

Auswirkungen der direkten Grüngutapplikationen auf Ertrag und Bodeneigenschaften von Ackerböden

H. Taubner, T. Eickhorst und R. Tippkötter

Impact of direct application of bush and tree cut onto arable land with regard to improvement of soil quality and increase of yield

1 Einleitung

Mit dem 1996 in Kraft getretenen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG, 1994) wurde in Deutschland eine umweltverträgliche Verwertung von Bioabfällen gefordert, wobei die stoffliche Verwertung gegenüber der energetischen Vorrang hat. In diesem Sinne trägt, unter Berücksichtigung der Bioabfallverordnung (BioAbfV, 1998) und des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG, 1998), eine Aufbringung von Bioabfall auf landwirtschaftlich, forstlich oder gärtnerisch genutzte Böden zu der erwünschten höher-rangigen Schließung der natürlichen Stoffkreisläufe bei. Der weitaus größte Anteil der Bioabfälle wird hierfür allerdings

zunächst in Kompostierungsanlagen zu Kompost verarbeitet. Für holzreiche Abfälle aus der Garten- und Parkpflege, insbesondere Strauch- und Baumschnitt, stellt hingegen die Direktverwertung auf landwirtschaftlichen Flächen in Form von Grünguthäcksel (GGH) ohne vorherige Kompostierung ein deutlich einfacheres und kostengünstigeres Verfahren dar, welches in verschiedenen Regionen als Verwertungskonzept in der Praxis erprobt und auf Schaden- und Nutzwirkungen hin überprüft wurde (KLUGE, 1994; BRANDT und WILDHAGEN, 1997; KLUGE et al., 1997; OZOLS et al., 1997; COESTER und SATTELMACHER, 1998).

Die Ergebnisse derartiger Studien, die zum Teil im Vergleich mit Komposten durchgeführt wurden, zeigten, dass

Summary

Greenwaste from garden and landscape maintenance consists of bush and tree cutting (BTC). Direct application of shredded BTC on arable soils represents an alternative method to composting of waste plant material. In the medium term, direct BTC-application leads to an improvement in soil structure, as well as the release of nutrients and an increase of organic matter content. Field experiments in Northern Germany showed that BTC already led to higher yields in the first year of application. This was more pronounced on a sandy site of low soil quality compared to a loamy field with higher soil quality. Other beneficial effects of BTC were consistently higher water contents in the Ap-horizons, an immediate K-fertilization effect and improved aggregate stability after two years.

Key words: Organic waste, bush and tree cut, yield, nutrient supply, field experiment.

Zusammenfassung

Abfälle aus der Garten- und Landschaftspflege werden als Grüngut bezeichnet. Die direkte Verwertung des gehäckselten Grünguts (GGH) auf Ackerböden stellt einen alternativen Verwertungsweg zur Kompostierung dar. Dabei werden die Grünabfälle an dezentralen Sammelstellen vor Ort gehäcksel und direkt auf Ackerflächen ausgestreut. Mittelfristig führen solche GGH-Applikationen zur Verbesserung der Bodenstruktur, zur Freisetzung von Nährstoffen und zur Erhöhung des Humusgehaltes. Feldversuche in Norddeutschland haben für zwei unterschiedlich produktive Ackerböden erstmals gezeigt, dass die Applikation von GGH bereits im ersten Anwendungsjahr Ertragssteigerungen bewirken kann. Der Effekt war auf dem Sandboden mit geringer Bodengüte größer als auf dem lehmigen Boden mit höherer Ackerzahl. Unmittelbar höhere Wassergehalte im Ap-Horizont, ein Anstieg der Aggregatstabilität nach zwei Jahren und eine sofortige Düngewirkung bei Kalium waren weitere positive Effekte dieser Feldversuche.

Schlagworte: Bioabfall, Grünguthäcksel, Ertrag, Nährstoffangebot, Feldversuch.

GGH hohe Gehalte an organischer Substanz (ca. 80 % Glühverlust) und Nährstoffen aufweist, von denen im ersten Jahr Phosphor und Kalium teilweise löslich waren und Stickstoff dagegen kaum verfügbar war. Aufgrund des weiten C/N-Verhältnisses des GGH (> 50) war vielmehr von einer Stickstoffimmobilisierung im Boden auszugehen. Es wurde postuliert, dass als Folge der Stickstoffimmobilisierung trotz ordnungsgemäßer Stickstoffdüngung mit Ertragseinbußen zu rechnen sei, was sich jedoch durch eine Zusatzgabe an mineralischem Stickstoff ausgleichen ließe (TIMMERMANN und KLUGE, 1996). Bei einer Grüngutverwertung auf der Insel Fehmarn in Schleswig-Holstein (COESTER und KASTEN, 1999) war es indessen weder zu einer Stickstoffsperre noch zu Ertragseinbußen gekommen, allerdings unter der Verwendung von GGH mit einem engeren C/N-Verhältnis.

Studien in Baden-Württemberg (TIMMERMANN et al., 1999) kamen zu dem Ergebnis, dass GGH-Applikationen bei landwirtschaftlich genutzten Böden zu keiner Ertragssteigerung führen. Positive Effekte wurden lediglich bei bodenphysikalischen Parametern als signifikante Verbesserungen der Aggregatstabilität und des Wasserspeichervermögens beobachtet (SCHMIDT et al., 1997; ZAUNER und STAHR, 1997). Bei oberflächlichem Auftrag als Mulchschicht stellte GGH zudem einen unmittelbaren Erosionsschutz für gefährdete Böden dar (BRANDT und WILDHAGEN, 1998). Negative Auswirkungen durch ein erhöhtes Unkrautauflkommen oder phytopathogene Keime wurden nicht beobachtet (KLUGE, 1994; COESTER und SATTELMACHER, 1998; LFL, 2003). Die Schwermetallgehalte in zahlreichen GGH-Proben lagen im Mittel deutlich unterhalb der Grenzwerte der BioAbfV und waren geringer als Vergleichswerte aus Bioabfallkomposten (BRANDT und WILDHAGEN, 1997; GRÜNEKLEE, 1997).

Zusammenfassend wurde GGH als Bodenverbesserer mit geringer Nährstoffwirkung bewertet, welcher mittelfristig zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit führt (TIMMERMANN et al., 1999) und aufgrund seiner ökologischen Eigenschaften für eine landbauliche Eignung als Sekundärrohstoffdünger vor Grüngutkompost, Klärschlamm und Biokompost rangiert (KLUGE et al., 1997).

In Niedersachsen führte der Maschinenring Hannover-Land 1996 über Vorversuche ein Direktverwertungskonzept von Grüngutabfällen ein. An über 50 dezentralen Sammelstellen in Hofnähe der beteiligten Landwirte werden bis heute von Privatpersonen Grünabfälle aus gärtnerischen Pflegemaßnahmen angeliefert. Nach Schredderaktionen vor Ort im Frühjahr und Herbst wird das Grünguthäcksel direkt auf landwirtschaftliche Flächen, zum Teil in den Bestand, ausgestreut.

Die ökologischen und ökonomischen Konsequenzen dieser GGH-Direktverwertung wurden von der Universität Bremen in einem interdisziplinären Projekt über einen Zeitraum von fünf Jahren unter Berücksichtigung regionaler Aspekte bewertet. Dazu wurden auf zwei Standorten unterschiedlicher Bodenqualität zweifaktorielle Großflächenversuche mit vierstufigen GGH-Applikationsmengen und, als Gegenmaßnahme zu einer potentiellen Stickstoffsperre, dreistufigen Gülleapplikationen angelegt. Unter Berücksichtigung des Standortklimas wurden die Auswirkungen dieser Applikationen sowohl auf die landwirtschaftlichen Erträge als auch auf die chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften (u. a. Nährstoffgehalte, Aggregatstabilität) bewertet. Im Rahmen der üblichen landwirtschaftlichen Praxis sollten auf diese Weise fundierte Empfehlungen hinsichtlich der Applikationsmengen von Grüngut abgeleitet werden.

2 Material und Methoden

2.1 Standorte

Die ausgewählten Versuchsflächen Hope und Stöckendreber im Raum Schwarmstedt (Niedersachsen) repräsentieren aufgrund ihrer unterschiedlichen Textur und Bodengüte (Ackerzahl) typische Standorte für den norddeutschen Raum zwischen Bremen und Hannover (Tabelle 1). In Tabelle 2 ist die bodenkundliche Grundcharakterisierung der Standorte zusammengefasst.

2.2 Anlage der Feldversuche

Die zweifaktoriellen Feldversuche wurden als 3 × 4-Block in Streifenanlage mit zwölf Großparzellen (je 45 × 45 m) angelegt (Tabelle 3). An den Applikationsterminen wurde vor Ort geschreddertes Grüngut (Laub- und Nadelhölzer) streifenweise mit einem Großflächenstreuer als Mulchschicht in die stehenden Bestände ausgebracht. Orthogonal hierzu wurde anschließend ein Teil der Bestandesstickstoffgabe in Form von Schweinegülle mit einem Schleppschlauchverteiler appliziert. Das GGH wurde als Frischmasse (0, 50, 100, 150 m³ ha⁻¹) ausgebracht. Die mittlere Stufe von 100 m³ ha⁻¹ entspricht hierbei der allgemeinen Dosierungsempfehlung für GGH, die aus einer Ausbringungsmenge für Bioabfall (20 bzw. 30 t Trockenmasse ha⁻¹ in drei Jahren) im Rahmen der BioAbfV (1998) abgeleitet wurde (WÜRFEL und KLUGE, 1995).

Tabelle 1: Kenndaten der Versuchsstandorte Hope und Stöckendrebber (Niedersachsen, Deutschland)

Table 1: Characteristics of the sites Hope and Stöckendrebber (Lower Saxony, Germany)

Lage	Hope 52°37'33" N, 9°38'45" E	Stöckendrebber 52°40'16" N, 9°34'51" E
Bodentyp	Ackerpodsol	Pseudovergleyte Parabraunerde
Textur	feinsandiger Mittelsand (mSfs)	lehmig sandiger Schluff über schwach sandigem Lehm (Uls über Ls2)
Ackerzahl	25	55
nFK bis 90 cm (mm)	69	166

nFK: nutzbare Feldkapazität; Textur nach AD-HOC AG BODEN (2005)

Tabelle 2: Bodenchemische und -physikalische Charakterisierung der Standorte

Table 2: Soil chemical and physical characteristics of the experimental sites

Tiefe cm	Horizont	pH CaCl ₂	C _t %	N _t %	KAK _e cmol _c kg ⁻¹	T %	U %	S %	dB g cm ⁻³	LK Vol%	FK Vol%
Standort Hope											
- 30	Ap	5,9	2,1	0,2	6,6	3	9	88	1,46	22,4	20,3
- 55	Bs	5,1	0,1	0,0	0,4	0	4	96	1,62	33,2	5,4
- 90	Bv	5,0	0,1	0,0	0,4	0	4	96	1,61	34,1	5,1
Standort Stöckendrebber											
- 30	Ap	6,0	1,3	0,2	7,3	16	54	30	1,55	7,9	32,1
- 70	SwAl	4,1	0,3	0,1	4,3	15	61	24	1,52	13,5	28,8
- 90	SdBt	4,7	0,2	0,1	6,8	18	46	36	1,62	7,3	31,5

C_t, N_t: Gesamtgehalte (Elementaranalysator Leco CN2000); KAK_e: effektive Kationenaustauschkapazität (in 0,1 M BaCl₂); T: Ton, U: Schluff, S: Sand (Korngrößenanalyse mit Sieb/Pipett-Verfahren); dB: Lagerungsdichte; LK: Luftkapazität, FK: Feldkapazität (bei pF 1,8, abgeleitet aus pF/WG-Beziehung)

Tabelle 3: Aufbau der Feldversuche in Hope und Stöckendrebber

Table 3: Outline of the field experiments at Hope and Stöckendrebber

Parzellierung (Applikationsmengen in m ³ ha ⁻¹)	Hope					Stöckendrebber				
	10 0	50	0	15 0	Güll e	15 0	50	0	10 0	Güll e
					15					15
			MP	MP	0	MP		MP		0
				MP	30	MP				30
GGH-Stufen (m ³ ha ⁻¹)	0 – 50 – 100 – 150									
Gülle-Stufen (m ³ ha ⁻¹)	0 – 15 – 30									
1. Applikation	April 2000									
2. Applikation	April 2002									
Fruchtfolge	2000	Winterroggen				Winterweizen				
	2001	Winterroggen				Winterweizen				
	2002	Winterroggen				Wintergerste				

MP: Parzellen mit Messstellen

Die Fruchtfolgen der Feldversuche (Tabelle 3) ergaben sich aus dem standorttypischen Getreideanbau. Alle üblichen landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen wurden regulär durchgeführt. Die Erträge der Parzellenkernflächen (45 × 35 m) wurden im August 2000, August 2001 sowie im Juli/August 2002 mit einem Mähdrescher und jeweils anschließender Wägung erfasst.

Klimatische Kenngrößen wurden ab Mai 2000 sowohl zentral in Esperke (52°38'14.78" N 9°36'35.69" E) mit einer Wetterstation kontinuierlich aufgezeichnet (Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte) als auch direkt auf den Versuchsflächen (Niederschlagsfänger) in wöchentlichen Intervallen registriert. In den drei Parzellen mit Messstellen (Tabelle 3) wurden bodenhydrologische Kennwerte (Wassergehalte im Ap-Horizont, Matrixpotentiale in vier Tiefen) erfasst.

Der Beobachtungszeitraum der Feldversuche reichte bis zur Ernte im Jahr 2002.

2.3 Bodenkundliche Untersuchungen

2.3.1 Probenahmen

Die Beprobungen der Flächen (Masseproben) erfolgten rasterartig mit fünf Parallelen pro Parzelle vor den Applikationen im März 2000 sowie nach den Ernten in 2000 und 2001. Nmin-Beprobungen bis 90 cm Tiefe wurden im gleichen Raster an acht zusätzlichen Terminen vorgenommen. An vier Terminen wurden Masseproben (ca. 200 g) zur Bestimmung der Aggregatstabilität aus den Ap-Horizonten entnommen. Strukturproben wurden vor der ersten Applikation in Stechzylindern entnommen. Das ausgestreute GGH und die Gülle wurden am Tag der Applikation beprobt.

2.3.2 Charakterisierung der Böden

Chemische Parameter

Pflanzenverfügbares Phosphat und Kalium wurden im CAL-Extrakt bestimmt (5 g Boden + 100 ml CAL-Lösung): Phosphat mit der Molybdänblau-Methode, Kalium mit der Flammen-AAS.

Der Nmin-Vorrat bis 90 cm Tiefe wurde nach VDLUFA (1997) ermittelt.

Bodenphysikalische Parameter

Die pF/WG-Beziehung wurde an ungestörten Stechzylinderproben durch schrittweise Entwässerung auf Sandkästen

und in Drucktöpfen mit anschließender Trocknung bei 105 °C ermittelt. dB (Lagerungsdichte), FK (Feldkapazität), LK (Luftkapazität) und nFK (nutzbare Feldkapazität) wurden aus der pF/WG-Beziehung abgeleitet.

Die Wassergehalte im Ap-Horizont wurden gravimetrisch an frischen Masseproben bestimmt.

Die Matrixpotentiale wurden in vier Bodentiefen mit jeweils zwei Parallelen mit Einstichtensiometern registriert.

Im monatlichen Abstand wurden aus den Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag, Änderung im Bodenwasserspeicher (BoW, aus Matrixpotentialen und pF/WG-Beziehungen berechnet) und der potentiellen Evapotranspiration für Getreidebestände nach Haude der Sickerwasserabfluss (SiW) bilanziert.

Die Aggregatstabilität wurde an frischen Masseproben der Ap-Horizonte mit der Ultraschallmethode (TIPPKÖTTER, 1994) bestimmt.

2.3.3 Charakterisierung des GGH und der Gülle

Die Schwermetallgesamtgehalte des GGH wurden im Königswasseraufschluss mit der AAS bestimmt.

Als Nährstoffgehalte des GGH wurden ermittelt: lösliches Phosphat und Kalium im CAL-Extrakt, löslicher Stickstoff und Magnesium im 0,0125 M CaCl₂-Extrakt.

Die Nährstoffgehalte der Gülle wurden von der LUFÄ Oldenburg analysiert.

3 Ergebnisse

3.1 Klimatische Situation und Wasserhaushalt

Sowohl die Jahreswerte als auch die monatlichen Klimadaten der Wetterstation in Esperke (Abbildung 1) veranschaulichen die unterschiedlichen klimatischen Verhältnisse der Versuchsjahre. Das Applikationsjahr 2000 mit einer unterdurchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge von 629 mm wies eine trockene Phase während der Bestandsbildung im Juni auf, in der auf dem sandigen Standort der permanente Welkepunkt erreicht wurde. Im zweiten Versuchsjahr (2001) war eine gleichmäßig gute Wasserversorgung der Bestände bei einer normalen Jahresniederschlagshöhe von 789 mm gegeben. Die überdurchschnittlich hohe Niederschlagssumme des Jahres 2002 von 934 mm wurde hauptsächlich durch den extrem nassen Juli verursacht.

Der Bodenwasserspeicher (BoW; Abbildung 2) spiegelt das unterschiedliche Wasserbindungsvermögen zwischen Sand- und Lehmboden wider, wovon aus pflanzenbaulicher

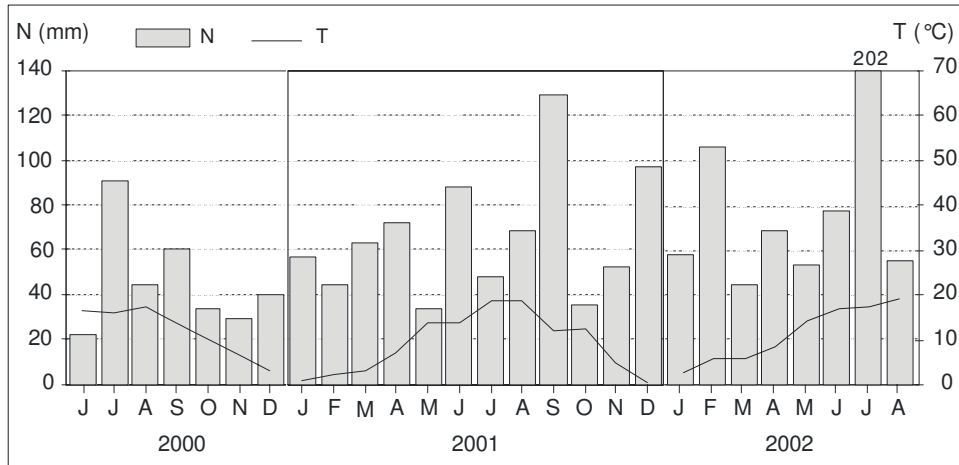


Abbildung 1: Klimadaten der Wetterstation in Esperke für den Versuchszeitraum Juni 2000 bis August 2002 (Monatswerte des Niederschlags N und der Temperatur T)

Figure 1: Climate data of the weather station in Esperke for the testing period from June 2000 to August 2002 (monthly precipitation N and temperature T)

Sicht 20 mm, bzw. 165 mm nicht pflanzenverfügbares Wasser abzuziehen sind. Nach dem Tiefststand des Bodenwasserspeichers im Juni 2000 dienten in der zweiten Jahreshälfte Niederschlagsüberschüsse vorwiegend zu dessen Auffüllung. Nennenswerte Sickerwasserausträge (SiW) konnten daher nur für die Jahre 2001 und 2002 berechnet werden.

Eine differenzierte Betrachtung zeigte anhand der signifikant unterschiedlichen Mittelwerte, dass die gravimetri-

schen Wassergehalte der Parzellen mit hoher GGH-Applikation im jahreszeitlichen Verlauf generell um ca. 2 % höher lagen als in den Nullparzellen (Tabelle 4). Auch während der Vegetationsperiode, welche für die Wasserversorgung der Pflanzenbestände von besonderer Bedeutung ist, waren in den Applikationsjahren die Wassergehalte in den GGH-Varianten höher als in den Nullparzellen.

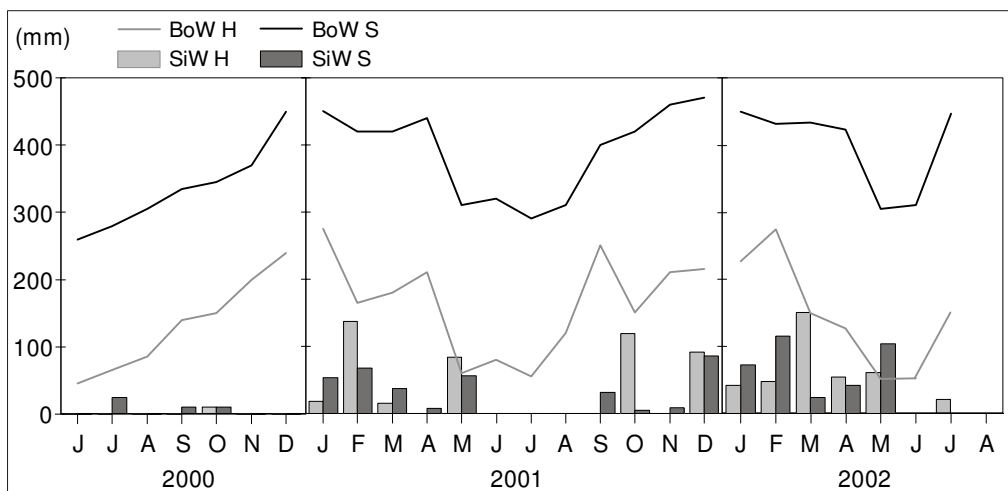


Abbildung 2: Monatswerte des gespeicherten Bodenwassers (BoW) und der Sickerwasserausträge (SiW) der Standorte Hope (H) und Stöckendrebber (S) für den Zeitraum Juni 2000 bis Juli 2002

Figure 2: Monthly soil water storage (BoW) and seepage water output (SiW) at Hope (H) and Stöckendrebber (S) during the period from June 2000 to July 2002

Tabelle 4: Durchschnittliche Wassergehalte (Masse-%) der Ap-Horizonte in den drei Messparzellen (0/0, 150/0, 150/30)
 Table 4: Average water contents (mass-%) within A-horizons of the three experimental plots (variants 0/0, 150/0, 150/30)

Parzelle (GGH/Gülle)	Hope			Stöckendrebber		
	0/0	150/0	150/30	0/0	150/0	150/30
März 2000 – August 2002	12,1	13,7	14,4	17,1	19,2	18,8
Vegetationsperiode 2000	10,6	11,8	13,3	16,9	18,4	18,1
Vegetationsperiode 2001	11,8	13,0	13,0	16,6	17,7	16,7
Vegetationsperiode 2002	10,3	12,4	12,4	12,5	15,2	15,2

3.2 Ertragsbildung

Das mittlere Ertragsniveau des Roggens am Standort Hope variierte in den Versuchsjahren zwischen 42 dt TM ha⁻¹ für 2000, 78 dt TM ha⁻¹ für 2001 und 47 dt TM ha⁻¹ für 2002. Am Standort Stöckendrebber wurden als mittlerer Ertrag 95 und 83 dt TM ha⁻¹ in den Jahren 2000 und 2001 mit Weizen und 64 dt TM ha⁻¹ im Jahr 2002 mit Gerste erzielt.

Der Einfluss der Versuchsfaktoren GGH und Gülle auf den Ertrag wird durch die Darstellung der jeweiligen Parzellenerträge in Relation zum Ertrag der Nullparzelle verdeutlicht (Tabelle 5). Im Applikationsjahr 2000 wurden beim Roggen mit zunehmender GGH-Applikation steigende Erträge erzielt. Beim Weizen bewirkte die geringe und mittlere GGH-Applikation eine signifikante Ertragssteigerung, die hohe Applikation hingegen blieb ohne Auswirkung. Letzteres könnte auf eine zu hohe mechanische Beeinträchtigung des jungen Bestandes bei der Ausstreueung des GGH zurückgeführt werden, welcher im Streifen mit 150 m³ ha⁻¹ GGH zunächst deutlich in der Entwicklung zurückblieb. Die Applikation der Gülle führte im Jahr 2000 auf beiden Standorten zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen geringer Dosierung und güllerefreier Variante. Die hohe Dosierung erzeugte jedoch eine Ertragsdepression. Dieser Verlust kündigte sich im Feld nach der Gülleausbringung durch eine Gelbfärbung der Jungpflanzen in den betroffenen Parzellen frühzeitig an.

Im Jahr 2001 zeigten sich in Hope in den Streifenmittelwerten keine signifikanten Differenzierungen (Tabelle 5), so dass der dort ermittelte Ertragszuwachs nicht auf das applizierte GGH oder die Gülle zurückzuführen ist. Beim Standort Stöckendrebber (Weizen) führte dagegen die Applikation von 100 m³ ha⁻¹ GGH erneut zu signifikant höheren Erträgen.

Im Applikationsjahr 2002 wurden beim Roggen (Hope) signifikante Ertragssteigerungen sowohl mit GGH- als auch mit Gülle-Applikationen erzielt. Bei der Gerste

(Stöckendrebber) war dies nur unter Gülle der Fall. Die höchste GGH-Variante wirkte bei der Gerste eindeutig negativ. Eine positive Wirkung der geringen GGH-Dosierung zeigte sich jedoch in geringem Maße im güllerefreien Streifen. Die Gülle konnte im Jahr 2002 eine bessere Wirkung hinsichtlich der Erträge als im Jahr 2000 bewirken, was auf den mangelnden Niederschlag nach Ausbringung im Jahr 2000 zurückgeführt werden kann.

3.3 Nähr- und Schadstoffe des GGH und der Gülle

Die Nährstoffgesamtgehalte in der Trockenmasse des applizierten GGH und die löslichen, pflanzenverfügbaren Anteile sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Die Gesamtgehalte an Nährstoffen in der Trockenmasse der Gülle lagen bei 4,7 % P₂O₅, 3,3 % K₂O, 1,3 % MgO und 7,1 % N, wovon Phosphor zu 90–100 % und Stickstoff in Form von Ammonium zu ca. 60 % im ersten Jahr als verfügbar sowie Kalium als sofort löslich betrachtet werden können.

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen des verwendeten GGH lagen unterhalb der Grenzwerte der BioAbfV (1998), die bei einer Applikation von 30 t TM ha⁻¹ einzuhalten waren (Tabelle 7). Die tatsächliche Belastung des Standorts resultiert jedoch aus den real ausgebrachten Frachten an Schwermetallen. Legt man eine Dosierung von 100 m³ ha⁻¹ GGH als Applikationsstandard zu Grunde, wurden die Grenzfuchten der kritischen Elemente Zink und Cadmium, die mit einer Gabe von 30 t TM ha⁻¹ GGH eingetragen werden können, lediglich zu 20 und 35 % erreicht. Bei den anderen Schwermetallen liegt die Ausschöpfungsrate unter 10 % (Tabelle 7). Mit einer Applikationsvariante von 150 m³ ha⁻¹ GGH wird die Ausschöpfungsrate auf maximal 50 % erhöht.

Tabelle 5: Erträge der Versuchspartellen in Bezug auf die Nullpartellen (in %) der Standorte Hope (Roggen) und Stöckendrebber (Weizen, 2002 Gerste) in den Jahren 2000, 2001 und 2002

Table 5: Yields of the experimental plots in relation to the control plots (in %) at Hope (rye) and Stöckendrebber (wheat, 2002 barley) in the years 2000, 2001, and 2002

a. 2000 (nach der ersten Applikation von GGH und Gülle)

	Hope					Stöckendrebber					
	GGH m ³ ha ⁻¹				Mittel Gülle	GGH m ³ ha ⁻¹				Mittel Gülle	
	0	50	100	150		0	50	100	150		
Gülle m ³ ha ⁻¹	0	100	122	117	122	115	100	106	111	102	105 ^b
	15	102	112	117	127	114	99	106	112	98	104 ^b
	30	98	106	106	122	108	95	102	105	98	100 ^a
Mittel GGH		100 ^a	113 ^b	113 ^b	123 ^b		98 ^a	104 ^b	109 ^c	100 ^a	

b. 2001 (ohne Applikationen)

Gülle m ³ ha ⁻¹	0	100	102	99	102	113 ^a	100	104	101	89	99 ^a
	15	102	102	102	102	126 ^b	113	112	112	98	109 ^b
	30	100	96	98	103	128 ^b	115	112	111	99	109 ^b
Mittel GGH		100	100	100	102		109 ^b	109 ^b	108 ^b	95 ^a	

c. 2002 (nach der zweiten Applikation von GGH und Gülle)

Gülle m ³ ha ⁻¹	0	100	120	106	127	101	100	98	104	98	100
	15	121	126	123	136	102	100	96	105	97	99
	30	130	127	118	139	99	100	97	103	96	99
Mittel GGH		117 ^a	125 ^{ab}	116 ^a	134 ^b		100 ^b	97 ^a	104 ^c	97 ^a	

Tabelle 6: Gesamtgehalte an Nährstoffen und die darin enthaltenen löslichen Anteile in den applizierten Grünguthäckseln (GGH) der Standorte Hope und Stöckendrebber

Table 6: Total contents of nutrients and percentage of solubility in the applied bush and tree cut (GGH) at the sites Hope and Stöckendrebber

	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	C	N	C/N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
	Gesamtgehalt in TM (%)					davon löslicher Anteil (%)				
Hope	0,1	0,4	0,1	48	0,7	69	1	6	88	40
Stöckendrebber	0,2	0,4	0,2	43	0,8	54	2	5	76	32

Tabelle 7: Gesamtgehalte an Schwermetallen (mg kg^{-1} TM) in den applizierten Grünguthäckseln (GGH) der Standorte im Vergleich zu den Grenzwerten der BioAbfV (1998) sowie die prozentuale Ausschöpfung der Grenzfrachten durch eine Applikation von $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ GGH
 Table 7: Total amounts of heavy metals (mg kg^{-1} dry matter) of the bush and tree cut (GGH) applied to the sites Hope and Stöckendrebber compared to the limits of the organic waste regulation (BioAbfV, 1998). Proportion of maximum tolerable input (%) applying $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ GGH

	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn
mg kg^{-1}						
Standort Hope	5,8	0,4	2,6	0,7	1,8	69
Standort Stöckendrebber	11,8	0,5	4,7	4,7	4,7	82
Grenzwert BioAbfV	100	1	70	70	35	300
Ausschöpfung der Grenzfrachten (%) durch eine Gabe von $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ GGH						
Standort Hope	4	28	3	1	4	17
Standort Stöckendrebber	9	35	5	5	10	20

3.4 Bodeneigenschaften

Nährstoffe – Stoffhaushalt

In Abhängigkeit von der GGH- und Gülleapplikation, die z. B. bei $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ GGH 70 kg und bei $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ Gülle 32 kg lösliches, pflanzenverfügbares Kalium liefern, waren die zugeführten Nährstofffrachten teilweise höher als die kalkulierten Pflanzenentzüge. Die berechneten Differenzen zwischen den Frachten und Entzügen korrespondierten als Trend mit den Änderungen der K_{CAL} -Bodenvorräte. Bestandsrelevante Mengen an pflanzenverfügbarem Phosphat wurden auf beiden Standorten nur mit der Gülle zugeführt. In den Parzellen ohne Güllegabe wurden signifikante Abnahmen des P_{CAL} -Bodenvorrates registriert.

Beide Standorte wiesen vor der Applikation des GGH in den zwölf Parzellen eine einheitliche Versorgung mit mineralischem Stickstoff auf (Abbildung 3). In den Werten vom 14.04.2000 spiegelt sich nicht nur die Ausbringung der Gülle wider, sondern auch die im Rahmen der üblichen Bewirtschaftungsweise verabreichte Minereraldüngergabe im güllerefreien Streifen am Standort Hope (60 kg N ha^{-1} in AHL = Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung). In Hope waren Stickstoffimmobilisierungen durch die GGH-Applikationen bis zu 38 Tage nach Düngerausbringung (AHL) und unter der hohen Güllegabe deutlich erkennbar. In Stöckendrebber waren die Anzeichen einer Stickstoffsperre ab dem 27.04.2000 in den Flächen mit Gülle deutlich geringer als in Hope. Im August 2000 war die Nmin-Versorgung in den Parzellen auf beiden Standorten wieder ausgeglichen.

Aggregatstabilität

Zwei Jahre nach den ersten Applikationen waren in Abhängigkeit von der GGH-Applikationsmenge an beiden Standorten in den Ap-Horizonten signifikante Erhöhun-

gen der Aggregatstabilität gegenüber der Nullvariante erkennbar (Abbildung 4). Beim sandigen Standort Hope zeigten sich diese Veränderungen in der Fraktion der kleinen Aggregate ($200\text{--}630 \mu\text{m}$), beim lehmigen Standort hingegen in den Fraktionen der mittleren und großen Aggregate. Eine komplementäre Abnahme in der Fraktion kleiner Aggregate in Stöckendrebber war erkennbar, aber nicht signifikant.

4 Diskussion

4.1 Risiken

Negative Auswirkungen durch Unkräuter oder Schwermetallkontaminationen waren in diesem praxisnahen Feldversuch nicht feststellbar, was sich mit den Beobachtungen anderer Studien deckt (TIMMERMANN et al., 1999; LFL, 2003). Ein kurzzeitiges Aufkommen von Unkräutern wurde im Rahmen der üblichen Bewirtschaftungsmaßnahmen unterdrückt. Die unterhalb der Grenzwerte der Bioabfallverordnung liegenden Schwermetallgesamtgehalte in dem ausgestreuten Grünguthäcksel (Tabelle 7) entsprachen den Durchschnittswerten, die für GGH-Material aus anderen Regionen bekannt sind (BRANDT und WILDHAGEN, 1997; TIMMERMANN et al., 1999). Auch unter dem Aspekt der real ausgebrachten Schwermetallfrachten blieben die Werte bei einer $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ Applikation (TIMMERMANN et al., 1999), bzw. bei den Applikationsmengen dieses Versuchs deutlich unterhalb der Grenzwerte. Um diese Qualität zu erhalten, werden vom Betreiber des Verwertungsverfahrens Kontrolluntersuchungen des gesammelten GGH durchgeführt sowie der Ausschluss von Straßenrandbegleitgrün als Vorsorgemaßnahme vorgegeben.

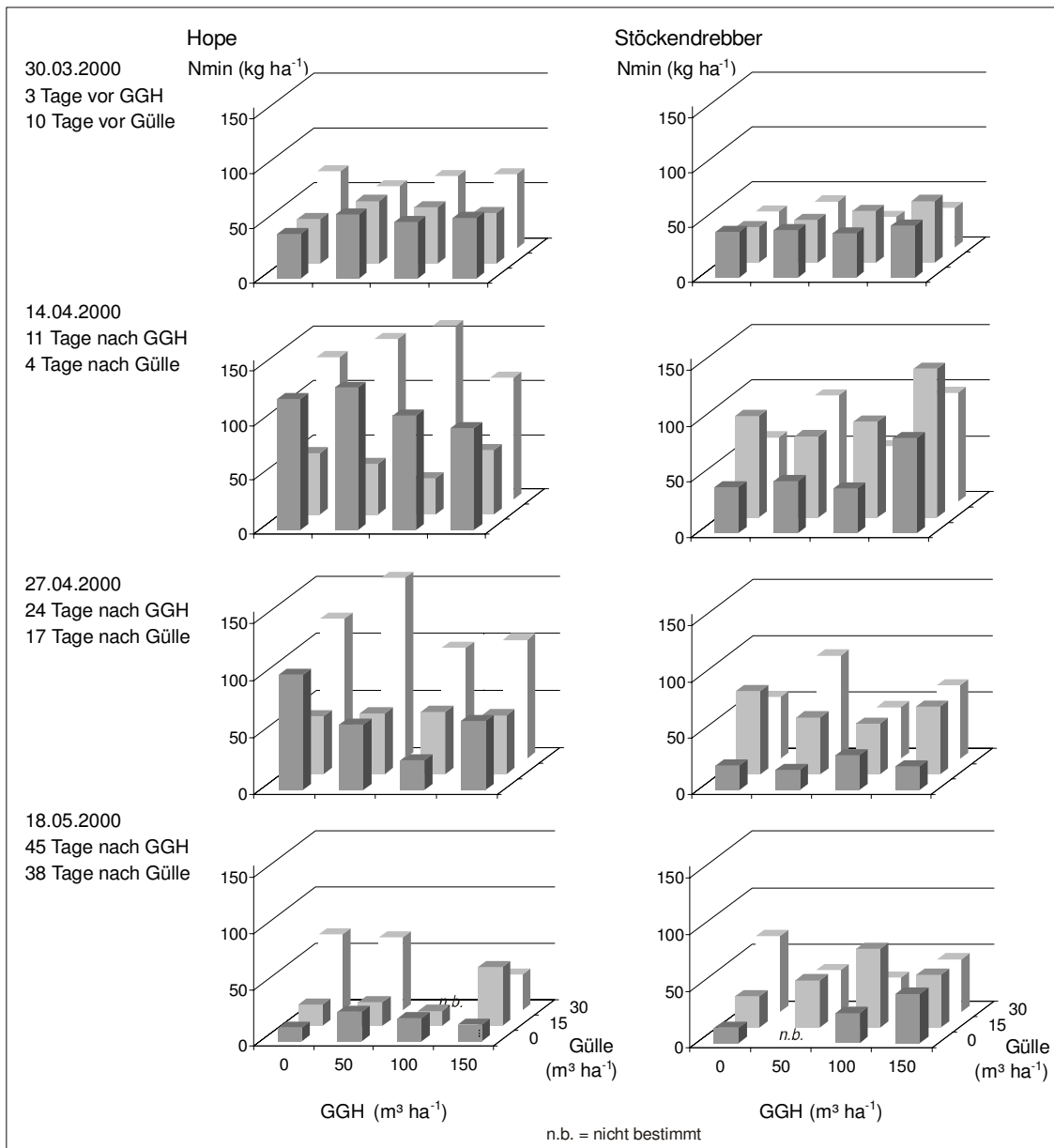


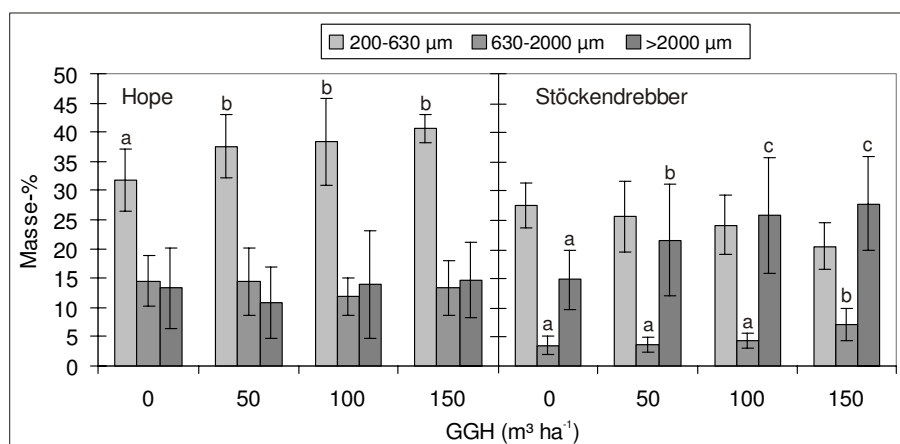
Abbildung 3: Zeitliche Veränderung der Nmin-Vorräte in 90 cm Bodentiefe der Standorte Hope und Stöckendrebber im Frühjahr 2000 in 12 Parzellen mit unterschiedlichen Applikationsmengen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) von Grünguthäcksel (GGH) und Gülle

Figure 3: Temporal changes of Nmin storage in 90 cm soil depth at Hope and Stöckendrebber in spring 2000 in 12 plots with different applications ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) of bush and tree cut (GGH) and manure (Gülle)

4.2 Nährstoffwirkung des GGH

Grünguthäcksel wird als Sekundärrohstoffdünger oder als Bodenverbesserer eingesetzt, dessen Nährstoffpool erst mittelfristig freigesetzt wird (WÜRFEL und KLUGE, 1995). Das hier verwendete GGH war aufgrund der geringen Gesamtgehalte von N, P und K nicht als Sekundärrohstoffdünger sondern als Bodenhilfsstoff einzuordnen und wies im Anwendungsjahr eine geringe Nährstoffwirkung bei Phosphor

und Stickstoff auf (Tabelle 6). Von den Vergleichsmaterialien anderer Studien (KLUGE, 1994) unterschied es sich jedoch durch eine höhere Kaliumverfügbarkeit, wobei Kalium bei einer Dosierung von $100 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ GGH in bestandesrelevanten pflanzenverfügbaren Mengen von ca. 70 kg ha^{-1} den Versuchsfeldern zugeführt wurde. Hier zeigt sich, dass zur Beurteilung der Düngewirkung bei Kalium der unmittelbare Effekt stärker mit in Betracht zu ziehen ist.



a, b, c: Signifikant unterschiedliche Mittelwerte (Varianzanalyse mit Tukey-Test, $\alpha = 0,05$)

Abbildung 4: Prozentualer Anteil stabiler Aggregate nach Ultraschallbehandlung in den Fraktionen 200–630 μm , 630–2.000 μm und > 2.000 μm im Ap-Horizont der Standorte Hope und Stöckendrebber auf Streifen mit unterschiedlichen GGH-Applikationen im August 2002 (Mittelwerte mit Standardabweichung)

Figure 4: Percentage of stable aggregates in the size fractions of 200–630 μm , 630–2000 μm , and >2000 μm after ultrasonic treatment in rows of various GGH-applications ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) in the Ap-horizons of Hope and Stöckendrebber in August 2002 (average and standard deviation)

4.3 Bodenphysikalische Eigenschaften

Die zu erwartenden positiven Wirkungen von GGH-Applikationen auf bodenphysikalische Eigenschaften (SCHMIDT et al., 1997; ZAUNER und STAHR, 1997) wurden bei beiden Standorten (a) anhand der Wassergehalte in den Ap-Horizonten sowie (b) zwei Jahre nach der ersten Applikation signifikant bei der Aggregatstabilität festgestellt.

4.4 Ertragsbildung

Aufgrund der mehrjährigen Feldversuche auf Ackerböden in Baden-Württemberg war damit zu rechnen, dass nach GGH-Applikationen bei einer bestandsgemäßen N-Versorgung ohne N-Ergänzungsdüngung aufgrund einer Stickstoffimmobilisierung Ertragsminderungen auftreten (TIMMERMANN et al., 1999). Positive Auswirkungen auf Erträge waren auf jenen Böden bis zu sechs Jahre nach der ersten Applikation nicht feststellbar (KLUGE und MOKRY, 2006). Auf den beiden Löss-Standorten von BRANDT (1997) war zwar im Frühjahr eine N-Immobilisierung aufgetreten, die Anwendungen von GGH und Kompost blieben in zwei Jahren jedoch ohne signifikante Auswirkungen auf die Erträge von Winterweizen und Wintergerste im Vergleich zur bioabfallfreien Variante.

Im Unterschied zu jenen Studien konnte in unseren Feldversuchen auf den Standorten bei Schwarmstedt erstmals

demonstriert werden, dass GGH-Applikationen bereits im Applikationsjahr zu Ertragssteigerungen führen können. Dies nicht nur unter der Verwendung von anteiligen Güllegaben, die im Hinblick auf die Berichte über Ertragseinschränkungen eingesetzt wurden, sondern auch unter der standortüblichen Minereraldüngung. Eine zeitweilige Stickstoffimmobilisierung nach den Applikationen wirkte sich folglich nicht nachteilig auf die Erträge aus.

Dass wiederholte GGH-Applikationen auch mittel- bis längerfristig Ertragssteigerungen bewirken können, wurde in einer 13-jährigen Versuchsreihe auf sieben Standorten in Bayern festgestellt (PERETZKI et al., 2005). Bei einer mineralischen Mindestversorgung von $60 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ waren ab der zweiten Fruchtfolge mit den Jahren zunehmende Ertragssteigerungen unter GGH-Applikationen zu verzeichnen. Im 13. Versuchsjahr wurde so das Ertragsniveau einer normalen Minereraldüngerversorgung von $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ erreicht, zuvor wiesen die GGH-Varianten im Vergleich hierzu unterschiedlich hohe Ertragsdefizite auf.

Für die Standorte dieser Studie lassen sich aufgrund der deutlich unterschiedlichen klimatischen Bedingungen der Versuchsjahre übergeordnete Tendenzen bei der Ertragsbildung feststellen. Der Einfluss der Versuchsfaktoren war auf dem weniger produktiven Standort Hope größer als in Stöckendrebber. In Hope wurde beim Roggen mit der hohen GGH-Dosierung der größte Effekt bei den Erträgen erzielt. Auf dem produktiveren Standort Stöckendrebber hingegen hatte die höchste GGH-Dosierung eine ungünstige

tige Wirkung auf die Bestandesentwicklung und den Ertrag von Weizen und Gerste. Hier erwies sich die mittlere GGH-Gabe als vorteilhaft. Im Jahr ohne Applikationen ging der Einfluss auf die Erträge bei beiden Böden deutlich zurück. Eine Ursache der Ertragssteigerungen ist in dem positiven Effekt von erhöhten Wassergehalten unter hohen GGH-Applikationen zu sehen (Tabelle 4), welcher auf einem Sandboden mit geringer nutzbarer Feldkapazität eine größere Bedeutung hat als auf einem lehmigen Boden. Zudem spielt das Wasserangebot während der Vegetationsperiode unter trockenen Verhältnissen eine besondere Rolle. Der Nutzeffekt der Güllevarianten auf die Erträge korrelierte zwischen den Applikationsjahren mit den Feuchteverhältnissen.

5 Schlussfolgerungen

Die dreijährigen Feldversuche auf zwei Standorten unterschiedlicher Bodengüte haben gezeigt, dass die Direktverwertung von GGH auf Ackerböden nicht nur die bereits bekannten positiven Effekte bei bodenphysikalischen Parametern bewirkt, sondern auch den Ertrag unmittelbar positiv beeinflussen kann. Deutliche Ertragssteigerungen resultierten auf dem Sandboden unabhängig von den klimatischen Verhältnissen, auf dem lehmigen Boden dagegen in geringerem Ausmaß und vorzugsweise in einem trockenen Jahr. Unter diesem Aspekt sollte die Wahl der Applikationsmenge an der Bodengüte orientiert werden. Für sandige Böden und Bestände, die der mechanischen Beanspruchung einer Streuung im Frühjahr standhalten, sollte eine hohe Gabe in Erwägung gezogen werden. Die Applikationsmenge von $150 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ GGH erbrachte auf dem sandigen Boden in Höhe die besten Resultate. Auf bindigem Boden mit weniger robusten Getreidesorten erbringt die übliche Dosierung von $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ GGH den größten Nutzen.

Eine zeitweilige Stickstoffimmobilisierung nach der Applikation führt nicht zwangsläufig zu Ertragseinbußen. Unter der bestandsorientierten Minereraldüngerversorgung der Standorte war eine zusätzliche N-Ergänzungsdüngung als Kompensationsgabe nicht notwendig. Die Verwendung von Gülle als generelle Nährstoffquelle (Stickstoff, Phosphor, Kalium) ist nur in einer geringen Dosierung ($15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) zu empfehlen. Das Angebot an pflanzenverfügbarem Kalium des Grünguthäcksel ist so hoch, dass es ebenfalls als Düngergabe zu berücksichtigen ist.

Danksagung

Die Versuche wurden mit Unterstützung der DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt, AZ 15034) und des Senators für Bau, Umwelt und Verkehr in Bremen (AZ 97) in Zusammenarbeit mit dem Landesverband der Maschinenringe in Niedersachsen, der Marius GmbH und den beteiligten Landwirten durchgeführt.

Literatur

- AD-HOC AG BODEN (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*. 5. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- BRANDT, M. (1997): Grünguthäcksel-Verwertung zur Vermeidung von Bodenerosion und Nährstoffaustrag. *Boden und Landschaft* 18. Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- BRANDT, M. und WILDHAGEN, H. (1997): Inhaltsstoffe und Stofffrachten von Grünguthäcksel bei der Direktverwertung auf landwirtschaftlich genutzten Böden. *Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 83, S. 271–274.
- BRANDT, M. und WILDHAGEN, H. (1998): Grünguthäcksel-Verwertung zur Vermeidung von Bodenerosion. *Z. Kulturtech. Landentwickl.* 39, 81–86.
- COESTER, M. und SATTELMACHER, B. (1998): Auswirkungen einer flächenhaften Ausbringung von Grüngut auf landwirtschaftlich genutzten Flächen auf die Nährstoffdynamik und Schadstoffakkumulation der Böden unter Berücksichtigung der Ertragswirksamkeit. *Bioabfallverwertung: Ergebnisse des Förderschwerpunktes*, DBU, KTBL, Bd. 10, 47–54.
- COESTER, M. und KASTEN, J. (1999): Grüngutkompost oder Grünguthäcksel? – Vergleichende Betrachtung zwischen den ökologisch und ökonomisch günstigen Verwertungswegen von Grüngutabfällen im ländlichen Raum. *Müll und Abfall* 1/1999, 22–28.
- GRÜNEKLEE, C.E. (1997): Die Kompostierung in der Bundesrepublik Deutschland. *Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 83, 299–304.
- KLUGE, R. (1994): Grünguthäcksel direkt verwerten. *DLG-Mitteilungen* 4/1994, 32–33.
- KLUGE, R. und MOKRY, M. (2006): Nachhaltige Verwertung von Bioabfällen in der Landwirtschaft. Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg (LUFA), Karlsruhe.

- KLUGE, R., SCHAAF, H., SEVERIN, K. und RIESS, P. (1997): VDLUFA-Standpunkt. Landbauliche Verwertung von geeigneten Abfällen als Sekundärrohstoffdünger, Bodenhilfsstoffe und Kultursubstrate. *Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 83, 325–334.
- LFL (BAYERISCHE LANDESANSTALT für LANDWIRTSCHAFT) (2003): Verwertung von Grüngut aus der Landschaftspflege. Tagungsband. Fachtagung des Institutes für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, 25.03.2003 in Freising. *Schriftenreihe 1. Jahrgang 4/03.*
- OZOLS, U., BRANDT, M. und WILDHAGEN, H. (1997): Nährstoffausträge mit dem Oberflächenabfluss nach Kompost- und Grünguthäcksel-Anwendung. *Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 83, 355–358.
- PERETZKI, F., HEIGL, L. und SCHMIDT, M. (2005): Versuchsergebnisse aus Bayern 2005. Bioabfallverwertung im Ackerbau. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.), Freising.
- SCHMIDT, B., BRANDT, M. und WILDHAGEN, H. (1997): Einfluss von Grünguthäcksel- und Kompostanwendung auf physikalische Parameter einer Ackeroberfläche. *Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 83, 371–374.
- TIMMERMANN, F. und KLUGE, R. (1996): Direktverwertung von Grünguthäcksel im Ackerbau. *VDLUFA-Schriftenreihe 44, Kongressbd. 1996*, 533–536.
- TIMMERMANN, F., KLUGE, R., STAHR, K. und ZAUNER, G. (1999): Erarbeitung von Grundlagen für Anwendungsrichtlinien zur Verwertung geeigneter Rest- und Abfallstoffe im landwirtschaftlichen Pflanzenbau (Ackerbau). Projekt Wasser Abfall Boden, Forschungsvorhaben PW 95 171. LUFA Augustenberg, Karlsruhe.
- TIPPKÖTTER, R. (1994): The effect of ultrasound on the stability of mesoaggregates. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157, 99–104.
- VDLUFA (1997): Die Untersuchung von Böden. *Methodenbuch Band 1, 4. Aufl.*, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 540 S.
- WÜRFEL, T. und KLUGE, R. (1995): Direktverwertung von Grünguthäcksel im Ackerbau. *Merkblätter für umweltgerechte Landbewirtschaftung Baden-Württemberg*, Nr. 8, Hrsg. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, Rheinstetten.
- ZAUNER, G. und STAHR, K. (1997): Kompost- und Grünguthäckselanwendung in der Landwirtschaft. Erste Ergebnisse zu bodenphysikalischen und -mikrobiologischen Parametern. *Mitteilgn. Deutsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 83, 391–392.

Anschrift der Autoren

Dr. Heidi Taubner, Dr. Thilo Eickhorst und Prof. Dr. Rolf Tippkötter, Institut für Bodenkunde, Universität Bremen, Leobener Str. UFT, 28359 Bremen, Deutschland
E-Mail: htaubner@uni.bremen.de

Eingelangt am 29. September 2009

Angenommen am 17. November 2009