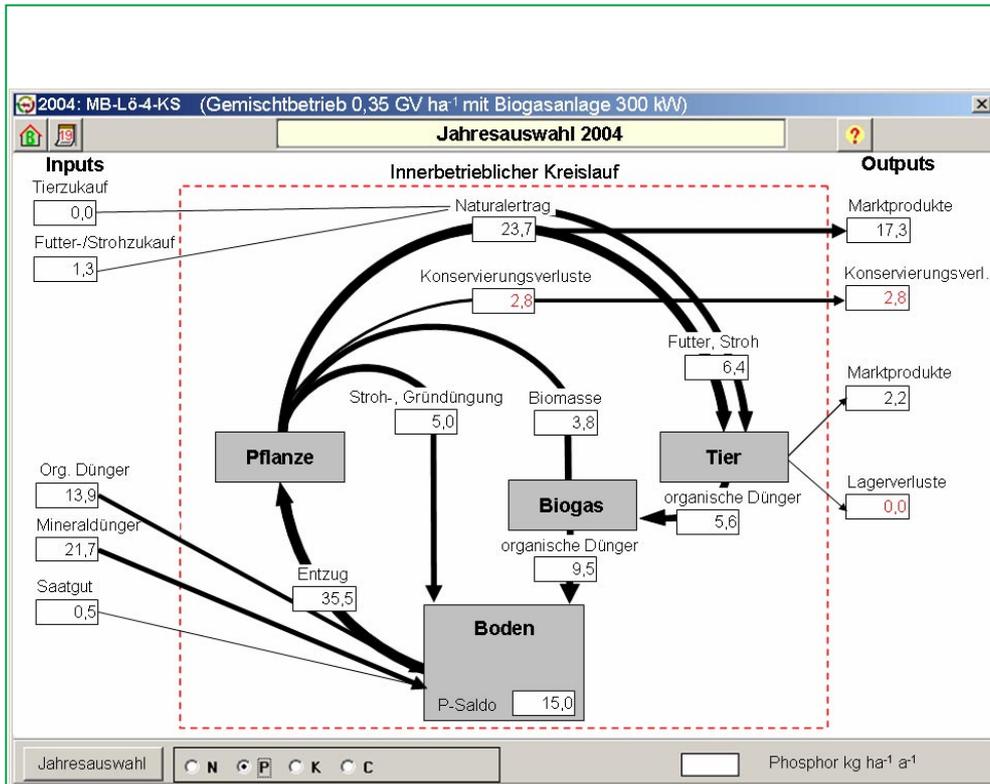




Das Lebensministerium



Nachhaltigkeit der Bodennutzung

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Heft 12/2007

Nachhaltigkeit der Bodennutzung sichern
Modellrechnungen zum Schließen der Stoffkreisläufe im landwirtschaftlichen Betrieb

Dr. Rolf Mönicke, Bernhard Wagner, Harald Schmid

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung	4
3	Methode	4
3.1	Beschreibung der Modellbetriebe - Standortparameter.....	5
3.2	Ökonomische Vergleichsbetrachtung	12
4	Ergebnisse	13
4.1	Berechnungsergebnisse je Modellbetrieb (MB)	13
4.2	Gesamtbetrachtung	30
4.2.1	Humusversorgung	30
4.2.2	Phosphor, Kalium und Kalk	31
4.2.3	Deckungsbeiträge.....	35
5	Zusammenfassung und Ausblick	37
6	Literatur	43

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Verteilung der Humusbilanzklassen von 1 058 DTF nach unterschiedlichen Berechnungsmethoden
- Tabelle 2: Standortparameter der beiden Standortvarianten
- Tabelle 3: Anbaustruktur in den Modellbetrieben
- Tabelle 4: Kenndaten der Biogasproduktion in den Modellbetrieben
- Tabelle 5: Kenndaten der Gärrestsubstrate in den Modellbetrieben
- Tabelle 6: Tierbestandsstruktur in den Modellbetrieben
- Tabelle 7: Ertrag, Trockenmasse- und Nährstoffgehalt der angebauten Kulturen
- Tabelle 8: Kenndaten von Bioabfallkompost und Klärschlamm
- Tabelle 9: Allgemeines Schema der Deckungsbeitragsberechnung
- Tabelle 10: Humusbilanz der Modellbetriebe MB-1 nach REPRO
- Tabelle 11: Flächenbezogene Phosphorbilanz der Modellbetriebe MB-1
- Tabelle 12: Flächenbezogene Kaliumbilanz der Modellbetriebe MB-1
- Tabelle 13: Deckungsbeitragsberechnung der Modellbetriebe MB-1
- Tabelle 14: Humusbilanz der Modellbetriebe MB-2 nach REPRO
- Tabelle 15: Flächenbezogene Phosphorbilanz der Modellbetriebe MB-2
- Tabelle 16: Flächenbezogene Kaliumbilanz der Modellbetriebe MB-2 nach REPRO
- Tabelle 17: Deckungsbeitragsberechnung der Modellbetriebe MB-2
- Tabelle 18: Humusbilanz der Modellbetriebe MB-3 nach REPRO
- Tabelle 19: Flächenbezogene Phosphorbilanz der Modellbetriebe MB-3
- Tabelle 20: Flächenbezogene Kaliumbilanz der Modellbetriebe MB-3
- Tabelle 21: Deckungsbeitragsberechnung der Modellbetriebe MB-3
- Tabelle 22: Humusbilanz der Modellbetriebe MB-4 nach HE-Methode
- Tabelle 23: Flächenbezogene Phosphorbilanz der Modellbetriebe MB-4
- Tabelle 24: Flächenbezogene Kaliumbilanz der Modellbetriebe MB-4
- Tabelle 25: Deckungsbeitragsberechnung der Modellbetriebe MB-4
- Tabelle 26: Humusbilanz des Modellbetriebes MB-5 nach REPRO
- Tabelle 27: Flächenbezogene Phosphorbilanz der Modellbetriebe MB-5
- Tabelle 28: Flächenbezogene Kaliumbilanz der Modellbetriebe MB-5
- Tabelle 29: Deckungsbeitragsberechnung der Modellbetriebe MB-5
- Tabelle 30: Kalkeinsatz in den Modellbetrieben
- Tabelle 31: Deckungsbeitrag III der Modellbetriebe
- Tabelle 32: Humusversorgungsgrad ohne den Einsatz von Sekundärstoffdünger
- Tabelle 33: Düngungsregime der Modellbetriebe des Lö-Standortes
- Tabelle 34: Düngungsregime der Modellbetriebe des D-Standortes
- Tabelle 35: Mit der Anwendung von Sekundärrohstoffdünger zum Humusbilanzausgleich verbundenes jährliches Einsparpotenzial an Mineraldünger
- Tabelle 36: Ökonomische Indikatoren der Modellbetriebe des Lö-Standortes
- Tabelle 37: Ökonomische Indikatoren der Modellbetriebe des D-Standortes

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 Humusersatzleistung in den Modellbetrieben
- Abbildung 2 N-Mineraldüngereinsatz in den Modellbetrieben
- Abbildung 3 P-Mineraldüngereinsatz in den Modellbetrieben
- Abbildung 4 K-Mineraldüngereinsatz in den Modellbetrieben
- Abbildung 5 Kalkdüngereinsatz in den Modellbetrieben
- Abbildung 6 Kosten der Zukaufdünger in den Modellbetrieben

Verzeichnis der Abkürzungen

DTF	Dauertestfläche
KS	Klärschlamm
BAK	Bioabfallkompost
FM	Frischmasse
TM	Trockenmasse
GV	Großvieheinheit
AL	Ackerland
GL	Grünland
MB	Modellbetrieb
LM	Lebendmasse
HE	Humuseinheit
HR	Humusreproduktion
DB	Deckungsbeitrag
MD	Mineraldünger
HP	Hauptprodukt
Vst.	Versorgungsstufe
GPS	Granzpflanzensilage
ZF	Zwischenfrucht
CAL/DL	Bestimmungsmethode zur Ermittlung des pflanzenverfügbaren Nährstoffgehaltes im Boden

1 Einleitung

Die Erhaltung der unendlichen Nutzungseignung unserer Böden ist eine existenzielle, generationsübergreifende Verpflichtung. Es ist die Grundlage für eine landwirtschaftliche Wertschöpfung "vor der Haustür". Bedingt durch das Wachstum der Bevölkerung und die Verbesserung ihrer Lebensverhältnisse steigt der Bedarf an Nahrungsmitteln pflanzlicher und tierischer Herkunft sowie an nachwachsenden Rohstoffen weltweit an. Auch wird die Rolle der Landwirtschaft zur CO₂-Bindung durch Ertragsbildung und CO₂-Speicherung im Boden in Form organischer Substanz zunehmen.

Die EU-Erweiterung, die EU-Agrarreform und die Öffnung des europäischen Agrarmarktes bedingen

- einen hohen Wettbewerbsdruck bei der Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte
- ein Wegbrechen von Feldfrüchten mit hohem Deckungsbeitrag (z. B. Zuckerrüben, nur teilweise Kompensation durch Anbau von Rüben zur Ethanolgewinnung)
- ein Zurückgehen der flächen- und produktbezogenen Förderbeträge im Nahrungsmittel- und Energiebereich besonders nach 2013.

Hohe Wettbewerbsfähigkeit bei der Erzeugung von landwirtschaftlichen Produkten ist letztlich das ständige Erreichen eines betriebswirtschaftlich optimierten Verhältnisses von materiellen und personellen Aufwendungen zu den Erlösen. Dabei spielt neben der Höhe des Ertrages auch die Sicherheit der Ertragsbildung eine entscheidende Rolle. Klimaeinflüsse, besonders zunehmende Trockenheit und steigende Temperaturen sowie ausschließlich an den Erfordernissen des Nahrungsmittelmarktes und einer effizienten Energiegewinnung orientierte Fruchtfolgen können die Ertragshöhe und -stabilität beeinträchtigen. Weiterhin ist bei der Bewirtschaftung des Bodens auf die Einhaltung der Qualitätskriterien der Ernteprodukte sowie die Beschaffenheit des auf bzw. unter der Fläche gebildeten Oberflächen- bzw. Grundwassers zu achten.

Bedingt durch die konkurrierende Flächennutzung (Nahrungsmittelerzeugung bzw. Produktion nachwachsender Rohstoffe) wird das dafür geeignete Ackerland zur wichtigen Ressource im landwirtschaftlichen Betrieb. Danach werden sich auch die Pachtpreise richten.

Ertragshöhe, Ertragssicherheit und Produktqualität stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit einer ausgewogenen Pflanzenernährung, dem Vorhandensein optimaler Wachstumsbedingungen (pH-Wert), Bodenverdichtungen und phytosanitären Hygieneaspekten (z. B. Unterbrechen der Infektionskette für pilzliche Erreger). Dazu kommt die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Wasserversorgung der Pflanzen, weil sie die Nährstoffe nur in gelöster Form über die Wurzeln bzw. Blätter aufnehmen können.¹

¹ Zur Bildung von 1 kg Trockensubstanz werden 300 bis 400 l Wasser benötigt.

Bereits 1840 hat Justus von Liebig in seinem Buch "Die Chemie und ihre Anwendung auf Agricultur und Physiologie" die Grundsätze der Nachhaltigkeit der Bodennutzung definiert: "Als Prinzip des Ackerbaus muss angenommen werden, dass der Boden im vollen Maße wieder erhalten muss, was ihm genommen wird ..." "... Eine Steigerung der Fruchtbarkeit, eine Erhöhung ihres (der Felder) Ertrages ist nur dann möglich, wenn wir mehr wiedergeben als wir nehmen."

Bundesweit einheitlich wird die Versorgung der Böden mit Grundnährstoffen (P, K, Mg), Kalk (pH-Wert) an Hand der Ergebnisse der Bodenuntersuchung sowie mit organischer Substanz gemäß mehrjähriger Humusbilanzierung nach den Versorgungsstufen bzw. Humusbilanzklassen A bis E beurteilt. Die Versorgungsstufe bzw. Humusbilanzklasse C ist das anzustrebende bzw. zu haltende Optimum, um eine ausgewogene Nährstoffversorgung der Pflanzen und entsprechende Wachstumsbedingungen zu sichern. In Düngungssystemen (z. B. BEFU) werden ertragsabhängige Nährstoffabfuhr und ein prozentualer bodenbezogener Mehr- bzw. Minderbetrag für Nährstoffe berücksichtigt, je nachdem welche Versorgungsstufe vorliegt. Eine Humusbilanz wird meist nicht gerechnet.

Bei Nicht- oder nicht vollständiger Umsetzung der Düngungsempfehlungen, wird dem Boden mehr entnommen als ihm zurückgegeben wird (negative Nährstoffbilanzen). Bei Verzicht auf z. B. 10 Jahre P-Düngung, verändert sich die Versorgungsstufe des Bodens von C nach B. Sind die P-Versorgungsstufen A oder B erreicht, ist nach KERSCHBERGER und SCHRÖTER (2006) langfristig mit 10 bis 40 Prozent Ertragsverlusten zu rechnen. An diesem grundsätzlichen Ergebnis ändern kurzzeitig hohe Erträge auf Böden der Vst. B nichts. Weiterhin ist zu erwähnen, dass nachwachsende Rohstoffe (Ganzpflanzen) durch ihren hohen Nährstoffbedarf von der Ertragsdegression besonders betroffen sind. Werden nur geringe P-Mengen ausgebracht, so werden sie zunächst an die Bodenmatrix gebunden und sind nur sehr eingeschränkt ertragswirksam. Eine N-Düngung nach Erwartungsertrag, der dann nicht erreicht wird, führt zu hohen auswaschungsgefährdeten N-Überhängen.

Letztlich soll auf die Notwendigkeit der Kalkversorgung des Bodens, d. h. auf das Einhalten des pH-Wertes lt. Versorgungsstufe C hingewiesen werden. Mit zunehmender Versauerung des Bodens steigt nach KERSCHBERGER und MARX (2006) der Variationskoeffizient der Ertragsbildungen, d. h. die Ertragsschwankungen nehmen erheblich zu.

Beginnend ab 1990 wurde in Sachsen ein Netz von Dauertestflächen eingerichtet. Diese 1 050 repräsentativ über Sachsen verteilten Dauertestflächen (DTF) sind Flächen oder Flächenteile, die der vorgesehenen landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen, mehrfach im Jahr beprobt werden und bei denen alle Bewirtschaftungsdaten erfasst werden. Eine weitere Datenquelle ist der Ergebnisrücklauf der in Privatlaboren durchgeführten Bodenuntersuchungen im jeweiligen Jahr.

Übereinstimmend weisen die Ergebnisse einen hohen Anteil der Versorgungsstufen bzw. Humusbilanzklassen A und B (sehr schlecht und schlecht versorgt) der DTF auf. Besonders gravierend ist es bei Phosphor und Kalk. Hier beträgt der Anteil der Versorgungsstufen A und B 36 bzw. 44 Prozent (BRD-Durchschnitt 21 bzw. 39 Prozent) (SUNTHEIM und NEUBERT, 2005). Bei Phosphor ist Sachsen das Bundesland, das den höchsten Anteil der Versorgungsstufen A und B aufweist. Wie bereits erwähnt, stellen sich diese Nährstoffversorgungsstufen erst nach mehrjähriger Bewirtschaftung im negativen Bilanzbereich ein. Deshalb ist mit einer weiteren Zunahme der Versorgungsstufen A und B in den nächsten Jahren zu rechnen.

Zur Beurteilung der Humusversorgung der Ackerflächen des Freistaates Sachsen wurden für die o. g. Dauertestflächen für einen Zeitraum von sechs Jahren die Humusbilanzen nach unterschiedlichen Methoden berechnet (MÖNICKE, BEER und KURZER, 2004). Der Anteil der Böden, die in die Humusbilanzklasse A und B einzuordnen sind, beträgt nach der Rechenmethode REPRO 47 Prozent und nach der Methode Cross Compliance nur 9 Prozent (Tabelle 1)

Tabelle 1: Verteilung der Humusbilanzklassen von 1 058 DTF nach unterschiedlichen Berechnungsmethoden (Sachsen ges./mittl. Saldo über sechs Jahre)

Berechnungsmethode	Anteil der Humusbilanzklassen in Prozent				
	A	B	C	D	E
REPRO +)	21	26	36	13	4
VDLUFA +) Standpunkt obere Werte	15	21	38	19	7
VDLUFA +) Standpunkt untere Werte	2	9	38	38	13
Cross Compliance ++)	2	7	29	41	21

+) Reproduktionsleistung des Strohs 80 kg C t⁻¹FM

++) Reproduktionsleistung des Strohs 100 kg C t⁻¹FM

Hier zeigt sich das methodische Dilemma des VDLUFA-Standpunktes (VDLUFA 2004) zur Humusbilanzierung. Weil die Humuseinheitenmethode (VDLUFA-Standpunkt – obere Werte) auf sächsische Dauerfeldversuche zurückgeht, das Modell REPRO auf dieser Methode aufbaut und zusätzlich die Jahresniederschlagsmenge, die Bodenart, die Höhe der Mineraldüngung, den Gesamtertrag und die ertragsabhängige Bewertung der Reproduktionsleistung der Koppelprodukte und der Wurzelmasse beinhaltet, sind die Ergebnisse der Humusbilanzrechnung nach dem Modell REPRO für Sachsen relevant. Bei der Berechnung nach Cross Compliance wird ein um 24 bis 42 Prozent verminderter Humusbedarf einer 25 Prozent höheren Reproduktionsleistung des Strohs gegenüber gestellt.

Diese Rechenmethode ist der kleinste gemeinsame Nenner, der im Rahmen der EU erreichbar ist. Sie ist ein ordnungspolitisches Instrument und zur Beurteilung der standortbezogenen guten fachlichen Praxis nicht geeignet.

2 Aufgabenstellung

Aus dem o. g. Sachverhalt ergibt sie die Frage:

Wie kann ein Landwirtschaftsbetrieb, dessen Flächen der Versorgungsstufe bzw. Bilanzklasse B zuzuordnen sind, mittelfristig (vier bzw. 12 Jahre) wieder die Versorgungsstufe bzw. Bilanzklasse C erreichen?

Die Untersuchungen beziehen sich auf Phosphor, pH-Wert und Humus. Bei den übrigen Grundnährstoffen wie Kali und Magnesium ist der Anteil der Versorgungsstufen A und B in Sachsen noch nicht so groß, so dass von der Versorgungsstufe C ausgegangen wird. Vorrang hat das Schließen der Stoffkreisläufe im Bereich Humusversorgung, weil es dazu außer Sekundärrohstoffdünger wenig Alternativen gibt.

3 Methode

Die Untersuchungen werden beispielhaft an Modellbetrieben durchgeführt und beginnen mit dem Schließen der Stoffkreisläufe im Bereich der organischen Substanz. Es werden Betriebe mit unterschiedlichem Tierbesatz, darauf abgestimmten Grünlandanteil und mit und ohne Biogasanlagen untersucht. Als zusätzliche Quellen für organische Substanz werden die Sekundärrohstoffdünger Klärschlamm (KS) und Bioabfallkompost (BAK) betrachtet, weil sie die einzigen, in größerem Umfang verfügbaren Alternativen sind, die nach dem Ausschöpfen innerbetrieblicher Stoffkreisläufe in Frage kommen. Der verbliebene Nährstoffbedarf wird über Mineraldünger abgedeckt.

Als Software für das Aufzeigen und Bilanzieren der innerbetrieblichen Stoffflüsse sowie das Errechnen der wirtschaftlichen Auswirkungen (Deckungsbeiträge) wird das Modell REPRO genutzt. Das Modell REPRO erlaubt es, ausgehend von regionstypischen Strukturen (Standort, Anbaustruktur, Tierbesatz), Intensitätsniveaus (Stoff- und Energieeinsatz, Leistungsniveau) und Produktionsverfahren (Arbeitsgänge und Termine) in sich schlüssige Betriebssysteme virtuell aufzubauen und betriebliche Stoffkreisläufe zu modellieren. Die Humusbilanzierung wird nur für ackerbaulich genutzte Böden durchgeführt und erfolgt mit der Humuseinheiten-Methode in der dynamischen Betrachtungsweise (Kurzbezeichnung REPRO) nach HÜLSBERGEN et al., 2000.

Die Modellbetriebe bilden die Grundlage für die Szenariorechnungen. Ausführlich (z. B. Stickstoff- und Energiebilanzen sowie Humusbilanzen auf der Basis der unteren Werte nach VDLUFA) sind die Berechnungen in SCHMID, H.: "Gutachten für Bewirtschaftungsalternativen von Modellbetrieben 2007" dargestellt.

3.1 Beschreibung der Modellbetriebe - Standortparameter

Für die Modellbetriebe wurden zwei unterschiedliche Standortvarianten gewählt:

- LÖ-Standort: - Bodenart: Lehm bis Schlufflehm.
- Bodenform: Grieserden, Fahlerden.
- Ackerzahl: 70-75.
- D-Standort: - Bodenart: lehmiger Sand bis Sandlehm.
- Bodenform: Braunerden.
- Ackerzahl: 50-55.

In Tabelle 2 sind die im Modell REPRO verwendeten Standortparameter aufgelistet.

Tabelle 2: Standortparameter der beiden Standortvarianten

Parameter	ME	Lö-Standort		D-Standort	
		AL	GL	AL	GL
pH		5,8	5,3	5,4	4,9
	Versorgungsstufe	B	B	B	B
Phosphor	mg P _{CAL} 100 ⁻¹ g Bd.	4,3	4,0	4,3	4,0
	Versorgungsstufe	B	B	B	B
Kalium	mg K _{CAL} 100 ⁻¹ g Bd.	11,5	11,5	10,0	10,0
	Versorgungsstufe	C	C	C	C
Magnesium	mg Mg 100 ⁻¹ g Bd.	8,2	8,2	8,2	8,2
	Versorgungsstufe	C	C	C	C
Kohlenstoff	% im Bd. TM	1,55		1,55	
Humus	% im Bd. TM	2,67		2,67	

Mittelfristig (vier bzw. 12 Jahre) soll sich der Versorgungszustand der Böden bezüglich Boden-pH und Phosphor in der Versorgungsstufe C einpendeln. Die P-Düngungsgaben werden hierbei so bemessen, dass der P-Saldo 50 Prozent über dem P-Entzug liegt (VDLUFA 1997). Bei den Nährstoffen Kalium und Magnesium soll keine Verschlechterung auftreten. Für die organische Substanz des Bodens wird, ausgehend von einer länger währenden Aushagerung und aus Gründen der Ergebnissicherheit, eine leicht positive Versorgung innerhalb der Bilanzklasse C angestrebt (75 kg C ha⁻¹ a⁻¹).

Bei den Berechnungen wird beim Ackerland eine Bodentiefe von 30 cm und eine einheitliche Lagerungsdichte von 1,5 g cm⁻³ berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass 60 - 65 Prozent des zugeführten Phosphors vom Boden adsorbiert werden. Nur 35 - 40 Prozent des zugeführten Phosphors stehen für die Anhebungen im CAL-Versorgungszustand der Böden zur Verfügung.

Bei der Berechnung des Kalkbedarfs der beiden Standortvarianten wurde Ackerland und Grünland getrennt betrachtet und der Kalkbedarf zur Gesundungskalkung bestimmt (VDLUFA 2002, DLG 2006). Hierbei wurde der theoretische Kalkwert (Kalkbedarfswert) der eingesetzten mineralischen und organischen Düngemittel nach SLUIJSMANS (1970) mit berücksichtigt.

Folgende fünf Modellbetriebe wurden gebildet

- MB-1: Marktfruchtbetrieb
- MB-2: Marktfruchtbetrieb mit Biogas: 400 kW Anlage
Fermentation: pflanzliche Produkte
Gärrestanfall entsprechend $0,5 \text{ GV ha}^{-1}$
- MB-3: Gemischtbetrieb mit $0,5 \text{ GV ha}^{-1}$
- MB-4: Gemischtbetrieb ($0,35 \text{ GV ha}^{-1}$) mit Biogas: 300 kW Anlage
Kofermentation: pflanzliche Produkte/Gülle und Stallmist
(Verhältnis FM = 1:2; TM = 2:1; Biogas = 4:1)
Gärrestanfall entsprechend $0,5 \text{ GV ha}^{-1}$
- MB-5: Gemischtbetrieb mit $1,0 \text{ GV ha}^{-1}$

Der Tierbestand wird, entsprechend den zur Verfügung stehenden agrarstatistischen Daten, in vereinfachter Differenzierung dem jeweiligen Modellbetrieb zugewiesen. Bei der Anlage der Modellbetriebe wurde darauf geachtet, dass das regionale Anbauverhältnis mit abgebildet ist und die Bewirtschaftung unter Beibehaltung der Schlagstruktur über längere Zeiträume fortgeschrieben werden kann.

Betriebsstruktur :

- 1 000 ha LN (AL + GL),
- 50 Schläge zu 20 ha (Fruchtartenanteile über 2 Prozent d. LN werden berücksichtigt),
- Düngergaben, PS-Intensität, Produktionsverfahren und Erträge entsprechen den beiden regionalen Standortvarianten
MB-Lö: den höheren Erträgen angepasste intensivere Düngung und PS-Einsatz,
MB-D: den niedrigeren Erträgen angepasste verhaltene Düngung und PS-Einsatz.
- Tierbestandsstruktur: Milchvieh, Bullenmast, Zuchtsauen und Mastschweine,
- ausschließlich Stallhaltung und Flüssigmist (Kälber < 3 Mon. Strohhaltung),
- Eigenfutterproduktion (ausgenommen Mineralfutter und Eiweißfutter).

In Tabelle 3 ist die Anbaustruktur in den Modellbetrieben für den Lö- und D-Standort dargestellt.

Tabelle 3: Anbaustruktur in den Modellbetrieben

Fruchtart	ME	Lö-Standort					D-Standort				
		MB-1	MB-2	MB-3	MB-4	MB-5	MB-1	MB-2	MB-3	MB-4	MB-5
LN	ha	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
AL	ha	1000	1000	860	860	720	1000	1000	860	860	680
GL	ha			140	140	280			140	140	320
Winterweizen	% LN	36	36	30	26	22	28	28	22	18	12
Winterroggen	% LN						12	8	10	10	6
Wintergerste	% LN	14	10	10	10	10	14	10	10	10	12
Triticale	% LN			2	2	2			2	2	2
Sommergerste	% LN	6	2	4	2		8	4	4	2	2
Wi-Getr. GPS	% LN		4		4	4		6	2	4	2
Mais (Körner)	% LN	6	2	2	2		6	2	2	2	
Mais (Silo)	% LN		14	8	14	14		16	8	16	16
W. Raps	% LN	22	20	22	18	14	20	18	20	16	12
Erbsen	% LN	4					4	2			
Kart.	% LN	4	4	2	2	2	4	2	2	2	2
Z. Rüben	% LN	8	8	6	6	4	4	4	4	4	2
GL ext.	% LN			2	2	2			2	2	4
GL int.	% LN			12	12	26			12	12	28
Zwischenfrucht	ha	60	160	100	160	140	60	180	100	180	160
Senf	% LN	6					6				
Wi-Getr. GPS	% LN		16	10	16	14		18	10	18	16

Aufgrund der derzeitigen agrar- und energiepolitischen Rahmenbedingungen wurden für die Modellbetriebe MB-2 und MB-4 Biogasanlagen vorgesehen. Für den viehlosen Betriebstyp (MB-2) kommen zum Betreiben der Biogasanlage überwiegend folgende nachwachsenden Rohstoffe zum Einsatz: Silomais, Ganzpflanzensilage (GPS) aus Wintergetreide und Winterzwischenfrucht, sowie zur Ergänzung Stroh.

Der viehhaltende Betriebstyp (MB-4) betreibt die Biogasanlage mit nachwachsenden Rohstoffen (Silomais, GPS aus Wintergetreide und Winterzwischenfrucht sowie Stroh) und mit den anfallenden Wirtschaftsdüngern der Tierhaltung (Gülle und Stallmist). Das Verhältnis von pflanzlichen Gärsubstraten zu Gärsubstraten aus der Tierhaltung beträgt 1 : 2 bei der Frischmasse, 2 : 1 bei der Trockenmasse und 4 : 1 bei der Biogausbeute.

Tabelle 4 zeigt die Beschickungsmengen der Biogasanlage mit Substraten sowie die Gasausbeute der einzelnen Substrate (KAISER et al. 2004; SCHATTAUER & WEILAND, 2005).

Bei der Modellkalkulation wird in Anlehnung an KEYMER & REINHOLD (2005) angenommen, dass während der Biogasproduktion keine Verluste an Inhaltsstoffen (ausgenommen C) auftreten, dass sich also die in die Biogasanlage eingeschleusten Nährstoffe im Gärrest wieder finden. Bei der Ausbringung von Gärrestsubstraten kommt es zu Stickstoffverlusten in ähnlicher Größenordnung (ca. 20 Prozent vom Gesamt-N) wie bei der Ausbringung von Gülle aus der Tierproduktion. Die

Nährstoffgehalte der Gärreste in den Kalkulationen liegen in den von DEDERER (2006) angegebenen Größenordnungen.

Bei einer angenommenen Jahreslaufzeit von 8 000 Stunden entspricht die errechnete elektrische Energie bei rein pflanzlicher Fermentation (MB-2) einer Biogasanlage von ca. 400 kW, bei Kofermentation (MB-4) einer Biogasanlage von ca. 300 kW. Die Kalkulation der Humusreproduktionsleistung des Gärrestsubstrates wurde in Anlehnung an GUTSER & EBERTSEDER (2006) mit 139 kg C t⁻¹ TM abgeleitet.

Tabelle 4: Kenndaten der Biogasproduktion in den Modellbetrieben

	FM t	TM t	Gär- rest m ³	Biogas m ³	Methan m ³	Energie ges. kWh	Energie el. kWh
MB-Lö-2							
Maissilage	4790	1533	5295	957950			
GPS (.Silage)	859	258	948	171733			
ZF-GPS (Silage)	1536	461	1697	199680			
Stroh (Wi-Getr.)	450	387	1601	135000			
Gesamt	7634	2638	9541	1464363	790756	7907562	3163025
MB-Lö-4							
Maissilage	2834	907	3133	566800			
GPS (.Silage)	658	197	727	131600			
ZF-GPS (Silage)	398	119	440	51740			
Stroh (Wi-Getr.)	520	447	1848	155871			
Stalldung	688	155	647	55027			
Gülle	7991	628	2768	159810			
Gesamt	13088	2453	9562	1120848	605258	6052581	2421032
MB-D-2							
Maissilage	4641	1485	5130	928200			
GPS (.Silage)	1196	359	1321	239200			
ZF-GPS (Silage)	1555	467	1718	202176			
Stroh (Wi-Getr.)	384	330	1366	115200			
Gesamt	7776	2641	9535	1484776	801779	8017790	3207116
MB-D-4							
Maissilage	2834	907	3133	566800			
GPS (.Silage)	588	176	649	117600			
ZF-GPS (Silage)	468	140	517	60840			
Stroh (Wi-Getr.)	520	447	1851	156081			
Stalldung	688	155	647	55041			
Gülle	7918	621	2737	158368			
Gesamt	13017	2447	9535	1114730	601954	6019541	2407816

Der Anfall und die Inhaltsstoffe der Gärrestsubstrate sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: Kenndaten der Gärrestsubstrate in den Modellbetrieben

Parameter	ME	MB-Lö-2	MB-Lö-4	MB-D-2	MB-D-4
FM	m ³	9541	9562	9535	9535
TM	%	6,4	6,1	6,4	6,1
pH		8,5	8,5	8,5	8,5
Humuseinheiten ^{a)}	HE t ⁻¹ TM	0,24	0,24	0,24	0,24
Humus-Reproduktion ^{b)}	kg Humus-C t ⁻¹ FM	9,60	9,15	9,60	9,15
C	% TM	32,0	32,0	32,0	32,0
Nges.	% TM	5,8	8,1	6,0	8,1
Nlösl.	% TM	3,6	5,1	3,8	5,1
C/N		5,5	4,0	5,3	3,9
P	% TM	1,1	1,6	1,1	1,6
K	% TM	6,0	9,3	6,1	9,6
Mg	% TM	1,0	1,0	1,0	1,0
CaO ^{c)}	% TM	2,2	2,2	2,2	2,2

^{a)} HE: HE-Methode nach HÜLSBERGEN et al. (2000)

^{b)} VDLUFA-Standpunkt zur Humusbilanzierung (VDLUFA, 2004)

^{c)} basisch wirksame Bestandteile berechnet als CaO

Die Tierhaltungsform und -fütterung der viehhaltenden Modellbetriebe MB-3, MB-4 und MB-5 entspricht den für die betrachtete Region üblichen Bedingungen. Der Milcherzeugung (mit eigener Bestandesergänzung der Milchviehherde) sowie der Bullenmast kommt eine zentrale Rolle zu (Tabelle 6). Die Milchleistung je Kuh wurde mit 8 000 kg Milch je Tier und Jahr festgelegt, bei einem mittleren Fettgehalt von 3,5 Prozent, einem Eiweißgehalt von 3,2 Prozent. In der Bullenmast beträgt die mittlere Tageszunahme ca. 1 150 g je Tag. Ganzjährige Stallhaltung mit Flüssigmist wird unterstellt. Lediglich die Kälber (< 3 Mon.) haben ein Tiefstallsystem mit Stroheinstreu.

In der Schweinehaltung wurde als Stallsystem Flüssigmist unterstellt und folgende Leistungskriterien festgelegt:

- 2,2 Würfe und 20,5 abgesetzte Ferkel je Sau und Jahr
- Mastschweine: mittlere Tageszunahmen von ca. 700 g je Tag

Bei der Fütterung der Rinder und Schweine wird Eigenfutter verfüttert. Lediglich Mineral- und Eiweißfutter wird zugekauft. In Tabelle 6 ist die Tierbestandsstruktur in den tierhaltenden Modellbetrieben der beiden Standorttypen dargestellt.

Tabelle 6: Tierbestandsstruktur in den Modellbetrieben

Kennzahl	ME	Lö- und D-Standort		
		MB-3	MB-4	MB-5
Viehbesatz	GV ha ⁻¹	0,50	0,35	1,00
Viehbestand	GV	500	350	1000
Tierische Marktproduktion	GE ha ⁻¹	27,5	17,3	54,9
Rinderhaltung				
Rinder	GV ha ⁻¹	0,35	0,31	0,69
Rinder	GV	347	308	693
Milchkühe	Stück	172	186	344
Kälber (< 4 Mon.)	Stück	36	39	72
Jungvieh, weibl. (4-6 Mon.)	Stück	21	23	42
Jungvieh, weibl. (6-12 Mon.)	Stück	42	46	84
Jungvieh, weibl. (1-2 Jahre)	Stück	84	92	168
weibl. Tiere (> 2 Jahre)	Stück	18	19	35,5
Rinder, männl. (4-6 Mon.)	Stück	21		42
Rinder, männl. (6-12 Mon.)	Stück	42		84
Rinder, männl. (1-2 Jahre)	Stück	42		84
Anteil Festmist (Kälber)	%	3,2	4,8	4,1
Schweinehaltung				
Schweine	GV ha ⁻¹	0,15	0,04	0,31
Schweine	GV	153	42	307
Zuchtsauen	Stück	105	116	210
Läufer (LM: 6-29 kg)	Stück	336	374	672
Mastschweine (LM: 29-70 kg)	Stück	360		720
Mastschweine (LM: 70-114 kg)	Stück	360		720
Anteil Festmist	%	0,0	0,0	0,0

Die Erträge für die angebauten Kulturen wurden entsprechend den zur Verfügung stehenden agrarstatistischen Daten für die beiden Standortvarianten festgelegt. Die Erträge sowie die verwendeten Trockenmasse- und Nährstoffgehalte sind in Tabelle 7 aufgelistet.

Tabelle 7: Ertrag, Trockenmasse- und Nährstoffgehalt der angebauten Kulturen

Fruchtart	Lö-Standort dt FM ha ⁻¹	D-Standort dt FM ha ⁻¹	TM % TM	N kg N dt ⁻¹ TM	P kg P dt ⁻¹ TM
Winterweizen	75	62	86	2,28	0,41
Winterroggen	68	60	86	1,87	0,41
Wintergerste	75	62	86	1,98	0,41
Triticale	65	62	86	2,02	0,41
Sommergerste	54	45	86	1,92	0,41
Getreidestroh	0,8 • dt HP	0,8 • dt HP	86	0,58	0,15
Wi-Getreide GPS	350	325	23	1,78	0,28
Mais - Körner	78	65	86	1,69	0,41
Mais - Silo	460	390	28	1,36	0,25
Winterraps	39	32	91	3,68	0,86
Erbsen	38	28	86	4,19	0,56
Kartoffeln	400	330	22	1,59	0,27
Zuckerrüben	515	485	23	0,78	0,17
ZF, Senf	120	120	15	2,40	0,40
ZF, Wi-Getr. GPS	200	180	18	2,44	0,33
Grünland, exten- siv	250	250	18	2,40	0,40
Grünland, intensiv	380	380	18	2,90	0,45

Die Inhaltsstoffe des ausgebrachten Bioabfallkompostes (BAK) und Klärschlammes (KS) sind in Tabelle 8 dargestellt. Es wurden durchschnittliche Werte unterstellt. Bei der Ausbringung von Klärschlamm bzw. Bioabfallkompost wurde die Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Höchstmengen (z. B. 5 t TM KS ha⁻¹ aller drei Jahre) (BMU 1992) beachtet. Im gesamten Düngungsregime wurden die zulässigen N-Salden lt. DüV berücksichtigt.

Tabelle 8: Kenndaten von Bioabfallkompost und Klärschlamm

	TM %	HE ^{a)} HE t ⁻¹ TM	HR ^{b)} kg C t ⁻¹ FM	C % TM	N _{ges} % TM	N-lösl. % TM	P % TM	K % TM	Mg % TM	CaO ^{c)} % TM
BAK	60,0	0,278	70	25,0	1,5	0,05	0,3	0,9	0,6	3,5
KS	35,0	0,286	36	34,2	3,4	0,32	1,7	0,2	0,6	4,9

^{a)} HE: HE-Methode nach HÜLSBERGEN et al. (2000)

^{b)} Humus-Reproduktion: VDLUFA-Standpunkt zur Humusbilanzierung (VDLUFA, 2004)

^{c)} basisch wirksame Bestandteile berechnet als CaO

Klärschlamm (KS) und Bioabfallkompost (BAK) werden in der Fruchtfolge zu Winterraps, auf die Stoppel der Vorfrucht in für den Fruchtfolgezeitraum relevanten Mengen ausgebracht. Die in der Ergebnisübersicht angegebenen KS- bzw. BAK-Mengen sind auf die Ackerfläche und das Jahr bezogene Durchschnittswerte. Um die o. g. gesetzlich vorgeschriebenen Höchstmengen nicht zu

überschreiten, musste in der Klärschlammvariante des Betriebstyps MB-4 (bei beiden Standorttypen) zusätzlich mit Bioabfallkompost gedüngt werden. Diese zusätzliche Düngung mit Bioabfallkompost zur Erreichung der angestrebten Humusversorgung erfolgt zu Zuckerrüben.

3.2 Ökonomische Vergleichsbetrachtung

Die Anhebung des Versorgungszustandes der Böden (Boden-pH, Phosphor und organische Substanz) wirkt sich auch ökonomisch auf die Situation des landwirtschaftlichen Betriebes aus. Um entsprechende Vergleiche ziehen zu können, wurde der Deckungsbeitrag der einzelnen Modellbetriebe berechnet. In Tabelle 9 ist das allgemeine Schema der Deckungsbeitragsberechnungen aufgeführt.

Tabelle 9: Allgemeines Schema der Deckungsbeitragsberechnung

DB I	=	Marktleistung	
		- Proportionale Spezialkosten	
		Saatgut	
		Düngung	
		Pflanzenschutz	
		Variable Verfahrenskosten	
		Hagelversicherung	
		Lagerungskosten	
		Zinsanspruch	
DB II	=	DB I	
		- Flächenprämie	
		Energieprämie ^{a)}	für Non-Food-Raps, Energie-Mais, Energie-GPS
		Eiweißprämie	für Erbsen
		Zwischenfrüchte	für Senf, Zwischenfrucht Wi-Getr.
		Flächenprämie Grünland	Reduzierter Mitteleinsatz, KULAP
DB III	=	DB II	
		- Arbeitskosten	

^{a)} Energieprämie: für Non-Food-Raps (50 Prozent der geernteten Menge)
für Energie-Mais, Energie-GPS (nicht für verfütterte Mengen)

Um die Marktleistung berechnen zu können, wurden für die jeweiligen pflanzlichen Verkaufsprodukte folgende Preise zu Grunde gelegt (BayWa Aug. 2006):

- Winterweizen: 11,97 € dt⁻¹
- Winterroggen: 10,02 € dt⁻¹
- Wintergerste: 10,19 € dt⁻¹
- Triticale: 9,42 € dt⁻¹
- Sommergerste: 12,15 € dt⁻¹
- Getreidestroh: 4,50 € dt⁻¹

- Mais - Körner: 11,78 € dt⁻¹
- Winterraps: 22,82 € dt⁻¹
- Erbsen: 12,02 € dt⁻¹
- Kartoffeln: 7,84 € dt⁻¹
- Zuckerrüben: 4,90 € dt⁻¹

Bei den zugekauften Düngemitteln wurde von folgenden Preisen ausgegangen (BayWa Aug. 2006):

- Klärschlamm: 0,00 € dt⁻¹
- Bioabfallkompost: 0,25 € dt⁻¹
- Kohlensaurer Kalk 85: 1,80 € dt⁻¹
- Ammonsulfatsalpeter 18,50 € dt⁻¹
- Kalkammonsalpeter 27: 17,50 € dt⁻¹
- Schwefelsaures Ammoniak: 14,75 € dt⁻¹
- Triple-Superphosphat: 23,01 € dt⁻¹
- Kornkali 60er: 14,50 € dt⁻¹
- Diammonphosphat: 27,60 € dt⁻¹
- Magnesia-Kainit: 2,24 € dt⁻¹
- NPK 15+15+15: 22,42 € dt⁻¹

Für den eingesetzten Klärschlamm fallen keine Kosten (auch keine Ausbringkosten) an, weil der Klärschlamm nach Analyse der Inhaltsstoffe, nach Untersuchung des zu düngenden Bodens und nach Erlaubniserteilung zur Ausbringung durch die zuständige kommunale Behörde vom Lieferant des Klärschlammes kostenlos zum gewünschten Termin ausgebracht wird. Die Lohnkosten wurden auf 11,00 € h⁻¹ festgesetzt. Der Arbeitsaufwand für Verwaltung, Betriebsleitung etc. wurde mit 50 Prozent der tatsächlich geleisteten Feldarbeitsstunden angesetzt.

4 Ergebnisse

4.1 Berechnungsergebnisse je Modellbetrieb (MB)

MB-1: Marktfruchtbetrieb

Die nachfolgend beschriebenen Bilanzrechnungen sind auf das Ackerland bezogene durchschnittliche Bilanzen pro ha und Jahr. Gemäß der Aufgabenstellung beginnt die Darstellung mit den Ergebnissen der Humusbilanzierung (Tabelle 10).

Tabelle 10: Humusbilanz des Modellbetriebes MB-1 nach REPRO

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
Ackerland	ha AL	1000	1000	1000	1000	1000	1000
HE-Methode - Umrechnung in kg C (1 HE = 1 t Humus mit 580 kg C (LEITHOLD et al. 1997))							
Humusbedarf	kg C ha ⁻¹ AL	-476	-476	-476	-412	-412	-412
Humusersatzleistung	kg C ha ⁻¹ AL	412	551	551	342	487	487
Mehrerleistung ^{a)}	kg C ha ⁻¹ AL	12	12	12	6	6	6
Zufuhr org. Dünger	kg C ha ⁻¹ AL	400	539	539	336	481	481
Strohdüngung	kg C ha ⁻¹ AL	365	365	365	313	313	313
Gründüngung	kg C ha ⁻¹ AL	35	35	35	23	23	23
Stallmist	kg C ha ⁻¹ AL						
Gülle	kg C ha ⁻¹ AL						
sonst. org. Dünger	kg C ha ⁻¹ AL		139	139		145	145
Humussaldo	kg C ha ⁻¹ AL	-64	75	75	-70	75	75
Versorgungsgrad ^{b)}	%	86,1	115,3	115,7	82,8	117,7	117,7
Versorgungsstufe^{c)}		C	C	C	C	C	C

^{a)} Humusanreicherung durch Zwischenfrucht-, Leguminosenanbau, Stilllegung, etc.

^{b)} Humusversorgungsgrad = Humusersatzleistung / Humusbedarf * 100

^{c)} Versorgungsstufe: A = sehr niedrig (< -200 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 B = niedrig (-200 bis -76 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹) C = optimal (-75 bis 100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 D = hoch (101 bis 300 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹) E = sehr hoch (> 300 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)

Aus Tabelle 10 ist ersichtlich, dass ohne einen Ausgleich mit Sekundärrohstoffdüngern (Szenario MD) der Humusversorgungsgrad bei 83 - 86 Prozent liegt, d. h. die Humusbilanz ist negativ. Die Düngung mit den Sekundärrohstoffdüngern Bioabfallkompost bzw. Klärschlamm (siehe "sonst. org. Dünger") führt zur angestrebten leicht positiven Versorgung der Böden mit organischer Substanz (75 kg C ha⁻¹ a⁻¹).

Bedingt durch den unterschiedlich hohen Humusbedarf (anderes Fruchtartenspektrum, unterschiedliche Ertragshöhe) weisen die beiden Standortvarianten einen unterschiedlichen Versorgungsgrad auf. Der dynamische Ansatz der HE-Methode (REPRO) veranschaulicht hierbei den Einfluss der Ertragshöhe und die unterschiedliche Wichtung der einzelnen organischen Düngermengen.

Aus dem Anheben der P-Versorgungsstufe B zu C ergibt sich ein zwölfjähriger Düngungszeitraum. Nach dieser Zeit steigt in der KS- bzw. BAK-Variante der Kohlenstoffgehalt des Bodens um 0,02 Prozent. In den Varianten ohne Sekundärrohstoffdüngung sinkt der C-Gehalt hingegen um 0,02 Prozent. Die flächenbezogene Phosphor- und Kaliumbilanz bildet die Grundlage zur Bewertung des jährlichen Phosphor- und Kaliummanagements des Betriebes (Tabelle 11 und Tabelle 12). Es sei nochmals daran erinnert, dass Sekundärrohstoffdünger nur zur Humusversorgung eingesetzt wer-

den. Der sich ergebende Fehlbetrag bei Phosphor, Kali und Kalk wird durch die Verwendung von Mineraldünger abgedeckt.

Tabelle 11: Flächenbezogene Phosphorbilanz des Modellbetriebes MB-1

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
P-Entzug (Gesamt)	kg P ha ⁻¹	35,1	35,1	35,1	28,6	28,6	28,6
Hauptprodukt	kg P ha ⁻¹	26,5	26,5	26,5	21,9	21,9	21,9
Nebenprodukt	kg P ha ⁻¹	8,7	8,7	8,7	6,7	6,7	6,7
P-Entzug (P-Abfuhr)	kg P ha ⁻¹	26,0	26,0	26,0	21,5	21,5	21,5
P-Zufuhr	kg P ha ⁻¹	47,9	47,9	47,9	39,1	39,1	39,1
Saatgut	kg P ha ⁻¹	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Mineraldünger	kg P ha ⁻¹	38,3	35,8	24,4	31,5	28,8	17,2
Org. Dünger	kg P ha ⁻¹	9,1	11,7	23,0	7,2	9,8	21,4
Strohdüngung	kg P ha ⁻¹	6,8	6,8	6,8	5,8	5,8	5,8
Gründüngung	kg P ha ⁻¹	2,3	2,3	2,3	1,4	1,4	1,4
Stallmist	kg P ha ⁻¹						
Gülle, Jauche	kg P ha ⁻¹						
sonst. org. Düng.	kg P ha ⁻¹		2,6	13,9		2,7	14,2
P-Saldo	kg P ha ⁻¹	12,8	12,8	12,8	10,5	10,5	10,5
P-Ausnutzung ^{a)}	%	73,3	73,3	73,3	73,2	73,2	73,2

^{a)} P-Ausnutzung = P-Entzug / P-Zufuhr * 100

Tabelle 12: Flächenbezogene Kaliumbilanz des Modellbetriebes MB-1

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
K-Entzug (Gesamt)	kg K ha ⁻¹	147,8	147,8	147,8	117,4	117,4	117,4
Hauptprodukt	kg K ha ⁻¹	50,7	50,7	50,7	40,1	40,1	40,1
Nebenprodukt	kg K ha ⁻¹	97,2	97,2	97,2	77,2	77,2	77,2
K-Entzug (K-Abfuhr)	kg K ha ⁻¹	47,8	47,8	47,8	37,3	37,3	37,3
K-Zufuhr	kg K ha ⁻¹	147,8	147,8	147,8	117,3	117,3	117,4
Saatgut	kg K ha ⁻¹	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Mineraldünger	kg K ha ⁻¹	46,7	39,0	45,2	36,2	28,2	34,7
Org. Dünger	kg K ha ⁻¹	100,0	107,7	101,5	80,1	88,1	81,6
Strohdüngung	kg K ha ⁻¹	74,2	74,2	74,2	65,5	65,5	65,5
Gründüngung	kg K ha ⁻¹	25,8	25,8	25,8	14,6	14,6	14,6
Stallmist	kg K ha ⁻¹						
Gülle, Jauche	kg K ha ⁻¹						
sonst. org. Düng.	kg K ha ⁻¹		7,7	1,5		8,0	1,5
K-Saldo	kg K ha ⁻¹	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K-Ausnutzung ^{a)}	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

^{a)} K-Ausnutzung = K-Entzug / K-Zufuhr * 100

Durch Vergleich der Mineraldüngervariante mit der BAK- bzw. KS-Variante (Tabellen 11, 12 und 30) wird der durchschnittliche Mehrbedarf an P bzw. K und CaO pro ha Ackerfläche und Jahr sichtbar. Wird in dem vorgesehenen Umfang Jahr für Jahr gedüngt, so erreicht der Boden die Versorgungsstufe C beim pH-Wert nach vier Jahren und bei Phosphor nach 12 Jahren. Bei Kalium wird die Versorgungsstufe C gehalten.

Die Höhe der erzielten Marktleistung bestimmt primär den Deckungsbeitrag (Tabelle 13). Innerhalb eines Standortes (Szenarienunterschiede) resultieren die Unterschiede im Deckungsbeitrag I hauptsächlich von den unterschiedlichen Düngungskosten und den Kosten der Düngerausbringung. Die ausgebrachten mineralischen und organischen Dünger wirken sich über den unterschiedlichen Arbeitsaufwand auf die Arbeitskosten und somit auf die Höhe des DB III aus.

Der Unterschied zwischen den Standorten (Lö- und D-Standort) wird verursacht durch die Fruchtartenzusammensetzung, den Ertragsunterschieden sowie der Höhe des Einsatzes an Mineraldünger und Pflanzenschutzmittel.

Tabelle 13: Deckungsbeitragsberechnung des Modellbetriebes MB-1

Parameter	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
Marktleistung	€ ha ⁻¹	1066,07	1066,07	1066,07	816,20	816,20	816,20
Hauptprodukt	€ ha ⁻¹	1066,07	1066,07	1066,07	816,20	816,20	816,20
Nebenprodukt	€ ha ⁻¹						
Proport. Spezialkosten	€ ha ⁻¹	704,46	703,61	681,02	525,76	526,00	503,46
Saatgut	€ ha ⁻¹	127,15	127,15	127,15	121,55	121,55	121,55
Düngung	€ ha ⁻¹	214,11	210,45	191,68	161,13	158,86	139,52
Pflanzenschutz	€ ha ⁻¹	188,54	188,54	188,54	95,14	95,14	95,14
Var. Verfahrenskosten	€ ha ⁻¹	97,18	100,01	96,85	85,84	88,34	85,78
Hagelversicherung	€ ha ⁻¹	19,99	19,99	19,99	15,30	15,30	15,30
Trocknungskosten	€ ha ⁻¹	34,42	34,42	34,42	28,99	28,99	28,99
Zinsanspruch	€ ha ⁻¹	23,08	23,05	22,39	17,82	17,83	17,17
Deckungsbeitrag I	€ ha ⁻¹	361,61	362,46	385,05	290,44	290,21	312,75
Flächenprämie	€ ha ⁻¹	11,13	11,13	11,13	10,68	10,68	10,68
Deckungsbeitrag II	€ ha ⁻¹	372,74	373,59	396,18	301,12	300,89	323,43
Arbeitskosten	€ ha ⁻¹	95,19	100,94	94,28	80,33	85,33	80,41
Deckungsbeitrag III	€ ha ⁻¹	277,55	272,66	301,90	220,79	215,56	243,02

MB-2: Marktfruchtbetrieb mit Biogas (400 kW)

Der Modellbetrieb MB-2 ist ein Marktfruchtbetrieb mit einer 400 kW Biogasanlage. Zum Betreiben der Biogasanlage werden überwiegend nachwachsende Rohstoffe eingesetzt: Silomais, Ganzpflanzensilage (GPS) aus Wintergetreide und Zwischenfrucht (Wi.-Getreide), sowie zur Ergänzung Stroh. Der Gärrestanfall entspricht einem Tierbesatz von 0,5 GV ha⁻¹.

Der Humusbedarf, als Kenngröße für die Mineralisierung organischer Bodensubstanz, resultiert aus dem Fruchtartenspektrum und dem Anbauverhältnis. Zuckerrübe, Kartoffel, und der hohe Silomaisanteil bestimmen als stark humuszehrende Fruchtarten die Höhe des Humusbedarfs (Tabelle 14). Die Humusmehrleistung ist entsprechend der angebauten Fruchtarten nur gering. Schwerpunkt im Humusersatz ist die Humusersatzleistung durch die organische Düngung: die ausgebrachte Biogasgülle, die Zufuhr von Sekundärrohstoffdüngern (in dem BAK- bzw. KS-Szenario) und die auf dem Feld verbliebene Strohdüngung. Aus der Differenz von Humusbedarf und Humusproduktion errechnet sich der Humussaldo.

Tabelle 14: Humusbilanz des Modellbetriebes MB-2 nach REPRO

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
Ackerland	ha AL	1000	1000	1000	1000	1000	1000
HE-Methode - Umrechnung in kg C (1 HE = 1 t Humus mit 580 kg C (LEITHOLD et al. 1997))							
Humusbedarf	kg C ha ⁻¹ AL	-487	-487	-487	-418	-418	-418
Humusersatzleistung	kg C ha ⁻¹ AL	394	563	563	331	493	493
Mehrerleistung ^{a)}	kg C ha ⁻¹ AL	12	12	12	12	12	12
Zufuhr org. Dünger	kg C ha ⁻¹ AL	389	557	557	319	481	481
Strohdüngung	kg C ha ⁻¹ AL	273	273	273	220	220	220
Gründüngung	kg C ha ⁻¹ AL	29	29	29	12	12	12
Stallmist	kg C ha ⁻¹ AL						
Gülle	kg C ha ⁻¹ AL	87	87	87	87	87	87
sonst. org. Dünger	kg C ha ⁻¹ AL		168	168		162	162
Humussaldo	kg C ha ⁻¹ AL	-93	75	75	-87	75	75
Versorgungsgrad ^{b)}	%	81,0	115,8	115,8	79,4	117,6	117,7
Versorgungsstufe^{c)}		B	C	C	B	C	C

^{a)} Humusanreicherung durch Zwischenfrucht-, Leguminosenanbau, Stilllegung, etc.

^{b)} Humusversorgungsgrad = Humusersatzleistung / Humusbedarf * 100

^{c)} Versorgungsstufe:

A = sehr niedrig (< -200 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 B = niedrig (-200 bis -76 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 D = hoch (101 bis 300 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 C = optimal (-75 bis 100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 E = sehr hoch (> 300 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)

Die Berechnung führt beim Szenario MD (ohne Sekundärrohstoffdünger) zu einem negativen Humussaldo, der in die Versorgungsstufe B einzuordnen ist. Der Humusversorgungsgrad liegt bei 80 Prozent, d. h., das Humusbilanzdefizit ist größer als im Marktfruchtbetrieb ohne Biogasanlage.

Aufgrund des anderen Fruchtartenspektrums, der geringeren Erträge, der niedrigeren Strohdüngung sind Humussaldo und Humusversorgungsgrad auf dem D-Standort geringfügig niedriger als auf dem Lö-Standort.

Entscheidend für die Humusersatzwirkung der organischen Düngung ist neben der Menge das C/N-Verhältnis der zugeführten organischen Substanz. Hierbei ist zu beachten, dass Biogasgülle bei einem geringeren Trockensubstanzgehalt ein wesentlich engeres C/N-Verhältnis aufweist als Rindergülle. Bezogen auf die Trockenmasse ist die Humusersatzleistung von Biogasgülle ($139 \text{ kg C t}^{-1} \text{ TM}$) höher als von Rindergülle ($116 \text{ kg C t}^{-1} \text{ TM}$); bezogen auf die ausgebrachte Substratmenge (Frischmasse) ist die Humusersatzleistung von Biogasgülle jedoch um 15 - 20 Prozent geringer als die von Rindergülle.

Nach der durch die P-Düngung sich ergebenden 12-jährigen Düngung mit BAK bzw. KS erhöht sich der Kohlenstoffgehalt des Bodens um 0,02 Prozent; in den Varianten ohne Sekundärrohstoffdüngung sinkt der C-Gehalt nach dieser Zeit hingegen um 0,02 Prozent. Die flächenbezogene Phosphor- und Kaliumbilanz ist in den Tabellen 15 und 16 und der Kalkeinsatz in Tabelle 30 dargestellt.

Tabelle 15: Flächenbezogene Phosphorbilanz des Modellbetriebes MB-2

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
P-Entzug (Gesamt)	kg P ha ⁻¹	36,5	36,5	36,5	30,0	30,0	30,0
Hauptprodukt	kg P ha ⁻¹	29,1	29,1	29,1	24,6	24,6	24,6
Nebenprodukt	kg P ha ⁻¹	7,4	7,4	7,4	5,4	5,4	5,4
P-Entzug (P-Abfuhr)	kg P ha ⁻¹	29,7	29,7	29,7	25,1	25,1	25,1
P-Zufuhr	kg P ha ⁻¹	51,0	51,0	51,0	42,3	42,3	42,3
Saatgut	kg P ha ⁻¹	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Mineraldünger	kg P ha ⁻¹	37,2	34,1	20,5	30,2	27,2	14,4
Org. Dünger	kg P ha ⁻¹	13,3	16,4	30,0	11,5	14,5	27,3
Strohdüngung	kg P ha ⁻¹	4,9	4,9	4,9	4,1	4,1	4,1
Gründüngung	kg P ha ⁻¹	1,9	1,9	1,9	0,9	0,9	0,9
Stallmist	kg P ha ⁻¹						
Gülle, Jauche	kg P ha ⁻¹	6,5	6,5	6,5	6,6	6,6	6,6
sonst. org. Düng.	kg P ha ⁻¹		3,1	16,7		3,0	15,8
P-Saldo	kg P ha ⁻¹	14,6	14,6	14,6	12,3	12,3	12,3
P-Ausnutzung ^{a)}	%	71,4	71,4	71,5	71,0	71,0	71,0

^{a)} P-Ausnutzung = P-Entzug / P-Zufuhr * 100

Tabelle 16: Flächenbezogene Kaliumbilanz des Modellbetriebes MB-2 nach REPRO

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
K-Entzug (Gesamt)	kg K ha ⁻¹	168,1	168,1	168,1	136,8	136,8	136,8
Hauptprodukt	kg K ha ⁻¹	87,0	87,0	87,0	75,8	75,8	75,8
Nebenprodukt	kg K ha ⁻¹	81,1	81,1	81,1	61,0	61,0	61,0
K-Entzug (K-Abfuhr)	kg K ha ⁻¹	92,9	92,9	92,9	81,6	81,6	81,6
K-Zufuhr	kg K ha ⁻¹	168,1	168,1	168,1	136,8	136,8	136,8
Saatgut	kg K ha ⁻¹	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
Mineraldünger	kg K ha ⁻¹	55,3	46,0	53,6	43,3	34,5	41,6
Org. Dünger	kg K ha ⁻¹	111,6	121,0	113,4	92,5	101,4	94,2
Strohdüngung	kg K ha ⁻¹	52,3	52,3	52,3	44,6	44,6	44,6
Gründüngung	kg K ha ⁻¹	23,0	23,0	23,0	10,7	10,7	10,7
Stallmist	kg K ha ⁻¹						
Gülle, Jauche	kg K ha ⁻¹	36,4	36,4	36,4	37,3	37,3	37,3
sonst. org. Düng.	kg K ha ⁻¹		9,4	1,8		8,9	1,7
K-Saldo	kg K ha ⁻¹	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K-Ausnutzung ^{a)}	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

^{a)} K-Ausnutzung = K-Entzug / K-Zufuhr * 100

Bemerkenswert ist die P-Einsparung von Mineraldünger durch die Verwendung von Klärschlamm, die 45 Prozent auf den Lö-Standorten und 52 Prozent auf den D-Standorten des Bedarfs der M-Variante beträgt. Auch hier wird die Versorgungsstufe C bei pH-Wert des Bodens nach vier und beim P-Gehalt nach 12 Jahren erreicht.

Im Vergleich zum Marktfruchtbetrieb ohne Biogaserzeugung werden hier höhere Deckungsbeiträge erzielt (vgl. Tabelle 17). Von den drei untersuchten Varianten ist der Deckungsbeitrag der KS-Variante durch die kostenlose Bereitstellung des Düngers am höchsten.

Tabelle 17: Deckungsbeitragsberechnung des Modellbetriebes MB-2

Parameter	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
Marktleistung	€ ha ⁻¹	1194,73	1194,73	1187,69	919,59	919,59	909,69
Hauptprodukt	€ ha ⁻¹	1174,48	1174,48	1167,44	902,31	902,31	892,41
Nebenprodukt	€ ha ⁻¹	20,25	20,25	20,25	17,28	17,28	17,28
Proport. Spezialkosten	€ ha ⁻¹	778,15	776,13	750,11	587,41	585,33	560,84
Saatgut	€ ha ⁻¹	142,46	142,46	142,46	125,84	125,84	125,84
Düngung	€ ha ⁻¹	218,14	213,66	191,24	163,67	159,45	138,26
Pflanzenschutz	€ ha ⁻¹	178,90	178,90	178,90	86,32	86,32	86,32
Var. Verfahrenskosten	€ ha ⁻¹	132,30	134,81	131,97	120,58	122,77	120,19
Hagelversicherung	€ ha ⁻¹	21,96	21,96	21,96	16,80	16,80	16,80
Trocknungskosten	€ ha ⁻¹	59,35	59,35	59,35	55,13	55,13	55,13
Zinsanspruch	€ ha ⁻¹	25,04	24,98	24,22	19,07	19,01	18,30
Deckungsbeitrag I	€ ha ⁻¹	416,58	418,60	437,58	332,18	334,26	348,85
Flächenprämie	€ ha ⁻¹	23,16	23,16	23,16	26,94	26,94	26,94
Deckungsbeitrag II	€ ha ⁻¹	439,74	441,76	460,74	359,12	361,20	375,79
Arbeitskosten	€ ha ⁻¹	133,68	138,70	132,77	121,17	125,56	119,35
Deckungsbeitrag III	€ ha ⁻¹	306,07	303,06	327,97	237,95	235,64	256,44

MB-3: Gemischtbetrieb (0,5 GV ha⁻¹)

Der Modellbetrieb MB-3 steht für einen Gemischtbetrieb mit einem Tierbesatz von 0,5 GV ha⁻¹. Der Tierbestand setzt sich aus Milchvieh (mit eigener Bestandesergänzung der Milchviehherde) und Bullenmast sowie Schweinehaltung (Zuchtsauen und Mastschweinen) zusammen.

Zur Fütterung der Tiere wird Eigenfutter eingesetzt. Lediglich Mineral- und Eiweißfutter wird zugekauft. Der Anteil Grünland an der landwirtschaftlich genutzten Fläche beträgt 14 Prozent. Die Humusbilanzierung der Ackerfläche nach REPRO ist in Tabelle 18 dargestellt.

Der Humusbedarf resultiert aus dem Fruchtartenspektrum und dem Anbauverhältnis. Die Humusmehrerleistung ist entsprechend der angebauten Fruchtarten nur gering.

Tabelle 18: Humusbilanz des Modellbetriebes MB-3 nach REPRO

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
Ackerland	ha AL	860	860	860	860	860	860
HE-Methode - Umrechnung in kg C (1 HE = 1 t Humus mit 580 kg C (LEITHOLD et al. 1997))							
Humusbedarf	kg C ha ⁻¹ AL	-481	-481	-481	-429	-429	-429
Humusersatzleistung	kg C ha ⁻¹ AL	429	551	551	360	505	505
Mehrerleistung ^{a)}	kg C ha ⁻¹ AL	6	6	6	6	6	6
Zufuhr org. Dünger	kg C ha ⁻¹ AL	423	545	545	360	505	505
Strohdüngung	kg C ha ⁻¹ AL	319	319	319	255	255	255
Gründüngung	kg C ha ⁻¹ AL	23	23	23	17	17	17
Stallmist	kg C ha ⁻¹ AL	29	29	29	29	29	29
Gülle	kg C ha ⁻¹ AL	52	52	52	58	58	58
sonst. org. Dünger	kg C ha ⁻¹ AL		122	122		145	145
Humussaldo	kg C ha ⁻¹ AL	-52	75	75	-75	75	75
Versorgungsgrad ^{b)}	%	89,1	115,2	115,5	83,0	116,9	116,9
Versorgungsstufe^{c)}		C	C	C	B	C	C

^{a)} Humusanreicherung durch Zwischenfrucht-, Leguminosenanbau, Stilllegung, etc.

^{b)} Humusversorgungsgrad = Humusersatzleistung / Humusbedarf * 100

^{c)} Versorgungsstufe:
 A = sehr niedrig (< -200 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 B = niedrig (-200 bis -76 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 C = optimal (-75 bis 100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 D = hoch (101 bis 300 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 E = sehr hoch (> 300 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)

Die Humusersatzleistung wird im Wesentlichen durch die auf dem Feld verbliebene Strohdüngung, die organische Düngung mit den Wirtschaftsdüngern aus der Tierhaltung (Stallmist, Gülle) sowie die Zufuhr von Sekundärrohstoffdüngern (in dem BAK- bzw. KS-Szenario) erbracht. Aus der Differenz von Humusbedarf und Humusreproduktion errechnet sich der Humussaldo.

Die Humusbilanzierung führt beim Szenario MD (ohne Sekundärrohstoffdünger) zu einem negativen Humussaldo, der in die Versorgungsstufe B einzuordnen ist. Aufgrund eines anderen Fruchtartenspektrums, geringerer Erträge, niedrigerer Strohdüngung ist der Humusversorgungsgrad beim Szenario MD auf dem D-Standort niedriger (83 Prozent) als auf dem Lö-Standort (89 Prozent). Nach einer 12-jährigen Düngung mit BAK bzw. KS erhöht sich der Kohlenstoffgehalt des Bodens um 0,02 Prozent; in den Varianten ohne Sekundärrohstoffdüngung sinkt der C-Gehalt hingegen um 0,01 - 0,02 Prozent.

Die flächenbezogene Phosphor- und Kaliumbilanz des Modellbetriebes MB-3 ist in den Tabellen 19 und 20 dargestellt. Die Kalkdüngung wurde in Tabelle 30 zusammengefasst. Nach langjähriger Düngung mit den Sekundärrohstoffdüngern BAK bzw. KS und Mineraldüngern wird, wie vorgesehen, der Versorgungszustand der Böden (Ackerland und Grünland) bezüglich des Boden-pH und Phosphors für den Modellbetrieb MB-3 nach vier bzw. 12 Jahren von der Versorgungsstufe B in die Versorgungsstufe C angehoben.

Tabelle 19: Flächenbezogene Phosphorbilanz des Modellbetriebes MB-3

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
P-Entzug (Gesamt)	kg P ha ⁻¹	35,3	35,3	35,3	29,9	29,9	29,9
Hauptprodukt	kg P ha ⁻¹	28,6	28,6	28,6	24,5	24,5	24,5
Nebenprodukt	kg P ha ⁻¹	6,8	6,8	6,8	5,4	5,4	5,4
P-Entzug (P-Abfuhr)	kg P ha ⁻¹	29,0	29,0	29,0	25,0	25,0	25,0
P-Zufuhr	kg P ha ⁻¹	49,6	50,0	49,6	42,2	42,2	42,2
Saatgut	kg P ha ⁻¹	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Mineraldünger	kg P ha ⁻¹	35,5	33,9	24,8	29,3	27,0	16,9
Org. Dünger	kg P ha ⁻¹	13,7	15,7	24,4	12,4	14,7	24,9
Strohdüngung	kg P ha ⁻¹	5,0	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0
Gründüngung	kg P ha ⁻¹	1,4	1,4	1,4	0,9	0,9	0,9
Stallmist	kg P ha ⁻¹	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Gülle, Jauche	kg P ha ⁻¹	7,0	7,0	7,0	7,1	7,1	7,1
sonst. org. Düng.	kg P ha ⁻¹		2,0	10,7		2,3	12,4
P-Saldo	kg P ha ⁻¹	14,3	14,6	14,3	12,3	12,3	12,3
P-Ausnutzung ^{a)}	%	71,2	70,7	71,2	70,9	70,9	70,9

^{a)} P-Ausnutzung = P-Entzug / P-Zufuhr * 100

Tabelle 20: Flächenbezogene Kaliumbilanz des Modellbetriebes MB-3

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
K-Entzug (Gesamt)	kg K ha ⁻¹	158,1	158,1	158,1	136,6	136,6	136,6
Hauptprodukt	kg K ha ⁻¹	83,0	83,0	83,0	75,5	75,5	75,5
Nebenprodukt	kg K ha ⁻¹	75,2	75,2	75,2	61,1	61,1	61,1
K-Entzug (K-Abfuhr)	kg K ha ⁻¹	87,5	87,5	87,5	80,5	80,5	80,5
K-Zufuhr	kg K ha ⁻¹	158,1	158,1	158,1	136,6	136,6	136,7
Saatgut	kg K ha ⁻¹	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Mineraldünger	kg K ha ⁻¹	49,6	43,7	48,4	42,4	35,5	41,1
Org. Dünger	kg K ha ⁻¹	107,8	113,7	108,9	93,4	100,4	94,8
Strohdüngung	kg K ha ⁻¹	54,0	54,0	54,0	45,5	45,5	45,5
Gründüngung	kg K ha ⁻¹	16,6	16,6	16,6	10,7	10,7	10,7
Stallmist	kg K ha ⁻¹	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1
Gülle, Jauche	kg K ha ⁻¹	34,2	34,2	34,2	34,1	34,1	34,1
sonst. org. Düng.	kg K ha ⁻¹		5,9	1,2		7,0	1,4
K-Saldo	kg K ha ⁻¹	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K-Ausnutzung ^{a)}	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

^{a)} K-Ausnutzung = K-Entzug / K-Zufuhr * 100

Der Deckungsbeitrag wird hauptsächlich durch die Höhe der erzielten Marktleistung bestimmt (Tabelle 21). Innerhalb eines Standortes (Szenarienunterschiede) sind die Düngungskosten und die Kosten der Düngerausbringung verantwortlich für die geringen Unterschiede bei der Berechnung des Deckungsbeitrages I. Die unterschiedlichen Mengen an ausgebrachten mineralischen und organischen Dünger führen zu den Unterschieden im Arbeitsaufwand innerhalb der Szenarien einer Standortvariante. Diese unterschiedlichen Arbeitskosten wirken sich zusätzlich auf den DB III aus.

Der Unterschied zwischen den Standortvarianten (Lö- und D-Standort) ist abhängig von der Fruchtartenzusammensetzung, den Ertragsunterschieden sowie der Höhe des Einsatzes an Mineraldünger und Pflanzenschutzmittel.

Tabelle 21: Deckungsbeitragsberechnung des Modellbetriebes MB-3

Parameter	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	M	BAK	KS
Marktleistung	€ ha ⁻¹	1046,27	1046,27	1046,27	869,05	869,05	867,32
Hauptprodukt	€ ha ⁻¹	1031,60	1031,60	1031,60	853,48	853,48	851,75
Nebenprodukt	€ ha ⁻¹	14,67	14,67	14,67	15,57	15,57	15,57
Proport. Spezialkosten	€ ha ⁻¹	688,61	689,06	670,27	545,04	544,16	524,04
Saatgut	€ ha ⁻¹	103,04	103,04	103,04	99,77	99,77	99,77
Düngung	€ ha ⁻¹	207,21	204,84	190,02	161,83	158,48	141,74
Pflanzenschutz	€ ha ⁻¹	152,20	152,20	152,20	76,89	76,89	76,89
Var. Verfahrenskosten	€ ha ⁻¹	132,17	134,97	131,55	123,24	125,73	122,94
Hagelversicherung	€ ha ⁻¹	17,47	17,47	17,47	14,09	14,09	14,09
Trocknungskosten	€ ha ⁻¹	55,17	55,17	55,17	52,05	52,05	52,05
Zinsanspruch	€ ha ⁻¹	21,36	21,37	20,82	17,17	17,14	16,56
Deckungsbeitrag I	€ ha ⁻¹	357,66	357,21	376,00	324,02	324,89	343,28
Flächenprämie	€ ha ⁻¹	14,61	14,61	14,61	14,16	14,16	14,16
Deckungsbeitrag II	€ ha ⁻¹	372,27	371,82	390,61	338,18	339,05	357,44
Arbeitskosten	€ ha ⁻¹	137,61	143,24	136,01	125,79	130,79	125,05
Deckungsbeitrag III	€ ha ⁻¹	234,66	228,59	254,60	212,39	208,27	232,40

MB-4: Gemischtbetrieb mit Biogas (300 kW)

Der Modellbetrieb MB-4 ist ein Gemischtbetrieb mit einer 300 kW Biogasanlage. Zum Betreiben der Biogasanlage werden nachwachsende Rohstoffe (Silomais, GPS aus Wintergetreide und Winterzwischenfrucht sowie Stroh) und die anfallenden Wirtschaftsdünger der Tierhaltung (Gülle und Stallmist) eingesetzt. Das Verhältnis von pflanzlichen Gärsubstraten zu Gärsubstraten aus der Tierhaltung beträgt 1 : 2 bei der Frischmasse, 2 : 1 bei der Trockenmasse und 4 : 1 bei der Biogas-

ausbeute. Der Gärrestanfall entspricht einem Tierbesatz von 0,5 GV ha⁻¹. Der Tierbestand setzt sich aus Milchvieh (mit eigener Bestandesergänzung der Milchviehherde) sowie Zuchtsauenhaltung zusammen und entspricht einem Tierbesatz 0,35 GV ha⁻¹. Zur Fütterung der Tiere wird Eigenfutter eingesetzt. Lediglich Mineral- und Eiweißfutter wird zugekauft. Die nur für ackerbaulich genutzte Böden durchgeführte Humusbilanzierung ist in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Humusbilanz des Modellbetriebes MB-4 nach REPRO

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	M	BAK	KS
Ackerland	ha AL	860	860	860	860	860	860
HE-Methode - Umrechnung in kg C (1 HE = 1 t Humus mit 580 kg C (LEITHOLD et al. 1997))							
Humusbedarf	kg C ha ⁻¹ AL	-470	-470	-470	-435	-435	-435
Humusersatzleistung	kg C ha ⁻¹ AL	319	545	545	261	510	510
Mehrerleistung ^{a)}	kg C ha ⁻¹ AL	12	12	12	12	12	12
Zufuhr org. Dünger	kg C ha ⁻¹ AL	307	534	534	249	499	499
Strohdüngung	kg C ha ⁻¹ AL	226	226	226	174	174	174
Gründüngung	kg C ha ⁻¹ AL	23	23	23	17	17	17
Stallmist	kg C ha ⁻¹ AL						
Gülle	kg C ha ⁻¹ AL	58	58	58	58	58	58
sonst. org. Dünger	kg C ha ⁻¹ AL		226	226		249	249
Humussaldo	kg C ha ⁻¹ AL	-157	75	75	-180	75,4	75
Versorgungsgrad ^{b)}	%	67,3	115,8	115,5	59,3	116,8	116,9
Versorgungsstufe^{c)}		B	C	C	B	C	C

^{a)} Humusanreicherung durch Zwischenfrucht-, Leguminosenanbau, Stilllegung, etc.

^{b)} Humusversorgungsgrad = Humusersatzleistung / Humusbedarf * 100

^{c)} Versorgungsstufe: A = sehr niedrig (< -200 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 B = niedrig (-200 bis -76 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹) C = optimal (-75 bis 100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 D = hoch (101 bis 300 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹) E = sehr hoch (> 300 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)

Der Humusbedarf resultiert aus dem Fruchtartenspektrum und dem Anbauverhältnis, wobei die humuszehrenden Fruchtarten die Höhe des Bedarfs bestimmen. Hauptbestandteil der Humusersatzleistung ist die auf dem Feld verbliebene Strohdüngung sowie die organische Düngung, d.h. die ausgebrachte Biogasgülle und in den jeweiligen Szenarien die Zufuhr von Sekundärrohstoffdüngern.

Um bei der angestrebten Humusversorgung die gesetzlich festgelegte Höchstgrenze der Klärschlammasubstratbringung (5 t TM ha⁻¹ in 3 Jahren) nicht zu überschreiten, musste im KS-Szenario (bei beiden Standortvarianten) zusätzlich Bioabfallkompost appliziert werden. Die Humusbilanzrechnungen weisen beim Szenario MD (ohne Sekundärrohstoffdünger) die Einordnung des Saldos in die Versorgungsstufe B und einen Humusversorgungsgrad von 60 - 67 Prozent aus, in Abhängigkeit vom Standort. Das ist der negativste Bilanzsaldo aller untersuchten Modellbetriebe. Die Dün-

gung mit Sekundärrohstoffdüngern führt zur angestrebten leicht positiven Versorgung mit organischer Substanz.

Nach einer vorgesehenen 12-jährigen Düngung mit Sekundärrohstoffdüngern (BAK bzw. KS) erhöht sich der Kohlenstoffgehalt des Bodens um 0,02 Prozent. In den Varianten ohne Sekundärrohstoffdüngung (Szenario M) sinkt der C-Gehalt hingegen um 0,04 Prozent auf dem Lö-Standort und um 0,05 Prozent auf dem D-Standort. Die flächenbezogene Phosphor- und Kaliumbilanz der Modellbetriebe MB-4 sind in den Tabellen 23 und 24 und die Kalkgaben in Tabelle 30 dargestellt.

Tabelle 23: Flächenbezogene Phosphorbilanz des Modellbetriebes MB-4

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
P-Entzug (Gesamt)	kg P ha ⁻¹	35,5	35,5	35,5	30,6	30,6	30,6
Hauptprodukt	kg P ha ⁻¹	29,4	29,4	29,4	25,8	25,8	25,8
Nebenprodukt	kg P ha ⁻¹	6,1	6,1	6,1	4,8	4,8	4,8
P-Entzug (P-Abfuhr)	kg P ha ⁻¹	30,5	30,5	30,5	26,9	26,9	26,9
P-Zufuhr	kg P ha ⁻¹	50,5	50,5	50,5	43,7	43,8	43,7
Saatgut	kg P ha ⁻¹	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Mineraldünger	kg P ha ⁻¹	35,6	32,0	21,7	30,1	26,1	15,9
Org. Dünger	kg P ha ⁻¹	14,4	18,1	28,3	13,2	17,1	27,4
Strohdüngung	kg P ha ⁻¹	3,6	3,6	3,6	2,8	2,8	2,8
Gründüngung	kg P ha ⁻¹	1,4	1,4	1,4	0,9	0,9	0,9
Stallmist	kg P ha ⁻¹						
Gülle, Jauche	kg P ha ⁻¹	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
sonst. org. Düng.	kg P ha ⁻¹		3,6	13,9		4,0	14,2
P-Saldo	kg P ha ⁻¹	15,0	15,1	15,0	13,2	13,2	13,2
P-Ausnutzung ^{a)}	%	70,3	70,2	70,2	69,8	69,8	69,8

^{a)} P-Ausnutzung = P-Entzug / P-Zufuhr * 100

Tabelle 24: Flächenbezogene Kaliumbilanz des Modellbetriebes MB-4

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
K-Entzug (Gesamt)	kg K ha ⁻¹	169,0	169,0	169,0	148,7	148,7	148,7
Hauptprodukt	kg K ha ⁻¹	101,9	101,9	101,9	94,2	94,2	94,2
Nebenprodukt	kg K ha ⁻¹	67,1	67,1	67,1	54,5	54,5	54,5
K-Entzug (K-Abfuhr)	kg K ha ⁻¹	112,4	112,4	112,4	106,3	106,3	106,3
K-Zufuhr	kg K ha ⁻¹	169,0	169,0	169,0	148,6	148,7	148,7
Saatgut	kg K ha ⁻¹	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Mineraldünger	kg K ha ⁻¹	57,1	46,2	51,9	49,7	37,8	43,5
Org. Dünger	kg K ha ⁻¹	111,1	122,0	116,2	98,1	110,0	104,4
Strohdüngung	kg K ha ⁻¹	40,0	40,0	40,0	31,7	31,7	31,7
Gründüngung	kg K ha ⁻¹	16,6	16,6	16,6	10,7	10,7	10,7
Stallmist	kg K ha ⁻¹						
Gülle, Jauche	kg K ha ⁻¹	54,5	54,5	54,5	55,7	55,7	55,7
sonst. org. Düng.	kg K ha ⁻¹		10,9	5,1		12,0	6,3
K-Saldo	kg K ha ⁻¹	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K-Ausnutzung ^{a)}	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

^{a)} K-Ausnutzung = K-Entzug / K-Zufuhr * 100

Nach langjähriger Düngung mit den Sekundärrohstoffdüngern (BAK bzw. KS) in Ergänzung zu Mineraldüngern wird, wie vorgesehen, der Versorgungszustand der Böden des Acker- und Grünlandes bezüglich Boden-pH nach vier Jahren und Phosphor nach 12 Jahren von der Versorgungsstufe B in die Versorgungsstufe C angehoben. Beeindruckend ist auch, dass beispielsweise durch den Einsatz des Sekundärrohstoffdüngers Klärschlamm 39 Prozent (Lö-) bzw. 47 Prozent (D-Standort) weniger P-Mineraldünger zum Schließen des Stoffkreislaufes benötigt wird.

Der Deckungsbeitrag wird hauptsächlich durch die Höhe der erzielten Marktleistung bestimmt (Tabelle 25). Für die Unterschiede im Deckungsbeitrag I innerhalb eines Standortes (Szenarienunterschiede) sind die Düngungskosten und die Kosten der Düngerausbringung entscheidend. In den einzelnen Szenarien bestimmt der unterschiedliche Arbeitsaufwand für Düngung (mineralisch und organisch) über die Höhe der Arbeitskosten den DB III.

Analog zu den bereits betrachteten Modellbetrieben wird der Unterschied zwischen den Standorten (Lö- und D-Standort) von der Fruchtartenzusammensetzung, den Ertragsunterschieden sowie der Höhe des Einsatzes an Mineraldünger und Pflanzenschutzmittel geprägt. Die Deckungsbeiträge liegen geringfügig (3 – 8 Prozent) über denen des MB-3.

Tabelle 25: Deckungsbeitragsberechnung des Modellbetriebes MB-4

Parameter	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	M	BAK	KS
Marktleistung	€ ha ⁻¹	1096,76	1096,76	1091,28	934,15	934,15	922,03
Hauptprodukt	€ ha ⁻¹	1058,96	1058,96	1053,48	896,39	896,39	884,26
Nebenprodukt	€ ha ⁻¹	37,80	37,80	37,80	37,76	37,76	37,76
Proport. Spezialkosten	€ ha ⁻¹	725,43	722,62	703,38	587,56	584,29	565,14
Saatgut	€ ha ⁻¹	112,19	112,19	112,19	112,02	112,02	112,02
Düngung	€ ha ⁻¹	207,82	202,66	185,91	163,98	158,25	141,52
Pflanzenschutz	€ ha ⁻¹	144,01	144,01	144,01	70,45	70,45	70,45
Var. Verfahrenskosten	€ ha ⁻¹	147,59	150,03	148,10	137,81	140,36	138,51
Hagelversicherung	€ ha ⁻¹	18,05	18,05	18,05	14,95	14,95	14,95
Trocknungskosten	€ ha ⁻¹	73,55	73,55	73,55	70,05	70,05	70,05
Zinsanspruch	€ ha ⁻¹	22,21	22,13	21,56	18,29	18,19	17,64
Deckungsbeitrag I	€ ha ⁻¹	371,33	374,13	387,90	346,59	349,86	356,89
Flächenprämie	€ ha ⁻¹	22,78	22,78	22,78	24,26	24,26	24,26
Deckungsbeitrag II	€ ha ⁻¹	394,10	396,91	410,67	370,86	374,13	381,15
Arbeitskosten	€ ha ⁻¹	155,73	160,34	156,31	143,00	148,21	144,29
Deckungsbeitrag III	€ ha ⁻¹	238,38	236,57	254,36	227,85	225,91	236,86

MB-5: Gemischtbetrieb (1,0 GV ha⁻¹)

Der Modellbetrieb MB-5 ist ein Gemischtbetrieb mit einem Tierbesatz von 1,0 GV ha⁻¹ und einem Grünlandanteil von 28 Prozent (Lö-Standort) bzw. 32 Prozent (D-Standort). Der Tierbestand setzt sich aus Milchvieh (mit eigener Bestandesergänzung der Milchviehherde), Bullenmast und Schweinehaltung (Zuchtsauen und Mastschweinen) zusammen. Zur Fütterung der Tiere wird Eigenfutter eingesetzt. Lediglich Mineral- und Eiweißfutter wird zugekauft.

Die Ergebnisse der Humusbilanzierung auf dem Ackerland sind aus Tabelle 26 ersichtlich.

Tabelle 26: Humusbilanz des Modellbetriebes MB-5 nach REPRO

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
Ackerland	ha AL	720	720	720	680	680	680
HE-Methode - Umrechnung in kg C (1 HE = 1 t Humus mit 580 kg C (LEITHOLD et al. 1997))							
Humusbedarf	kg C ha ⁻¹ AL	-452	-452	-452	-412	-412	-412
Humusersatzleistung	kg C ha ⁻¹ AL	418	528	528	365	487	487
Mehrerleistung ^{a)}	kg C ha ⁻¹ AL	12	12	12	12	12	12
Zufuhr org. Dünger	kg C ha ⁻¹ AL	400	510	510	354	476	476
Strohdüngung	kg C ha ⁻¹ AL	220	220	220	168	168	168
Gründüngung	kg C ha ⁻¹ AL	17	17	17	12	12	12
Stallmist	kg C ha ⁻¹ AL	58	58	58	58	58	58
Gülle	kg C ha ⁻¹ AL	104	104	104	116	116	116
sonst. org. Dünger	kg C ha ⁻¹ AL	0	110	110	0	122	122
Humussaldo	kg C ha ⁻¹ AL	-41	75	75	-46	75	75
Versorgungsgrad ^{b)}	%	91,2	116,0	116,0	88,3	117,8	117,7
Versorgungsstufe^{c)}		C	C	C	C	C	C

^{a)} Humusanreicherung durch Zwischenfrucht-, Leguminosenanbau, Stilllegung, etc.

^{b)} Humusversorgungsgrad = Humusersatzleistung / Humusbedarf * 100

^{c)} Versorgungsstufe:

A = sehr niedrig (< -200 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 B = niedrig (-200 bis -76 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 C = optimal (-75 bis 100 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 D = hoch (101 bis 300 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)
 E = sehr hoch (> 300 kg Humus-C ha⁻¹ a⁻¹)

Die Berechnungen zeigen beim Szenario MD (ohne Sekundärrohstoffdünger) einen leicht negativen Humussaldo, der sich noch in die Versorgungsstufe C einordnen lässt. Ohne Ausgleich mit Sekundärrohstoffdüngern (Szenario M) liegt der Humusversorgungsgrad bei ca. 90 Prozent. Die Düngung mit den Sekundärrohstoffdüngern führt zur angestrebten leicht positiven Versorgung mit organischer Substanz.

Nach einer 12-jährigen Düngung mit BAK bzw. KS erhöht sich der Kohlenstoffgehalt des Bodens um 0,02 Prozent; in den Varianten ohne Sekundärrohstoffdüngung sinkt der C-Gehalt hingegen um 0,01 Prozent. Die flächenbezogene Phosphor- und Kaliumbilanz des Modellbetriebes MB-5 ist in den Tabellen 27 und 28 und die Kalkgaben sind in Tabelle 30 dargestellt.

Tabelle 27: Flächenbezogene Phosphorbilanz des Modellbetriebes MB-5

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
P-Entzug (Gesamt)	kg P ha ⁻¹	34,6	34,6	34,6	30,3	30,3	30,3
Hauptprodukt	kg P ha ⁻¹	29,9	29,9	29,9	26,9	26,9	26,9
Nebenprodukt	kg P ha ⁻¹	4,7	4,7	4,7	3,4	3,4	3,4
P-Entzug (P-Abfuhr)	kg P ha ⁻¹	30,7	30,7	30,7	27,7	27,7	27,7
P-Zufuhr	kg P ha ⁻¹	49,8	49,8	49,8	43,9	43,9	44,0
Saatgut	kg P ha ⁻¹	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Mineraldünger	kg P ha ⁻¹	30,9	29,4	22,9	26,2	24,7	18,1
Org. Dünger	kg P ha ⁻¹	18,4	19,9	26,5	17,4	18,9	25,5
Strohdüngung	kg P ha ⁻¹	2,9	2,9	2,9	2,1	2,1	2,1
Gründüngung	kg P ha ⁻¹	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5
Stallmist	kg P ha ⁻¹	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
Gülle, Jauche	kg P ha ⁻¹	13,9	13,9	13,9	14,2	14,2	14,2
sonst. org. Düng.	kg P ha ⁻¹		1,5	8,0		1,5	8,1
P-Saldo	kg P ha ⁻¹	15,2	15,2	15,2	13,7	13,7	13,7
P-Ausnutzung ^{a)}	%	69,5	69,5	69,5	68,9	68,9	68,9

^{a)} P-Ausnutzung = P-Entzug / P-Zufuhr * 100

Tabelle 28: Flächenbezogene Kaliumbilanz des Modellbetriebes MB-5

Fruchtart	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
K-Entzug (Gesamt)	kg K ha ⁻¹	171,5	171,5	171,5	154,5	154,5	154,5
Hauptprodukt	kg K ha ⁻¹	120,1	120,1	120,1	115,7	115,7	115,7
Nebenprodukt	kg K ha ⁻¹	51,4	51,4	51,4	38,8	38,8	38,8
K-Entzug (K-Abfuhr)	kg K ha ⁻¹	128,5	128,5	128,5	125,0	125,0	125,0
K-Zufuhr	kg K ha ⁻¹	171,5	171,5	171,5	154,5	154,5	154,5
Saatgut	kg K ha ⁻¹	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Mineraldünger	kg K ha ⁻¹	55,2	52,2	54,3	50,6	46,0	49,8
Org. Dünger	kg K ha ⁻¹	115,6	118,6	116,5	103,1	107,7	104,0
Strohdüngung	kg K ha ⁻¹	31,5	31,5	31,5	23,6	23,6	23,6
Gründüngung	kg K ha ⁻¹	11,5	11,5	11,5	5,9	5,9	5,9
Stallmist	kg K ha ⁻¹	4,8	4,8	4,8	5,4	5,4	5,4
Gülle, Jauche	kg K ha ⁻¹	67,8	67,8	67,8	68,3	68,3	68,3
sonst. org. Düng.	kg K ha ⁻¹		3,0	0,9		4,6	0,9
K-Saldo	kg K ha ⁻¹	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K-Ausnutzung ^{a)}	%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

^{a)} K-Ausnutzung = K-Entzug / K-Zufuhr * 100

Nach langjähriger Düngung (vier bzw. 12 Jahre) mit den Sekundärrohstoffdüngern BAK bzw. KS und Mineraldüngern wird, wie vorgesehen, der Versorgungszustand der Böden (Ackerland und Grünland) bezüglich Boden-pH und Phosphor von der Versorgungsstufe B in die Versorgungsstufe C angehoben. Die Berechnung der Deckungsbeiträge ist in Tabelle 29 dargestellt.

Tabelle 29: Deckungsbeitragsberechnung des Modellbetriebes MB-5

Parameter	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
Marktleistung	€ ha ⁻¹	1033,90	1033,90	1031,96	883,37	883,37	875,24
Hauptprodukt	€ ha ⁻¹	1004,65	1004,65	1002,71	855,02	855,02	846,89
Nebenprodukt	€ ha ⁻¹	29,25	29,25	29,25	28,35	28,35	28,35
Proport. Spezialkosten	€ ha ⁻¹	688,34	688,48	675,20	566,10	565,34	552,45
Saatgut	€ ha ⁻¹	95,99	95,99	95,99	92,66	92,66	92,66
Düngung	€ ha ⁻¹	191,48	189,82	178,99	152,52	150,29	139,43
Pflanzenschutz	€ ha ⁻¹	119,23	119,23	119,23	51,00	51,00	51,00
Var. Verfahrenskosten	€ ha ⁻¹	162,64	164,44	162,37	158,03	159,53	157,87
Hagelversicherung	€ ha ⁻¹	15,05	15,05	15,05	11,75	11,75	11,75
Trocknungskosten	€ ha ⁻¹	83,55	83,55	83,55	83,43	83,43	83,43
Zinsanspruch	€ ha ⁻¹	20,41	20,42	20,03	16,71	16,69	16,31
Deckungsbeitrag I	€ ha ⁻¹	345,56	345,42	356,75	317,26	318,02	322,80
Flächenprämie	€ ha ⁻¹	15,45	15,45	15,45	19,38	19,38	19,38
Deckungsbeitrag II	€ ha ⁻¹	361,01	360,87	372,20	336,64	337,40	342,18
Arbeitskosten	€ ha ⁻¹	173,60	177,18	173,13	169,53	172,52	169,01
Deckungsbeitrag III	€ ha ⁻¹	187,40	183,68	199,08	167,12	164,88	173,17

4.2 Gesamtbetrachtung

Im Folgenden werden alle Modellbetriebe zusammen betrachtet, so dass auch Kreuzvergleiche zwischen den Standorten und den einzelnen Modellbetrieben möglich sind.

4.2.1 Humusversorgung

Die Humusversorgung der einzelnen Modellbetriebe ist in Abbildung 1 dargestellt.

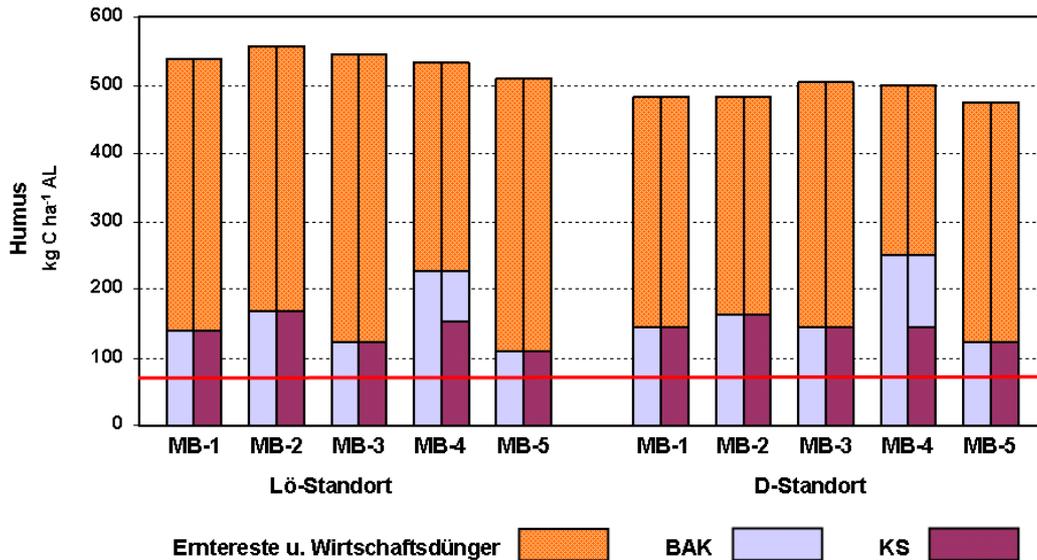


Abbildung 1: Humusersatzleistung in den Modellbetrieben

Die den einzelnen Modellbetrieben zugeordneten Gesamtsäulen (kg C ha^{-1}) stellen die vollständige Schließung des Stoffkreislaufs auf AL einschließlich eines Sicherheitsbetrages von $75 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ dar. D. h., die über der Marke von $75 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ liegende Säule ist der Bedarf zur einfachen Reproduktion des Humusgehaltes des Bodens. Zunächst ist festzustellen, dass durch den innerbetrieblichen Stoffkreislauf (Erntereste und Wirtschaftsdünger einschl. Gärprodukte) der Stoffkreislauf im Bereich organische Substanz bis zu einem Tierbesatz von $1,0 \text{ GV ha}^{-1}$ nicht geschlossen werden kann. Bemerkenswert ist der hohe Fehlbetrag von 20 Prozent beim Betreiben einer Biogasanlage mit nachwachsenden Rohstoffen (MB-2) und der noch höhere (34 – 40 Prozent) beim Vorhandensein einer Biogasanlage, die mit Wirtschaftsdüngern und nachwachsenden Rohstoffen (MB-4) beschickt wird. Der Fehlbetrag kann mit Klärschlamm oder Bioabfallkompost gedeckt werden, wobei im Modellbetrieb 4 (Tierhaltung und Biogaserzeugung) in der Klärschlammvariante der ergänzende Einsatz von Bioabfallkompost notwendig ist, weil lt. AbfKlärV max. $1,67 \text{ t TM ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Klärschlamm ausgebracht werden können. In den Berechnungen wurde ein Überschneiden der BAK- und KS-Anwendung im Zeitraum von drei Jahren ausgeschlossen.

4.2.2 Phosphor, Kalium und Kalk

Weil es für das Schließen der Stoffkreisläufe im Bereich der organischen Substanz außer KS und BAK wenig Alternativen gibt, wurde die Verwendung dieser Sekundärrohstoffdünger ausschließlich auf die Kompensation des Fehlbetrages der Humusersatzleistung zuzüglich des Sicherheitsbetrages von $75 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ begrenzt. Der dann verbliebene Bedarf an N, P, K und CaO wird über Mineraldünger gedeckt und ist für die Modellbetriebe und Standortvarianten aus den Abbildungen 2 bis 5 ersichtlich.

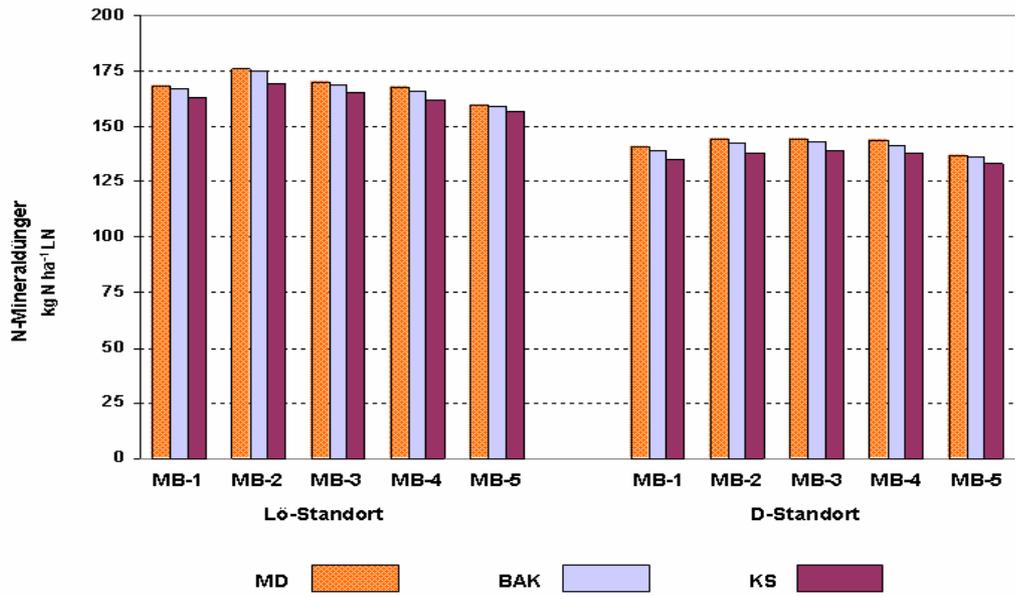


Abbildung 2: N-Mineraldüngereinsatz in den Modellbetrieben

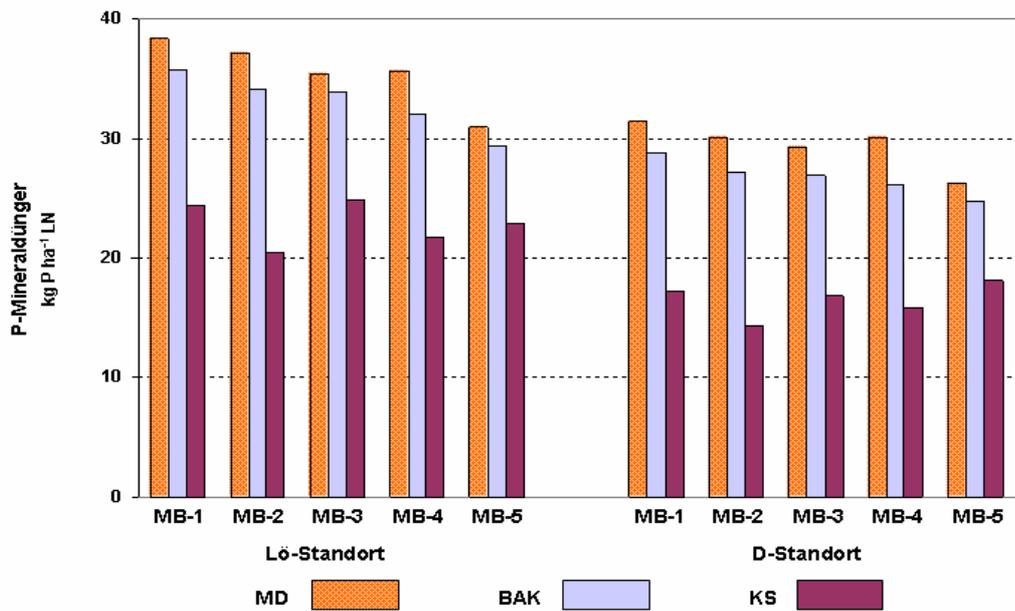


Abbildung 3: P-Mineraldüngereinsatz in den Modellbetrieben

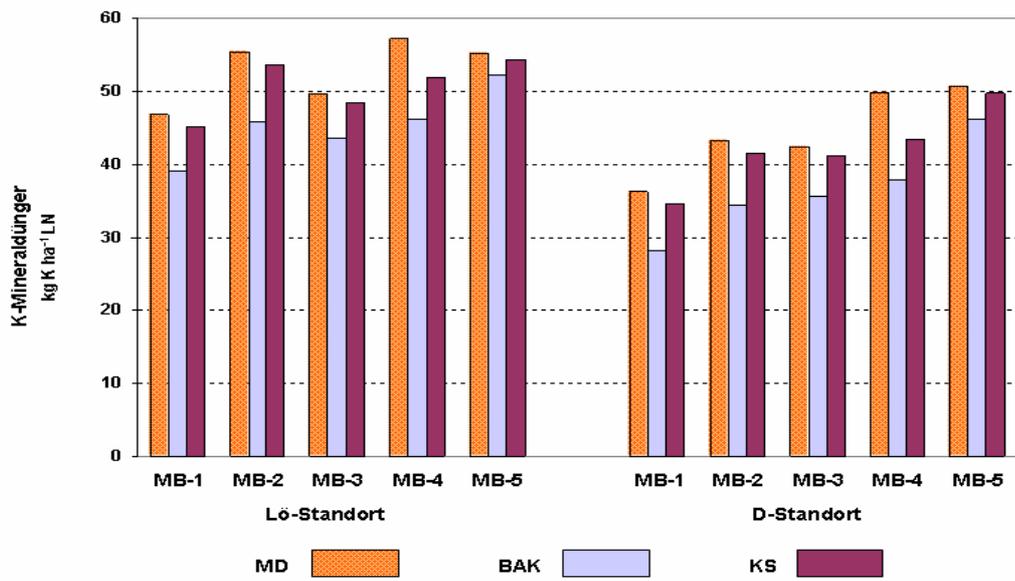


Abbildung 4: K-Mineraldüngereinsatz in den Modellbetrieben

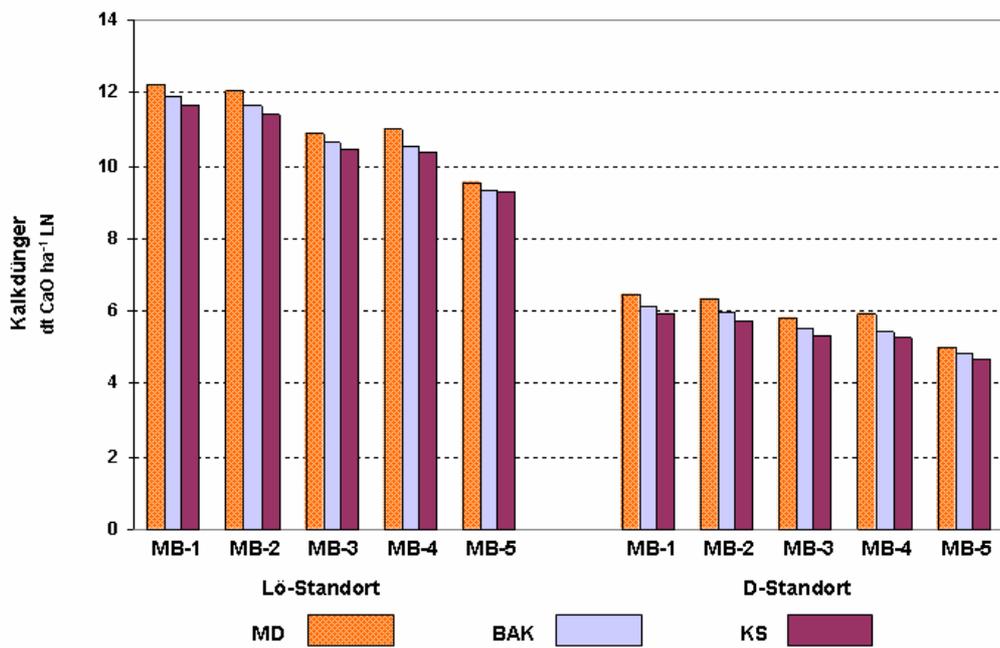


Abbildung 5: Kalkdüngereinsatz in den Modellbetrieben

Für jeden Modellbetrieb zeigen die drei nebeneinander stehenden Säulen den Mineraldüngerbedarf für die Varianten MD (ohne Sekundärrohstoffdünger), BAK (Verwendung von BAK) und KS (Verwendung von KS) an. Die mit dem Einsatz von BAK bzw. KS zur Schließung des Stoffkreislaufes im Bereich Humusversorgung verbundene Nährstoffeinsparung ist bei den einzelnen Nährstoffen sehr unterschiedlich. So ist bei Stickstoff kaum eine Einsparung von Mineraldünger durch BAK und etwas mehr durch KS-Anwendung (2 – 4 Prozent) möglich (Abbildung 2).

Erwartungsgemäß sind beim Phosphor Einsparungen mit der Anwendung von BAK und besonders KS als "Nebeneffekt" verbunden (Abbildung 3). Bei der Anwendung von BAK beträgt die P-Einsparung 6,5, 4,5 und 4,9 Prozent (MB-1, -3 und -5) bzw. 8,3 und 10,1 Prozent (MB-2 und -5). Die größten Einsparungen von Phosphor sind mit der Anwendung von KS verbunden. Bei den Modellbetrieben 1, 3 und 5 nimmt mit steigendem Tierbesatz die relative Einsparung zum P-Gesamtbedarf von 36,3 Prozent (45,3 Prozent D-Standort), 30,1 Prozent (42,3 Prozent D-Standort) auf 25,9 Prozent (30,9 Prozent D-Standort) ab. Die Einsparung in den Betrieben mit Biogasanlage ist mit 44,9 Prozent (52,3 Prozent D-Standort) im MB-2 (Biogasanlage ausschließlich mit nachwachsenden Rohstoffen betrieben) und 39,0 Prozent (47,2 Prozent D-Standort) im MB-4 (Biogasanlage mit WD und nachwachsenden Rohstoffen betrieben) relativ groß. Wie die in Klammer gesetzten Werte zeigen, ist die Einsparung in den Betrieben auf D-Standorten größer als in den auf Lö-Standorten.

In der Abbildung 4 sind die mit der Anwendung von BAK und KS verbundenen Einsparungen an K-Mineraldünger für die einzelnen Modellbetriebe dargestellt. Erwartungsgemäß sind beim KS-Einsatz kaum nennenswerte Einsparungen zu verzeichnen, weil dieser nur unbedeutende Mengen an Kali enthält. Anders bei der Verwendung von BAK. Hier beträgt die relative Einsparung zum K-Mineraldüngerbedarf in den MB-1, -3 und -5 entsprechend dem zunehmenden Tierbesatz 16,5, 11,9 und 5,4 Prozent auf Lö- und 22,1, 16,3 und 9,1 Prozent auf D-Standorten. Bei den Modellbetrieben mit Biogasanlage betragen die Einsparungen 16,8 (MB-2) bzw. 19,1 (MB-4) auf Lö- und 20,3 Prozent (MB-2) und 23,9 Prozent (MB-4) auf D-Standorten.

Bei der Beurteilung des Kalkeinsatzes in den Modellbetrieben auf den beiden Standorten (Abbildung 5 und Tabelle 30) ist zu beachten, dass der Kalkeinsatz pro Jahr als vierjährige Gesundkalkung ausgelegt ist, d. h. nach diesem Zeitraum soll der optimale pH-Wert (Versorgungsstufe C) erreicht sein. Für die pH-Anhebung auf Lö-Standorten wird eine größere Kalkmenge benötigt als auf D-Standorten. Außerdem sinkt der Kalkbedarf mit zunehmendem Grünlandanteil. Bedingt durch die insgesamt hohen Kalkgaben ist der Einsparungseffekt durch die Anwendung von Sekundärrohstoffdüngern mit 2,1 bis 10,2 Prozent relativ gering.

Tabelle 30: Kalkeinsatz^{a)} in den Modellbetrieben

Parameter	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
Modellbetrieb 1	dt CaO ha ⁻¹ a ⁻¹	12,2	11,9	11,7	6,5	6,1	5,9
Modellbetrieb 2	dt CaO ha ⁻¹ a ⁻¹	12,0	11,6	11,4	6,3	6,0	5,7
Modellbetrieb 3	dt CaO ha ⁻¹ a ⁻¹	10,9	10,6	10,5	5,8	5,5	5,3
Modellbetrieb 4	dt CaO ha ⁻¹ a ⁻¹	11,0	10,5	10,4	5,9	5,5	5,3
Modellbetrieb 5	dt CaO ha ⁻¹ a ⁻¹	9,5	9,3	9,3	5,0	4,8	4,7

^{a)} jährlicher Kalkeinsatz: Gesundheitskalkung nach vier Jahren abgeschlossen

4.2.3 Deckungsbeiträge

Die Ergebnisse der Deckungsbeitragsrechnungen sind in entsprechenden Tabellen bei den einzelnen Modellbetrieben dargestellt. Der Deckungsbeitrag I wird hauptsächlich von der Höhe der erzielten Marktleistung bestimmt. Die erzielte Marktleistung der Modellbetriebe wiederum ist von der Fruchtartenzusammensetzung, dem Ertrag und dem Marktpreis abhängig. Bei den Modellbetrieben mit Biogasanlagen ist die Marktleistung höher als bei den anderen Modellbetrieben. Sie könnte jedoch bei Nutzung der Abwärme der Biogasanlagen noch höher sein. Auf dem D-Standort ist die erzielte Marktleistung aufgrund der niedrigeren Erträge geringer als auf dem Lö-Standort.

Neben der Marktleistung haben auch die Kosten für die Zukaufsdünger einen großen Einfluss auf den DB I (Abbildung 6). Die Kosten für die Zukaufsdünger nehmen mit steigendem Einsatz von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern ab. Dabei ist auf den Unterschied der BAK- zu den KS-Szenarien hinzuweisen, weil für den Bioabfallkompost Kosten anfallen, während der Klärschlamm kostenlos zur Verfügung steht. Dadurch sparen die Betriebe, die Klärschlamm ausbringen, im Mittel ca. 10 - 20 € ha⁻¹ im Vergleich zu den BAK ausbringenden Betrieben.

Diese beiden entscheidenden Größen (erzielte Marktleistung und Kosten der Zukaufsdünger) bestimmen die Höhe des DB I und auch die Abstufungen zwischen den einzelnen Modellbetrieben. Sie sind auch für den höheren Deckungsbeitrag I der KS-Szenarien verantwortlich.

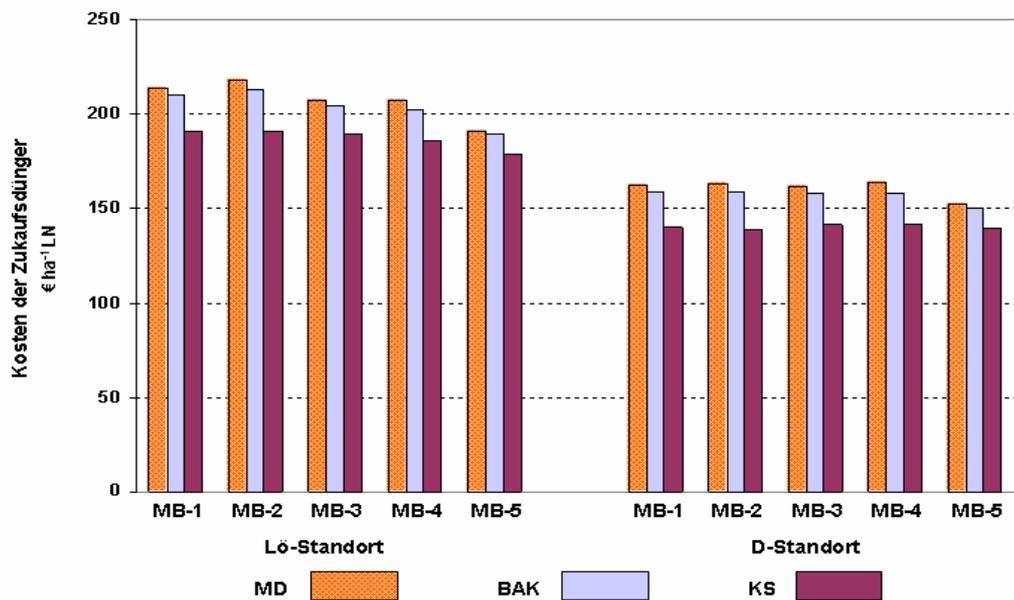


Abbildung 6: Kosten der Zukaufdünger in den Modellbetrieben

Der Deckungsbeitrag II setzt sich aus dem Deckungsbeitrag I zuzüglich der Flächenprämie zusammen. Die Flächenprämie der einzelnen Modellbetriebe beträgt:

- Modellbetrieb MB-1: ca. 10,- € ha⁻¹
- Modellbetrieb MB-2: ca. 20,- € ha⁻¹
- Modellbetrieb MB-3: ca. 15,- € ha⁻¹
- Modellbetrieb MB-4: ca. 20,- € ha⁻¹
- Modellbetrieb MB-5: ca. 15,- € ha⁻¹

Daraus ergibt sich für die Modellbetriebe mit Biogasanlage der höchste DB II.

In Tabelle 31 ist der Deckungsbeitrag III dargestellt. Der DB III setzt sich aus den DB II abzüglich der Arbeitskosten zusammen.

Der Arbeitsaufwand ist abhängig von der Ertragsnutzung. Sie steigt mit zunehmendem Anteil an ernteintensiven Fruchtarten wie Silomais, Ganzpflanzensilage (Haupt- und Zwischenfrucht – GPS) sowie mit dem Grünlandanteil. Die Ertragsnutzung ist weiterhin abhängig von der Tierhaltung und der Tierartenstruktur bzw. von dem Betreiben einer Biogasanlage. Der Modellbetrieb MB-2 (Marktf Fruchtbetrieb mit Biogasanlage) liegt im DB III vor dem Marktf Fruchtbetrieb (MB-1). Das ungünstigste Ergebnis erzielt der Modellbetrieb MB-5 (Gemischtbetrieb mit 1,0 GV ha⁻¹).

Tabelle 31: Deckungsbeitrag III der Modellbetriebe

Parameter	ME	Lö-Standort			D-Standort		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
Modellbetrieb 1	€ ha ⁻¹	277,55	272,66	301,90	220,79	215,56	243,02
Modellbetrieb 2	€ ha ⁻¹	306,07	303,06	327,97	237,95	235,64	256,44
Modellbetrieb 3	€ ha ⁻¹	234,66	228,59	254,60	212,39	208,27	232,40
Modellbetrieb 4	€ ha ⁻¹	238,38	236,57	254,36	227,85	225,91	236,86
Modellbetrieb 5	€ ha ⁻¹	187,40	183,68	199,08	167,12	164,88	173,17

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ein beträchtlicher Teil (ca. 40 Prozent) der landwirtschaftlich genutzten Böden in Sachsen ist besonders bei Phosphor, pH-Wert und Humus den Versorgungsstufen bzw. Bilanzklassen (nach REPRO) A und B (sehr schlecht und schlecht versorgt) zuzuordnen. Der Grund ist die jahrelange Bewirtschaftung der Flächen im negativen Bilanzbereich. Das beeinträchtigt erheblich die Höhe und Sicherheit der Ertragsbildung insbesondere bei zunehmender Intensivierung der Bodennutzung durch die konkurrierende Produktion von Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen. Neben den sich daraus ergebenden wirtschaftlichen Konsequenzen stellt die sinkende Effektivität der N-Düngung durch auswaschungsgefährdete N-Überschüsse ein Umweltproblem dar.

Unter Verwendung des Modells "REPRO" des Instituts für nachhaltige Landwirtschaft Halle wird an virtuellen Betriebssystemen und entsprechend modellierten Stoffkreisläufen untersucht, unter welchen Bedingungen die notwendige Versorgungsstufe bzw. Humusbilanzklasse C wieder erreicht werden kann. Unter Beachtung zunehmender Vorsommertrockenheit soll das Ergebnis im positiven Bereich der Humusbilanzklasse C mit 75 kg C ha⁻¹ a⁻¹ liegen. Bei Phosphor, pH-Wert und Humus wird von der Versorgungsstufe bzw. Bilanzklasse B ausgegangen, während es bei Kali und Magnesium um den Erhalt der Versorgungsstufe C geht.

Begonnen wird mit dem Schließen des Stoffkreislaufs im Bereich Humus. Dazu werden nach dem Ausschöpfen aller innerbetrieblichen Möglichkeiten wie Wirtschaftsdünger, Gär- und Koppelprodukte sowie Zwischenfruchtanbau ergänzend die in größeren Mengen verfügbaren Sekundärrohstoffdünger Bioabfallkompost (BAK) bzw. Klärschlamm (KS) verwendet.

Beide Sekundärrohstoffdünger werden in der Fruchtfolge aus Gründen der Akzeptanz zu nachwachsenden Rohstoffen unter Beachtung der gesetzlichen Bestimmungen eingesetzt. Die notwendigen Mengen entsprechen nur der erforderlichen Humusersatzleistung. Der darüber hinaus berechnete Nährstoffbedarf wird durch Mineraldünger gedeckt. Neben den BAK- und KS-Varianten wird eine Mineraldünger(MD)-Variante gerechnet, bei der ausschließlich Mineraldünger und kein Sekundärrohstoffdünger zum Einsatz kommt.

Die Berechnungen wurden für Lößböden (Lö) und Diluvialböden (D) durchgeführt. Folgende Modellbetriebe wurden gebildet:

- MB-1: Marktfruchtbetrieb
- MB-2: Marktfruchtbetrieb mit Biogas: 400 kW Anlage
Fermentation: pflanzliche Produkte
Gärrestanfall entsprechend $0,5 \text{ GV ha}^{-1}$
- MB-3: Gemischtbetrieb ($0,5 \text{ GV ha}^{-1}$, 14 % Grünland)
- MB-4: Gemischtbetrieb ($0,35 \text{ GV ha}^{-1}$, 14 % Grünland) mit Biogas: 300 kW Anlage
Kofermentation: pflanzliche Produkte/Gülle und Stallmist
Gärrestanfall entsprechend $0,5 \text{ GV ha}^{-1}$
- MB-5: Gemischtbetrieb ($1,0 \text{ GV ha}^{-1}$, Grünlandanteil 28 % auf Lö- bzw. 32 % auf D-Standort)

Die unterstellte Anbaustruktur der Modellbetriebe ist aus Tabelle 3 ersichtlich. Die Düngergaben, die Intensität der Pflanzenschutzmaßnahmen, die Produktionsverfahren und die Höhe der Erträge entsprechen den beiden regionalen Standortvarianten Lö und D. Die darauf abgestimmte Tierbestandsstruktur umfasst Milchvieh, Bullenmast, Zuchtsauen und Mastschweine. Es wird ausschließlich Stallhaltung und Flüssigmist (Kälber < 3 Monate Strohhaltung) sowie Eigenfutterproduktion (ausgenommen Mineralfutter und Eiweißfutter) unterstellt.

Aufgrund der derzeitigen agrar- und energiepolitischen Rahmenbedingungen wurden für die Modellbetriebe MB-2 und MB-4 Biogasanlagen vorgesehen. Für den viehlosen Betriebstyp (MB-2) kommen zum Betreiben der Biogasanlage überwiegend folgende nachwachsenden Rohstoffe zum Einsatz: Silomais, Ganzpflanzensilage (GPS) aus Wintergetreide und Winterzwischenfrucht, sowie zur Ergänzung Stroh.

Der viehhaltende Betriebstyp (MB-4) betreibt die Biogasanlage mit nachwachsenden Rohstoffen (Silomais, GPS aus Wintergetreide und Winterzwischenfrucht sowie Stroh) und mit den anfallenden Wirtschaftsdüngern der Tierhaltung (Gülle und Stallmist). Das Verhältnis von pflanzlichen Gärsubstraten zu Gärsubstraten aus der Tierhaltung beträgt 1:2 bei der Frischmasse, 2:1 bei der Trockenmasse und 4:1 bei der Biogausausbeute.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse der Humusbilanzrechnung nach REPRO zeigen, dass in allen Modellbetrieben ein jährliches Defizit der Humusreproduktionsleistung auf Ackerland besteht (Tabelle 32), das mit zunehmendem Tierbesatz geringer wird, jedoch bei Biogasanlagen besonders groß ist.

Tabelle 32: Humusversorgungsgrad auf Ackerland ohne den Einsatz von Sekundärstoffdünger

Parameter	ME	Lö-Standort					D-Standort				
		MB-1	MB-2*)	MB-3	MB-4*)	MB-5	MB-1	MB-2*)	MB-3	MB-4*)	MB-5
Humusversorgungsgrad	%	86,1	81,0	89,1	67,3	91,2	82,8	79,4	83,0	59,3	88,3

*) Modellbetrieb mit Biogasanlage

Dieses Defizit kann in der KS-Variante durch Klärschlamm bzw. in der BAK-Variante durch Bioabfallkompost ausgeglichen werden, während es in der MD-Variante offen bleibt. Das hat zur Folge, dass der Humusgehalt der betroffenen Böden in der MD-Variante nach 12 Jahren um 0,01 Prozent (MB-5) bis 0,05 Prozent (MB-4) sinkt. Während er in den KS- bzw. BAK-Varianten um 0,02 Prozent steigt. Das durchschnittliche jährliche Düngungsregime des Ackerlandes der Modellbetriebe ist in den Tabellen 33 und 34 dargestellt.

Tabelle 33: Düngungsregime der Modellbetriebe des Lö-Standortes

Parameter	ME	MB-1			MB-2			MB-3		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
BAK	dt TM ha ⁻¹ AL	-	8,6	-	-	10,4	-	-	7,7	-
KS	dt TM ha ⁻¹ AL	-	-	8,4	-	-	10,1	-	-	7,5
BAK/KS ^{a)}	%	-	25	25	-	30	30	-	22	22
Humusversorgung	%	86	115	116	81	116	116	89	115	115
N-Saldo ^{b)}	kg N ha ⁻¹	82	81	92	98	96	109	92	91	99
N-Mineraldünger	kg N ha ⁻¹	169	167	163	196	175	169	170	169	166
P-Mineraldünger	kg P ha ⁻¹	38	36	24	37	34	20	36	34	25
K-Mineraldünger	kg K ha ⁻¹	47	39	45	55	46	54	50	44	48
Kalkzufuhr	dt CaO ha ⁻¹	12,2	11,9	11,7	12,0	11,6	11,4	10,9	10,6	10,5
Parameter	ME	MB-4			MB-5					
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS			
BAK	dt TM ha ⁻¹ AL	-	14,1	4,6	-	6,9	-			
KS	dt TM ha ⁻¹ AL	-	-	8,9	-	-	6,7			
BAK/KS ^{a)}	%	-	41	41	-	21	21			
Humusversorgung	%	67	116	116	91	116	116			
N-Saldo ^{b)}	kg N ha ⁻¹	100	97	107	99	98	105			
N-Mineraldünger	kg N ha ⁻¹	168	166	162	160	159	157			
P-Mineraldünger	kg P ha ⁻¹	36	32	22	31	29	23			
K-Mineraldünger	kg K ha ⁻¹	57	46	52	52	55	54			
Kalkzufuhr	dt CaO ha ⁻¹	11,0	10,5	10,4	9,5	9,3	9,3			

^{a)} BAK-/KS-Anteil an der Humusbedarfsdeckung bei angestrebter Humusübersorgung (75 kg C ha⁻¹ a⁻¹)

^{b)} N-Saldo mit Berücksichtigung von Δ N-Bodenvorrat

Daraus ist zunächst die Höhe der jährlichen Zufuhr an Bioabfallkompost in der BAK-Variante bzw. Klärschlamm in der KS-Variante ersichtlich. Beispielsweise sind im Modellbetrieb 1 in der KS-

Variante 0,84 t TM ha⁻¹ Klärschlamm zum Schließen des Humuskreislaufes erforderlich. Das bedeutet, dass bei 1000 ha Ackerland 169 ha, d. h. 17 Prozent der Fläche mit den gesetzlich zulässigen 5 t TM ha⁻¹ pro Jahr Klärschlamm zu düngen sind. In dem Modellbetrieb MB-4 in der KS-Variante muss aufgrund des hohen Humusbilanzdefizits neben Klärschlamm eine ergänzende Düngung mit BAK erfolgen, weil sonst die lt. AbfklärV gegebene Höchstmengenbegrenzung nicht eingehalten werden kann.

Tabelle 34: Düngungsregime der Modellbetriebe des D-Standortes

Parameter	ME	MB-1			MB-2			MB-3		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
BAK	dt TM ha ⁻¹ AL	-	8,9	-	-	9,8	-	-	9,0	-
KS	dt TM ha ⁻¹ AL	-	-	8,6	-	-	9,5	-	-	8,7
BAK/KS ^{a)}	%	-	30	30	-	33	33	-	29	29
Humusversorgung	%	83	118	118	79	118	118	83	117	117
N-Saldo ^{b)}	kg N ha ⁻¹	78	76	88	92	90	102	89	88	97
N-Mineraldünger	kg N ha ⁻¹	141	139	135	144	143	138	144	143	139
P-Mineraldünger	kg P ha ⁻¹	32	29	17	30	27	14	29	27	17
K-Mineraldünger	kg K ha ⁻¹	36	28	35	43	34	42	42	35	41
Kalkzufuhr	dt CaO ha ⁻¹	6,5	6,1	5,9	6,3	6,0	5,7	5,8	5,5	5,3
Parameter	ME	MB-4			MB-5					
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS			
BAK	dt TM ha ⁻¹ AL	-	15,4	6,4	-	7,5	-			
KS	dt TM ha ⁻¹ AL	-	-	8,8	-	-	7,2			
BAK/KS ^{a)}	%	-	49	49	-	25	25			
Humusversorgung	%	59	117	117	88	118	118			
N-Saldo ^{b)}	kg N ha ⁻¹	97	94	104	93	92	99			
N-Mineraldünger	kg N ha ⁻¹	144	142	138	137	136	134			
P-Mineraldünger	kg P ha ⁻¹	30	26	16	26	25	18			
K-Mineraldünger	kg K ha ⁻¹	50	38	43	51	46	50			
Kalkzufuhr	dt CaO ha ⁻¹	5,9	5,5	5,3	5,0	4,8	4,7			

^{a)} BAK-/KS-Anteil an der Humusbedarfsdeckung bei angestrebter Humusübersorgung (75 kg C ha⁻¹ a⁻¹)

^{b)} N-Saldo mit Berücksichtigung von Δ N-Bodenvorrat

Aus der Tabelle 34 ist weiterhin der jährliche ergänzende P-Mineraldüngerbedarf ersichtlich, der sich durch konsequente Düngung nach Abfuhr und einem 50-prozentigen Zuschlag gemäß Versorgungsstufe B ergibt. Die Berechnungen zeigen, dass in allen Modellbetrieben nach 12 Jahren die Versorgungsstufe C erreicht wird. Durch Vergleich der KS- bzw. BAK-Variante mit der MD-Variante ergibt sich die jährliche Mineraldüngereinsparung, die als "Nebeneffekt" der Anwendung von Sekundärrohstoffdünger auftritt (vgl. Tabelle 35). Bemerkenswert sind die P-Mineraldüngereinsparung bei der Anwendung von Klärschlamm und die Kalieinsparung durch Bioabfallkompost. Die Kalidüngung ist so bemessen, dass die Versorgungsstufe C gehalten wird. Die in der Tabelle 34 aufgeführte Kalkzufuhr ist nur für einen Zeitraum von vier Jahren gültig, weil nach dieser Zeit die Versorgungsstufe C durch die hier praktizierte Gesundkalkung erreicht wird.

Tabelle 35: Mit der Anwendung von Sekundärrohstoffdünger zum Humusbilanzausgleich verbundenes jährliches Einsparpotenzial an Mineraldünger

Parameter	Lö-Standort										
	ME	MB-1		MB-2		MB-3		MB-4		MB-5	
		BAK	KS	BAK	KS	BAK	KS	BAK	KS	BAK	KS
N-Dünger	kg N ha ⁻¹	1,3	5,7	1,6	6,8	1,0	4,3	1,8	5,8	0,7	3,3
P-Dünger	kg P ha ⁻¹	2,5	13,9	3,1	16,7	1,6	10,7	3,6	13,9	1,5	8,0
K-Dünger	kg K ha ⁻¹	7,7	1,5	9,3	1,7	5,9	1,2	10,9	5,2	3,0	0,9
Kalk-Dünger	dt CaO ha ⁻¹	0,3	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,5	0,6	0,2	0,2
Parameter	D-Standort										
	ME	MB-1		MB-2		MB-3		MB-4		MB-5	
		BAK	KS	BAK	KS	BAK	KS	BAK	KS	BAK	KS
N-Dünger	kg N ha ⁻¹	1,4	5,8	1,4	6,4	1,2	5,0	2,0	5,9	0,7	3,3
P-Dünger	kg P ha ⁻¹	2,7	14,3	3,0	15,8	2,3	12,4	4,0	14,2	1,5	8,1
K-Dünger	kg K ha ⁻¹	8,0	1,5	8,8	1,7	6,9	1,3	11,9	6,2	4,6	0,8
Kalk-Dünger	dt CaO ha ⁻¹	0,4	0,6	0,3	0,6	0,3	0,5	0,4	0,6	0,2	0,3

Die berechneten Deckungsbeiträge (DB) beziehen sich auf die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche des Modellbetriebes und beinhalten u. a. unterschiedliche Flächenprämien (Energieprämie, Eiweißprämie, Flächenprämie für Grünland) sowie den Arbeitsaufwand. Sie liegen zwischen 184 und 328 € ha⁻¹. Von den MB-1, 3 und 5 wird der höchste Deckungsbeitrag im Marktfruchtbetrieb (MB-1) erreicht, während der mit zunehmendem Tierbesatz abnimmt. Der DB des MB-2 (Marktfruchtbetrieb mit Biogasanlage) liegt in den einzelnen Varianten um 9 – 11 Prozent höher als der vergleichbare DB im MB-1.

Beim MB-4 (Gemischtbetrieb u. Biogas) sind es nur 0 – 3 Prozent. Bedingt durch die kostenlose Bereitstellung und Ausbringung von Klärschlamm sowie die mit der Klärschlammdüngung verbundenen Nährstoffgaben liegt der DB der KS-Varianten je nach Höhe des KS-Einsatzes mit 7 – 11 Prozent über dem der BAK-Varianten.

Tabelle 36: Ökonomische Indikatoren der Modellbetriebe des Lö-Standortes

Parameter	ME	MB-1			MB-2			MB-3		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
DB I	€ ha ⁻¹	362	362	385	417	419	438	358	357	376
Marktleistung	€ ha ⁻¹	1066	1066	1066	1195	1195	1188	1046	1046	1046
Zukaufsdünger	€ ha ⁻¹	214	210	192	218	214	191	207	205	190
DB II	€ ha ⁻¹	373	374	396	440	442	461	372	372	391
DB III	€ ha ⁻¹	278	273	302	306	303	328	235	229	255
Arbeitsaufwand	Akh ha ⁻¹	8,7	9,2	8,6	12,2	12,6	12,1	12,5	13,0	12,4
Parameter	ME	MB-4			MB-5					
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS			
DB I	€ ha ⁻¹	371	374	388	345	345	357			
Marktleistung	€ ha ⁻¹	1097	1097	1091	1034	1034	1032			
Zukaufsdünger	€ ha ⁻¹	208	203	186	191	190	179			
DB II	€ ha ⁻¹	394	397	411	361	361	372			
DB III	€ ha ⁻¹	238	237	254	187	184	199			
Arbeitsaufwand	Akh ha ⁻¹	14,2	14,6	14,2	15,8	16,1	15,7			

Tabelle 37: Ökonomische Indikatoren der Modellbetriebe des D-Standortes

Parameter	ME	MB-1			MB-2			MB-3		
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS	MD	BAK	KS
DB I	€ ha ⁻¹	290	290	313	332	334	349	324	325	343
Marktleistung	€ ha ⁻¹	816	816	816	920	920	910	869	869	867
Zukaufsdünger	€ ha ⁻¹	161	159	140	164	159	138	162	158	142
DB II	€ ha ⁻¹	301	301	323	359	361	376	338	339	357
DB III	€ ha ⁻¹	221	216	243	238	236	256	212	208	232
Arbeitsaufwand	Akh ha ⁻¹	7,3	7,8	7,3	11,0	11,4	10,8	11,4	11,9	11,4
Parameter	ME	MB-4			MB-5					
		MD	BAK	KS	MD	BAK	KS			
DB I	€ ha ⁻¹	347	350	357	317	318	323			
Marktleistung	€ ha ⁻¹	934	934	922	883	883	875			
Zukaufsdünger	€ ha ⁻¹	164	158	142	153	150	139			
DB II	€ ha ⁻¹	371	374	381	337	337	342			
DB III	€ ha ⁻¹	228	226	237	167	165	173			
Arbeitsaufwand	Akh ha ⁻¹	13,0	13,5	13,1	15,4	15,7	15,4			

Nach dem Erreichen der Boden-Versorgungsstufe C bei Phosphor und pH-Wert sind Neuberechnungen erforderlich, bei denen auch die Notwendigkeit des positiven Humusbilanzsaldos zu hinterfragen ist.

Abschließend bleibt festzustellen, dass ein Nichtbeachten des Liebig'schen Grundprinzips der Bodennutzung (negative Nährstoff- und Humusbilanzen) nur durch die Zufuhr höherer Mengen an Nährstoffen, Kalk und organischer Substanz über einen längeren Zeitraum zu kompensieren ist. Besser ist es, wenn von vornherein auf das Halten der Versorgungsstufe bzw. Bilanzklasse C geachtet wird. Das hat eine besondere Bedeutung bei zunehmender Intensivierung der Bodennutzung durch die Produktion von Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen und steigendem Wettbewerbsdruck ihrer Erzeugung. Auch sollte das Erhalten o. g. Versorgungsstufen und Bilanzklassen durch die Verpächter landwirtschaftlicher Flächen kontrolliert werden.

6 Literatur

- ABRAHAM, J. (2001): Auswirkungen von Standortvariabilitäten auf den Stickstoffhaushalt ackerbaulich genutzter Böden unter Berücksichtigung der Betriebsstruktur, der standortspezifischen Bewirtschaftung und der Witterungsbedingungen. Diss. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Shaker Verlag Aachen.
- BADEWITZ, S. & C. GÄTH (1984): Erfassung wichtiger Aspekte des Stoffkreislaufs und der Humusreproduktion in Modellen zur Optimierung der Pflanzenproduktion. Wiss. Z. Univ. Halle 84, 55-64.
- BMELV (2006): Düngeverordnung. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.
- BMU (1992): Klärschlammverordnung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- BMU (1998): Bioabfallverordnung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- BStMLF & BStMUGV (2005): Cross Compliance 2005. Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten sowie Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz.
- DEDERER, M. (2006): Pflanzenbauliche Verwertung von Gärresten. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft - Nutzen und Risiken. KTBL-Schrift 444, 7-22, KTBL, Darmstadt.
- DIEPENBROCK, W., B. PELZER & J. RADTKE (1995): Energiebilanz im Ackerbaubetrieb. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) Darmstadt. Arbeitspapier 211. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup.
- DILGER, M. & I. FAULHABER (2006): Materialsammlung Futterwirtschaft. Daten, Fakten und Berechnungsgrundlagen zu den Kosten der Grundfuttererzeugung und der Futterwirtschaft. LfL (Hrsg.).
- DLG (2006): Hinweise zur Kalkdüngung. DLG-Merkblatt. DLG & Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (Hrsg.), Frankfurt.
- EBERTSEDER, T., K. WEINFURTNER, L. NÄTSCHER, M. KAINZ & G. GERL (2003): Ermittlung bewirtschaftungsbedingter Veränderung verfügbarer P- und K-Vorräte durch Bodenunter-

- suchung und Bilanzierung. Vortrag, 115. VDLUFA-Kongress in Saarbrücken, 15. bis 19. September 2003. Kurzfassungen der Referate, VDLUFA, Bonn.
- FISCHER, U. M. (1986): Konstruktion von konzeptorientierten Modellen zur Simulation der Ertragsfähigkeit mineralischer Ackerböden unter besonderer Berücksichtigung der Humusreproduktion. Diss., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- GAUGER, T, F. ANSHELM, H. SCHUSTER, J. W. ERISMAN, A. T. VERMEULEN, G. P. J. DRAAIJERS, A. BLEEKER, & H.-D. NAGEL (2002): Mapping of ecosystem specific long-term trends in deposition loads and concentrations of air pollutants in Germany and their comparison with Critical Loads and Critical Levels. Final Report on behalf of Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Berlin. BMU/UBA FE-No 299 42 210. Part 1: Deposition Loads 1990-1999, 207 p. Part 2: Mapping Critical Levels Exceedances, 104 p.
- GUTSER, R. & T. EBERTSEDER (2006): Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern - ein unterschätztes Potenzial im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL): Verwertung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft - Nutzen und Risiken. KTBL-Schrift 444, 7-22, KTBL, Darmstadt.
- HEYER, W., D. ROßBERG, J. ABRAHAM & O. CHRISTEN (2005): Erfassung und Beurteilung der Intensität des betrieblichen Pflanzenschutzes innerhalb des REPRO-Konzeptes. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., im Druck.
- HEYLAND, K.-U. & S. SOLANSKY (1979): Energieeinsatz und Energieumsetzung im Bereich der Pflanzenproduktion. Ber. Ldw. 195, 15-30.
- HÖFLICH, G. (1983): Die Bedeutung der biologischen Luftstickstoffbindung. Arch. Acker- Pfl. Boden 27, 675-686.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (1990): Methodik zur Quantifizierung von Stoffflüssen im System Boden - Pflanze - Tier und Ableitung von Parametern des natürlichen Reproduktionsprozesses als Grundlage rechnergestützter Analysen in Landwirtschaftsbetrieben. Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Habilitation. Shaker Verlag Aachen.
- HÜLSBERGEN, K.-J., W. DIEPENBROCK & D. ROST (2000): Weiterentwicklung des Modells REPRO und GIS-gestützte Anwendung in Referenzbetrieben Sachsen-Anhalts. Forschungsbericht im Auftrag des MRLU des Landes Sachsen-Anhalt. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- HÜLSBERGEN, K.-J. & W.-D. KALK (2001): Energy balances in different agricultural systems - can they be improved? In: The International Fertiliser Society [Ed.]: Fertilizer and Resource Management for Food Security, Quality and the Environment. UK, Proceedings No. 476, 2-36.
- HÜLSBERGEN, K.-J., B. KÜSTERMANN & H. SCHMID (2005): Humusmanagement im ökologischen Betrieb. In: LfL (Hrsg.): Forschung für den ökologischen Landbau in Bayern. Tagungsband 6. 55-70.

- KAISER, F., M. DIEPOLDER, J. EDER, S. HARTMANN, H. PRESTELE, R. GERLACH, G. ZIEHFREUND & A. GRONAUER (2004): Ertragspotenziale verschiedener nachwachsender Rohstoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. In: LfL (Hrsg.): Biogas in Bayern. Tagungsband 13. 43-56.
- KALK, W.-D. & K.-J. HÜLSBERGEN (1996): Methodik zur Einbeziehung des indirekten Energieverbrauchs mit Investitionsgütern in Energiebilanzen von Landwirtschaftsbetrieben. Kühn-Arch. 90, 41-56.
- KALK, W.-D. & K.-J. HÜLSBERGEN (1997): Energiebilanz - Methode und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: Deutsche Bundesstiftung Umwelt [Hrsg.]: Umweltverträgliche Pflanzenproduktion - Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Zeller Verlag Osnabrück, 31-43.
- KERSCHBERGER, M. u. H. SCHRÖTER (2006) Sensible Blattfrüchte. Bauernzeitung, 14. Woche 2006, S. 15 - 18
- KERSCHBERGER, M. u. G. MARKS (2006): Nicht versauern. Bauernzeitung 31. Woche 2006, S. 19-22 Sensible Blattfrüchte
- KEYMER, U. (2004): Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Biogasanlagen. In: LfL (Hrsg.): Biogas in Bayern. Tagungsband 13. 43-56.
- KEYMER, U. & G. REINHOLD (2005): Grundsätze bei der Projektplanung. In: FNR (Hrsg.): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. 182-209.
- KTBL (2002): Datensammlung für Betriebsplanung in der Landwirtschaft. Kuratorium für Technik und Bauen in der Landwirtschaft, 18. Aufl. Darmstadt.
- LfL (2006): Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm. LfL-Information. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.).
- LLG (2001): Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (Hrsg.).
- LLG (2002): Richtwerte für eine gute fachliche Praxis beim Düngen im Rahmen einer ordnungsgemäßen Landwirtschaftsbewirtschaftung. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt (Hrsg.).
- LEITHOLD, G., K.-J. HÜLSBERGEN, D. MICHEL, H. SCHÖNMEIER (1997): Humusbilanzierung - Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. In: DBU (Hrsg.): Umweltverträgliche Pflanzenproduktion - Indikatoren, Bilanzierungsansätze und ihre Einbindung in Ökobilanzen. Zeller Verlag Osnabrück, 43-55.
- MICHEL, D. (1988): Beitrag zur Quantifizierung der Stickstoff- und Humusreproduktionsleistung der Luzerne aus einem Fruchtfolge-Düngungsversuch. Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss. 269, 367-374.
- MÖNICKE, R., V. BEER U. H.-J. KURZER (2004): Ergebnisse der Humusbilanzrechnung im Freistaat Sachsen – dargestellt an 1000 repräsentativ verteilten Dauertestflächen. Infodienst der LfL, 11/2004, S. 62 - 71

- ROSSBERG, D., V. GUTSCHE, S. ENZIAN & M. WICK (2000): NEPTUN 2000 - Erhebung von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands.
- RUSSOW, R., H. FAUST, P. DITTRICH, G. SCHMIDT, S. MEHLERT & I. SICH (1995): Untersuchungen zur N-Transformation und zum N-Transfer in ausgewählten Agrarökosystemen mittels der Stabilisotopen-Technik. In: Körschens, M. & E. G. Mahn (Hrsg.): Strategien zur Regeneration belasteter Agrarökosysteme des mitteldeutschen Schwarzerdegebietes. Teubner Verlag Stuttgart, Leipzig, 132-166.
- SCHATTAUER, A., & P. WEILAND (2005): Beschreibung ausgewählter Substrate. In: FNR (Hrsg.): Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. 86-96.
- SCHMID, H. (2007): Gutachten für Bewirtschaftungsalternativen von Modellbetrieben. Im Auftrag der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Leipzig-Möckern
- SUNTHEIM, L. u. K.-H. NEUBERT (2005): Nährstoff- und Kalkversorgung der Bundesrepublik Deutschland außer Schleswig-Holstein und Saarland. Arbeitsmaterial VDLUFA u. LfL
- SLUIJSMANS, C. M. J. (1970): Der Einfluss von Düngemitteln auf den Kalkzustand des Bodens. Zeitschrift Pflanzenernährung Bodenkunde 126, 97-103.
- TLL (2001): Anleitung und Richtwerte für Nährstoffvergleiche nach Düngerverordnung. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.).
- VDLUFA (1997): Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. VDLUFA-Standpunkt. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.), Darmstadt.
- VDLUFA (2000): Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden. VDLUFA-Standpunkt. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.), Darmstadt.
- VDLUFA (2004): Humusbilanzierung - Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. VDLUFA-Standpunkt. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (Hrsg.), Darmstadt.
- WEIGEL, A., R. RUSSOW & M. KÖRSCHENS (2000): Quantification of airborne N-input in long-term field experiments and its validation through measurement using ¹⁵N isotope dilution. J. Plant Nutr. Soil Sci. 163, 261-265.
- WENDLAND, F., H. ALBERT, M. BACH & R. SCHMIDT (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland. Springer- Verlag Berlin Heidelberg New York.
- WENDLAND, M., M. DIEPHOLDER u. P. CAPRIEL (2007): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): LfL-Information, Gelbes Heft, 8. Auflage.

Impressum

- Herausgeber:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen
- Autoren:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Landwirtschaftliches Untersuchungswesen
Dr. habil. Rolf Mönicke
Gustav-Kühn-Str. 8
04159 Leipzig
Telefon: 0341/91 74 0
Telefax: 0341/91 74 - 211
E-Mail: rolf.moenicke@smul.sachsen.de
Institut für nachhaltige Landwirtschaft e.V.
Dipl.-Ing. agr. Bernhard Wagner
Dipl.-Ing. agr. Harald Schmid
Am Krähenberg 22
06118 Halle/Saale
Telefon: 0345/5522603
Telefax: 0345/5527023
E-Mail: bernhard.wagner@landw.uni-halle.de
- Redaktion:** siehe Autoren
- Endredaktion:** Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Birgit Seeber, Ramona Scheinert, Matthias Löwig
Telefon: 0351/2612-345
Telefax: 0351/2612-151
E-Mail: birgit.seeber@smul.sachsen.de
- ISSN:** 1861-5988
- Redaktionsschluss:** Mai 2007

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.