20	0.18					
Kartoffeln		Kn		0.23	0.17	0.50	0.04					
Zuckerrüben (ohne Kraut)		Rü		0.12	0.09	0.10	0.04					
Vom Betrieb weggeführtes Weizenstroh ²⁾ mit 88 %TS		TS		0	0.25	1.2 ³⁾	0.08					
Vom Betrieb weggeführtes Rübenblatt mit 15 %TS		TS		0.40	0.55	3.40	0.47					
A1: Zwischentotal Acker- und Spezialkulturen								A1	<u>190</u>	<u>103</u>	<u>84</u>	<u>16</u>

Bedarf für die Grundfutterproduktion	Fläche ha	Feldertrag dt TS/ha	Menge total dt TS	Nährstoffbedarf in kg pro dt				Nährstoffbedarf in kg pro Jahr				
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	
Magerwiesen, Riedwiesen (10-30) ⁴⁾	<u>0,73</u>	<u>20</u>	<u>14,6</u>									
Wiesland mit Düngeverbot												
Wenig intensive Wiesen und Weiden 1-3 Nutzungen (25-65) ⁴⁾				0.60	0.60	1.50	0.25					
Mittelintensive Wiesen und Weiden 1-4 Nutzungen (35-100) ⁴⁾	<u>2,97</u>	<u>70</u>	<u>208</u>	1.00 ⁵⁾	0.70	2.00	0.25	<u>208</u>	<u>146</u>	<u>416</u>	<u>52</u>	
Sehr intensive Wiesen und Weiden 2-6 Nutzungen (55-135) ⁴⁾	<u>8,45</u>	<u>100</u>	<u>845</u>	1.20	0.80	2.40	0.25	<u>1014</u>	<u>676</u>	<u>2028</u>	<u>211</u>	
Zwischenfutter und/oder Aegstlen 1-2 Schnitte (25-50) ⁴⁾	<u>3,98</u>	<u>35</u>	<u>139</u>	1.20	0.80	2.40	0.25	<u>167</u>	<u>111</u>	<u>334</u>	<u>35</u>	
Silomais (70-170) ⁴⁾	<u>3,33</u>	<u>170</u>	<u>566</u>	0.75	0.65	1.60	0.20	<u>424</u>	<u>367</u>	<u>906</u>	<u>113</u>	
Futterrüben (ohne Kraut) (100-170) ⁴⁾				0.45	0.50	0.35	0.10					
Verfüllertes Weizenstroh ²⁾ (nur betriebselgenes) mit 88% TS				0	0.25	1.20 ³⁾	0.08					
Verfüllertes Rübenblatt (nur betriebselgenes) mit 15% TS				0.40	0.55	3.40	0.47					
A2: Zwischentotal Grundfutterproduktion Total dt TS								A2	<u>1813</u>	<u>1300</u>	<u>3684</u>	<u>263</u>

A = A1 + A2 Gesamttotal Nährstoffbedarf Betrieb	2003	1403	3768	279
--	-------------	-------------	-------------	------------

Nährstoffzustand des Bodens
 Anteil der Landw. Nutzfläche in den Versorgungsklassen:
 Phosphor A: _____ % B: _____ % C: _____ % D: _____ % E: _____ %
 Kali A: _____ % B: _____ % C: _____ % D: _____ % E: _____ %
 Magnesium A: _____ % B: _____ % C: _____ % D: _____ % E: _____ %
 (arm) (mässig) (genügend) (Vorrat) (angereichert)

Kontrollrechnung zur Grundfutterproduktion

Gesamter Grundfutter- Feldertrag auf dem Betrieb (A2) 1793 dt TS

[-] abzüglich Lagerungs- und Krippenverluste, 5% von A2 88 dt TS

[-] abzüglich verkauftes Grundfutter, netto _____ dt TS

[+] zuzüglich zugekauftes Grundfutter (inkl. Stroh zum Verfüttern) und betriebselgene verfüllerte Kartoffeln, Zuckerrüben, Rübenschnitzel und CCM, netto _____ dt TS

[=] Pro Jahr verfügbare Grundfuttermenge auf dem Betrieb. 1685 dt TS

[-] Abzüglich Grundfutterverzehr auf dem Betrieb (B1 aus Formular B) 1501 dt TS

[=] Grundfutterbilanz für den gesamten Betrieb 184 dt TS

Kraftfuttereinsatz bei Milchkühen
27 kg verfüllertes Kraftfutter pro Rinder - GVE und Jahr

Legende:

1) gemittelter Ertrag im Durchschnitt von 3 Jahren

2) Für Spezialkulturen, vgl. Wegleitung

3) K₂O-Bedarf: für Gerstenstroh = 1.9 kg pro dt TS
für Haferstroh = 2.4 kg pro dt TS

4) Mögliche Ertragsspanne: dt TS/ha (je nach Standort und Bestandeszusammensetzung)

5) Maitenklees- und Luzernemischungen: N-Bedarf = 0

Formular B: Verfügbare Nährstoffe (aus Hofdüngeranfall und zugeführten Düngern)

Tierart bzw. Tierplatzkategorie	Einheit	Anzahl Tiere, Plätze	Abzug, Zuschlag	Anzahl korrigiert	Grundfutterverzehr		Nährstoffanfall je Einheit und Jahr				Nährstoffanfall pro Jahr			
					pro Tag kg TS	pro Jahr dt TS	kg N _{tot}	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg Mg	kg N _{tot}	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg Mg
Werte bei Bedarf gemäss Wegleitung korrigieren														
Standard-Milchkühe 600 kg, ø 5000kg Jahresmilch	Stück	22			13.0	1124	105	35	180	12	2530	847	3960	264
Anderer Kühe	Stück													
Anderer Kühe	Stück													
Aufzuchtrinder	1. Jahr	Stück	5		3.0	55	26	9	50	4.0	130	45	250	20
	2. Jahr	Stück	5		6.0	110	42	14	75	5.0	210	70	375	25
	3. Jahr	Stück	1		10.0	37	63	21	110	7.0	63	21	110	7
Mütter- bzw. Ammenkühe	Stück				11.0		84	28	144	10.0				
Mutterkuhkälber (bis 10 Mte.)	Stück				1.2		18	6	22	1.2				
Mastkälberplätze	Platz	3					12	3	6	0.4	36	9	18	1
Rindviehmastplätze:														
- Vormast bis 125 kg	Platz				0.3		8	2	7	0.8				
- 125 - 500 kg	Platz				4.5		35	17	36	4.0				
Pferde	Stück	6			8.0	175	60	28	110	8.0	360	168	660	45
Ziegen- und Schafplätze	Platz				2.1		17	6	28	1.9				
Mastschweineplätze: 25 - 100 kg	Platz						15	7	6	1.0				
Zuchtschweineplätze, inkl. Ferkel bis 25 kg	Platz				bis 0.6		35	20	18	3.0				
Legehennenplätze	100 Pl.						71	46	25	5.0				
Mastpouletplätze	100 Pl.						40	15	13	3.0				
B1: Zwischentotal Tierhaltung Betrieb					Grundfutter-Verzehr total pro Jahr, dt TS		1501				B1 3329 1160 5373 365			

Zu- und Wegfuhr von Nährstoffen	zugeführte Menge (+)	weggeführte Menge (-)	Nährstoffanfall je Einheit und Jahr				Nährstoffanfall pro Jahr							
			kg N _{tot}	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg Mg	kg N _{tot}	kg P ₂ O ₅	kg K ₂ O	kg Mg				
Rindergülle	m ³													
Schweinegülle	m ³													
Kompost	m ³	181			0,5	1,8	4,5	1,5	82	332	808	273		
Klärschlamm	m ³													
Handelsdünger: Sorten	Ammonsalpeter	dt	20		27,5%				550					
		dt												
		dt												
		dt												
		dt												
Zukauf von Weizenstroh zum Einstreuen ³⁾	dt TS	155			0	0.25	1.2 ³⁾	0.08	0	39	186	12		
B2: Zwischentotal Nährstoffe aus Zu- und Wegfuhr					B2 632 370 994 285									

Planze ohne Pferde

Formular C: Nährstoffbilanz

	Gesamtbetrieb								Je ha LN					
	N _{tot} kg	N _{min} kg	N _{min} =N _{tot} ×0,6 %	P ₂ O ₅ kg	P ₂ O ₅ %	K ₂ O kg	K ₂ O %	Mg kg	Mg %	N _{tot} kg	N _{min} kg	P ₂ O ₅ kg	K ₂ O kg	Mg kg
Verfügbare Nährstoffe aus Tierhaltung (B1)	3329	1997		1160		5373		365		189	113	66	305	21
(-) Gesamtotal Nährstoffbedarf Betrieb (A)		8003	100	1103	100	3768	100	279	100		114	80	214	16
Zwischenbilanz: "Eigenversorgung Betrieb" (=B1 - A)		-6	0%	-243	-21%	1605	43%	86	31%		0	-14	91	5
(-) Nährstoffe aus Zu- und Wegfuhr (B2)		632		370		994		285			36	21	56	16
Gesamtbilanz: Alle Nährstoffe des Betriebs (=B1-A+B2)		626	31%	127	9%	2599	69%	371	132%		36	7	148	21

Massnahmen: Kompost maximal möglich mit dieser Analyse 265 m³/Jahr (1993: 181 m³)
 Ausnahme 30t Pferdemist => 49 m³ Kompost = 15,8 dt TS Kompost

Datum: 23. 3. 94 Unterschrift: A. Berner, F.B.L.