

Qualität, Aufbereitung und Verwertung von Gärresten aus Biogasanlagen

Helmut Döhler, Sven Grebe, Uwe Häußermann, Sebastian Wulf



„Angepasster Energiepflanzenanbau zur Biogasproduktion im Saarland“
Eppelborn, 08. Juni 2010

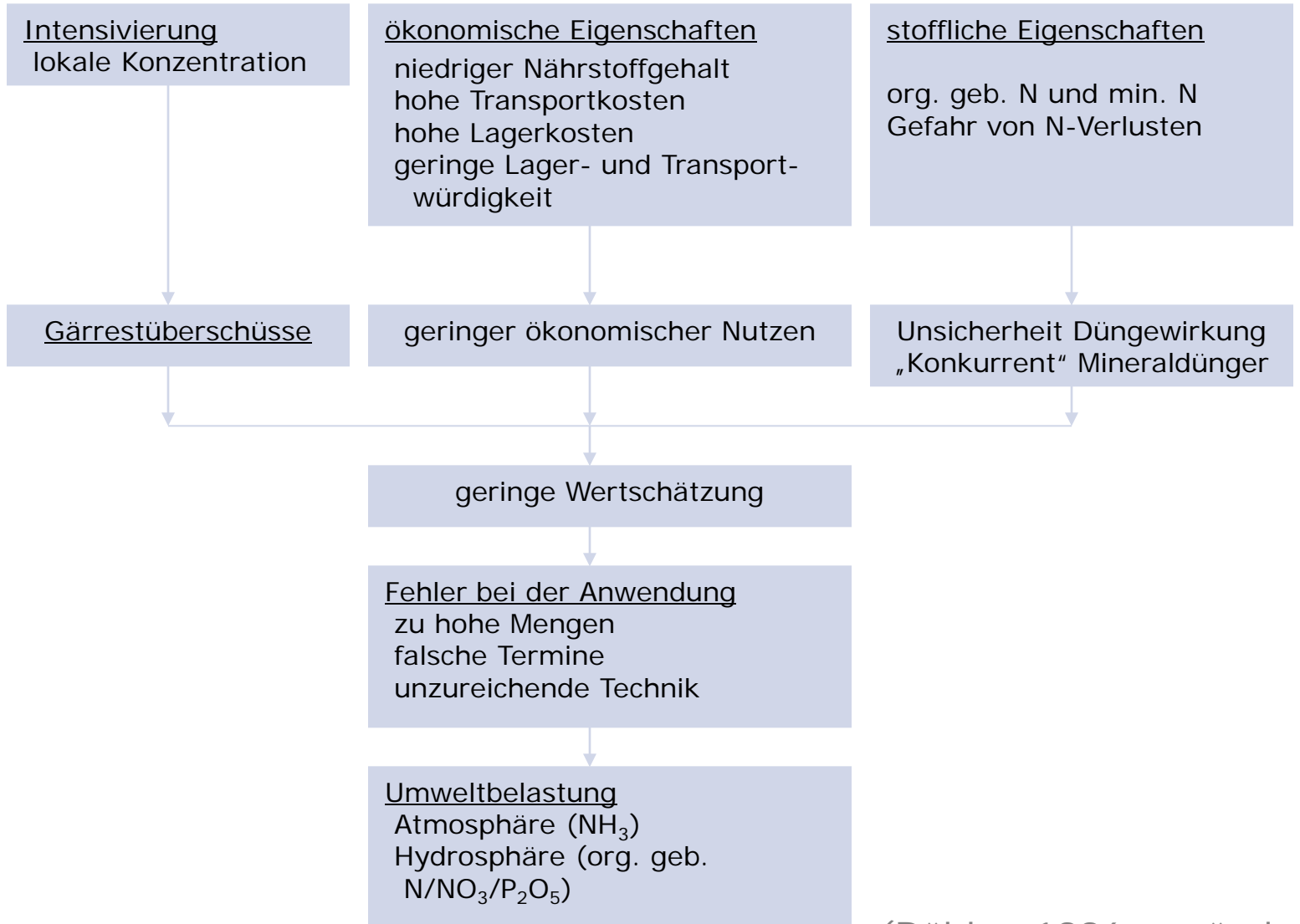
Was erwartet Sie ?

- Einleitung:
 - Die Gärreste verursachen ähnliche Probleme wie die Gülle
- Nährstoffe und Nährstoffwirkung
 - Stickstoffwirkung von Gärresten (kurzfristig und langfristig)
 - Ammoniakemissionen
 - Phosphorwirkung von Gärresten
 - Schadstoffe in Gärresten
- Gärrestaufbereitung
 - Ziele der Aufbereitung von Gärresten
 - Verfahrensbeispiele
 - Kosten der Aufbereitungsverfahren
 - Vergleichende Bewertung
- Zusammenfassung

Der KTBL-Blick zurück.....

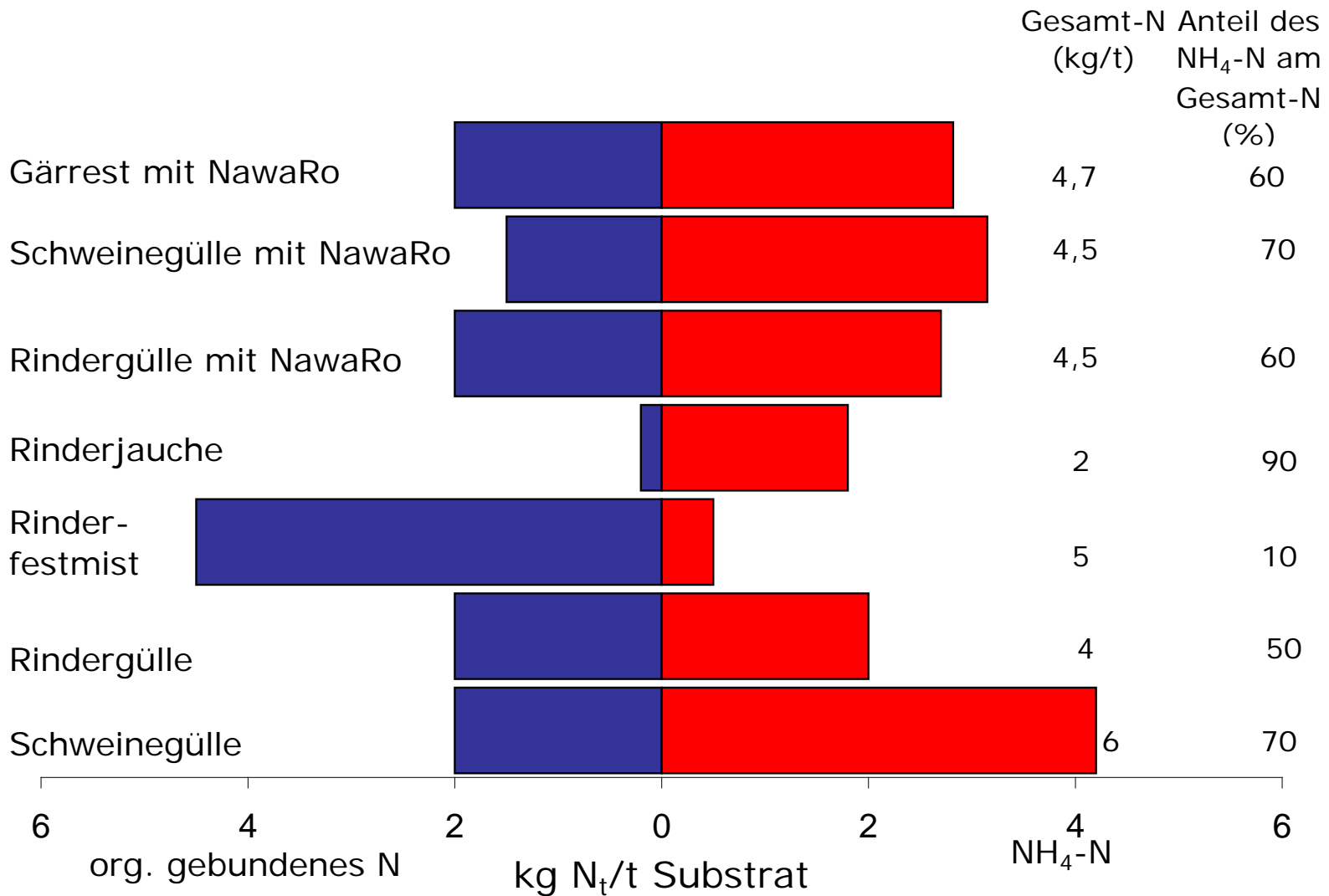
- 1947 erste KTBL- Veröffentlichung Biogas
- 50er Jahre Betreuung von Biogasanlagen in Hessen und Bayern
- 1982 KTBL-Schrift „Fortschritte bei Biogas“
- 1990 -1997 Koordinierung BMBF Projekt Gülleaufbereitung und -verwertung (**der Meilenstein zur profession. Biogasanlage**)
- 1997-99 Initiative Expo-2000-Projekt „Biogasbetankung ÖPNV“
- 1990 bis.. Politikberatung EEG, Veröffentlichungen, div. Projekte
- 1993 NawaRo-Bonus
- 1997 Veröffentlichung 1. Auflage „Faustzahlen Biogas“
- 2005 1. Biogasanlagen-Wettbewerb
- 2009 Kongress KTBL / FNR Biogas –Stand und Perspektiven

Umweltbelastungen und deren Ursachen bei der Anwendung von Gärresten



(Döhler, 1996, verändert)

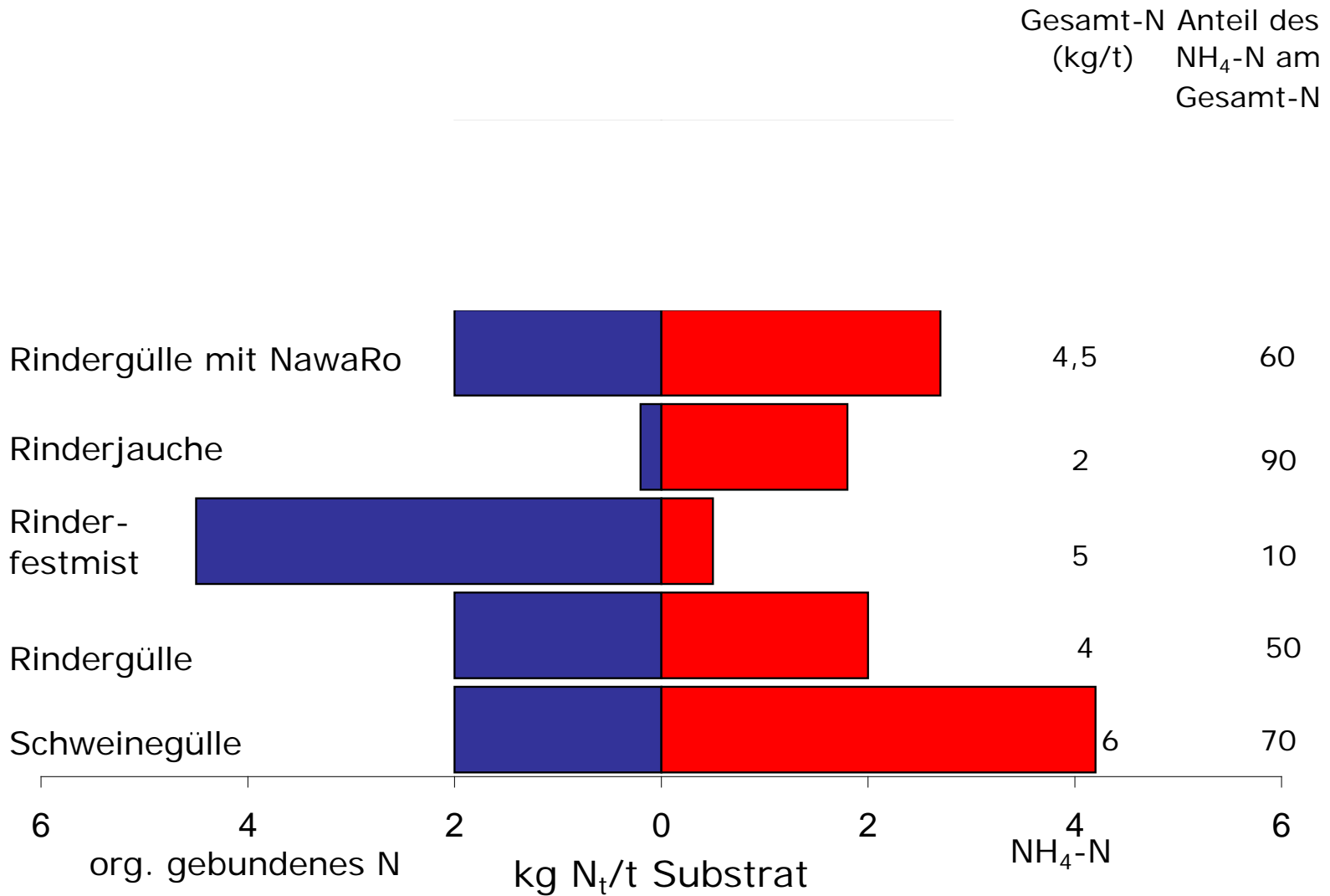
N-Charakteristik von Gärresten und Wirtschaftsdüngern



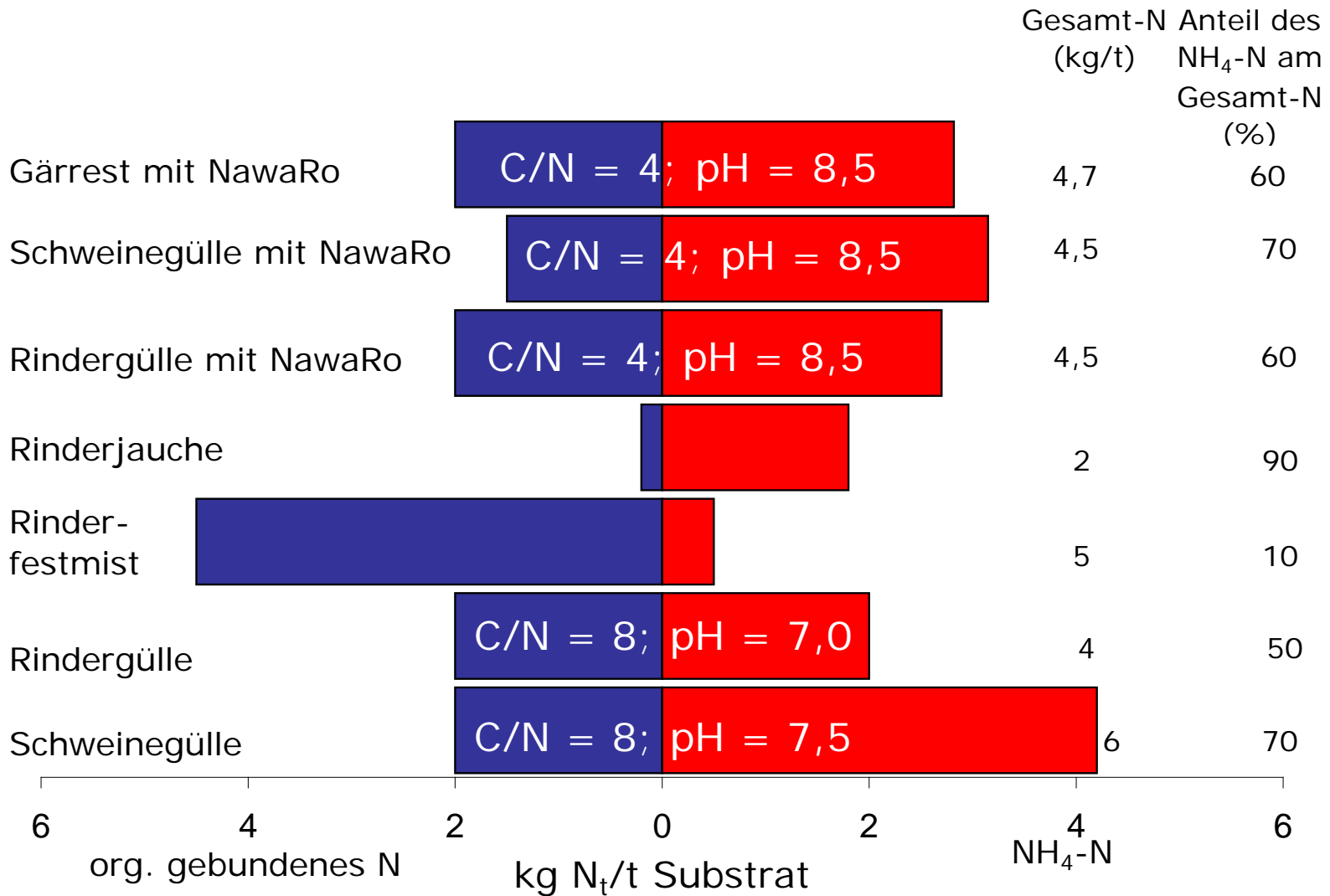
Nährstoffgehalte von Gärresten im Vergleich zu Wirtschaftsdünger

Einheit		Wirtschaftsdünger	Gärreste		
		überwiegend Rindergülle	Rindergülle und NawaRo	Schweinegülle und NawaRo	Gärrest und NawaRo
Trockenmasse	% FM	9,1	7,3	5,6	7,0
Säuregrad	pH	7,3	8,3	8,3	8,3
Verhältnis Kohlenstoff/ Stickstoff	C/N	10,8	6,8	5,1	6,4
Stickstoff (N _t)	kg/t FM	4,1	4,6	4,6	4,7
Ammonium-N (NH ₄ -N)	kg/t FM	1,8	2,6	3,1	2,7
Phosphor (P ₂ O ₅)	kg/t FM				
Organische Masse	kg/t FM	74,3	53,3	41,4	51,0

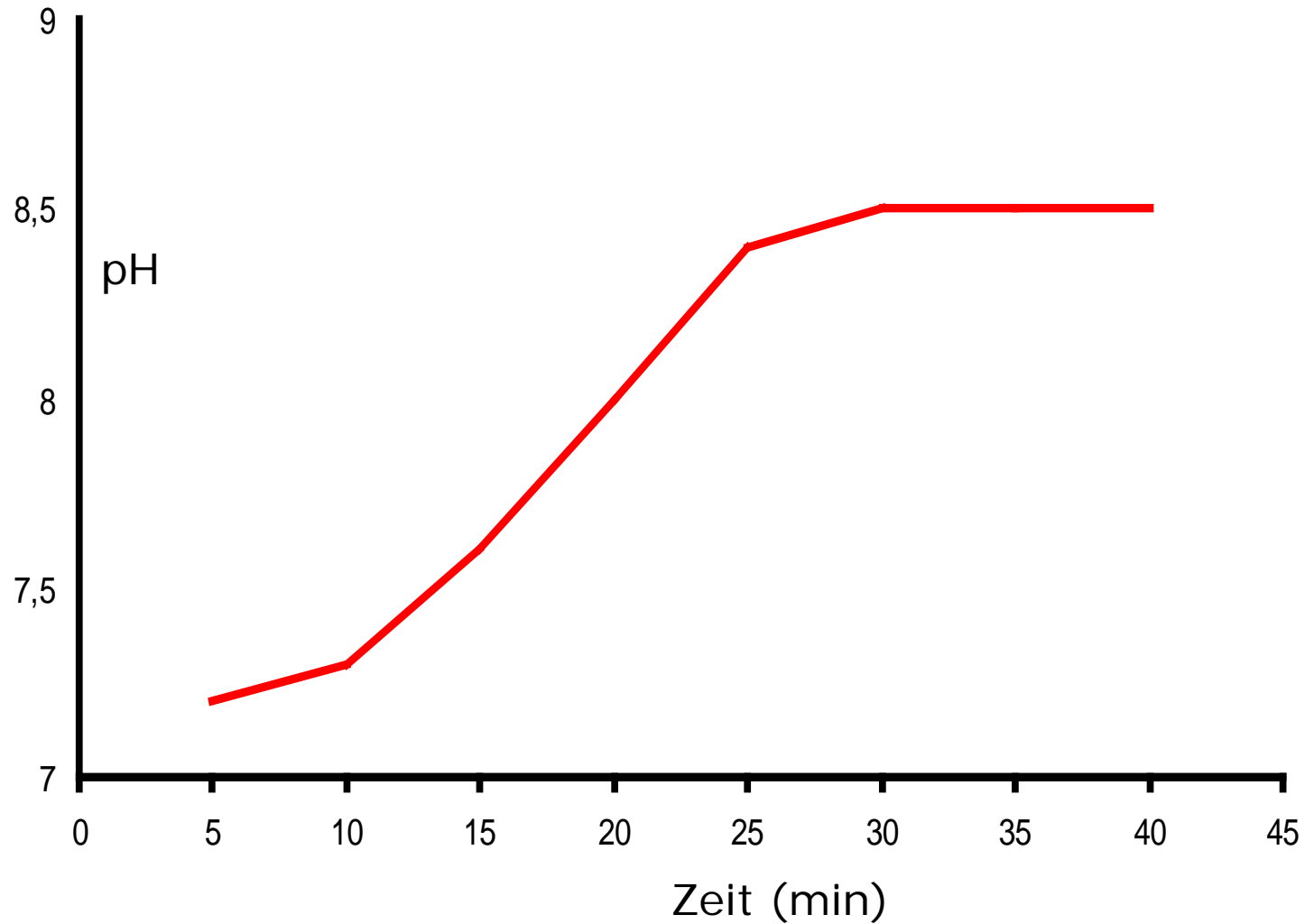
N-Charakteristik von Gärresten und Wirtschaftsdüngern



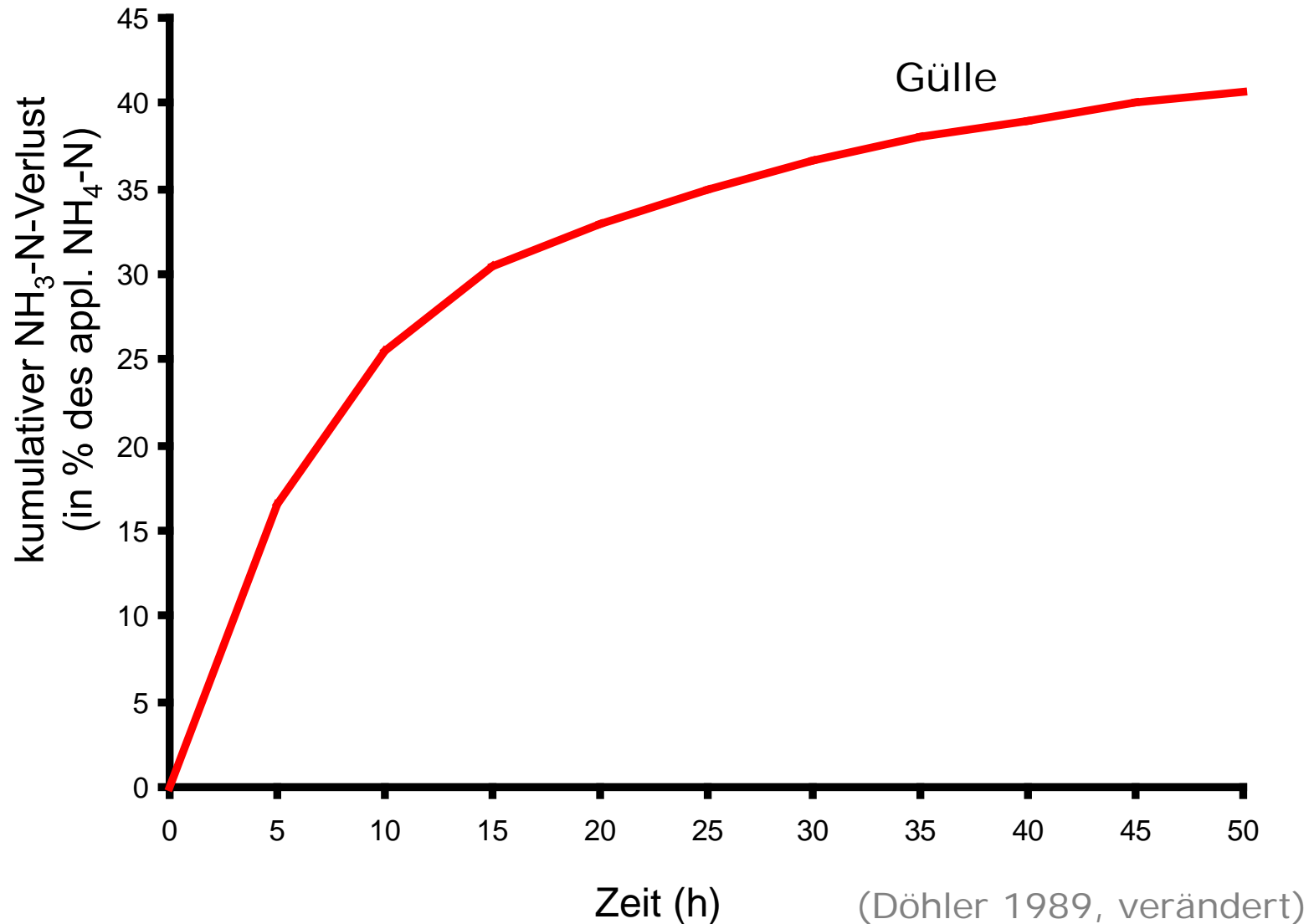
N-Charakteristik von Gärresten und Wirtschaftsdüngern



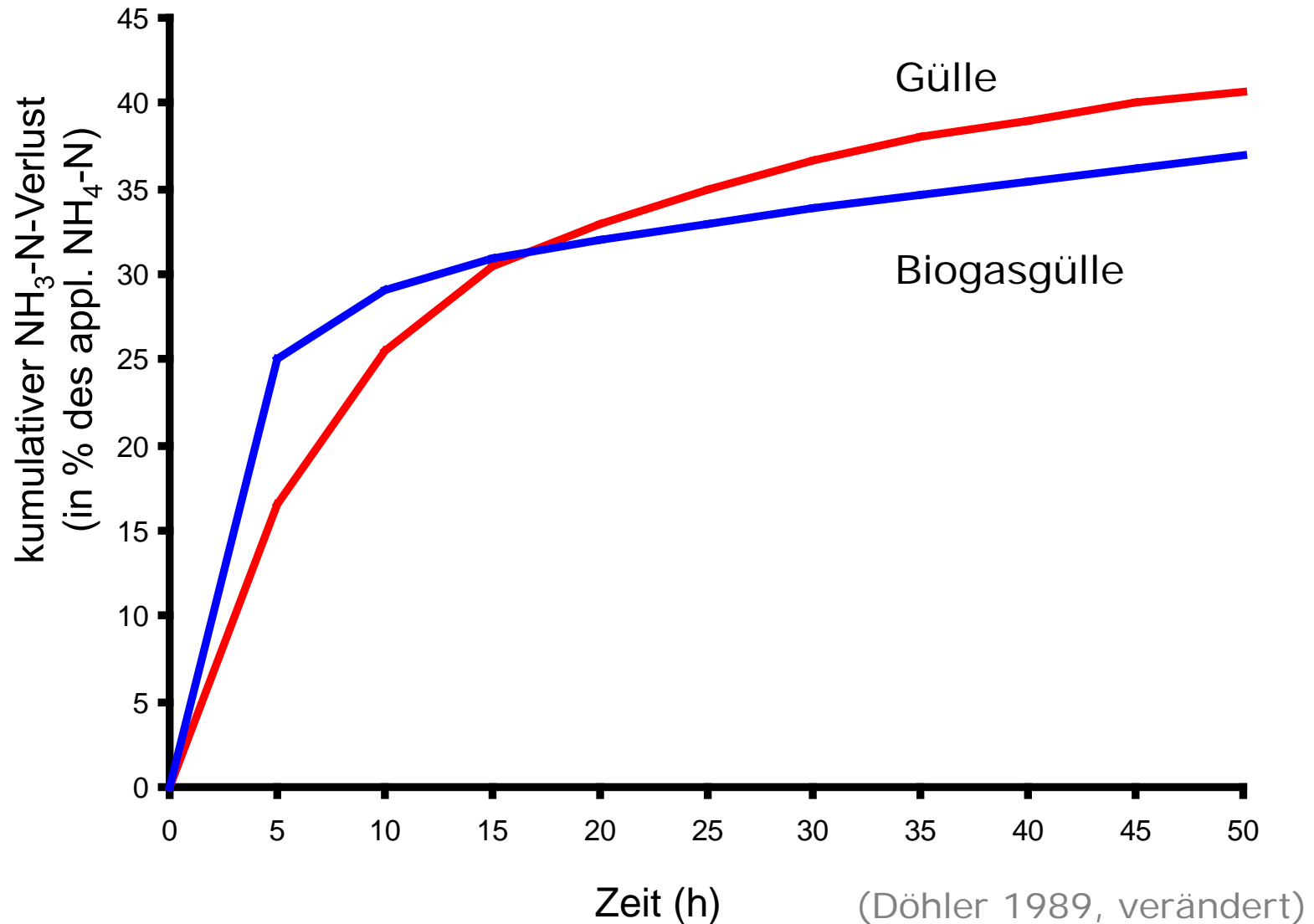
pH-Wert Veränderung von Rindergülle unmittelbar nach der Ausbringung



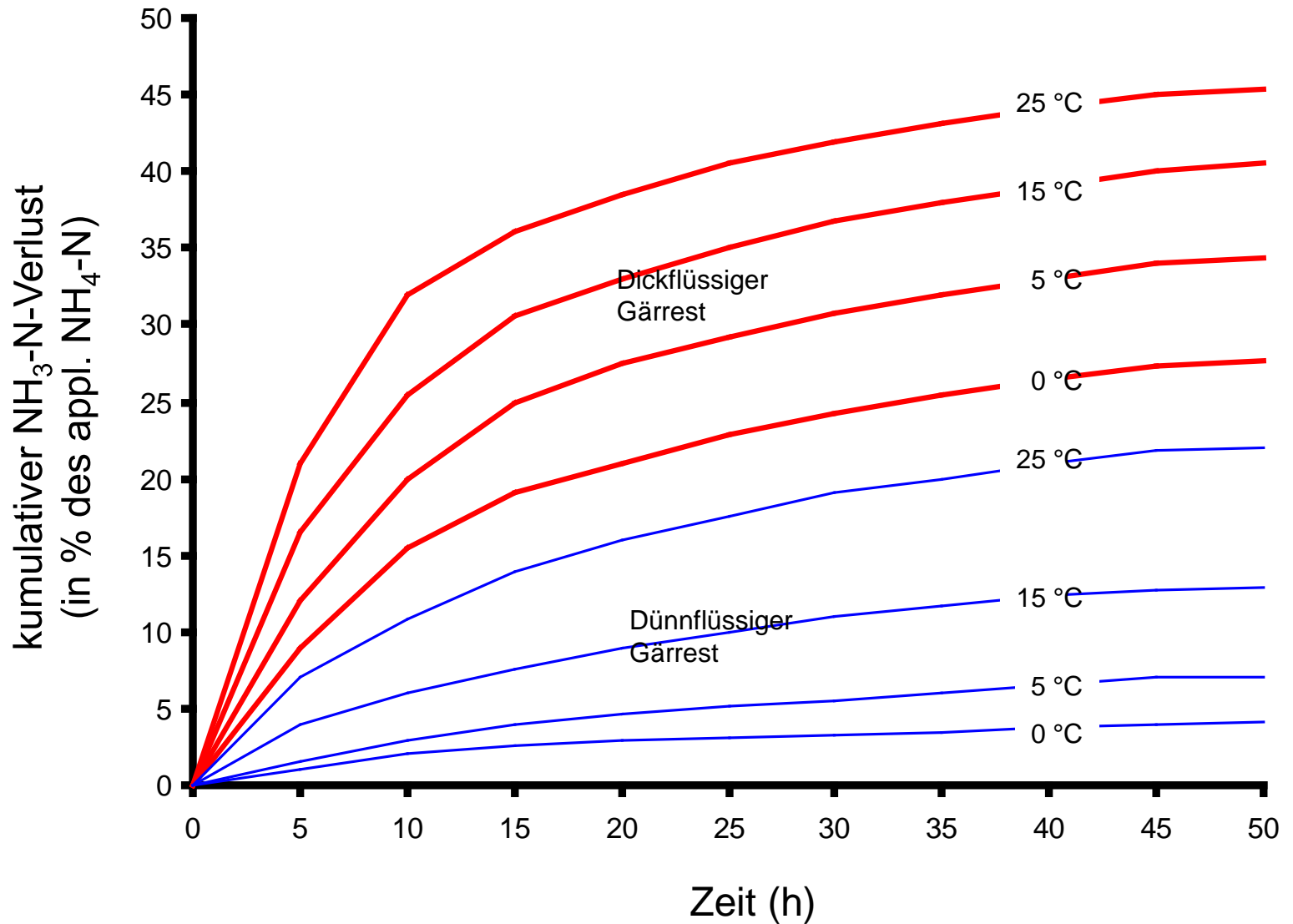
Ammoniakverluste von Gülle und Biogasgülle nach der Ausbringung



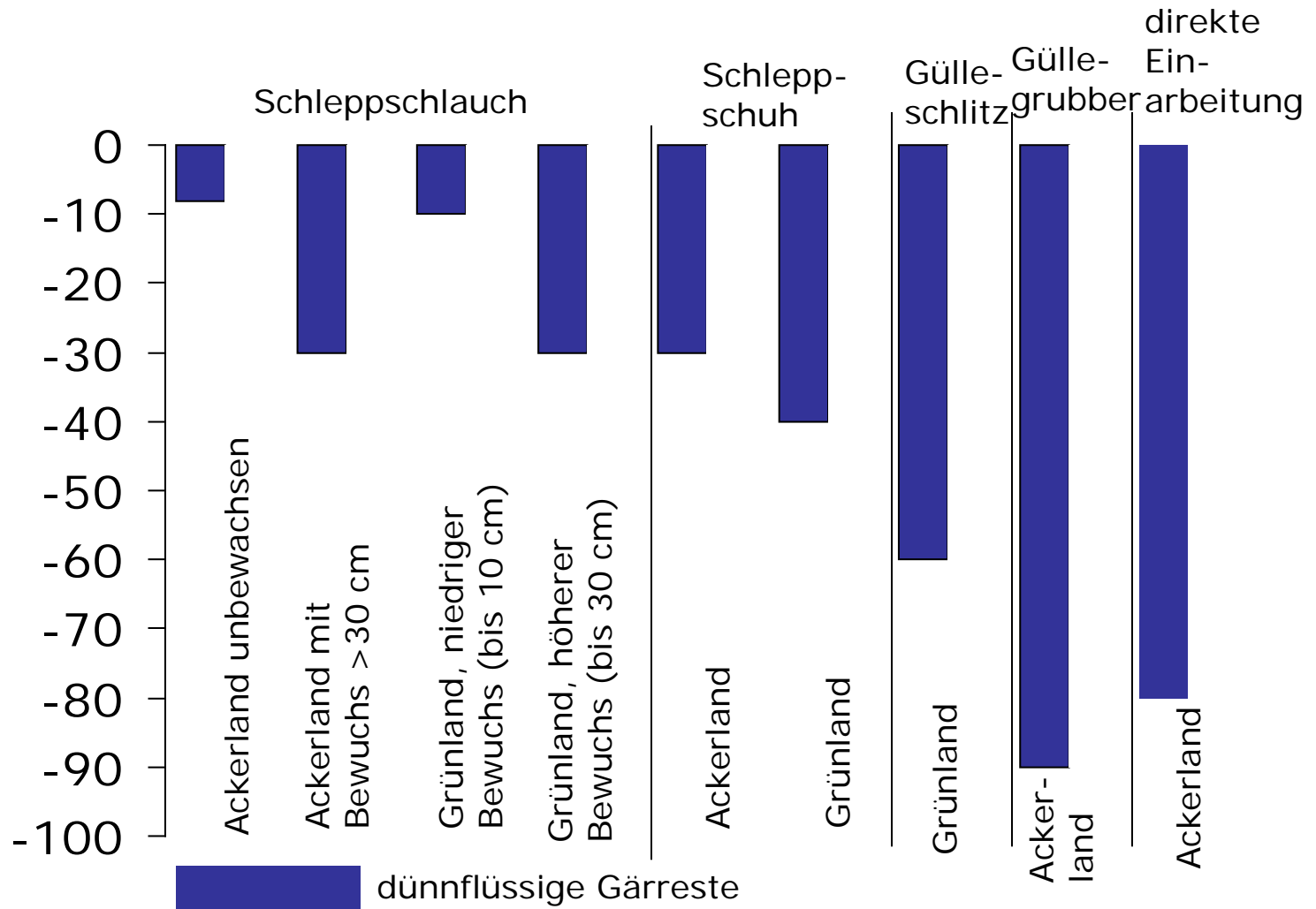
Ammoniakverluste von Gülle und Biogasgülle nach der Ausbringung



Ammoniakverluste von Gülle (Gärresten) nach der Ausbringung



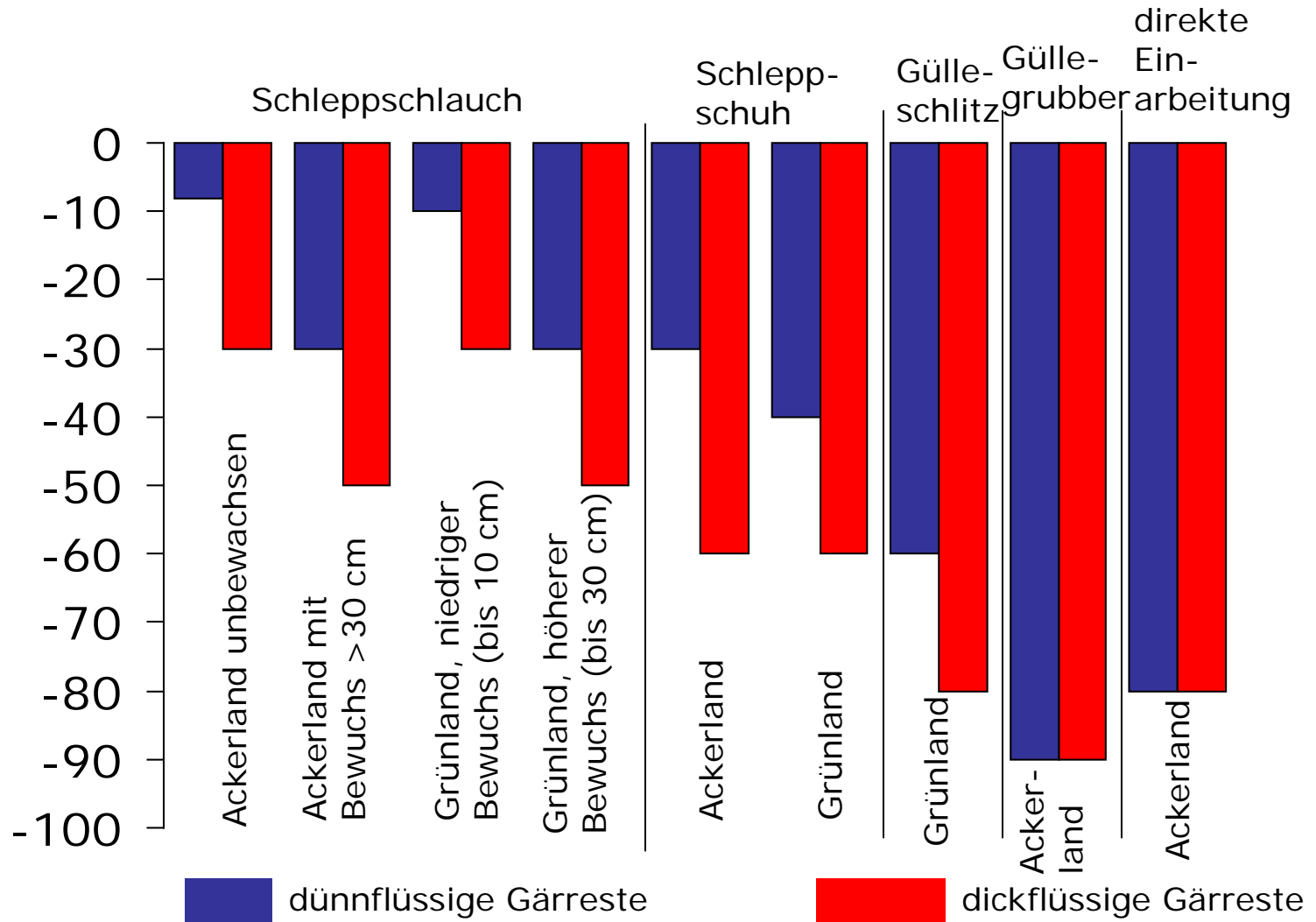
Minderung der NH₃-Verluste (in % d. appl. NH₄) nach der Ausbringung von flüssigen Gärresten (Referenz Prallteller)



Verluste bei Ausbringung mit Prallteller:

- dickflüssige Gärreste: 50 % bei 15 °C
- dünnflüssige Gärreste: 25 % bei 15 °C

Minderung der NH₃-Verluste (in % d. appl. NH₄) nach der Ausbringung von flüssigen Gärresten (Referenz Prallteller)



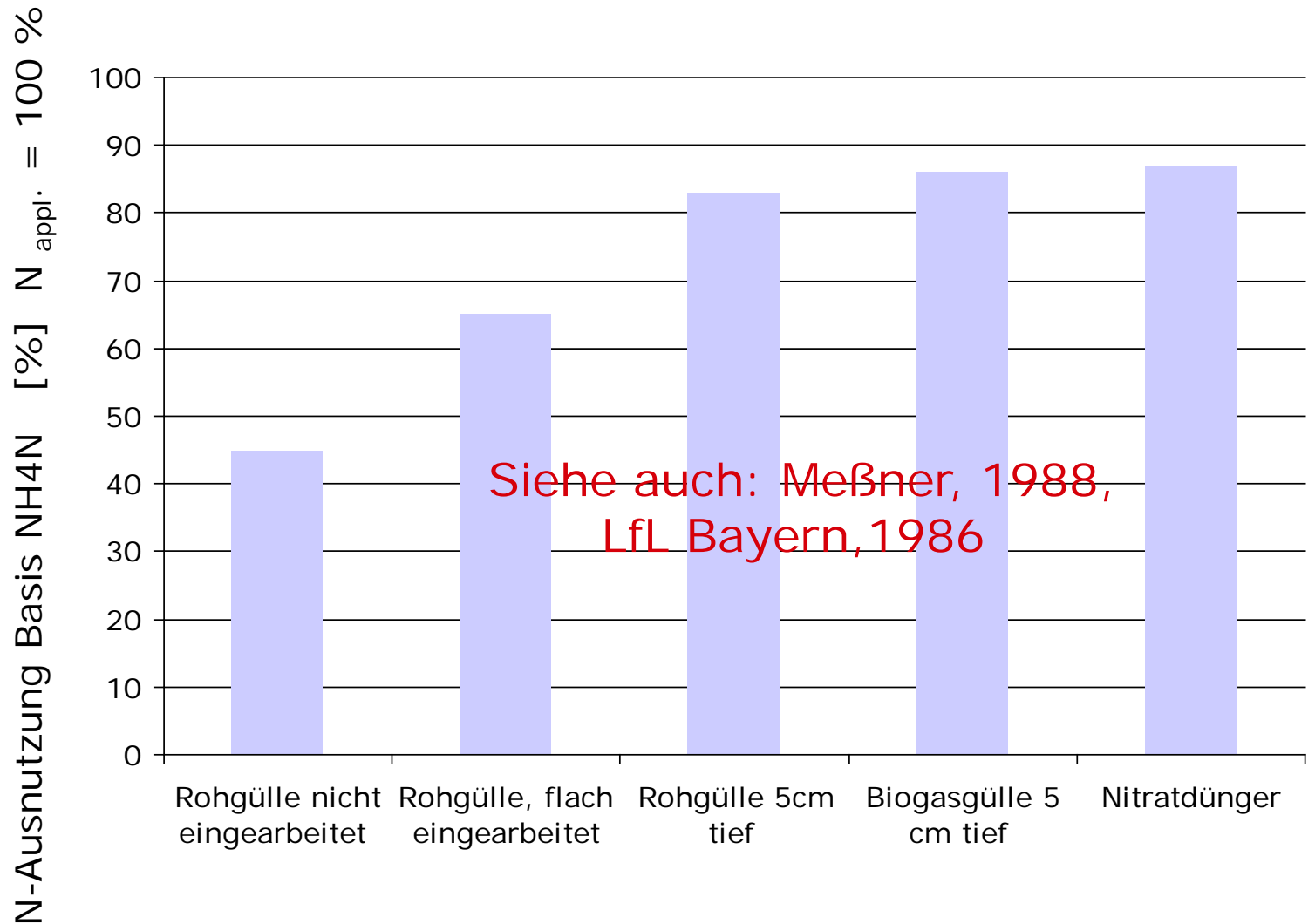
Verluste bei Ausbringung mit Prallteller:

- dickflüssige Gärreste: 50 % bei 15 °C
- dünnflüssige Gärreste: 25 % bei 15 °C

Kurzfristig und langfristig verfügbarer Stickstoff aus „organischen Düngern“

N-Fraktion			Vertreter
im Anbaujahr verfügbar		langfristig verfügbar	
löslich NH ₄	org. gebunden leicht abbaubar	organisch gebunden schwer abbaubar	
65	5	30	Schweinegülle
50	5	45	Rindergülle
90	0	10	Jauche
10	30	60	Stallmist
10	10	80	Biokompost
5	30	65	Schlempe
0	60	40	Hornmehl

N-Ausnutzung von Roh- und Biogasgülle im Gefäßversuch mit W. Weidelgras



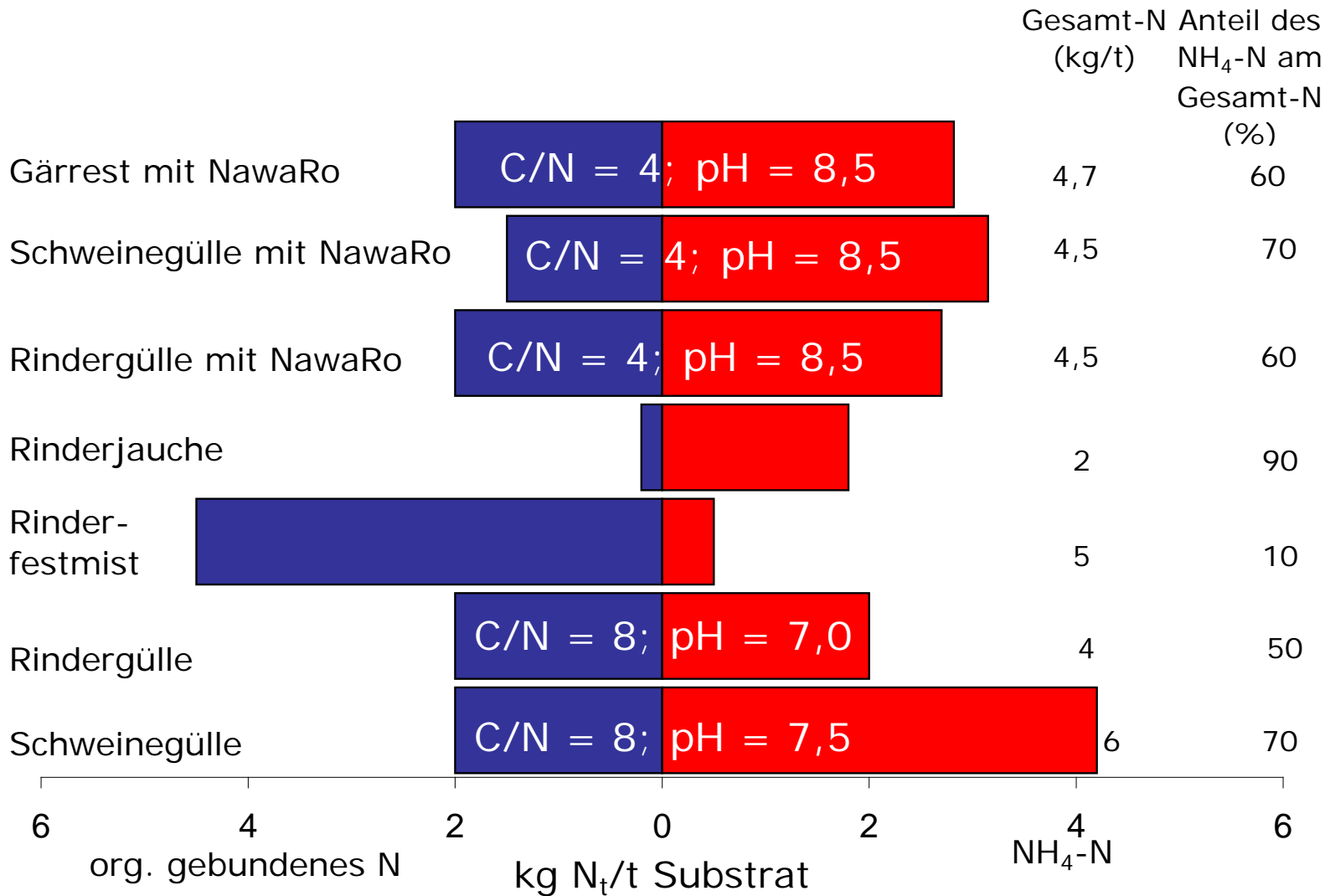
(Döhler, 1988, verändert)



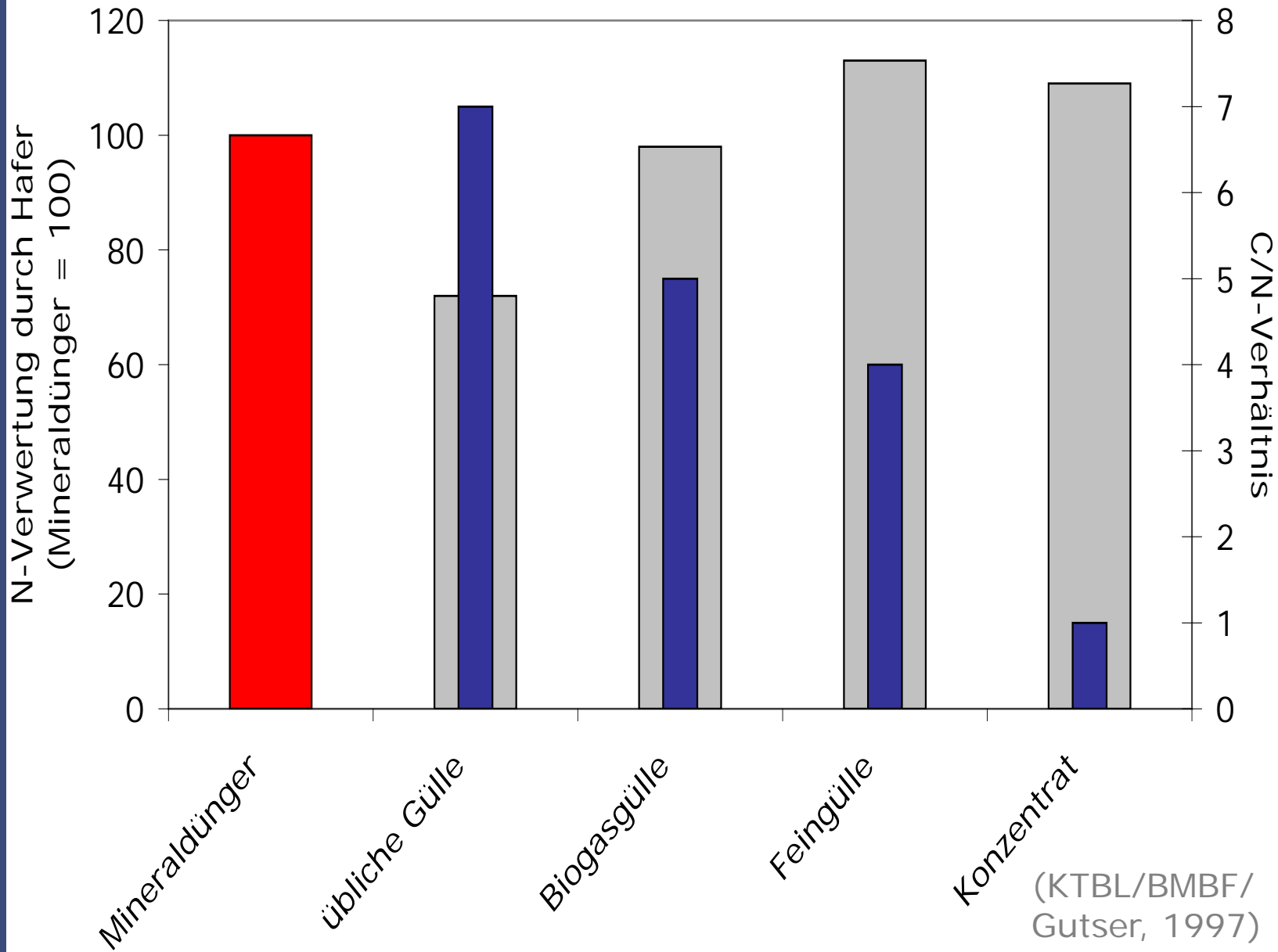
**BMBF-Förderschwerpunkt
Umweltverträgliche
Gülleaufbereitung
und -verwertung**

1991 -1997

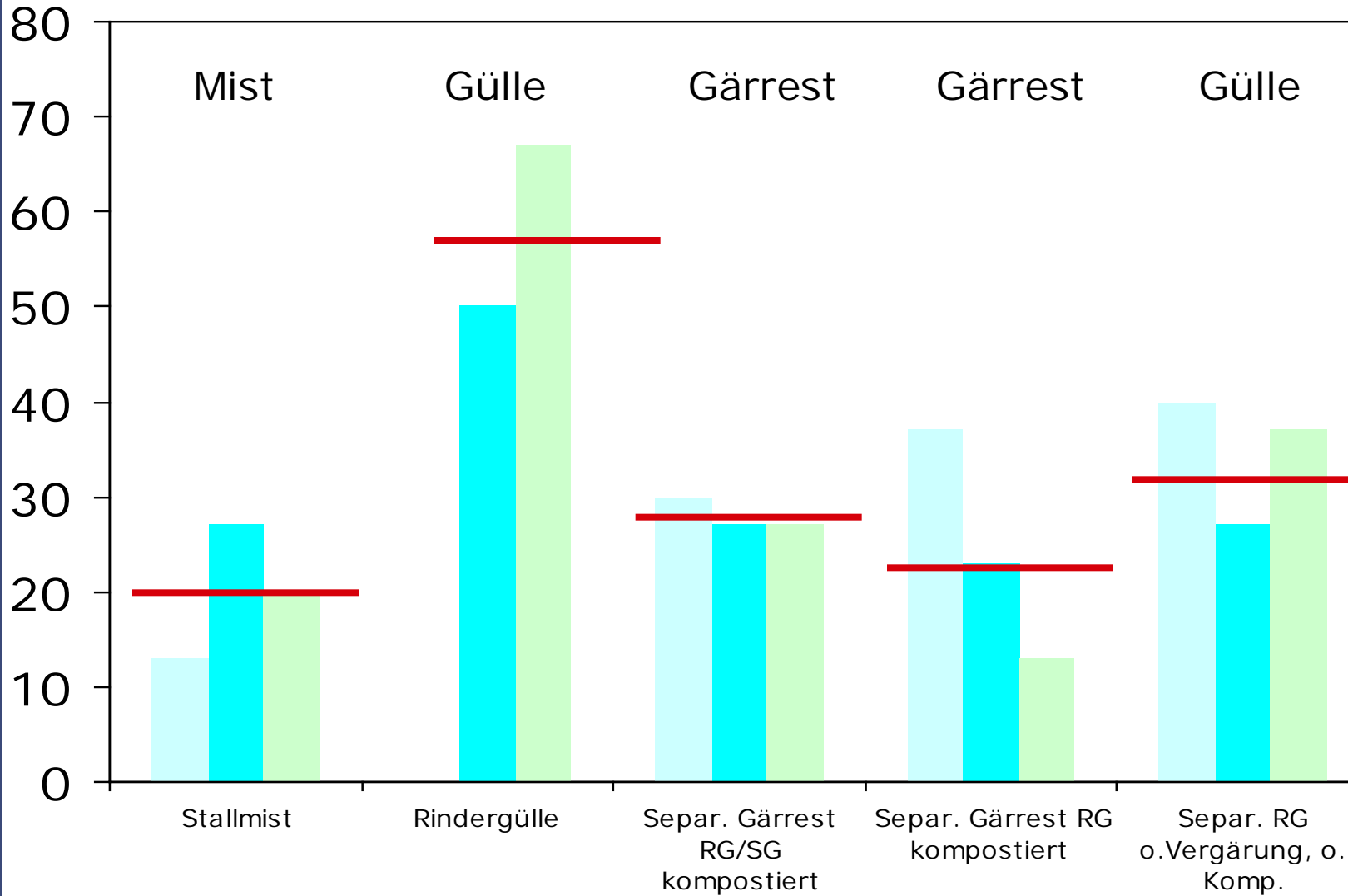
N-Charakteristik von Gärresten und Wirtschaftsdüngern



Kurzfristige N-Wirkung flüssiger Gärreste und Aufbereitungsprodukte im Gefäßversuch (Hafer; 0,5gNH₄-N)



Mittlere Mineräldüngeräquivalente für die Ertragsleistung von Stallmist, Gülle und Gärresten

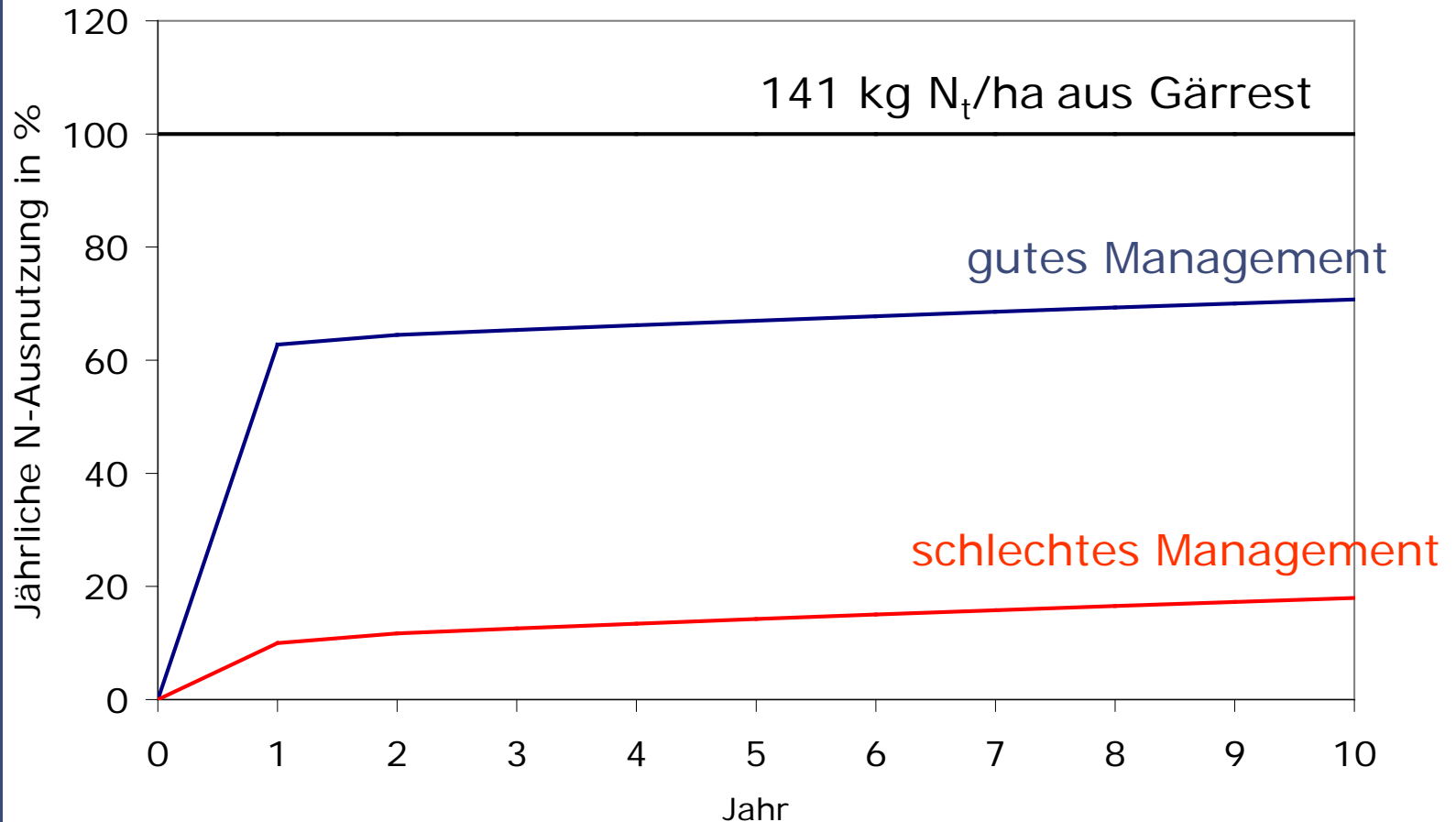


Ergebnisse auf den Standorten:

1: Oldenburg (tU), 2: Bernburg (uL), 3: Weihenstephan (uL);

Mittelwerte über drei Jahre; Düngung: 150 bzw. 160 kg N/ha und Jahr.

Verlauf der mittelfristigen N-Ausnutzung nach einmaliger Gärrest-Applikation



Annahmen: jährliche Applikation von 93 kg N/ha NH₄-N + 48 kg N/ha org. geb. N mit 10 % Mineralisation im 1. Jahr, 5 % Mineralisation im 2. Jahr und 3 % Mineralisation ab dem 3. Jahr

rote Linie: 90 % NH₃-Verlust bei Ausbringung

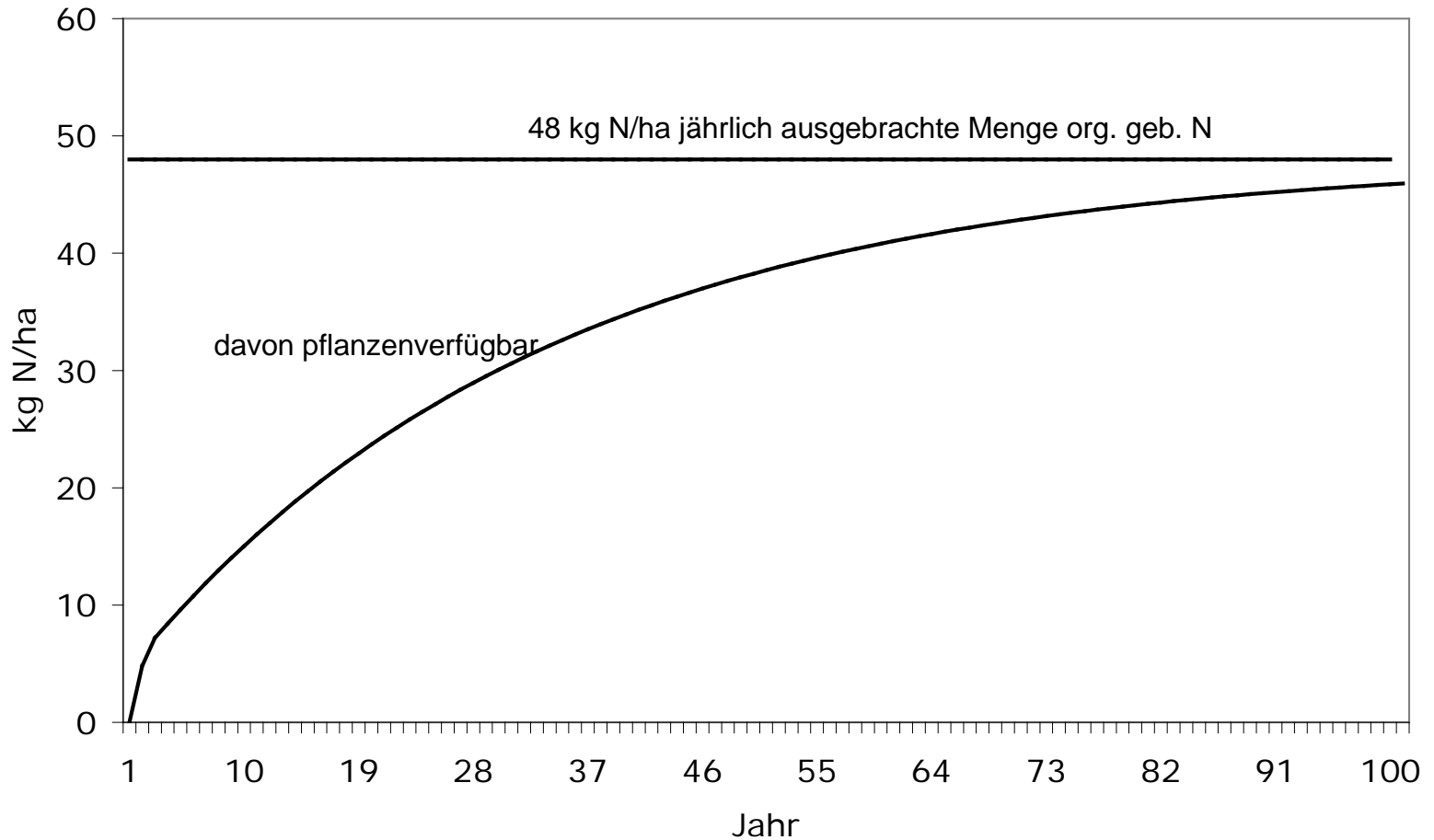
blaue Linie: 10 % NH₃-Verlust bei Ausbringung

(nach Döhler 1996)

Kurzfristig und langfristig verfügbarer Stickstoff aus „organischen Düngern“

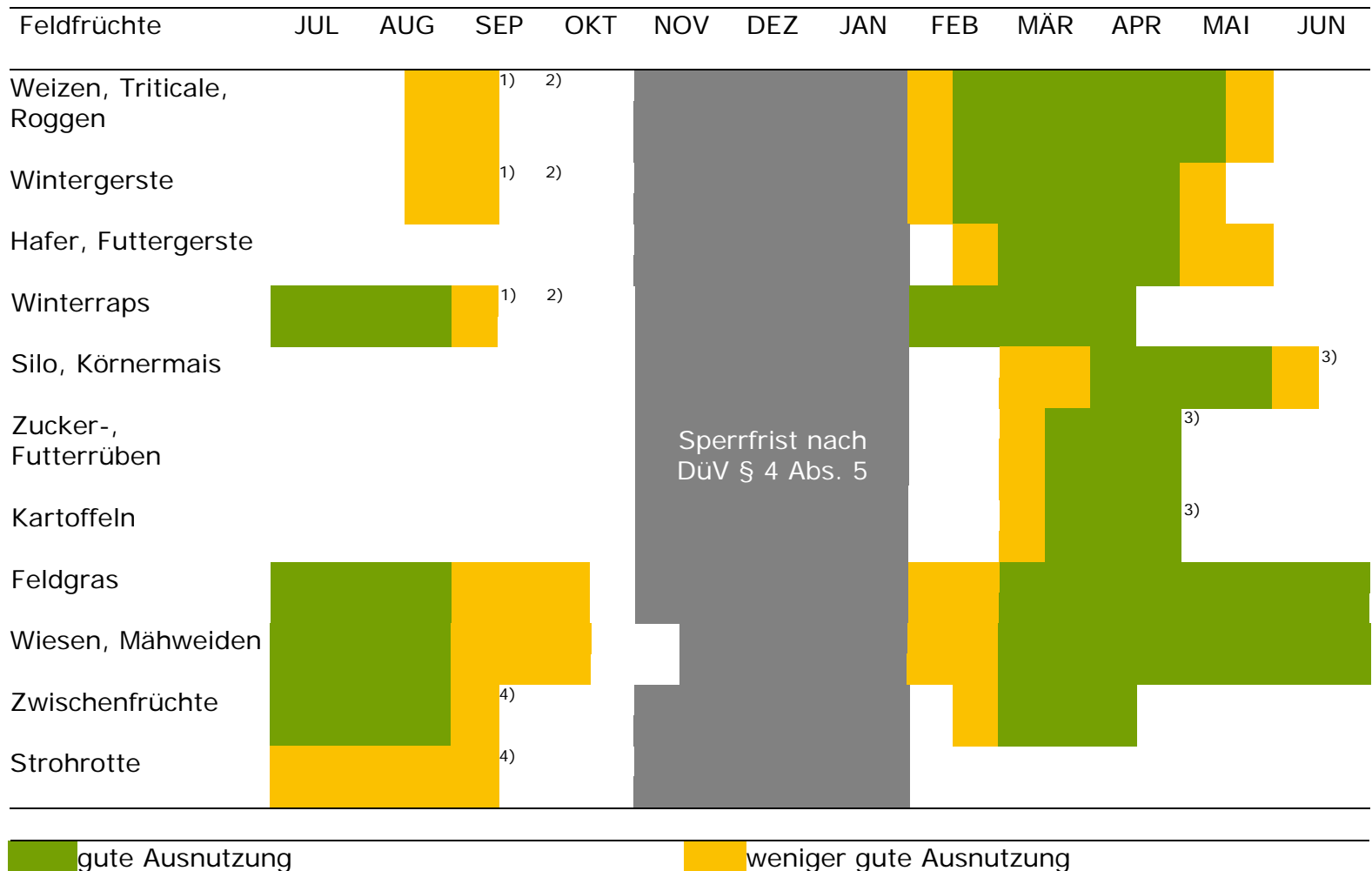
N-Fraktion			
im Anbaujahr verfügbar		langfristig verfügbar	Vertreter
löslich NH ₄	org. gebunden leicht abbaubar	organisch gebunden schwer abbaubar	
65	5	30	Schweinegülle
50	5	45	Rindergülle
65	5	30	Gärreste
90	0	10	Jauche
10	30	60	Stallmist
10	10	80	Biokompost
5	30	65	Schlempe
0	60	40	Hornmehl

Verlauf der Mineralisation von organisch gebundenem Stickstoff bei jährlicher, langjähriger Gärrestapplikation



Annahmen: jährliche Applikation von 48 kg N/ha org. geb. N mit 10 % Mineralisation im 1. Jahr, 5 % Mineralisation im 2. Jahr und 3 % Mineralisation ab dem 3. Jahr

Ausbringzeiträume für flüssige Gärreste und Wirtschaftsdünger

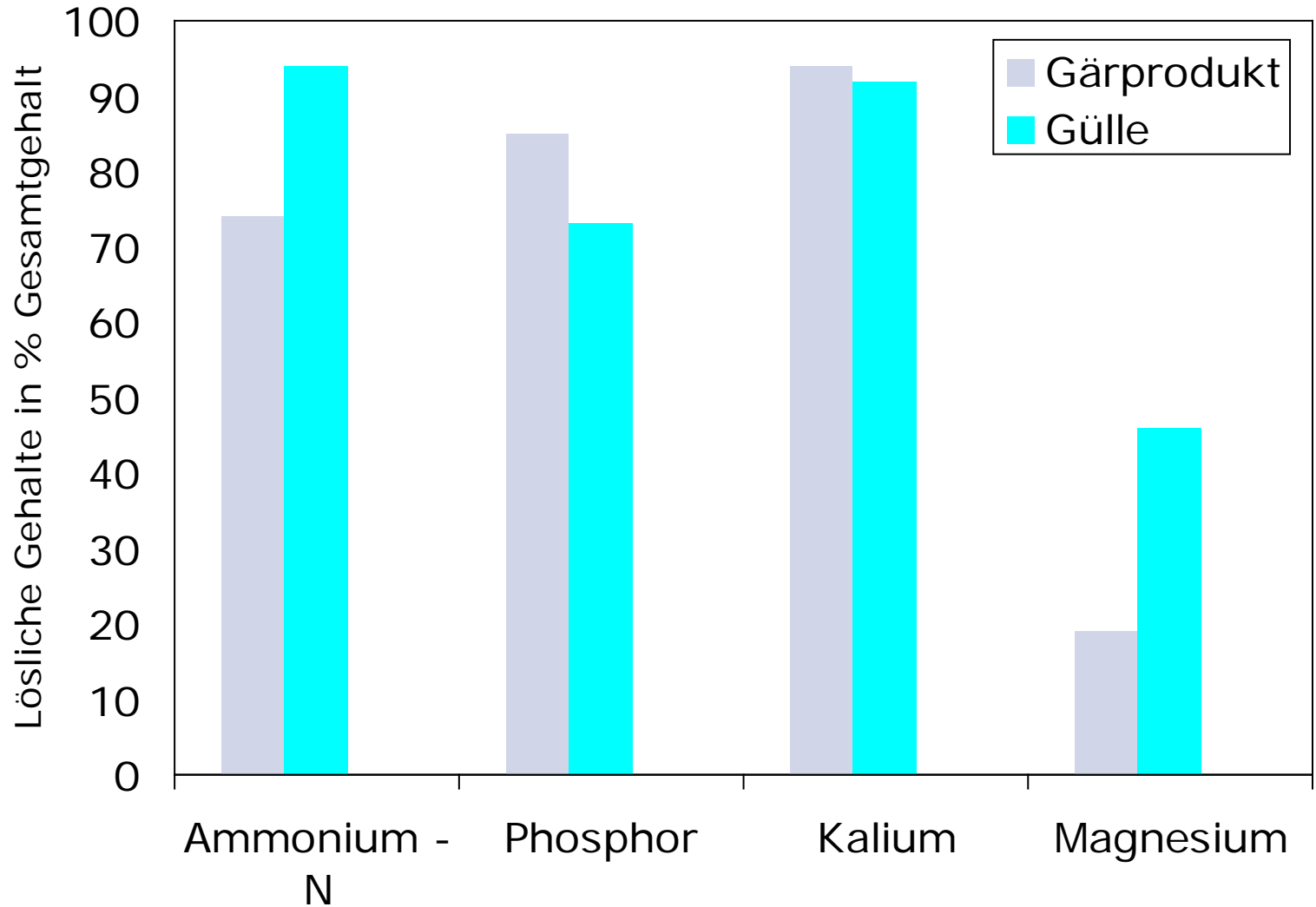


- 1) Nur wenn N-Bedarf vorhanden, sofortige Einarbeitung
- 2) Maximal 40 kg Ammonium-N oder 80 kg Gesamtstickstoff/ha
- 3) Im März mit Nitrifikationshemmer, sofortige Einarbeitung
- 4) Maximal 40 kg Ammonium-N oder 80 kg Gesamtstickstoff/ha, sofortige Einarbeitung

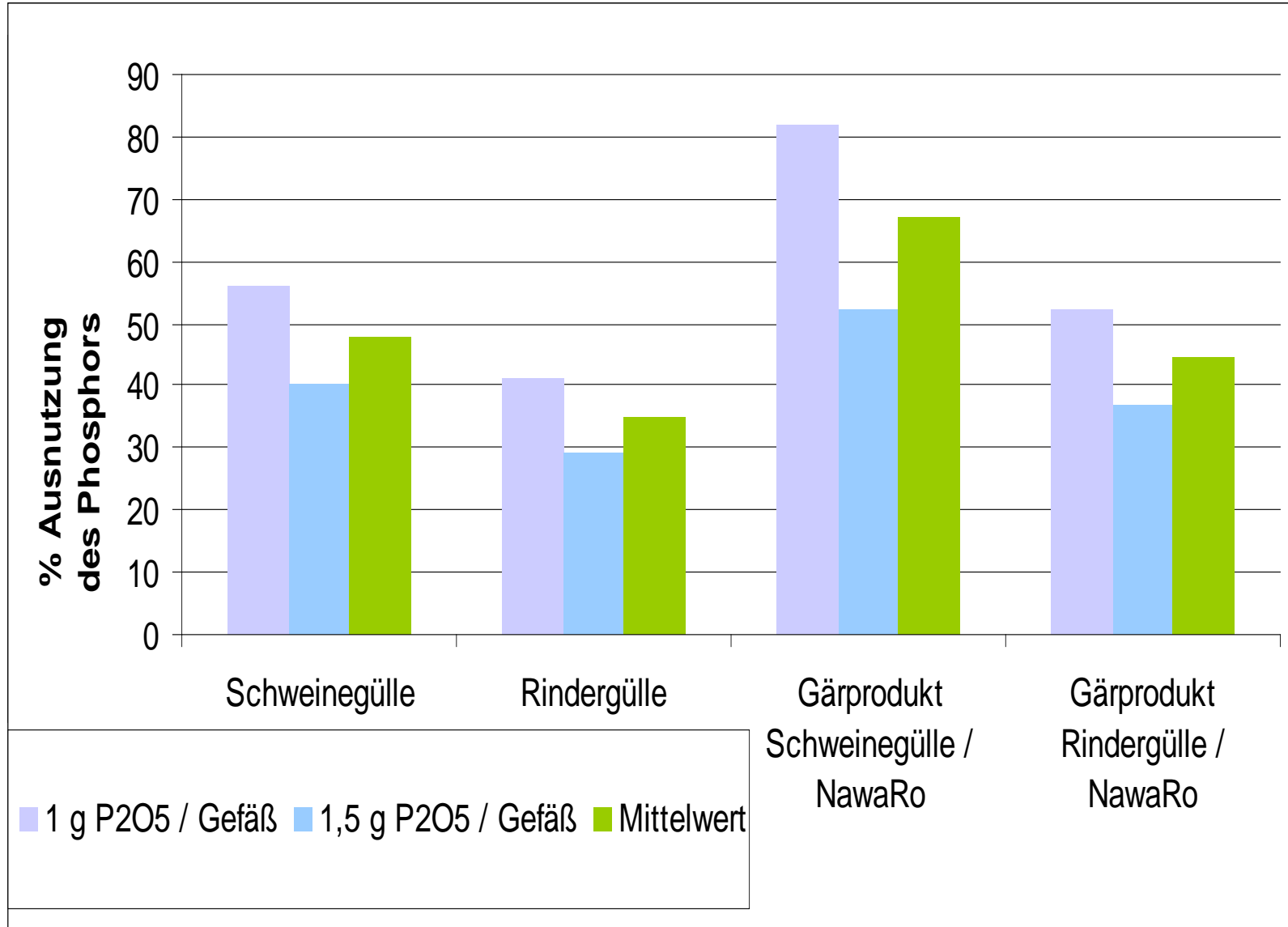
Nährstoffgehalte von Gärresten im Vergleich zu Wirtschaftsdünger

Einheit		Wirtschaftsdünger	Gärreste		
		überwiegend Rindergülle	Rindergülle und NawaRo	Schweinegülle und NawaRo	Gärrest und NawaRo
Trockenmasse	% FM	9,1	7,3	5,6	7,0
Säuregrad	pH	7,3	8,3	8,3	8,3
Verhältnis Kohlenstoff/ Stickstoff	C/N	10,8	6,8	5,1	6,4
Stickstoff (N _t)	kg/t FM	4,1	4,6	4,6	4,7
Ammonium-N (NH ₄ -N)	kg/t FM	1,8	2,6	3,1	2,7
Phosphor (P ₂ O ₅)	kg/t FM	1,9	2,5	3,5	1,8
Organische Masse	kg/t FM	74,3	53,3	41,4	51,0

Löslichkeitsuntersuchung zur P_2O_5 Wirkung von Gärresten ($CaCl_2$ bzw. CAL Extrakt)



Gefäßversuch zur P_2O_5 Wirkung von Gärresten auf Basis des Gesamtpflanzenenertrages (Körnermais)



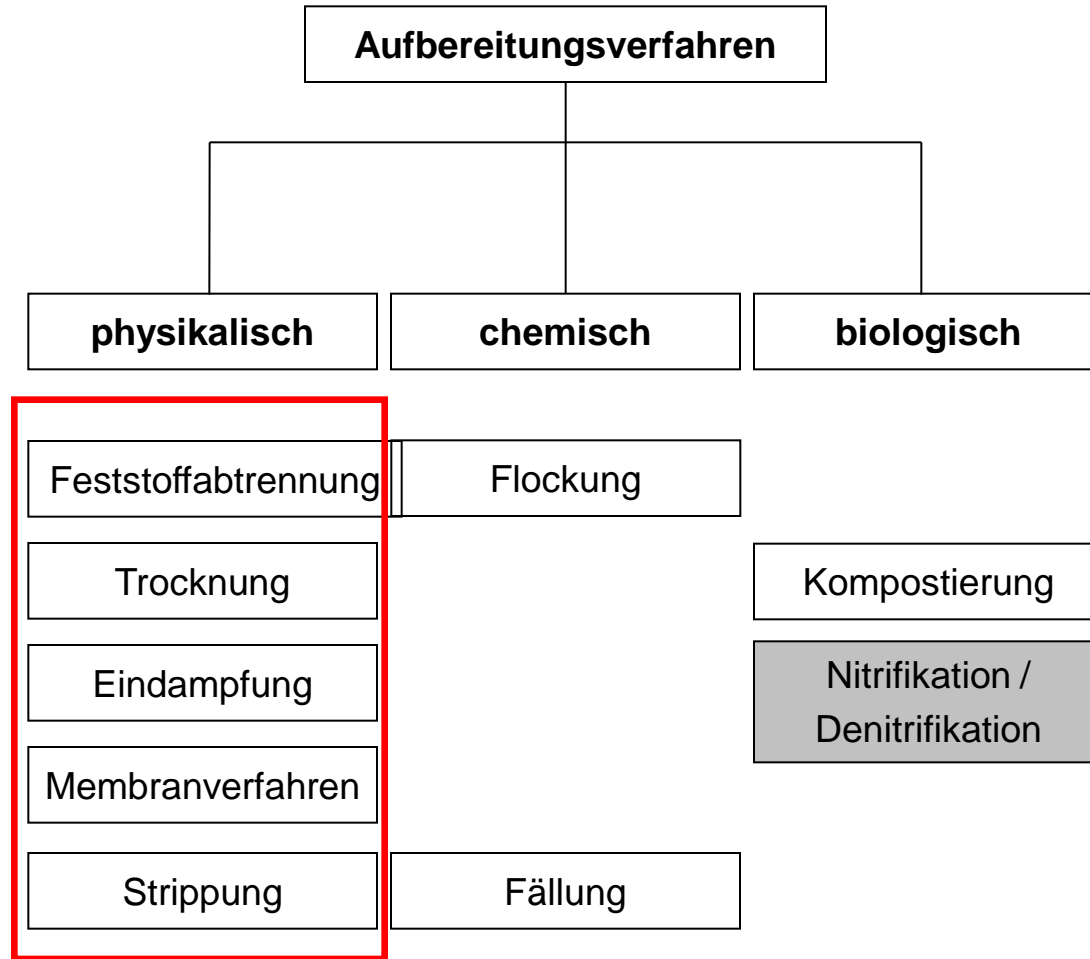
Was erwartet Sie ?

- Einleitung:
 - Die Gärreste verursachen ähnliche Probleme wie die Gülle
- Nährstoffe und Nährstoffwirkung
 - Stickstoffwirkung von Gärresten (kurzfristig und langfristig)
 - Ammoniakemissionen
 - Phosphorwirkung von Gärresten
 - Schadstoffe in Gärresten
- Gärrestaufbereitung
 - Ziele der Aufbereitung von Gärresten
 - Verfahrensbeispiele
 - Kosten der Aufbereitungsverfahren
 - Vergleichende Bewertung
- Zusammenfassung

Warum Gärreste behandeln ?

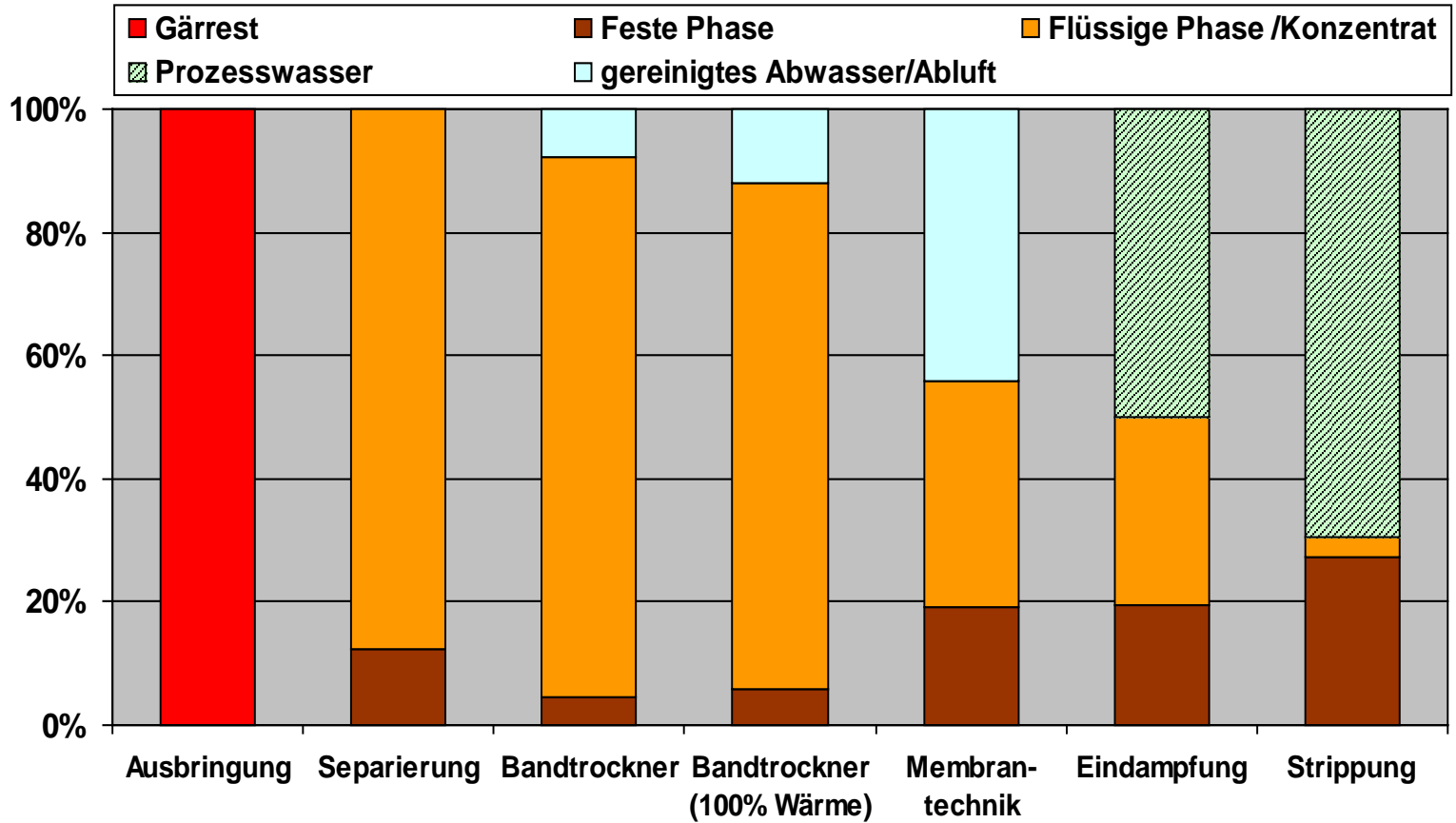
- „Export“ von Nährstoffen
- Einsparung von Lagerungs- und Ausbringungskosten
- Verkauf von Aufbereitungsprodukten
 - Transport- und lagerungsfähige flüssige Dünger
- Minderung von Umweltbelastungen
 - Nährstoffentlastung der Flüssigphase
 - Vermeidung flüchtiger Luft- und Atmosphärenschadstoffe
 - Abbau geruchsintensiver Komponenten
 - Inaktivierung von Krankheitskeimen und Unkrautsamen

Allgemeine Verfahrensprinzipien der Gärrestaufbereitung

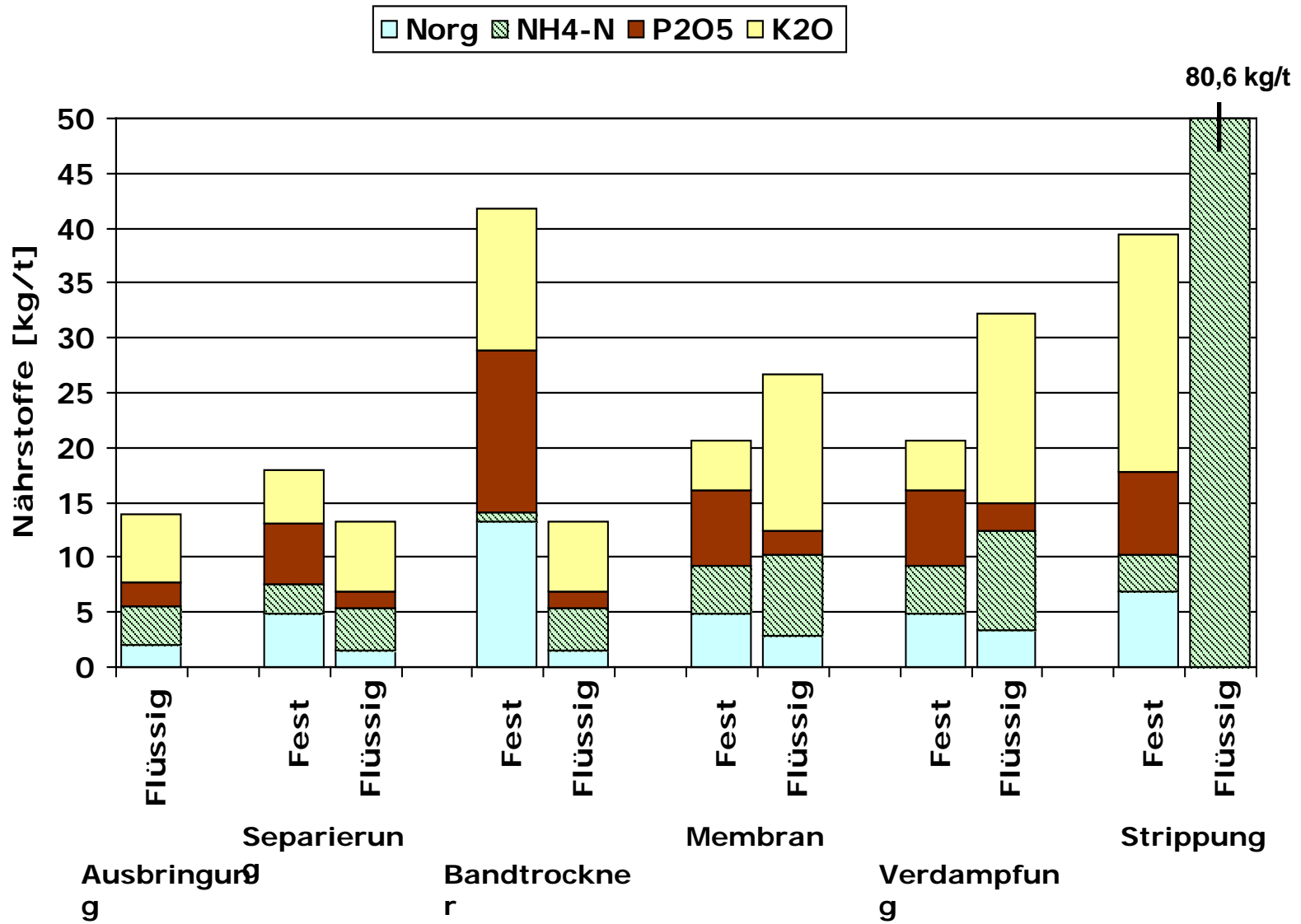


Eliminierung von Nährstoffen

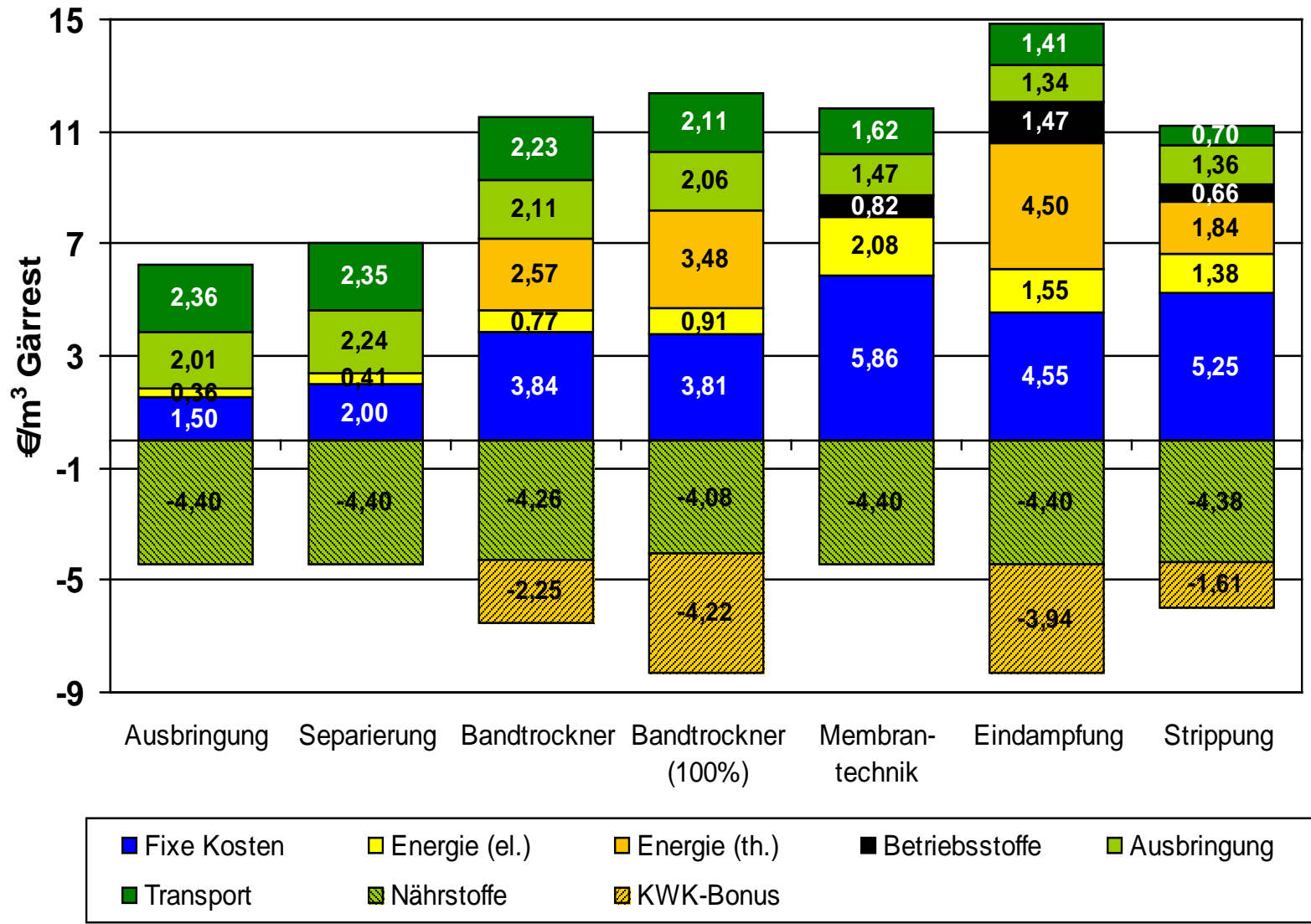
Massenbilanz der Produkte



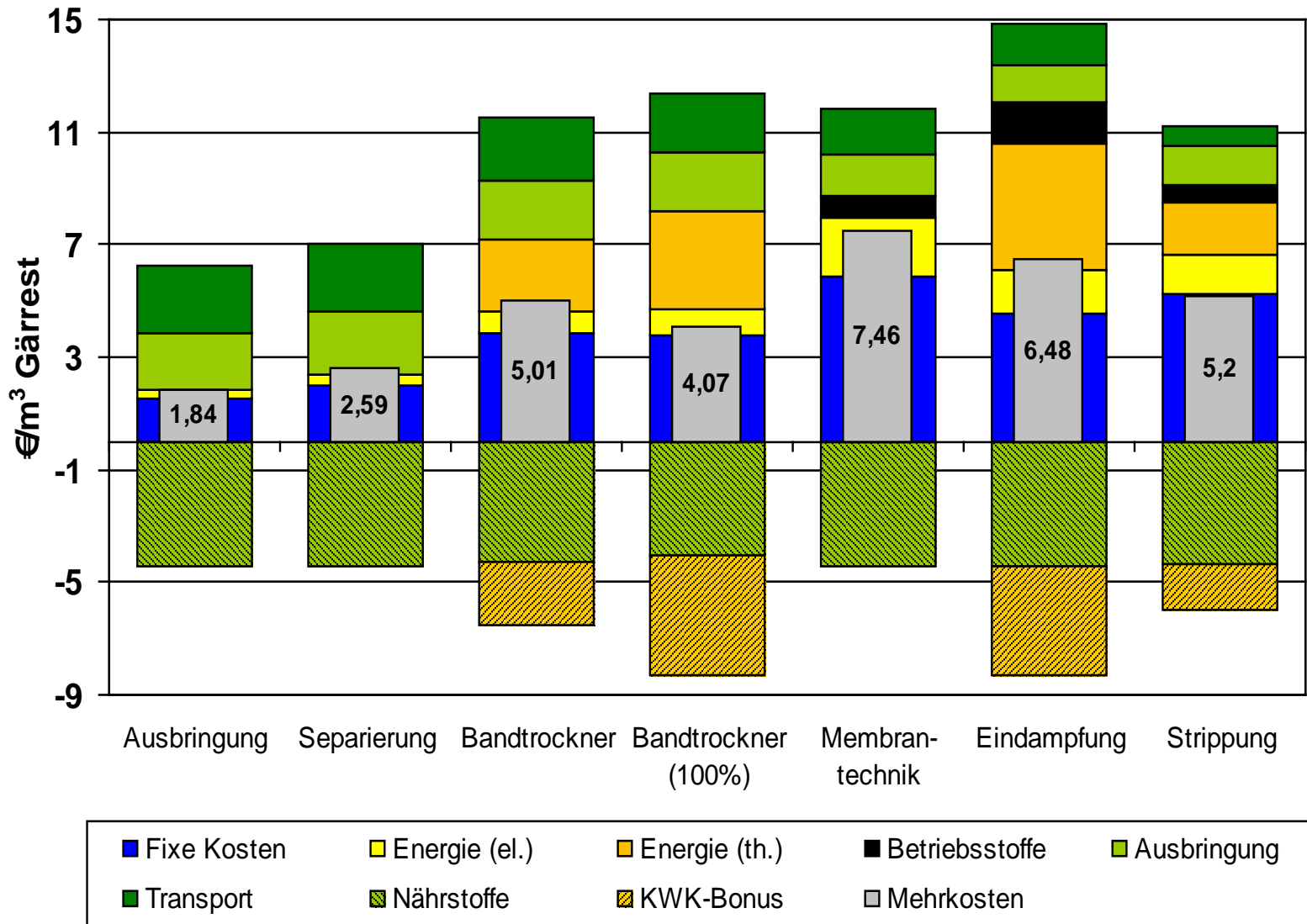
Nährstoffkonzentrationen der Produkte



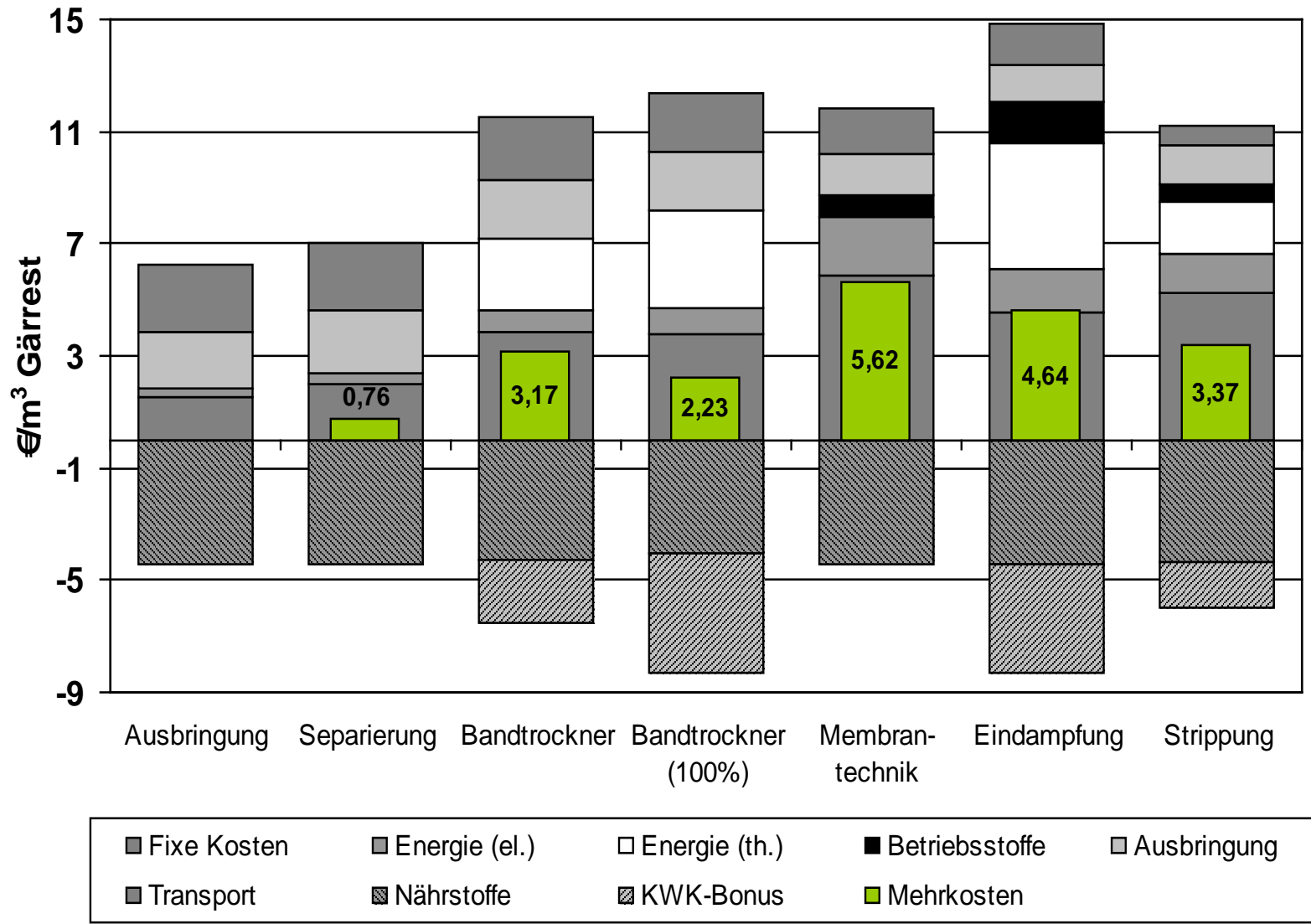
Spezifische Kosten der Aufbereitung



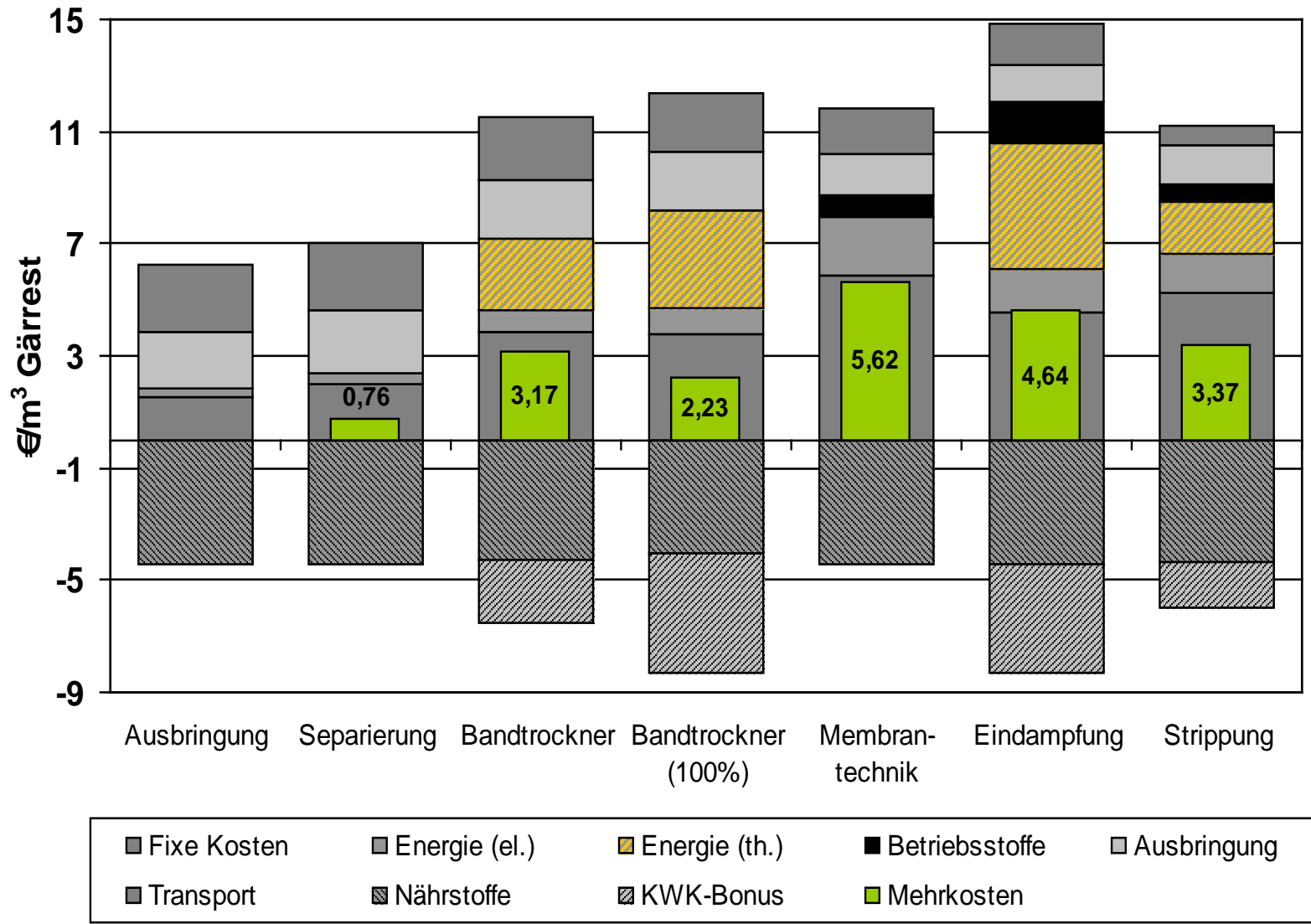
Spezifische Kosten der Aufbereitung



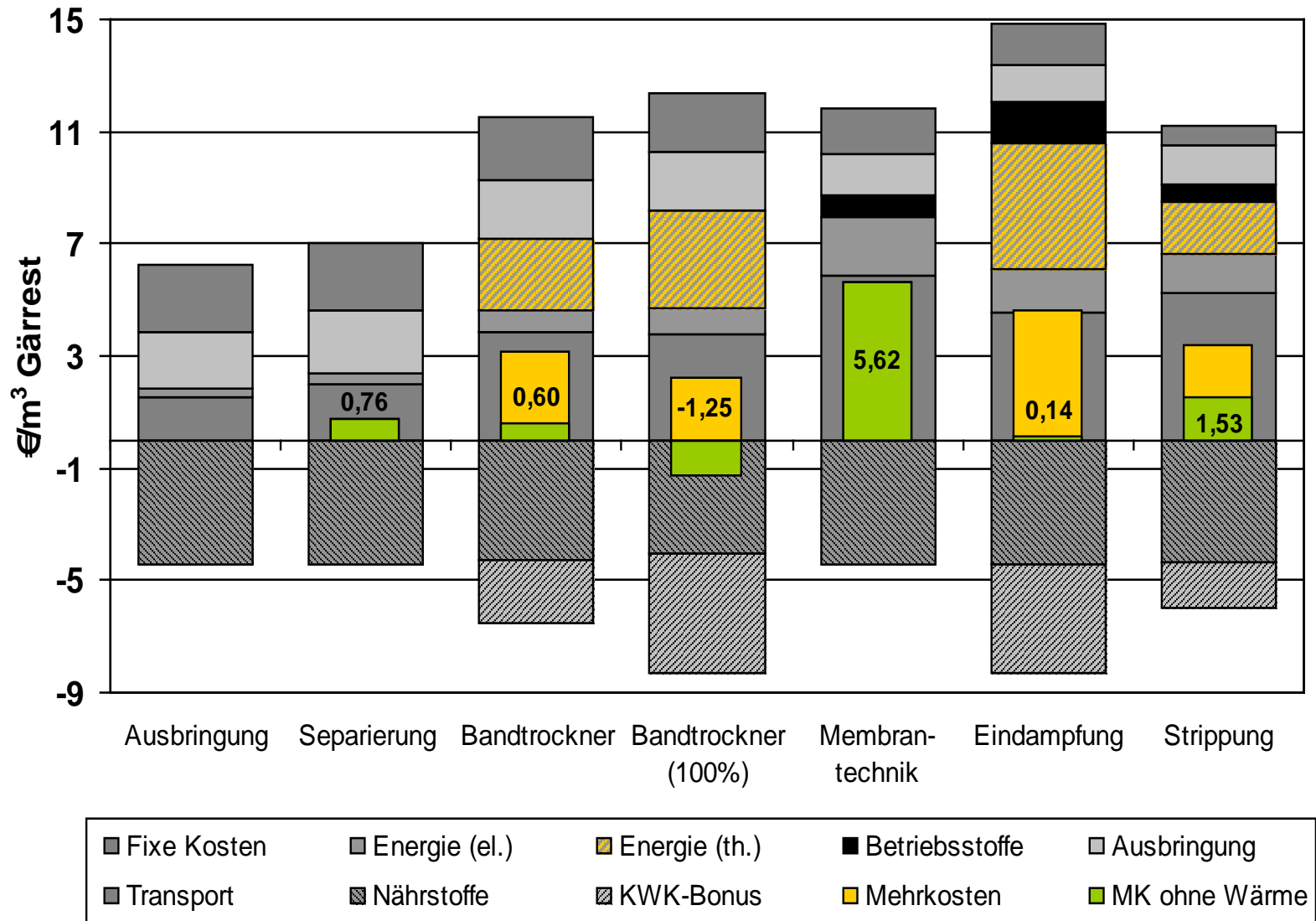
Spezifische Kosten – verglichen mit Ausbringung



Spezifische Kosten – verglichen mit Ausbringung



Spezifische Kosten – verglichen mit Ausbringung



Vergleichende Bewertung der Verfahren

	Separierung	Trocknung	Membran- technik	Eindampfung	Strippung
Funktionssicherheit	++	+/0	+	0	0
Stand der Umsetzung	++	+	+	0	0
Kosten	+	(++)/0	0/-	0	+/0
Verwertbarkeit Produkte					
Festphase	0	+/0	0	0	0
Flüssig (nährstoffreich)	0	0	+	+	++
Flüssig (nährstoffarm)			+	0	0

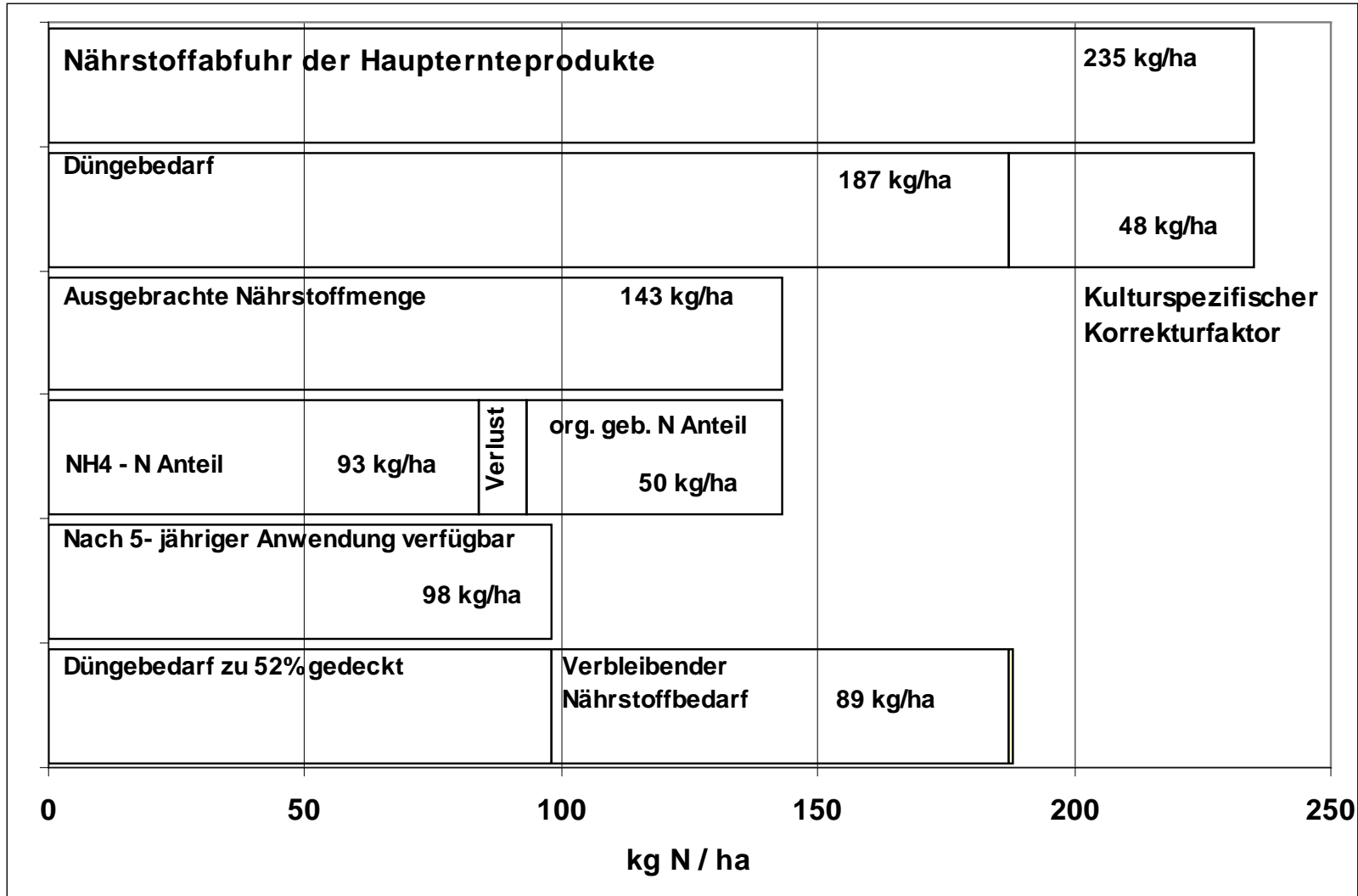
Zusammenfassung

- Anhand der Eigenschaften der Gärreste lassen sich die wichtigsten Grundsätze für deren Einsatz als Dünger ableiten
- Dabei kann weitestgehend auf die Kenntnisse und Erfahrungen mit den flüssigen Wirtschaftsdüngern zurückgegriffen werden
- Vermeidung von Ammoniakemissionen ist oberstes Gebot
- Bei richtiger Terminierung der Ausbringung und der Vermeidung von Ausbringungsverlusten kann auch Gärrest wie Gülle als Mineraldüngerersatz ausgebracht werden
- Vorzugsweise sollten Ausbringungszeitpunkte im Frühjahr genutzt werden
- Einarbeitung auf unbewachsenem Feld und Schleppschlauch, Schleppschuhtechnik im wachsenden Bestand oder die Ausbringung bei
- Bei richtiger Terminierung der Ausbringung und der Vermeidung von Ausbringungsverlusten kann auch Gärrest wie Gülle als Mineraldüngerersatz ausgebracht werden

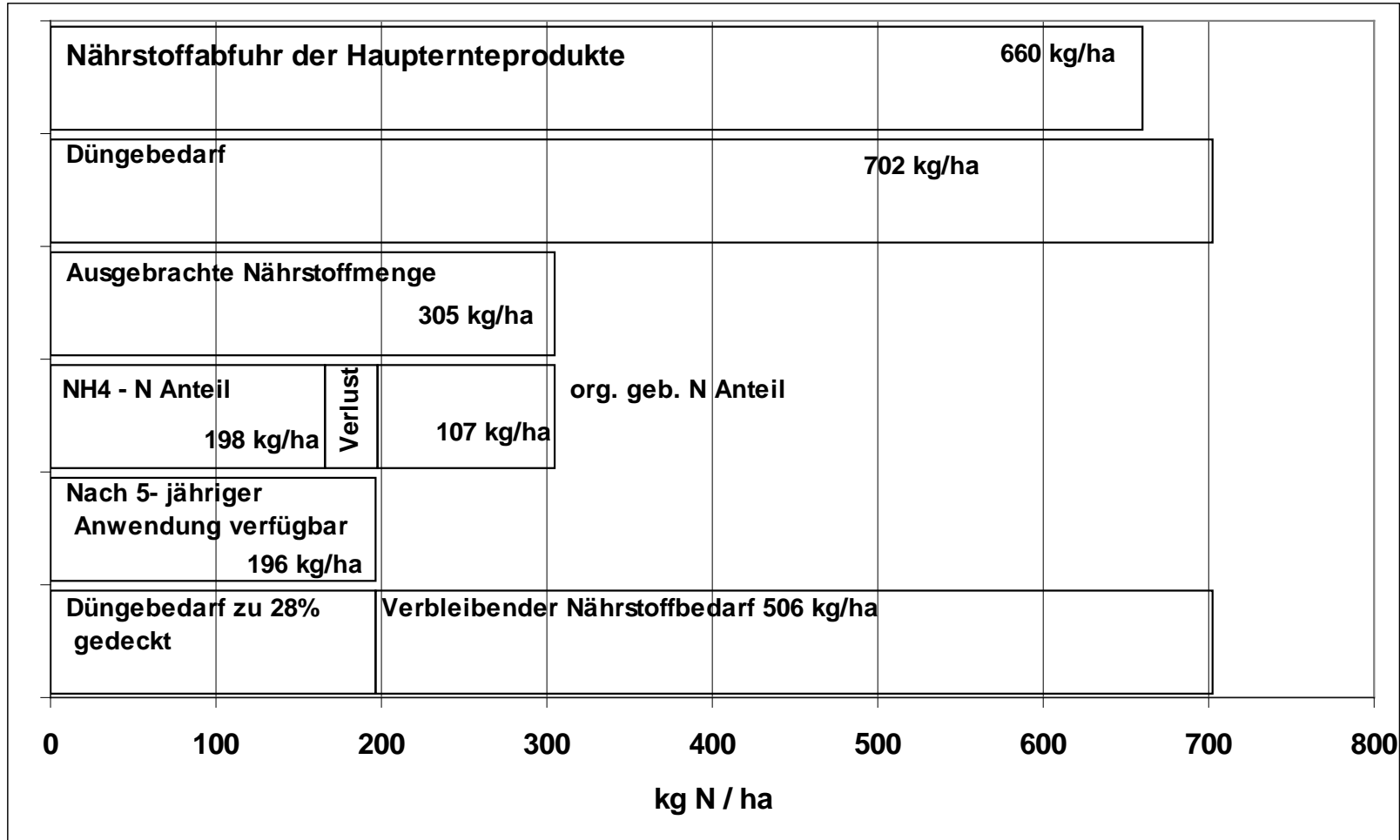
Zusammenfassung

- Kosten für kleinere und mittlere Biogasanlagen höher, als direkte landwirtschaftliche Verwertung
- Kosteneffizienz ist stark standort- und anlagenabhängig
- Aufbereitungsprodukte lassen bisher nur selten eine Vermarktung zu
- **Aber** Total-Aufbereitung kann **sinnvoll** sein:
 - in flächenknappen Regionen mit hohen Nährstoffüberschüssen
 - für Großbiogasanlagen
 - an Standorten mit Wohn- oder Erholungsfunktion
 - wenn spezielle Aufbereitungsprodukte vermarktet werden können

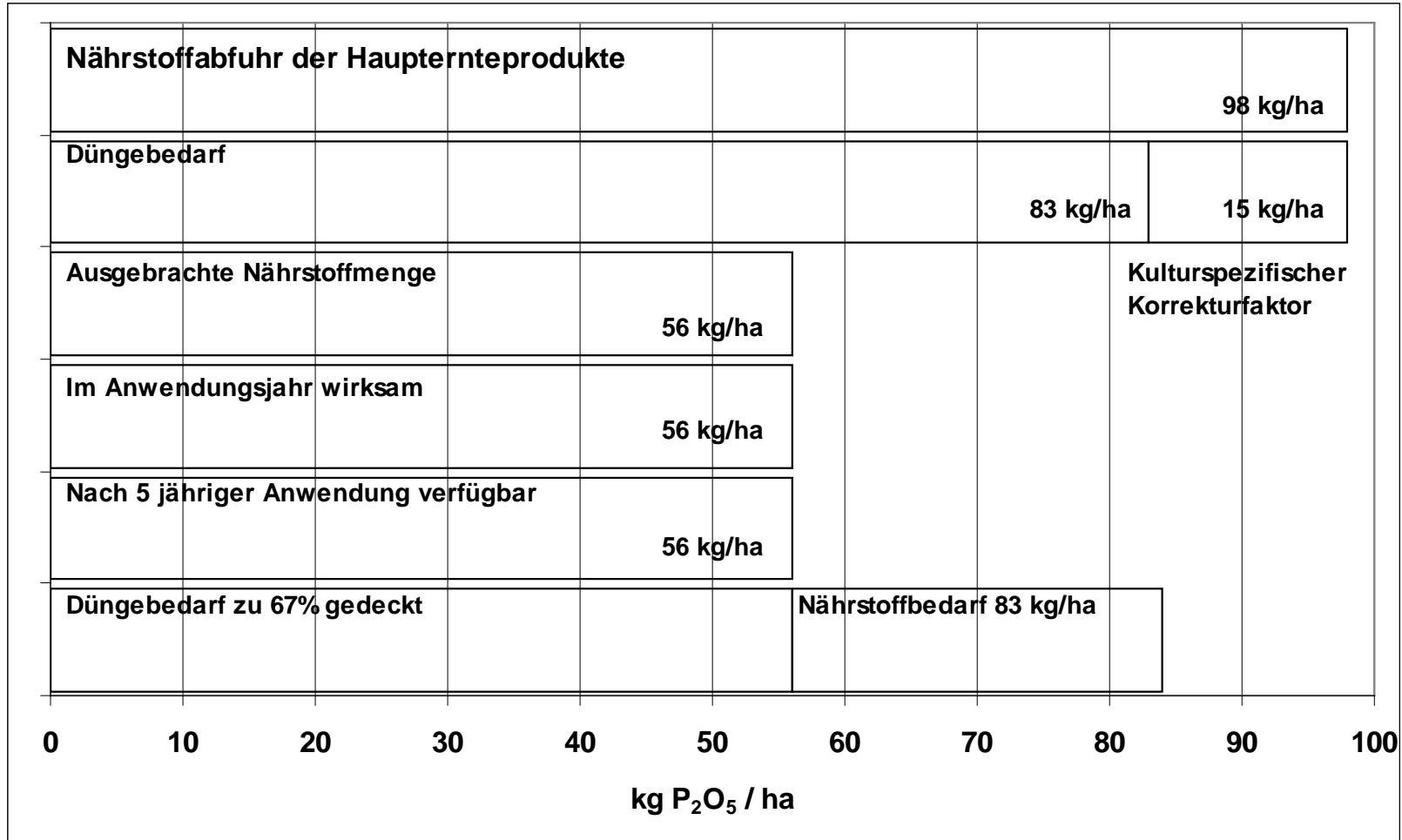
Stickstoffbilanz für Stickstoff am Beispiel Mais bei einer Gärrestmenge von 30 m³/ha (Applikation vor der Aussaat mit sofortiger Einarbeitung)



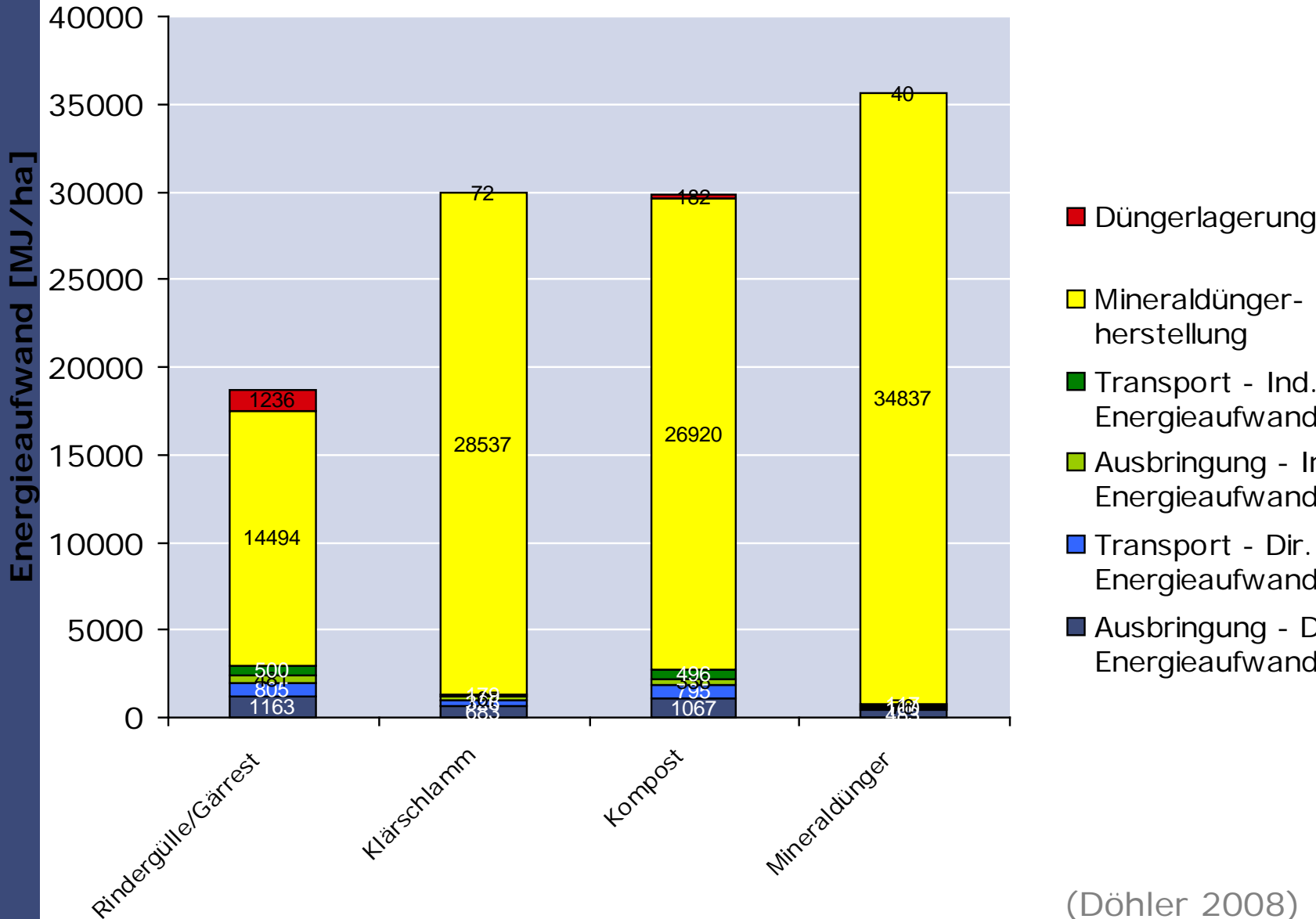
Stickstoffbilanz am Beispiel einer 4 gliedrigen Fruchtfolge bei 64 m³ Gärrestapplikation



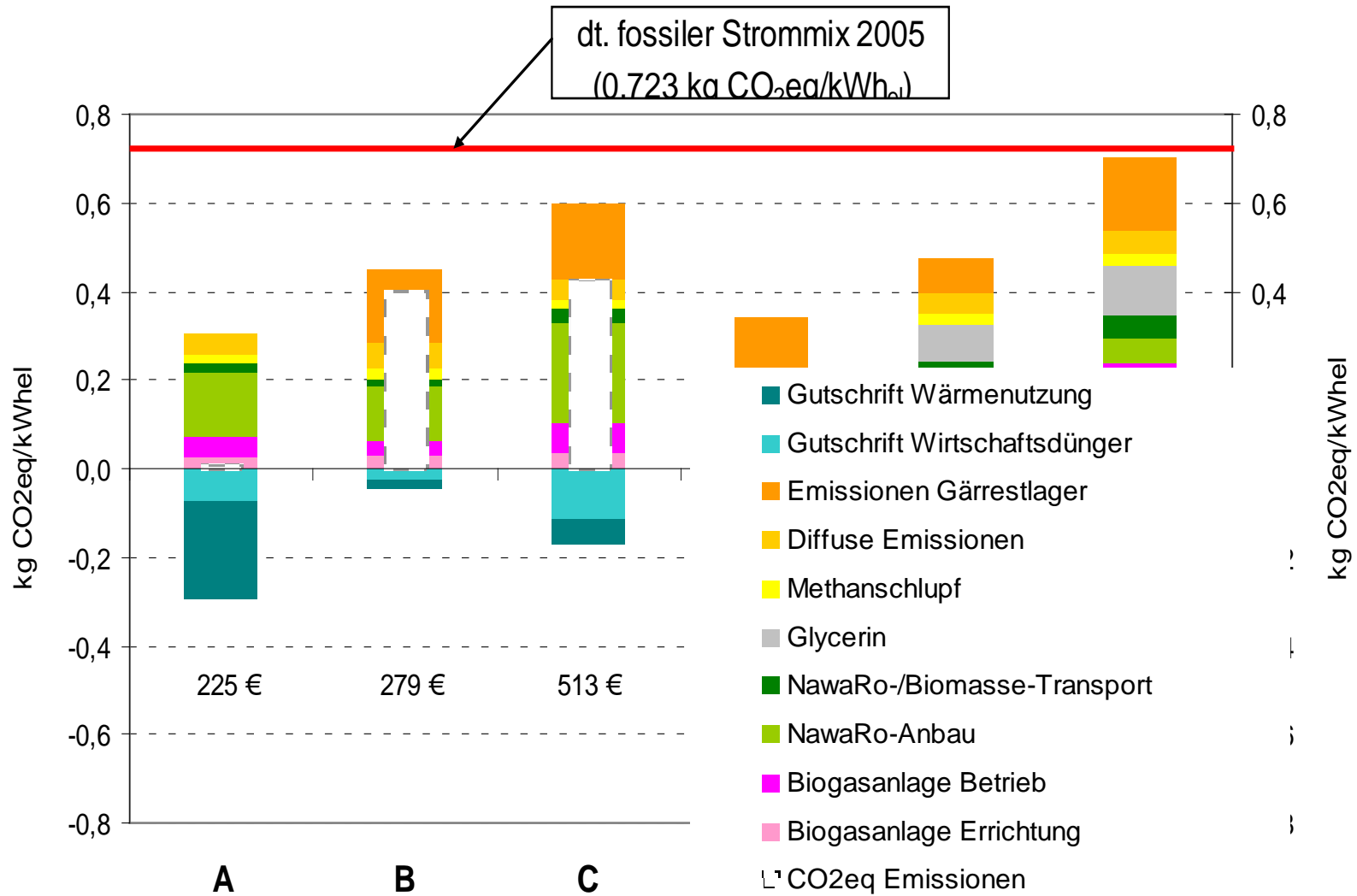
Nährstoffbilanz für Phosphor am Beispiel Mais bei einer Gärrestmenge von 30 m³/ha (Applikation vor der Aussaat mit sofortiger Einarbeitung)



Energieaufwand - Düngestrategien FF Raps- Mais- WW-WG (Döhler 2008)



Klimagasbilanzen für 6 europäische Biogasanlagen



Eigenschaften von Gärresten

Parameter	Einheit	Rohgülle	Gärreste			
		Überwiegend Rindergülle	Rindergülle und NawaRo	Schweinegülle und NawaRo	Gärest NawaRo	Gärrest Abfall (und NawaRo)
Trockenmasse	% FM ¹⁾	9,1	7,3	5,6	7,0	6,1
Säuregrad	pH	7,3	8,3	8,3	8,3	8,3
Verhältnis Kohlenstoff/ Stickstoff	C/N	10,8	6,8	5,1	6,4	5,2
Basisch wirksame Stoffe	BWS (kg CaO/t FM)	2,9	-	-	3,7	3,5

Nährstoffe von Gärresten und Wirtschaftsdüngern im Vergleich (LTZ, 2008)

Parameter	Bezeichnung	kg/t FM				
		Rohgülle	Gärreste			
		Überwiegend Rindergülle	Rindergülle und NawaRo	Schweinegülle und NawaRo	Gärest NawaRo	Gärrest Abfall (und NawaRo)
Stickstoff	N _{gesamt}	4,1	4,6	4,6	4,7	4,8
Ammonium-N	NH ₄ -N	1,8	2,6	3,1	2,7	2,9
Phosphor	P ₂ O ₅	1,9	2,5	3,5	1,8	1,8
Kalium	K ₂ O	4,1	5,3	4,2	5,0	3,9
Magnesium	MgO	1,02	0,91	0,82	0,84	0,7
Kalzium	CaO	2,3	2,2	1,6	2,1	2,1
Schwefel	S	0,41	0,35	0,29	0,33	0,32
Organische Substanz	o. S.	74,3	53,3	41,4	51,0	42,0

Schwermetallgehalte von Gärresten und Wirtschaftsdüngern im Vergleich (KTBL, 2005; LTZ, 2008)

	Gärreste LTZ et al. 2008	Aus- schöpfung d. Deklara- tionswerte DüMV	Aus- schöpfung d. Grenzwerte nach DüMV	Aus- schöpfung der Grenzwerte nach BioAbfV	Rindergülle KTBL 2005	Schweine- gülle KTBL 2005
	mg/kg TM	%	%	%	mg/kg TM	mg/kg TM
Pb	2,9	2,9	1,9	< 5	3,2	4,8
Cd	0,26	26	17,3	17	0,3	0,5
Cr	9,0	3	- ¹⁾	9	5,3	6,9
Ni	7,5	18,8	9,4	15	6,1	8,1
Cu	69	14 ³⁾ (35)	- ²⁾	70	37	184
Zn	316	31 ³⁾ (158)	- ²⁾	80	161	647
Hg	0,03	6	3,0	< 5	-	-

1) nur Grenzwert für Cr(VI)

2) DüMV enthält keinen Grenzwert

3) Deklarationswert für Wirtschaftsdünger

Infektionserreger in Flüssigmist und organischen Abfällen (Klingler, 1996)

Bakterien	Viren	Parasiten
Salmonellen (RG, SG, HK)	Erreger der Maul- und Klauenseuche	Spulwürmer
Escherichia coli (RG)	Schweinepest	Palisadenwürmer
Milzbrandbakterien (RG)	Bläschenkrankheit der Schweine	Saugwürmer
Brucellen (RG, SG)	Schweineinfluenza	Leberegel
Leptospiren (RG, SG)	Oldenburger Schweineseuche (TGE)	Lungenwürmer
Mykobakterien (RG, SG, HK)	Rota-Virus-Infektionen	Magendarmwürmer
Rotlaufbakterien (SG)	Teschener Erkrankung	
Clostridien (HK)	Aujeszky'sche Krankheit	
Streptokokken	Atypische Geflügelpest	
Enterobacter	Blauzungenerkrankung	
	Retro-, Parvo-, Echo-, Enteroviren	

Vorkommen von Salmonellen in Substraten und Gärresten von Biogasanlagen

	Rohgülle			Gärreste	
	Rinderggülle, Schweinegülle, klinisch gesund		Über- wiegend Rindergü- lle	Güllen und NawaRo	Bioabfall und NawaRo
Probenzahl	280	132	51	190	18
Salmonellen positiv	7	5	0	6	2
%	2,5	3,8	0	3,2	11,1
Jahr der Probenahme	1989	1990	2005 bis 2008		
Quelle	Philipp (1991)		LTZ (2008)		

Wirtschaftsdüngern auf die Eigenschaften des Gärrestes genannt:

- Minderung von Geruchsemissionen durch Abbau flüchtiger organischer Verbindungen
- Weitgehender Abbau kurzkettiger organischer Säuren und demzufolge Minimierung des Risikos für Blattverätzungen
- Verbesserung der rheologischen (Fließ-)Eigenschaften und demzufolge Verminderung von Blattverschmutzungen an Futterpflanzen und geringerer Aufwand bei der Homogenisierung und
- Verbesserung der kurzfristigen Stickstoffwirkung durch die Erhöhung des Gehaltes an schnellwirksamen Stickstoff
- Abtötung oder Inaktivierung von Unkrautsamen und Krankheitskeimen (tierpathogene und phytopathogene)

Inhalt

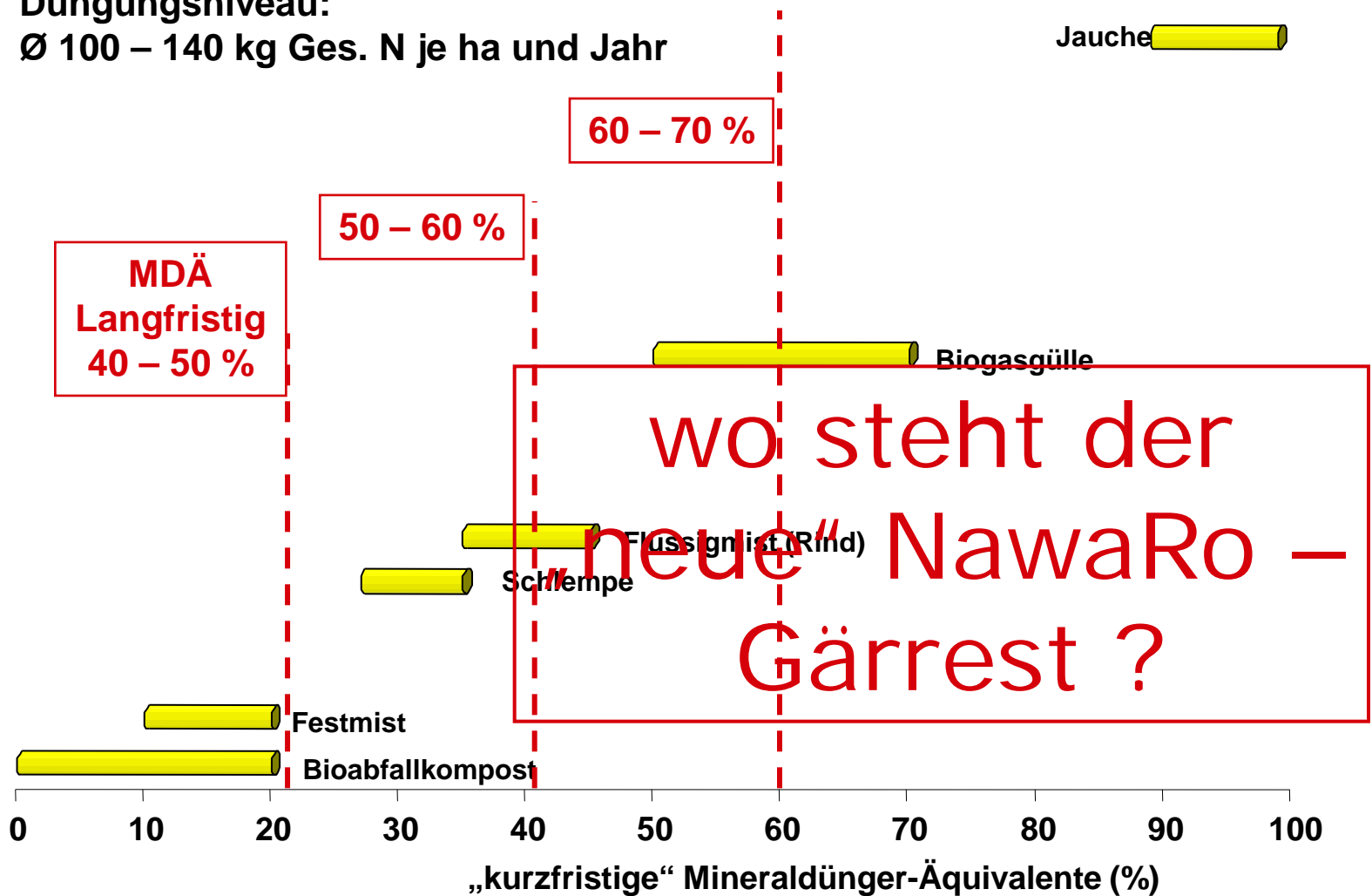
- Die Trockenmassegehalte von Gärresten (im Mittel 7 % der FM) sind um ca. 2 % niedriger als die von Rohgülle.
- Die Gehalte an Gesamt-Stickstoff sind in Gärresten mit Schweinegülle und Bioabfällen niedriger als in Gärresten aus pflanzlicher Biomasse und Rindergülle.
- Das C/N –Verhältnis liegt in Gärresten bei etwa 5 bis 6 und damit deutlich unter dem von Rohgülle (C/N: 10)
- Der Abbau organischer Substanz bewirkt eine Überführung von organisch in anorganisch gebundenen Stickstoff und demzufolge einen höheren Anteil der Ammoniumfraktion (ca. 60 bis 70) am Gesamt-N in Gärresten.
- Gärreste mit Beimischung von Schweinegülle- und Bioabfallgärreste weisen tendenziell höhere Phosphorgehalte auf, höhere Gehalte an Ammoniumstickstoff, dagegen geringere TM-, und Kaliumgehalte sowie geringere Gehalte an organischer Substanz
- Hinsichtlich der Nährstoffe Magnesium, Kalzium und Schwefel sind keine eindeutigen Unterschiede festzustellen

- Einleitung: Die Gärreste verursachen ähnliche Probleme wie die Gülle
- Die Bedeutung der organischen Düngung für die Energie- und Klimagasbilanzierung
- Der (notwendige) Blick zurück, oder : was wissen wir schon ?
- Die Ammoniakemissionen von Gärresten
- Die Stickstoffwirkung von Gärresten
- Klärungsbedarf Lachgasemissionen
- Die Phosphorwirkung von Gärresten
- Exemplarische Nährstoffbilanzen
- Zusammenfassung

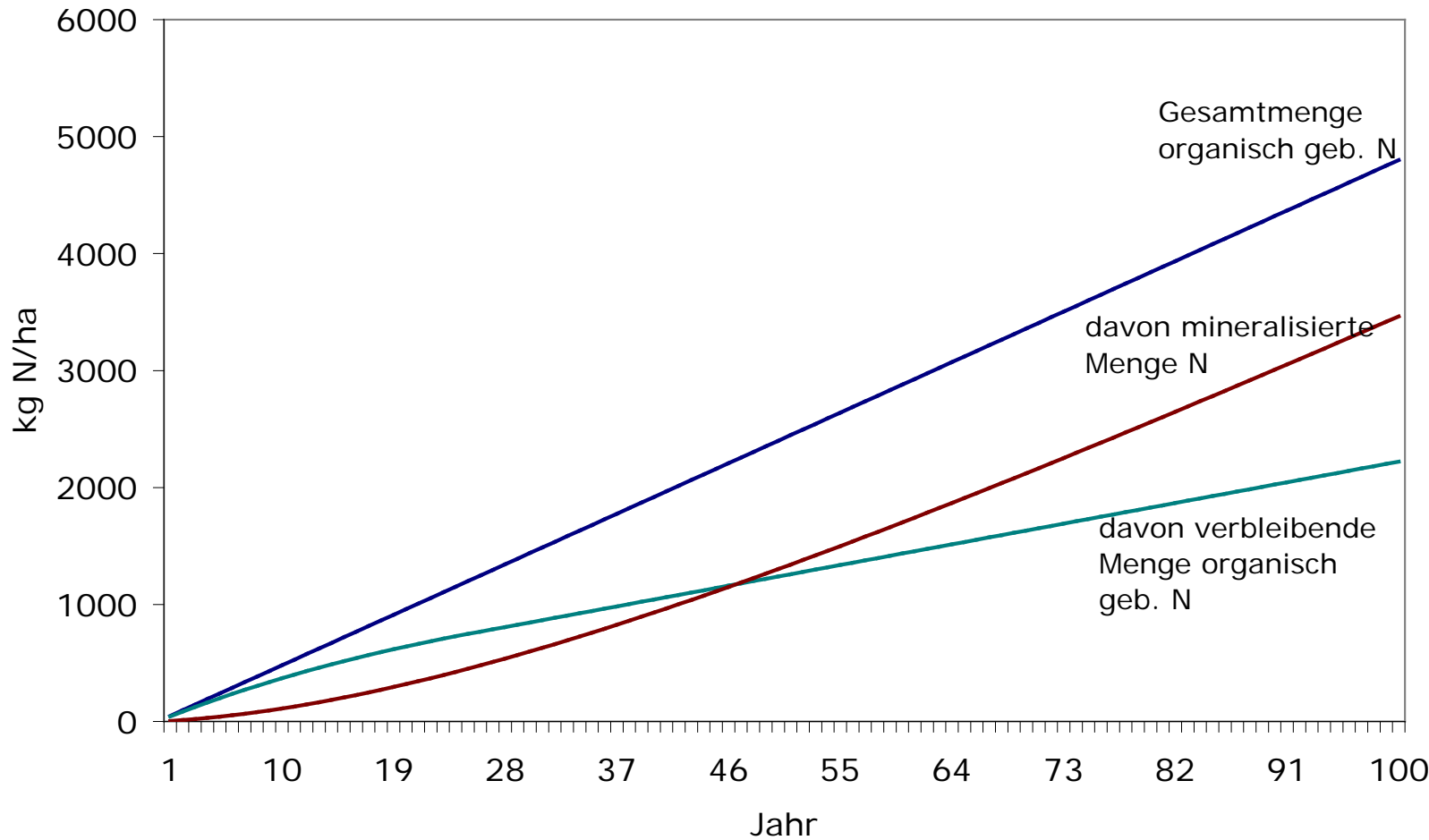
N-Verfügbarkeit organischer Düngerstoffe im Jahr der Anwendung (Basis: Mineraldünger-Äquivalente [%])

Düngungsniveau:

Ø 100 – 140 kg Ges. N je ha und Jahr



Entwicklung der Stickstoffpools bei langjähriger Gärrestapplikation

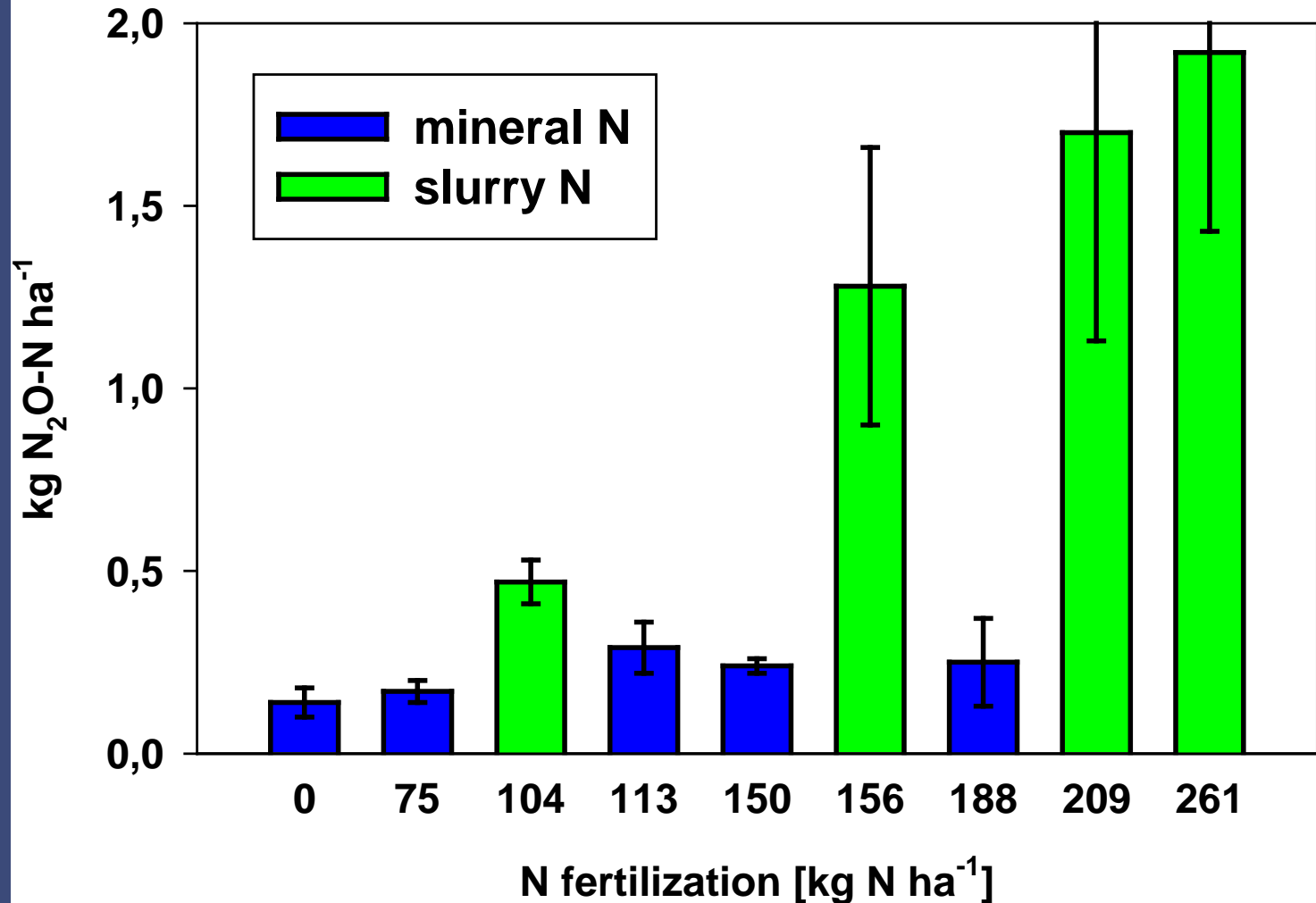


Annahmen: jährliche Applikation von 48 kg N/ha org. geb. N mit 10 % Mineralisation im 1. Jahr, 5 % Mineralisation im 2. Jahr und 3 % Mineralisation ab dem 3. Jahr

(nach Döhler 1996)

- Einleitung: Die Gärreste verursachen ähnliche Probleme wie die Gülle
- Die Bedeutung der organischen Düngung für die Energie- und Klimagasbilanzierung
- Der (notwendige) Blick zurück, oder : was wissen wir schon ?
- Die Ammoniakemissionen von Gärresten
- Die Stickstoffwirkung von Gärresten
- Klärungsbedarf Lachgasemissionen
- Die Phosphorwirkung von Gärresten
- Exemplarische Nährstoffbilanzen
- Zusammenfassung

Lachgasemissionen bei organischer und mineralischer Düngung (Sandboden mit Silomais)



Mittlere Lachgasemissionen durch organische und mineralische Stickstoffdüngung auf Untersuchungsstandorten in Deutschland

	Annual emission	Minimum - maximum	CO₂ equivalents fert. prod.	Total CO₂ equivalents
	kg N ₂ O-N ha ⁻¹ a ⁻¹		kg CO ₂ ha ⁻¹ a ⁻¹	
Organic	5,65	1,30 – 12,30		2752
Mineral	2,6	0,97 – 16,78	929	2196

N-Verfügbarkeit organischer Düngemittel im Jahr der Anwendung (Basis: Mineraldünger-Äquivalente [%])

Düngungsniveau:
 Ø 100 – 140 kg Ges. N je ha und Jahr

