

# $C_{org}$ - und $N_t$ -Bilanz sowie N-Effizienz



Quelle: LfULG

**In Anbausystemen  
mit mineralischer und organischer Düngung**

# Wirkungsgrad organischer Düngemittel auf Ertrag und Qualität von Kartoffeln im Ökologischen Landbau (aus KOLBE, 2007)

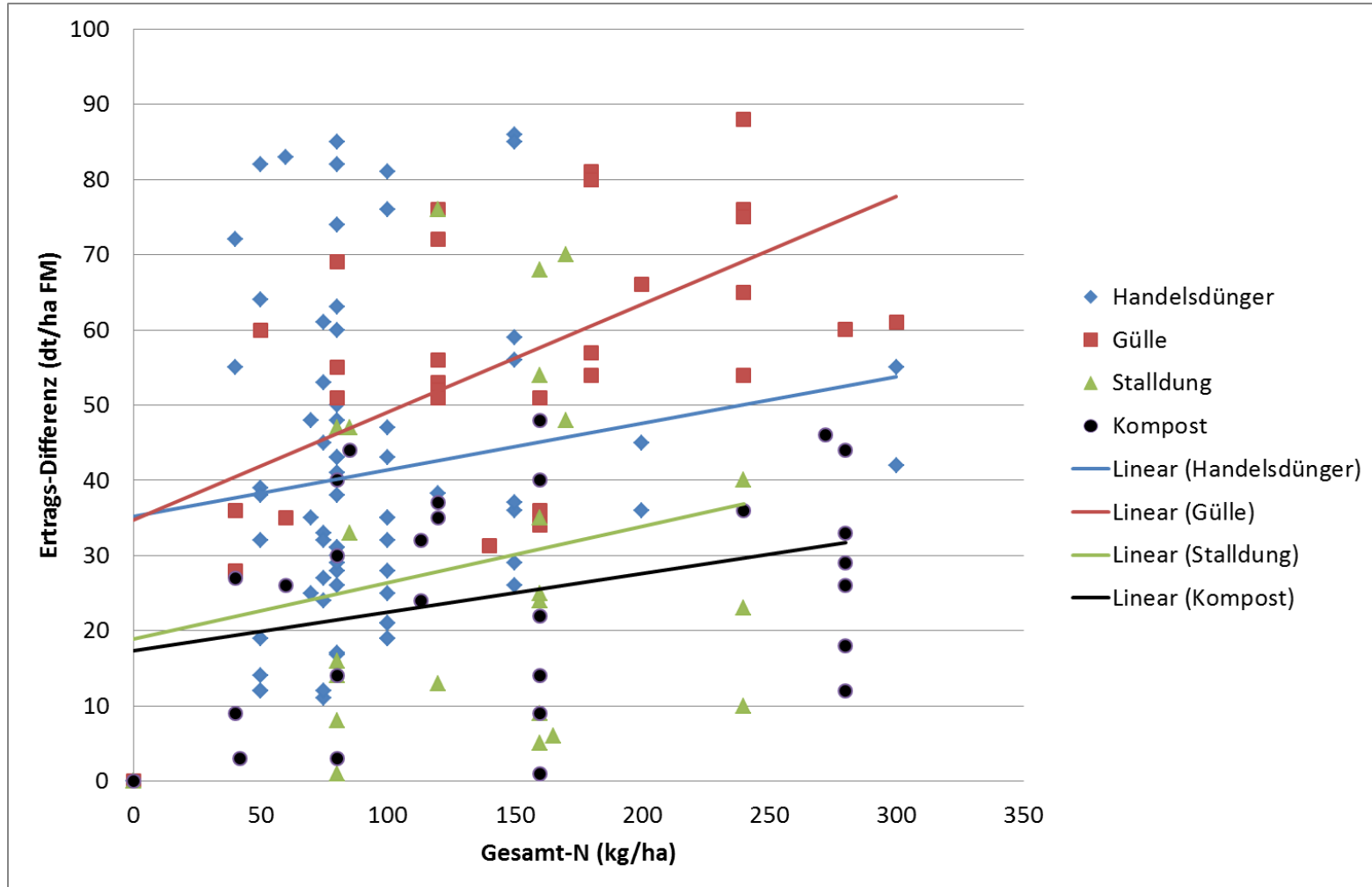
LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



## Auswertung von Feldversuchen zu:

- **Kompostanwendung** (Stallmistkompost, Grüngutkompost): KLEIN (1968); ABELE (1987); BESSON et al. (1991); MATHIES (1991); STEIN-BACHINGER (1993); NEUHOFF (2000); SCHULZ (2000); KOLBE (2006b)
- **Stalldung:** PETTERSSON & ENQUIST (1964); BÖHM & DEWES (1997); PAGEL & HANF (1997); NEUHOFF (2000); SCHULZ (2000); DEBRUCK (2000); BÖHM (2001); BRUNSCH (2002); KOLBE (2006b)
- **Gülle** (Rindergülle): ASMUS et al. (1973); REHBEIN (1982); BÖHM (2001); KOLBE (2006b)
- **Organische Handelsdünger:** KLEIN (1968); ROSIGKEIT (1973); MATHIES (1991); PAFFRATH (1999, 2001); DEBRUCK (2000); LWK (2001); PAFFRATH et al. (2003)

# Mehrertragsleistung an Kartoffeln bei einmaliger Anwendung im Ökolandbau



# Wirkung organischer Düngemittel bei Einmal- und Daueranwendung im Ökolandbau

Düngemittel	Einmal-Anwendung		Dauer-Anwendung (Zufuhr von ca. 125 kg N/ha u. Jahr)				
	Mehrertrag (dt/ha FM)	N-Wirkung im Anwendungs- jahr (% v. Gesamt-N)	Humus- Stabilitäts- faktor (Stalldung ≈ 1,0)	Humus- Äqui- valente (HÄQ kg/ha)	Faktor 0,0005672 (% C <sub>org</sub> )	Mehrertrag	
						(dt/ha FM)	(Einmal- Anwendung = 100 %)
<b>Gülle</b>	58	50 - 60	0,6 - 0,9	307	+0,17	64	110
<b>Stalldung</b>	31	15 - 20	0,8 - 1,0	576	+0,33	50	161
<b>Kompost</b>	26	5 - 14	1,0 - 1,4	830	+0,47	55	212

Bei Daueranwendung trägt der Humusumsatz immer deutlicher zur Ertragsbildung bei!

# Erhöhung der Versorgung mit organischer Substanz

von **A** nach **C/D** (= ca. +500 kg HÄQ/ha)

führt zu folgender Verbesserung der Bodeneigenschaften (%):



## I physikalische Eigenschaften:

- Lagerungsdichte		-2	bis	-13
- Porenvolumen		+1	bis	+3,5
- Aggegatstabilität		+8	bis	+34
- Anteil Makroporen		+8	bis	+11
- Infiltrationsrate (Wasser)		+27	bis	+80
- Wasserkapazität		+3	bis	+4
- nutzbare Feldkapazität	S	+24	bis	+28
	L	+13	bis	+15

## I chemische Eigenschaften:

- C <sub>org</sub> und N <sub>t</sub> Gehalte		+30		
- potenzielle N-Mineralisierung		+26	bis	+33
- effektive Kationenaustauschkap.	S	+20		
	L	+10		

## I biologische Eigenschaften

- mikrobielle Biomasse		+6	bis	+50
- Regenwurmdichte		+38	bis	+40
- Fruchtarterertrag	MW	+10(kon)	bis	+33(öko)
	Max	+123(kon)	bis	+127(öko)

## Zufuhr

- Ernte- u. Wurzelrückstände d. Früchte
- Organische Dünger

# Prinzip des Humusumsatz I

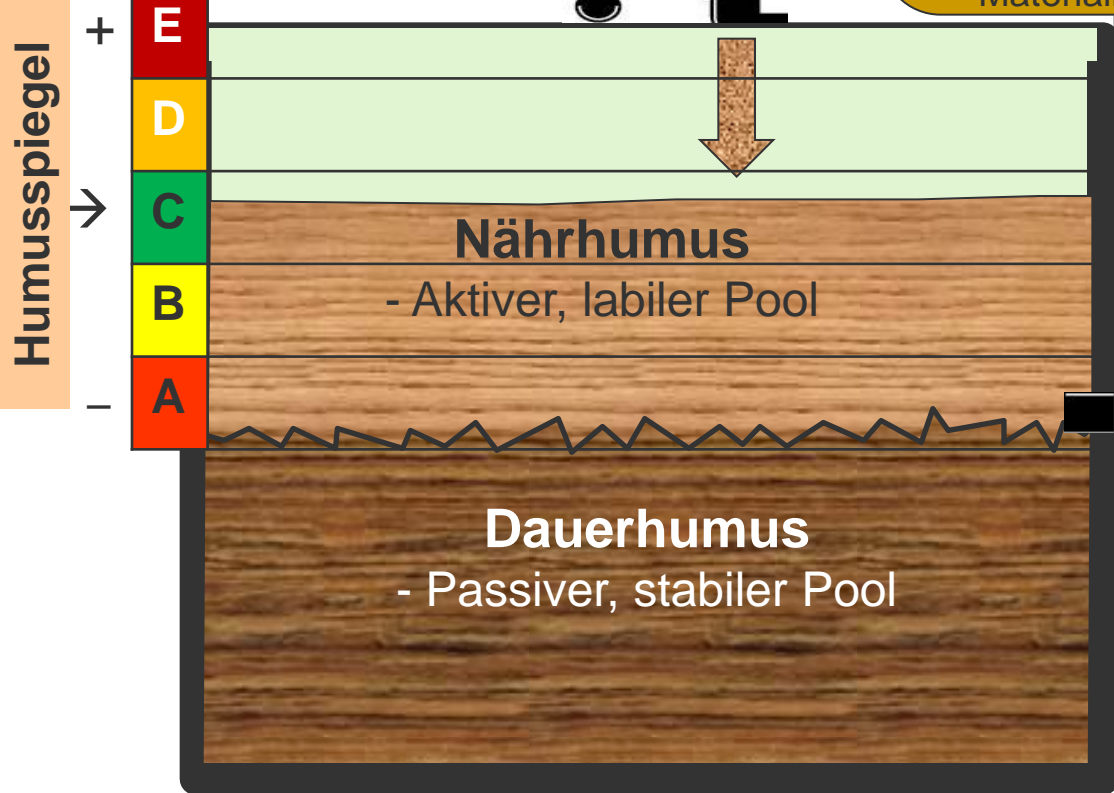
## Bodengenesse

- Bodenart u. Textur (Ton, Feinschluff)
- Räuml. Erreichbarkeit d. Materialien

## Abbau

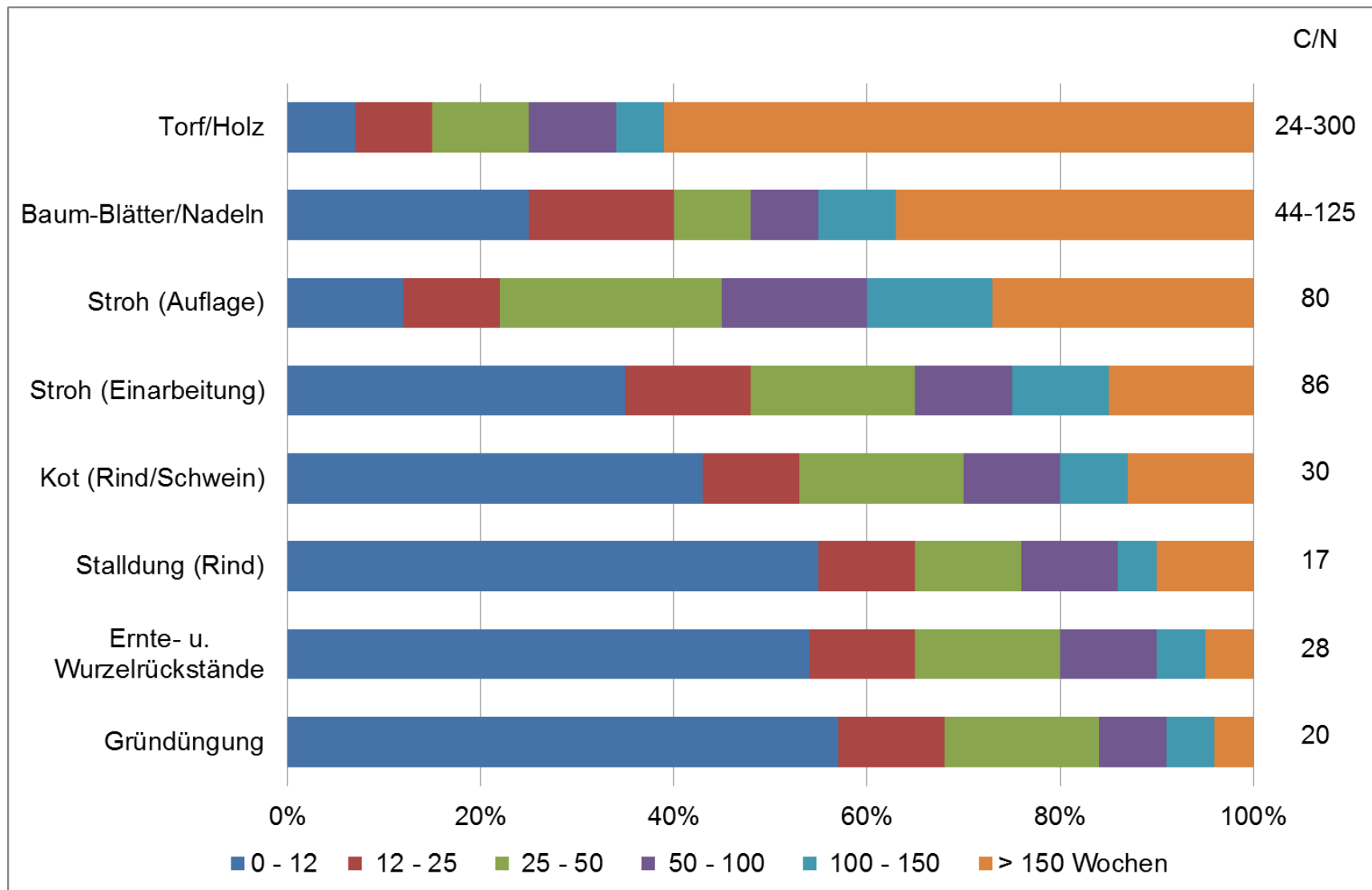
### (Mineralisation)

- Chem. Struktur d. organ. Materialien (Qualität)
- Nährstoffverfügbarkeit (N), pH-Wert
- Intensität d. Bodenbearbeitung
- Klima (Temperatur, Niederschlag bzw. Wassergehalt d. Bodens)

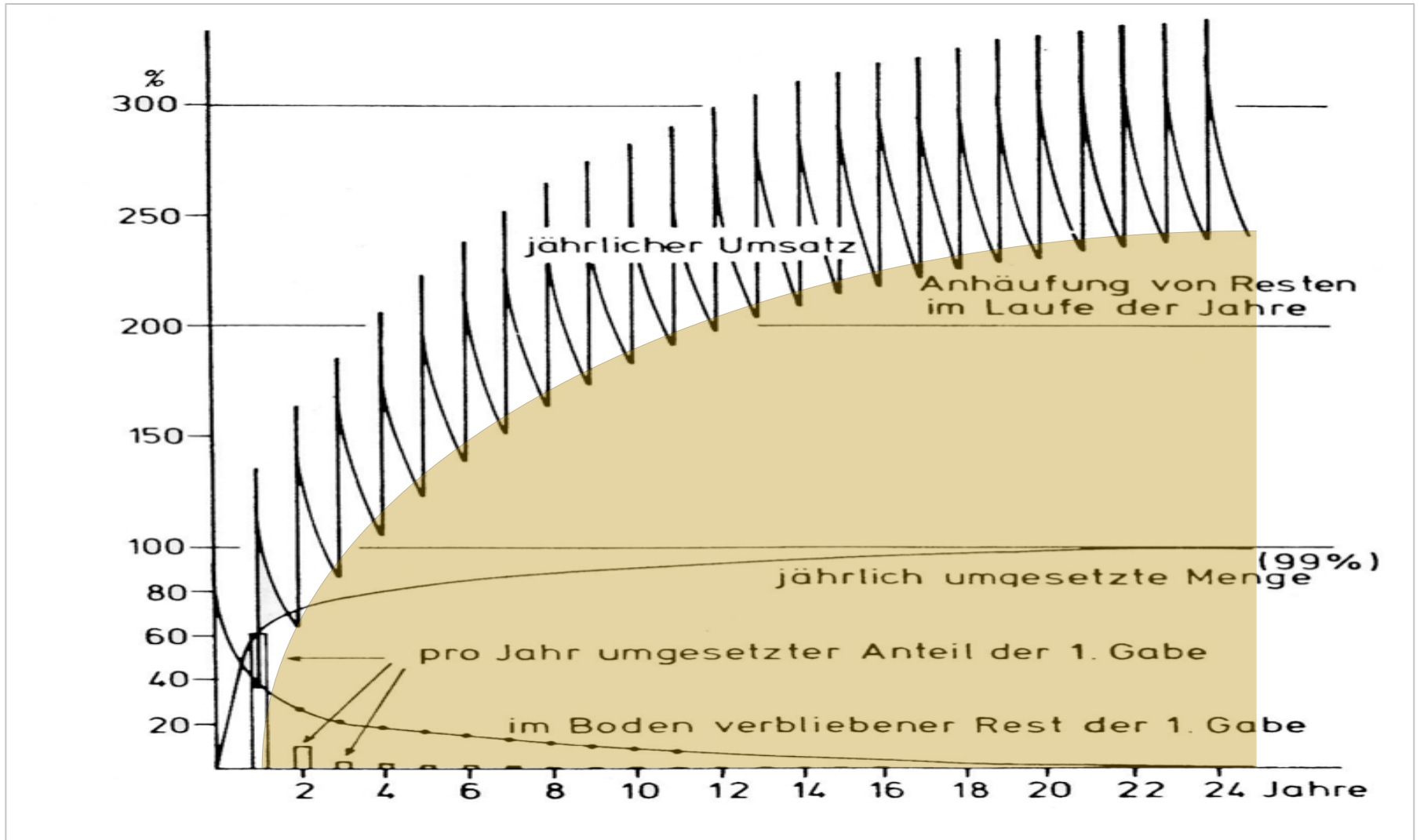


# Abbaustabilität der organischen Materialien (im bzw. auf dem Boden)

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE

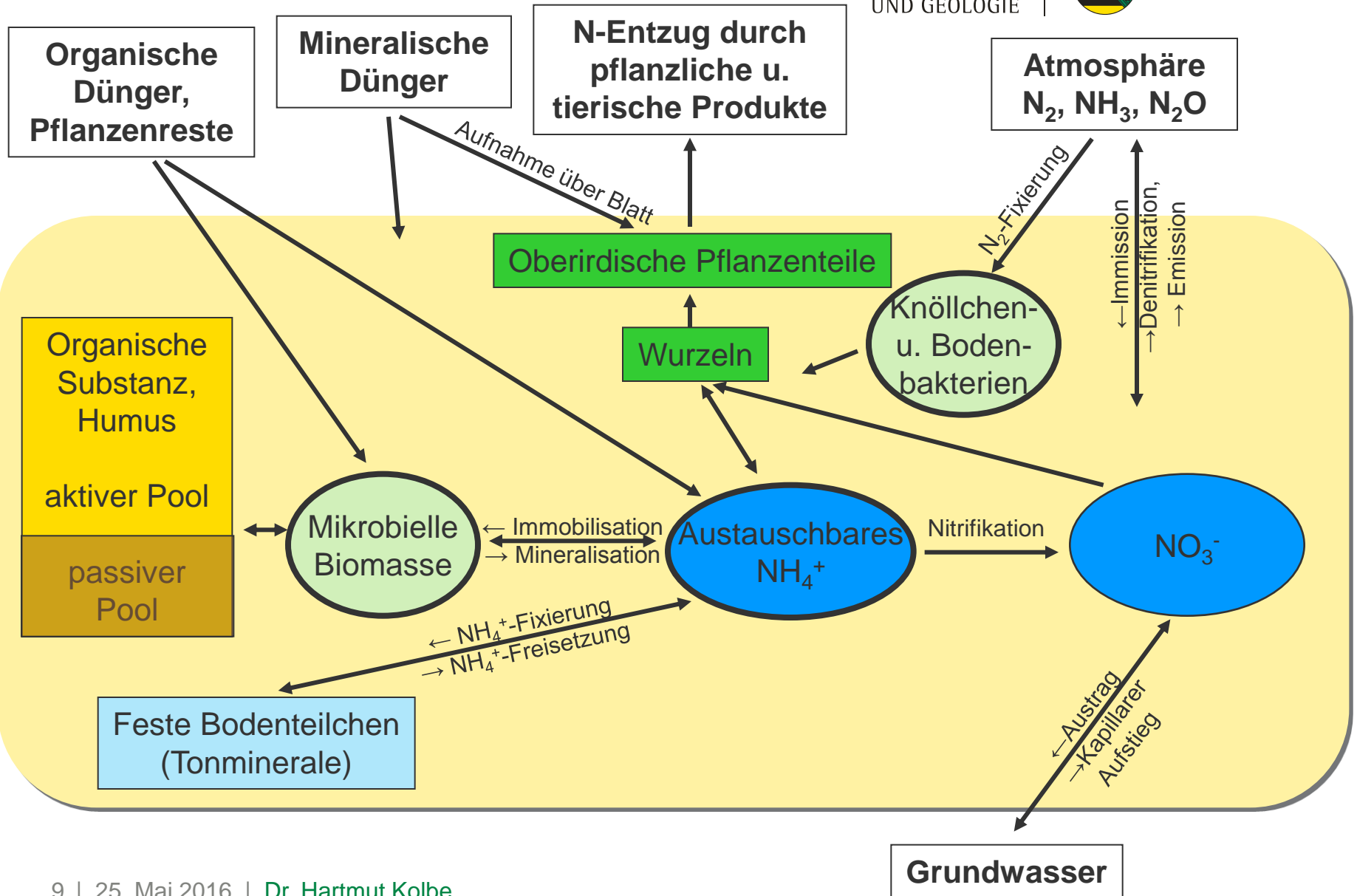


# Prinzip des Humusumsatz



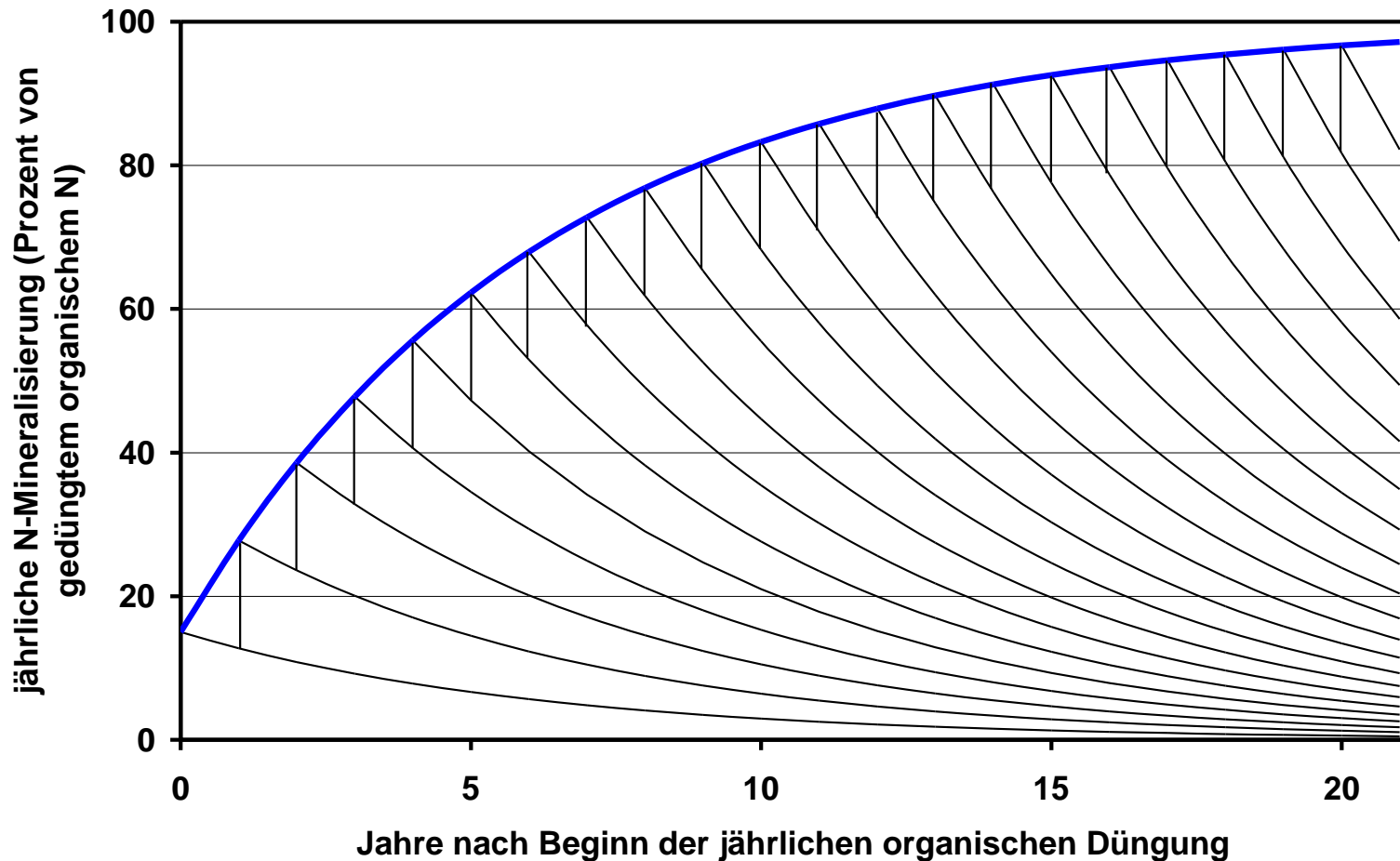


# Die N-Formen im Boden



# Prinzip der N-Mineralisation

Berechneter Verlauf der jährlichen N-Mineralisation von organischem Dünger-N, wenn jedes Jahr gedüngt wird und die jährliche Mineralisation 15 % des verbleibenden N beträgt (nach DOMINIK, 2010 unveröffentlicht)



# Klassenhäufigkeiten (in %) von Ergebnissen der Humusbilanzierung

(untere Werte VDLUFA-Methode)



Datenbasis, Quelle	A	B	C	D	E	Unter- versorgung (A + B)	Über- versorgung (D + E)
Landkreise Deutschland (n = 364) ZELLER et al. (2012)	0	0,3	4	46	50	0,3	96
Betriebe (n = 385) BREITSCHUH & GERNAND (2010)	1	1	11	45	42	2	87
Betriebe (n = 227) HÜLSBERGEN zit.n. VOGT-KAUTE (2011)	1	1	28	42	29	2	71
Sachsen, Dauertestflächen (n = 760) SEIBT (2007)	4	11	46	26	13	15	39

VDLUFA-Humusversorgungsgruppen: A = sehr niedrig, B = niedrig, C = optimal, D = hoch, E = sehr hoch

# Humusbilanzen von Getreide- Fruchtfolgen (HÄQ kg/ha) (aus KOLBE, 2013)

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



Fruchtfolge / Strohverbleib (%)	Boden: Standortgruppe:	Leichte Böden			Mittlere – schwere Böden		
		1	2	3	4	5	6
<b>F1</b> 0 %	100 % Getreide – Stroh	-30 C	-130 B	-230 A	-180 B	-280 A	-420 A
<b>F2</b> 25 %	75 % Getreide – Stroh 25 % K.-Mais + Stroh	-23 C	-185 B	-207 A	-152 B	-247 A	-377 A
<b>F3</b> 25 %	75 % Getreide – Stroh 25 % Getr. + Stroh	24 C	-62 C	-149 B	-85 B	-171 B	-298 A
<b>F4</b> 25 %	75 % Getr. – Stroh 25 % W.-Raps + Stroh	43 C	-44 C	-128 B	-65 C	-149 B	-276 A
<b>F5</b> 50 %	50 % Getr. – Stroh 25 % Getr. + Stroh 25 % W.-Raps + Stroh	97 C	25 C	-47 C	31 C	-41 C	-154 B
<b>F6</b> 75 %	25 % Getr. – Stroh 75 % Getreide + Stroh	133 D	74 C	15 C	105 D	46 C	-53 C
<b>F7</b> 75 %	25 % Getr. – Stroh + W.- Zwischenfr. + GD 75 % Getr. + Stroh	241 D	158 D	73 C	176 D	92 C	-42 C
<b>F8</b> 100 %	100 % Getreide + Stroh	187 D	142 D	96 C	200 D	155 D	69 C
<b>F9</b> 100 %	75 % Getr. + Stroh 25 % W.-Raps + Stroh + Stoppelfr. + GD	300 E	230 D	161 D	278 D	209 D	88 C

# Humusbilanzen von Getreide- Fruchtfolgen mit Schweinehaltung (HÄQ kg/ha)

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



Fruchtfolge	Boden:	Leichte Böden			Mittlere – schwere Böden		
		1	2	3	4	5	6
<b>F10</b> 0,3 GV/ha	25 % Getr. + Stroh + 1/2 S.- Gülle 75 % Getr. + Stroh	198 D	153 D	114 D	218 D	180 D	94 C
<b>F11</b> 0,7 GV/ha	25 % Getr. + Stroh + S.- Gülle 25 % Getr. + Stroh + W.- Zwischenfr. + GD 25 % Getr. + Stroh 25 % W.-Raps + Stroh	336 E	267 D	211 D	328 E	274 D	153 D
<b>F12</b> 1,5 GV/ha	50 % Getr. + Stroh + S.- Gülle 25 % K.-Mais + Stroh 25 % Getr. + Stroh + W.- Zwischenfr.	292 D	214 D	169 D	277 D	227 D	103 D
<b>F13</b> 2,5 GV/ha	75 % Getr. + Stroh + S.- Gülle 25 % Getr. + Stroh + W.- Zwischenfr. + GD	361 E	291 D	263 D	380 E	353 E	232 D
<b>F14</b> 3,6 GV/ha	100 % Getr. + Stroh + S.- Gülle + 2mal W.- Zwischenfr.	491 E	396 E	358 E	487 E	450 E	294 D

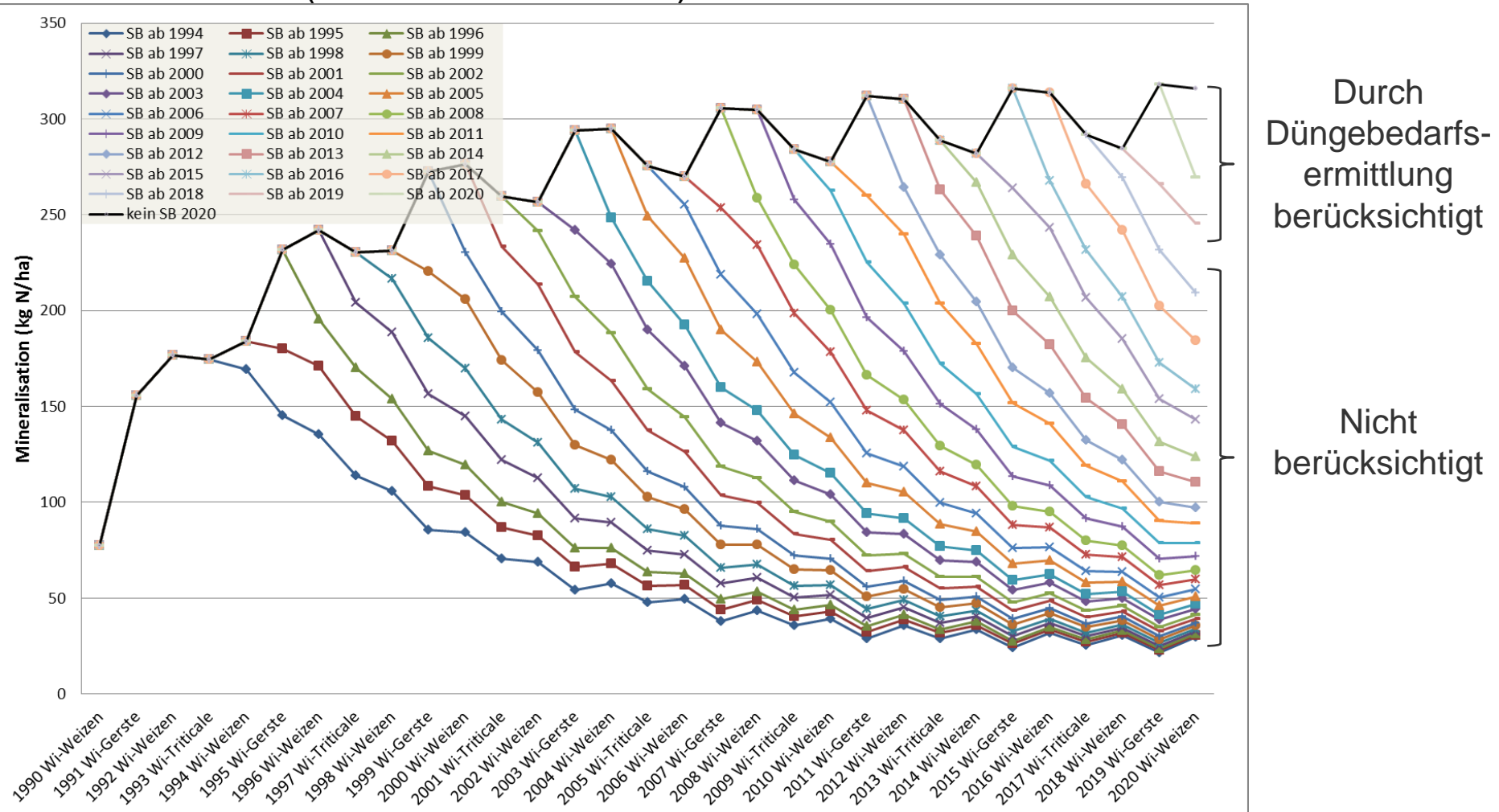
= Versorgungsgruppe C; **5** ~ untere Werte VDLUFA-Meth.

# Entwicklung der N-Mineralisation nach hoher stetiger Gülledüngung

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



3,6 GV/ha nach 30 Jahren in einer Fruchtfolge  
berechnet mit dem Modell CCB  
(SB = Schwarzbrache)



# Düngebedarfsermittlung für N

## $N_{\min}$ -Methode

N-Düngebedarf einer Fruchtart ergibt sich aus:

	Nährstoffbedarf d. Fruchtart in Abhängigkeit von einem Erwartungsertrag	
minus	$N_{\min}$ -Vorrat zu Vegetationsbeginn	
minus	N-Nachlieferung während der Vegetationszeit in Abhängigkeit von Standort, Vorfrucht u. Bewirtschaftung	} <b>CCB-Berechnung (<math>N_m</math>)</b>
minus	N-Bereitstellung aus organischen Düngergaben zur Fruchtart	
plus/minus	Bestandessituation u. Bewässerung	
=	<b>Düngungshöhe</b>	

# Einfluss der Düngung auf $N_t$ - und $C_{org}$ -Bilanz sowie die langfristige N-Effizienz

**Untersuchungsmaterial:** ca. 240 Dauer-Feldversuche des Ackerlandes mit über 2400 Varianten aus 88 Standorten Mitteleuropas (Schwerpunkt Deutschland)

## **Auswertungsmethoden:**

- deskriptive Statistiken: Mittelwert, Median, Standardabweichung, Boxplot, etc.
- einfache u. multiple Regressionsanalyse nach der Grundfunktion:  $y = f(x_1, \dots, x_n)$

## **Auswertungsschritte:** (abhängig von Fragestellung)

1. Bestimmung bzw. Ermittlung von sicheren Anfangs- und Endwerten für  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte, Anzahl der Versuchsjahre, Ermittlung der  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Differenzen je 1 Jahr
2. Zufuhrhöhe an organ. Materialien, N-Zufuhren, Fruchtfolgen, N-Abfuhren, etc.
3. Filterung von Versuchen mit jeweils Standardvarianten (z.B. ohne Düngung) und von Varianten mit entsprechender Themenstellung
4. Durchführung entsprechender Rechenoperationen
5. Darstellung der Ergebnisse als Punktediagramm, Boxplot, Tabellen u.a. Formen

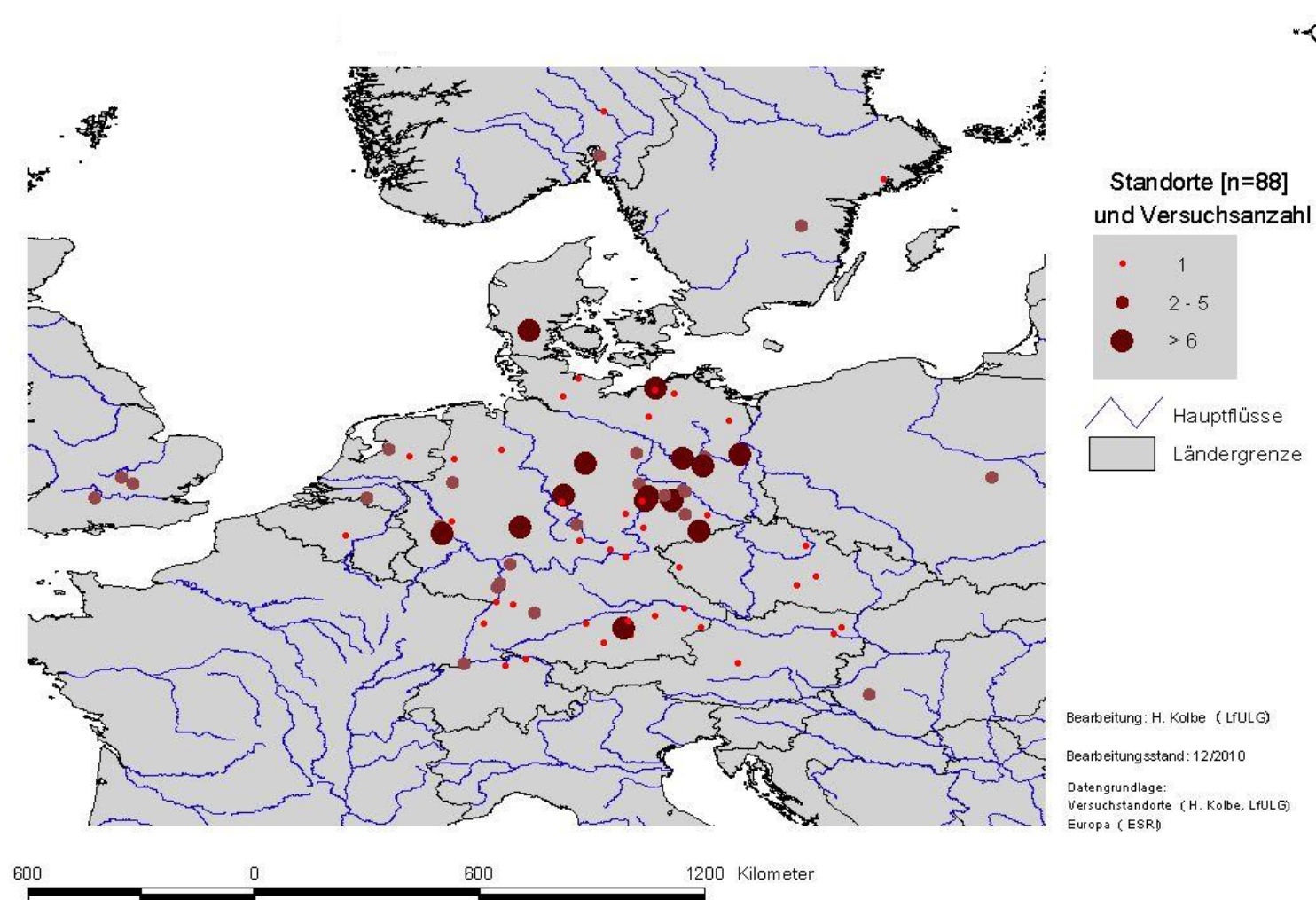
## **Quelle:**

KOLBE, H. et al., (in Vorbereitung): Einfluss von Boden, Klima und Bewirtschaftung auf  $C_{org}$ ,  $N_t$ , C/N-Verhältnis und N-Effizienz – Mathematisch-statistische Auswertung von Ergebnissen aus Dauerversuchen in Mitteleuropa. Schriftenreihe des LfULG, Dresden



# Lage und Häufigkeit der einbezogenen Dauerversuche des Ackerbaus

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



# Deskriptive Statistik der Merkmale der Dauerversuche

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE

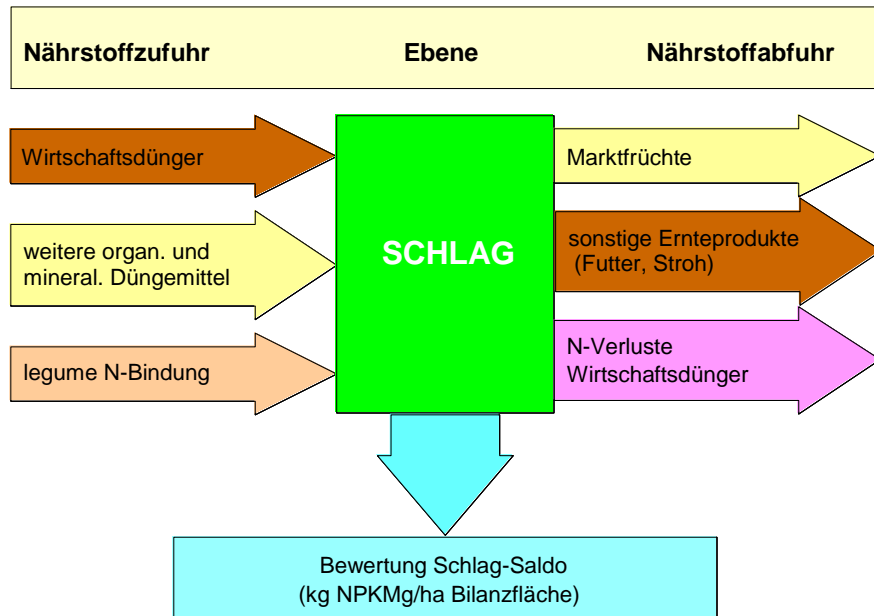


Merkmal	Varianten (N)	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
C <sub>org</sub> (% TM)	2677	0,23	9,45	1,33	0,81
N <sub>t</sub> (% TM)	1819	0,03	0,35	0,12	0,07
C/N-Verhältnis Boden	1780	6,6	30,0	11,0	2,5
pH-Wert	2734	3,1	8,2	6,1	0,7
Bodenart*	2853	1	8	4,1	2,0
Tongehalt (%)	2507	0,1	69,6	11,9	7,6
Temperatur (° C)	2681	2,4	11,2	8,4	1,0
Niederschlag (mm)	2747	300	1993	637	137
Hackfrüchte (% d. Fruchtfolge)	2644	0	100	39	22
Getreide (% d. Fruchtfolge)	2648	0	100	53	23
Leguminosen (% d. Fruchtfolge)	2440	0	100	9	19
TM-Gesamtzufuhr (dt/ha)	2657	0	600	25	41
Leguminosen-N (kg/ha)	976	0	257	23	35
N-Mineraldüngung (kg/ha)	2250	0	491	71	65
N-Gesamtzufuhr (kg/ha)	2314	0	950	128	101
N-Abfuhr (kg/ha)	2268	0	280	111	47
N-Saldo (kg/ha)	2263	-149	765	18	80

\*Bodenarten: 1 = S; 2 = Sl; 3 = IS; 4 = SL; 5 = sL; 6 = L; 7 = LT; 8 = T; 9 = M

# Schlagbilanz

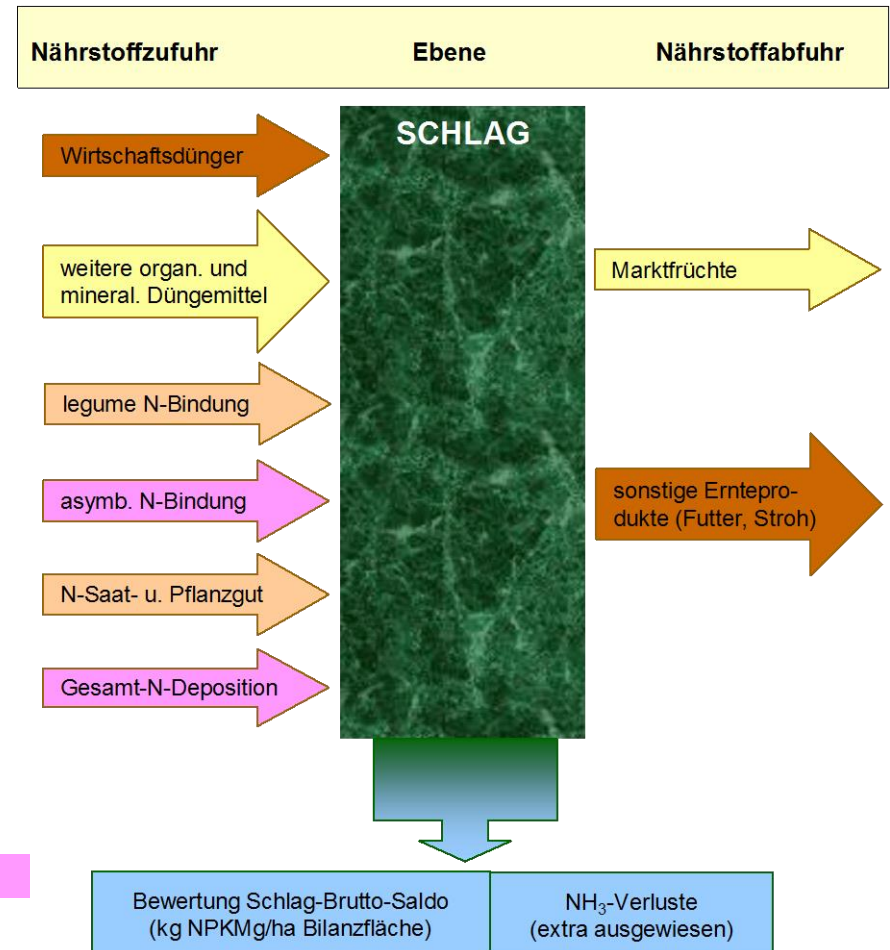
## Schlag-Bilanz



Nr. 1

Legende: **berechnet** **aufgezeichnet** **geschätzt** **pauschal**

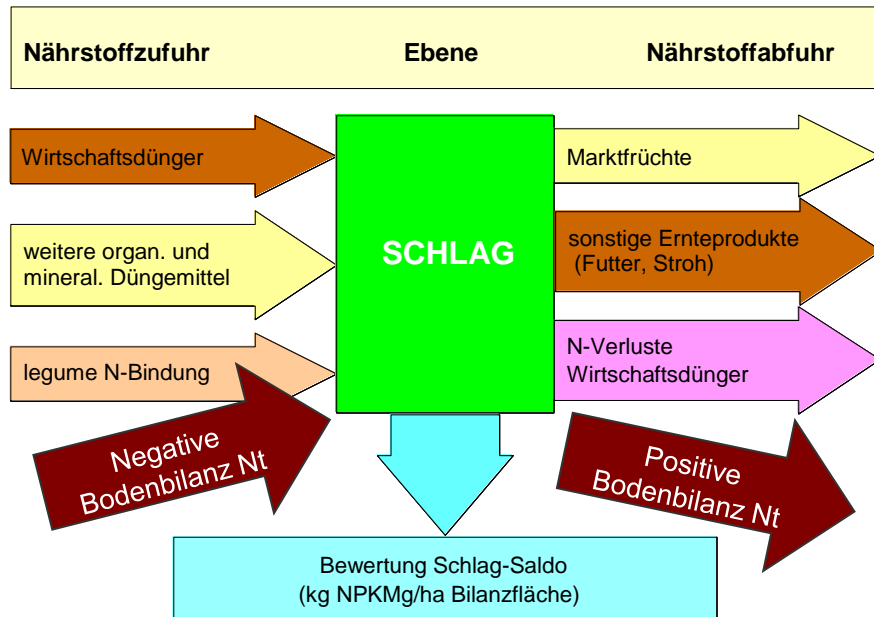
## Schlag-Brutto-Bilanz



Nr. 3

# Schlagbilanz

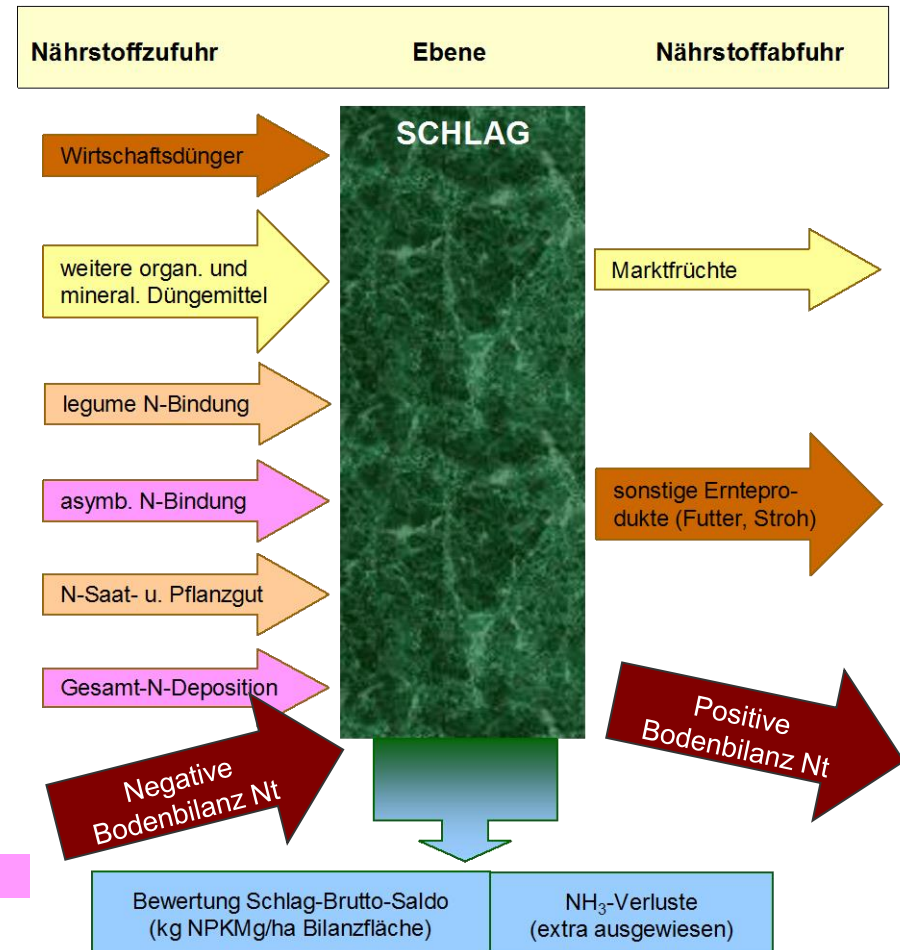
## Schlag-Bilanz



Nr. 2

Legende: **berechnet** **aufgezeichnet** **geschätzt** **pauschal**

## Schlag-Brutto-Bilanz



Nr. 4

# Varianten der mineralischen und organischen Düngung

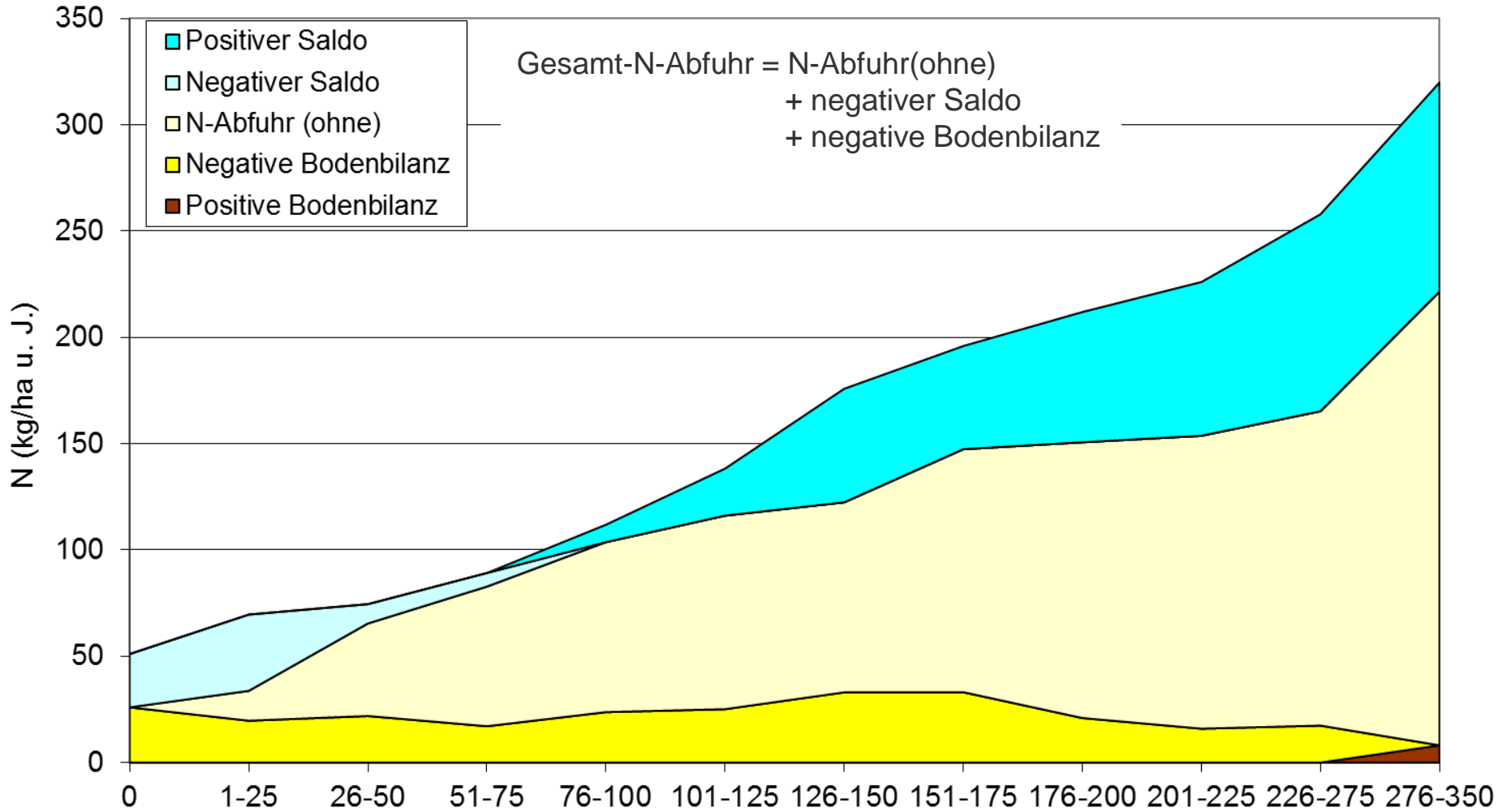
LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



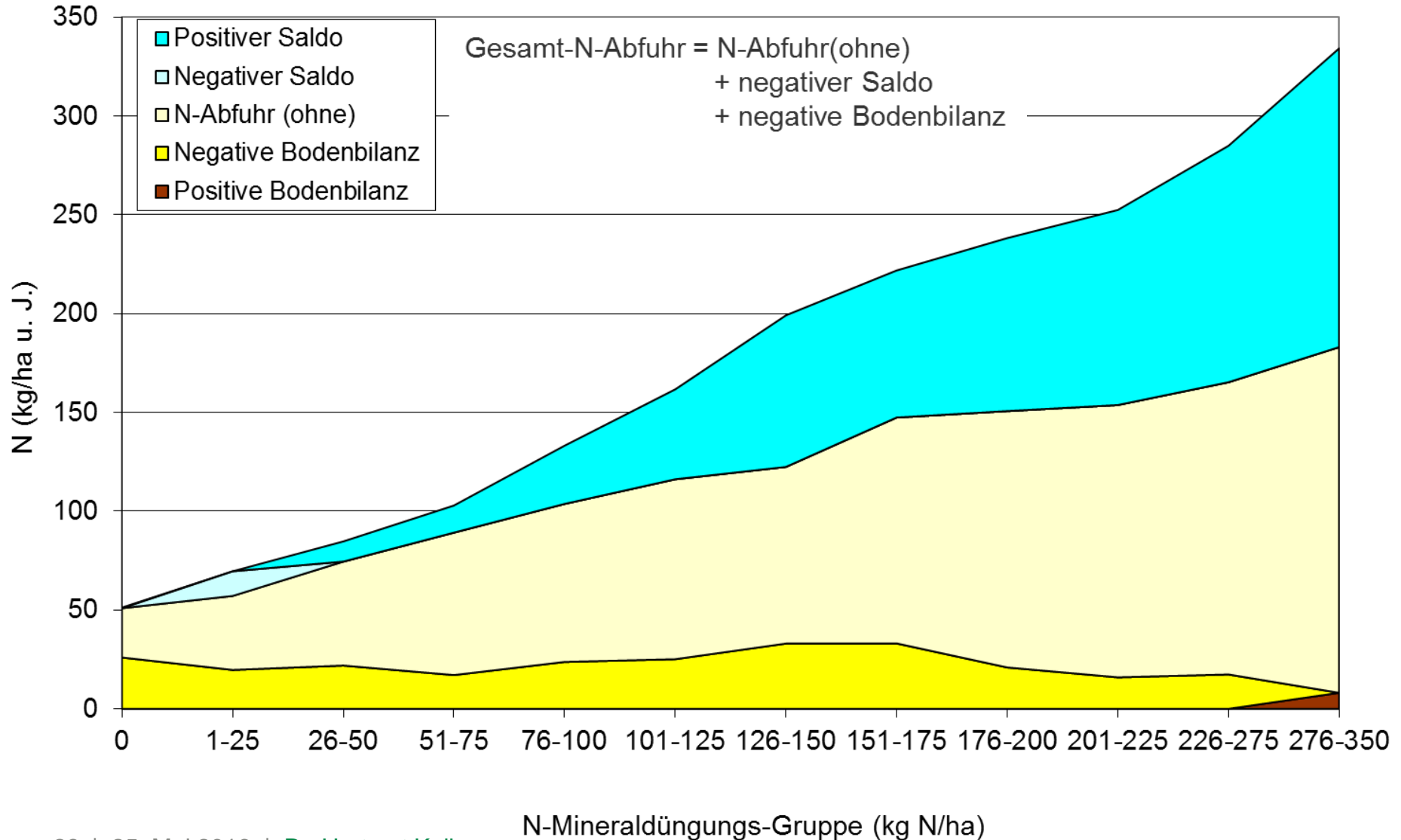
Freistaat  
SACHSEN

- N-Mineraldüngung-:** Varianten mit reiner N-Mineraldüngung, ohne TM-Zufuhr über organische Materialien, keine Leguminosen (N = 901)
- N-Mineraldüngung+:** Varianten mit N-Mineraldüngung + Kombivarianten mit Zwischenfrüchte u. Gründüngung, Stroh (N = 1328)
- N-Mineraldüngung++:** nur Kombivarianten mit N-Mineraldüngung inkl. Zwischenfrüchte, Gründüngung, Stroh (N = 832)
- Organisch-Mineralisch:** Varianten mit N-Mineraldüngung + Kombivarianten mit festen oder flüssigen organischen Düngern (N = 2324)
- Organisch-Mineralisch+:** nur Kombivarianten mit N-Mineraldüngung inkl. feste oder flüssige organische Dünger (N = 1365)
- Organisch:** nur Varianten mit flüssigen und festen organischen Düngern, ohne N-Mineraldüngung (N = 710)

# Gesamtbilanz: N-Mineraldüngung (ohne N-Deposition) Nr. 2

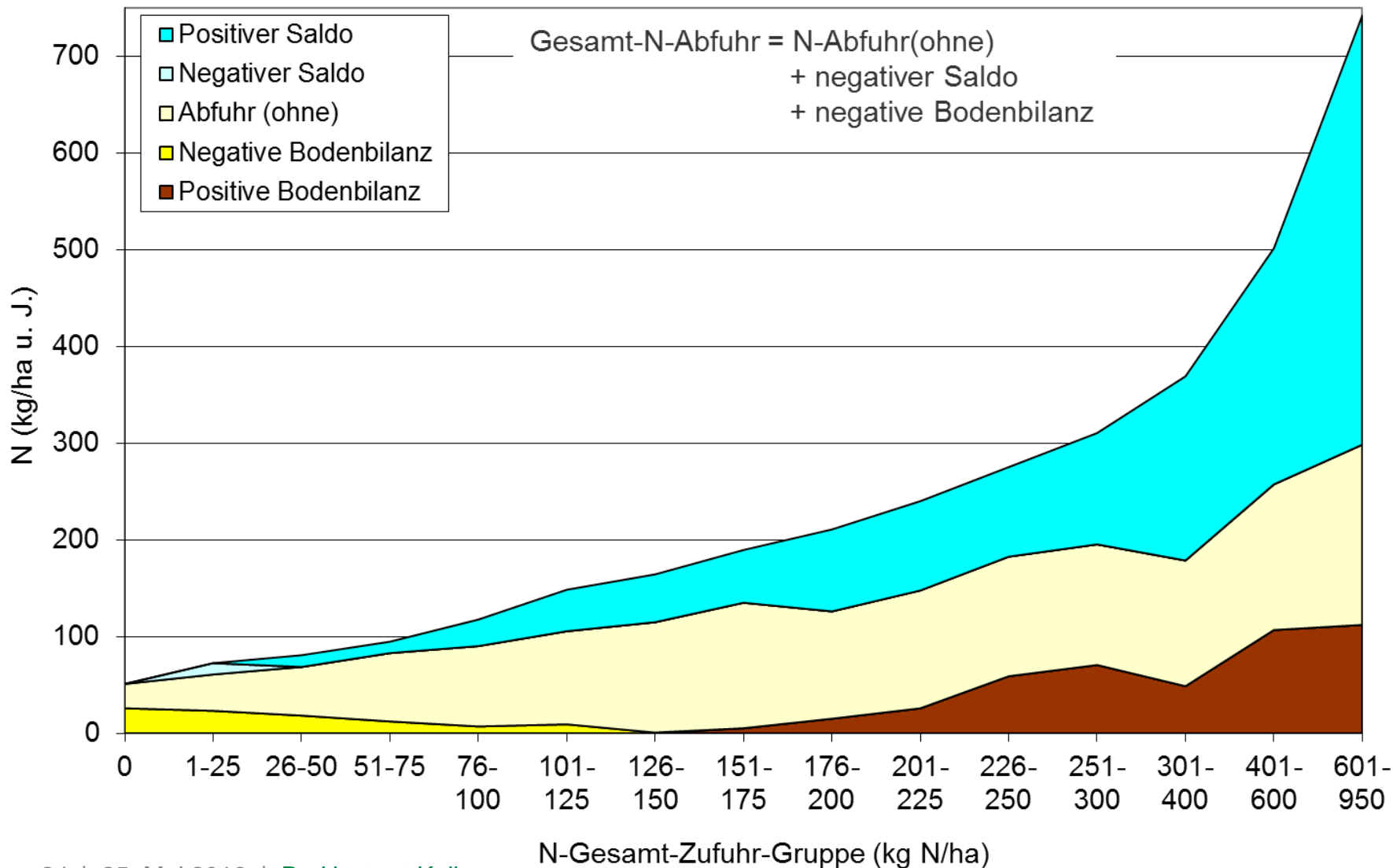


# Gesamtbilanz: N-Mineraldüngung (mit N-Deposition) Nr. 4



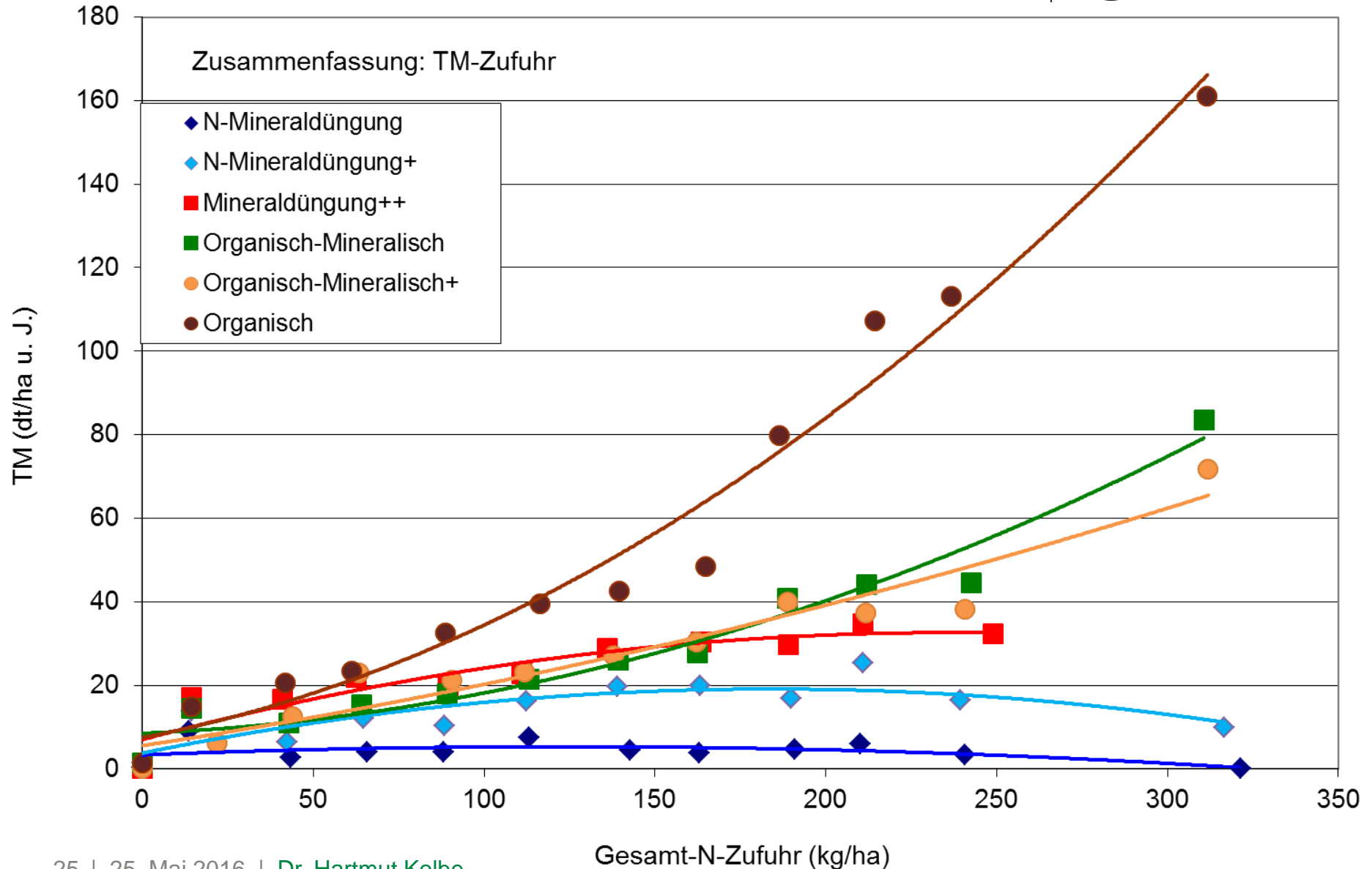
# Gesamtbilanz: Organische Düngemittel

(mit Deposition, abs. Werte) Nr. 4



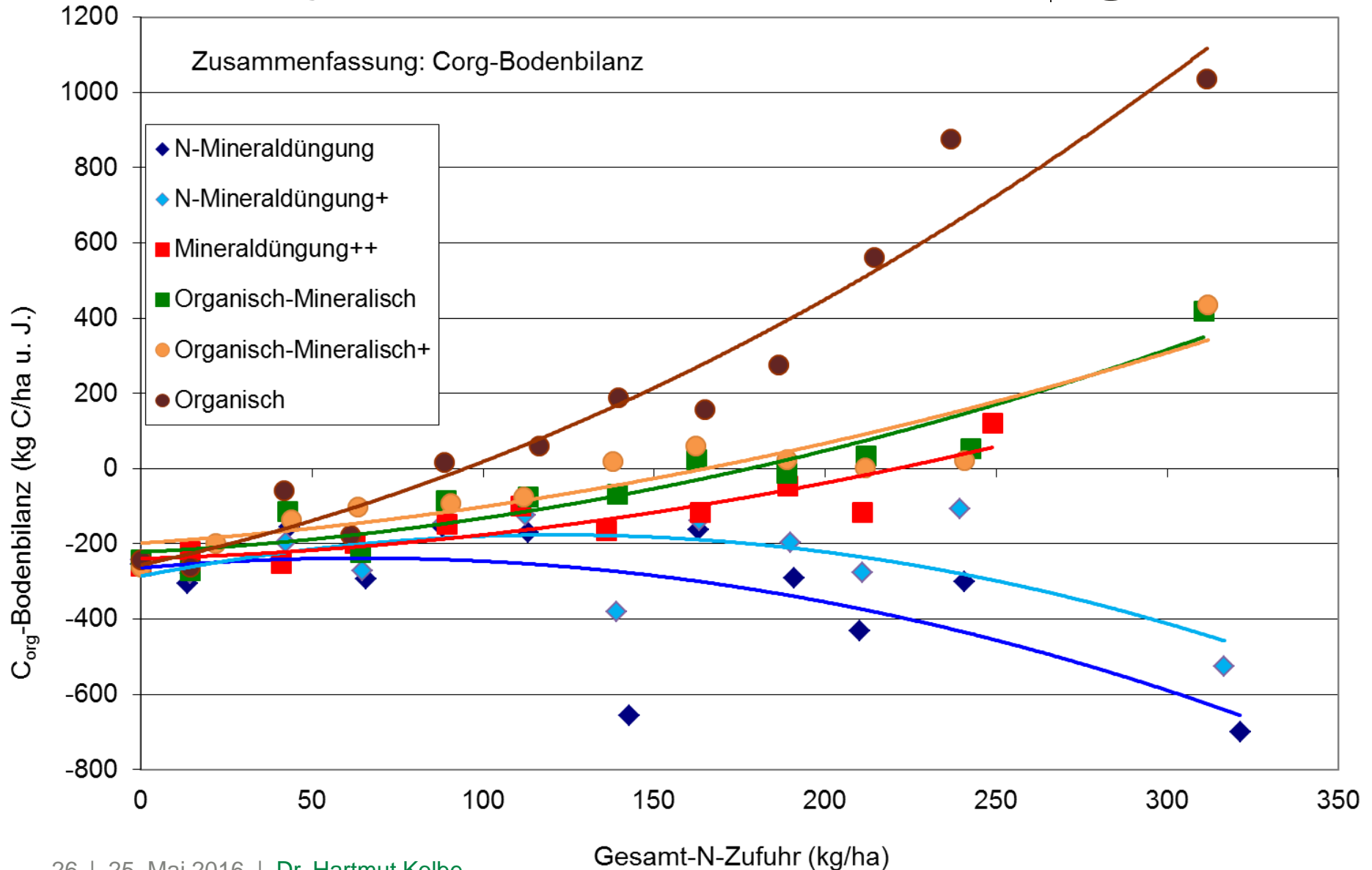


# TM-Zufuhr



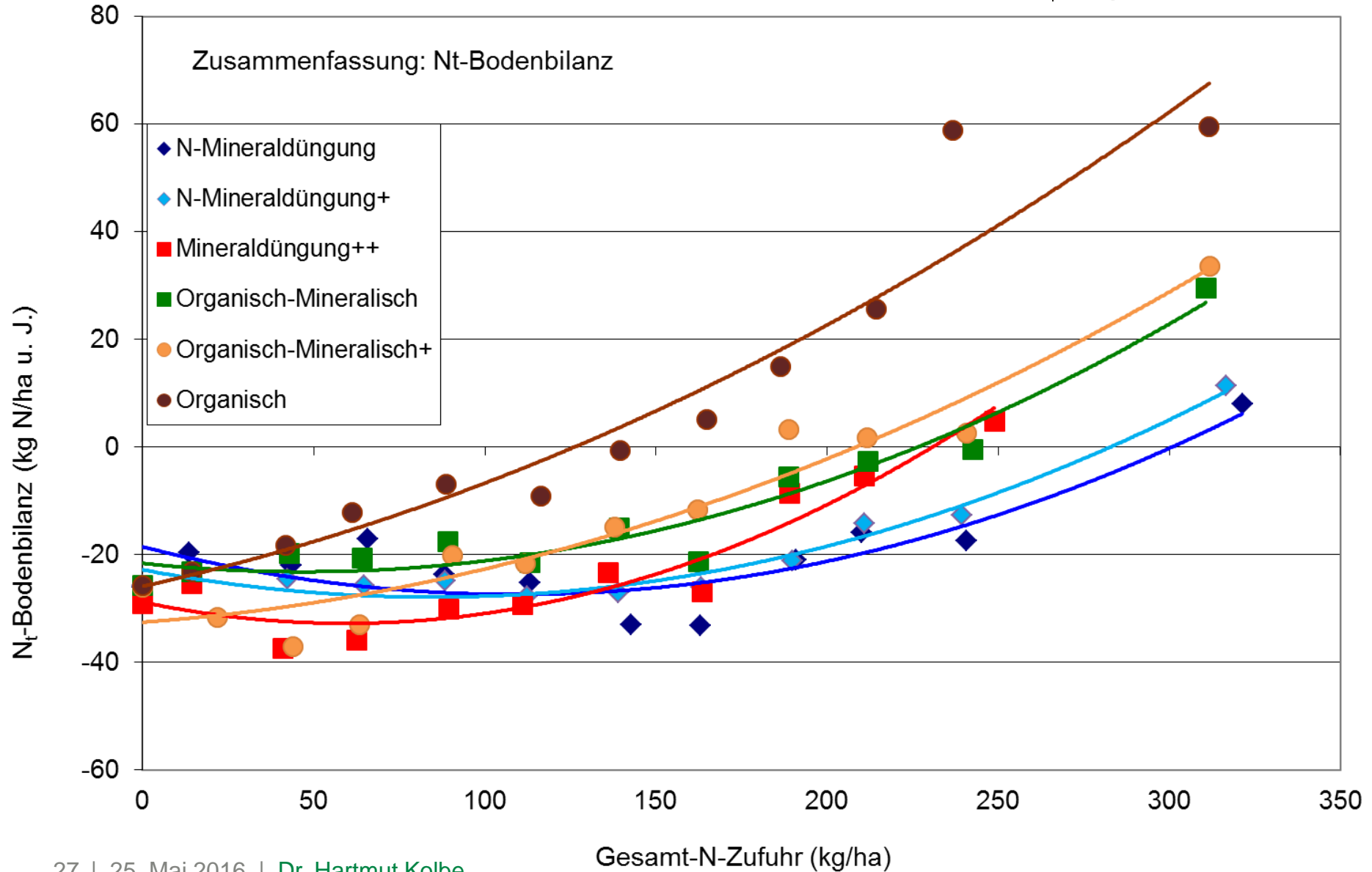
# C<sub>org</sub>-Bodenbilanz

Zusammenfassung: C<sub>org</sub>-Bodenbilanz



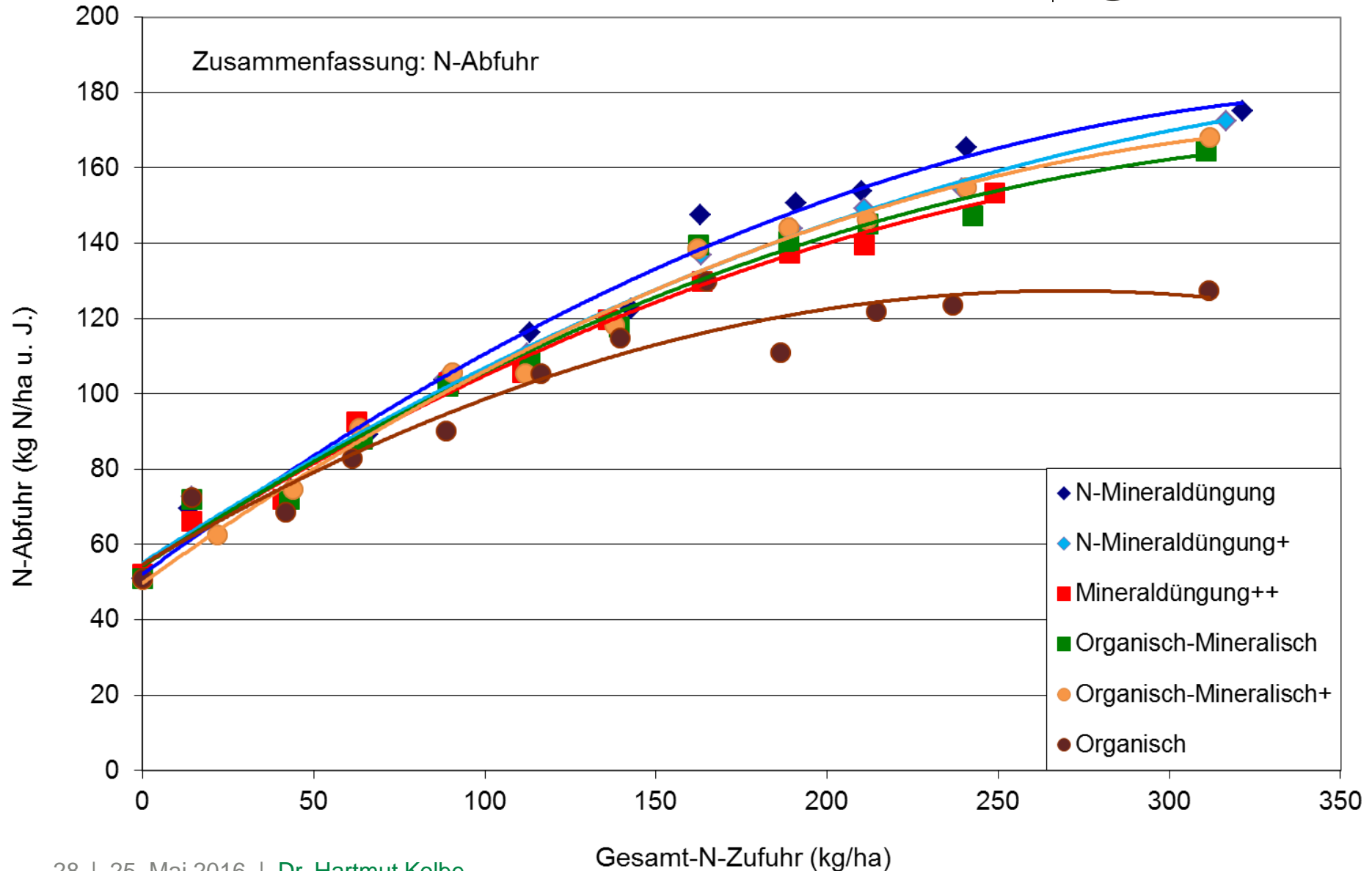
# N<sub>t</sub>-Bodenbilanz

Zusammenfassung: N<sub>t</sub>-Bodenbilanz



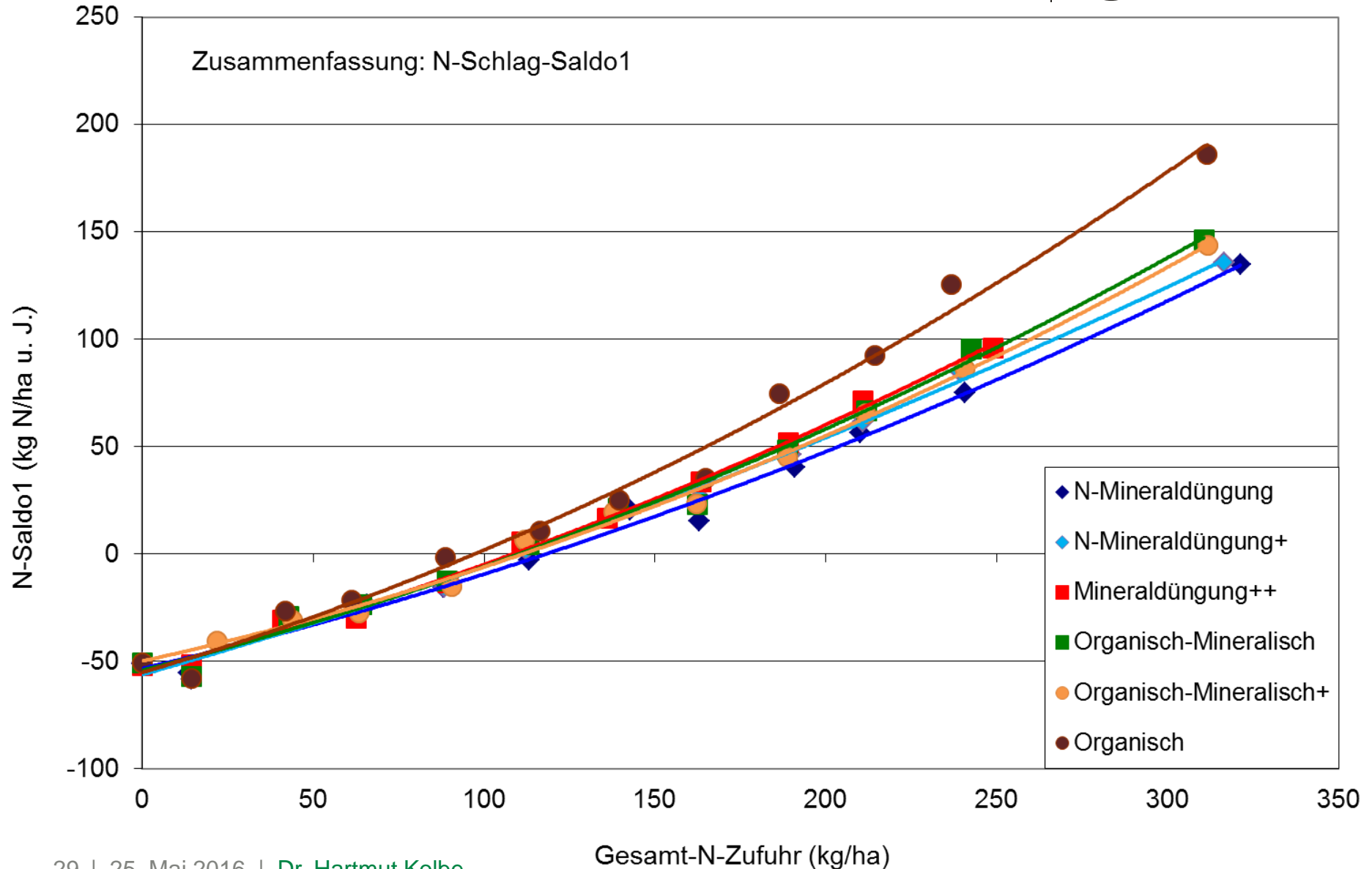
# N-Abfuhr

Zusammenfassung: N-Abfuhr

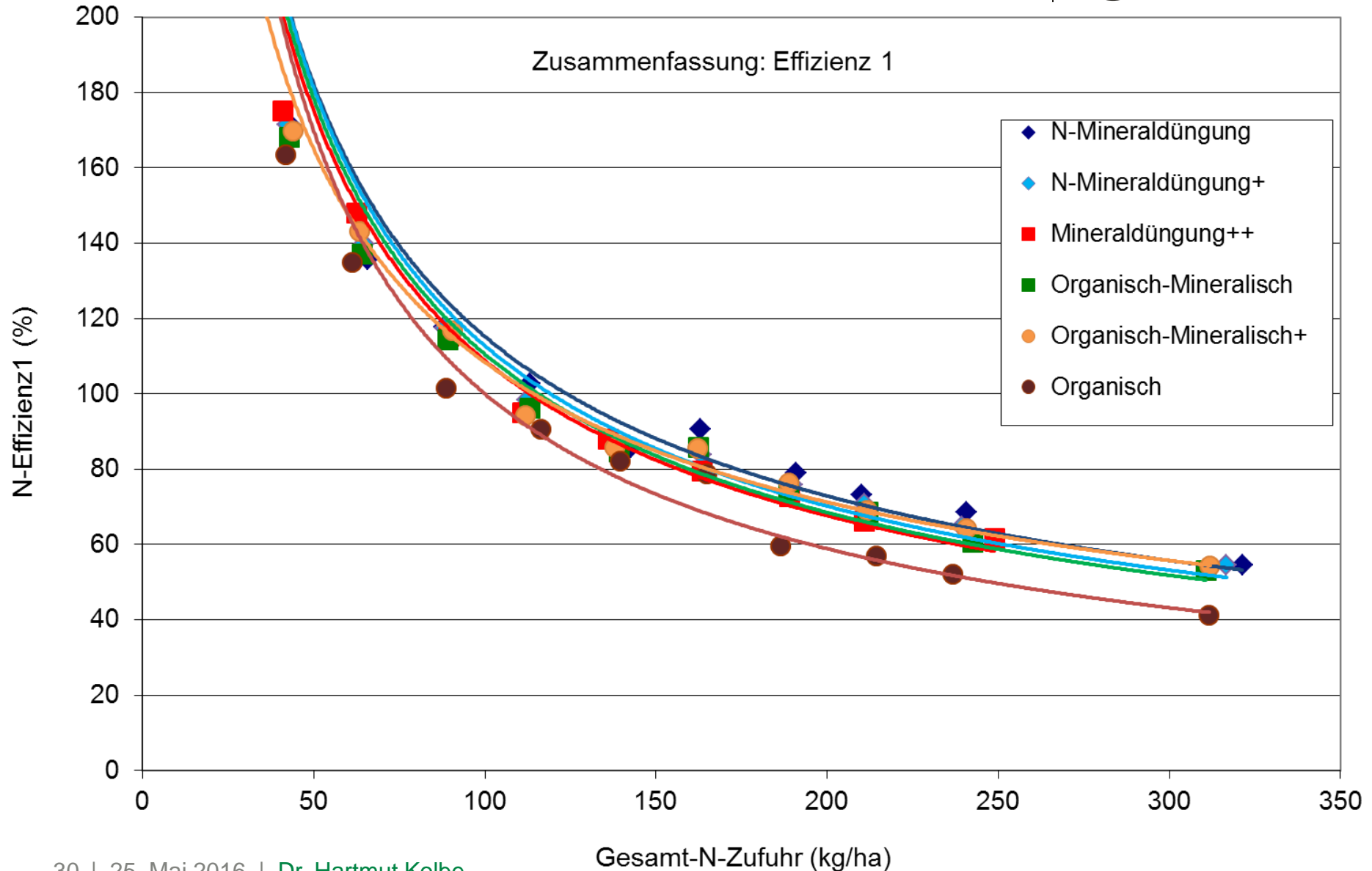


# N-Saldo Nr. 1:

Zusammenfassung: N-Schlag-Saldo1

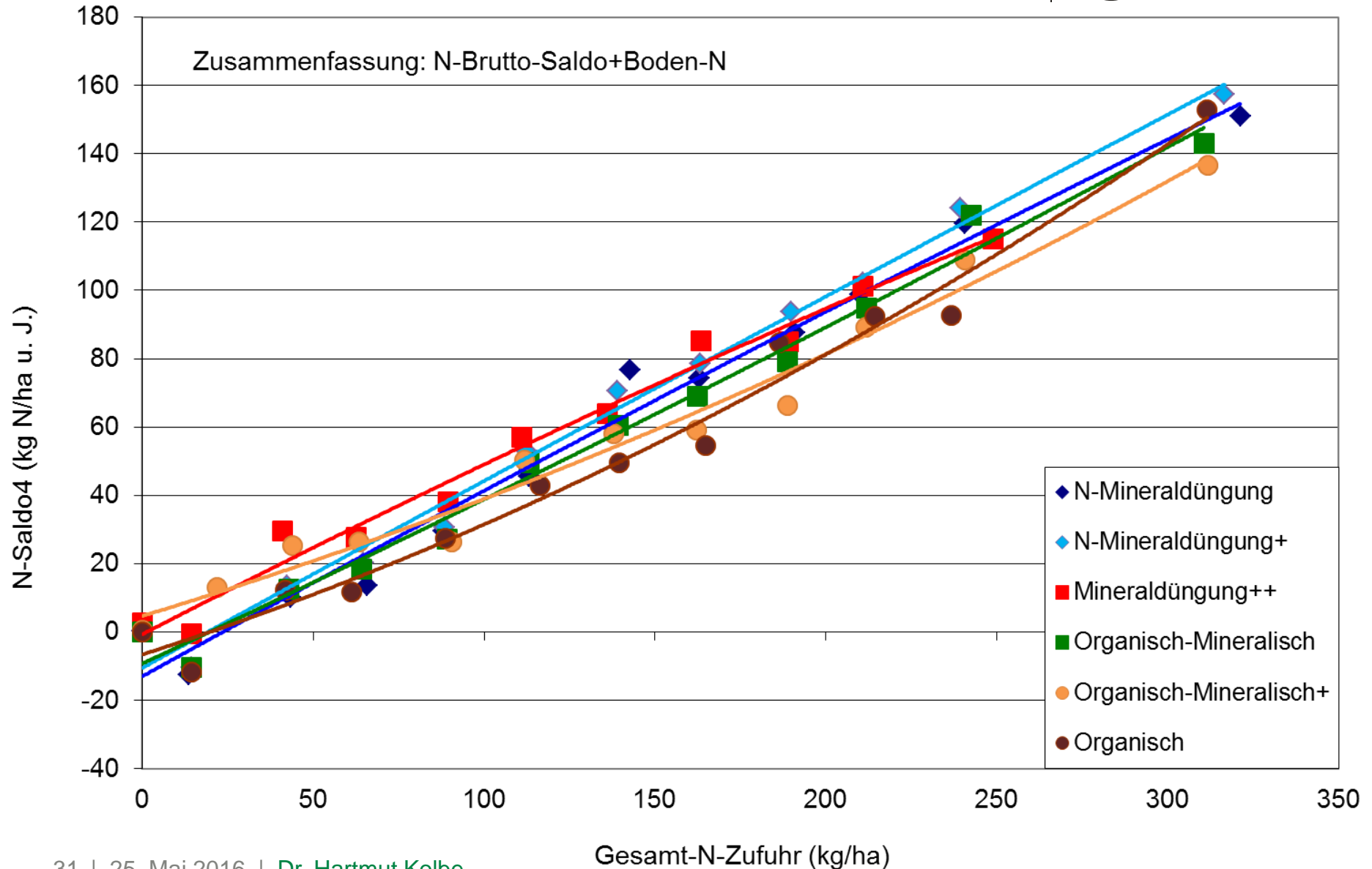


# N-Effizienz Nr 1:

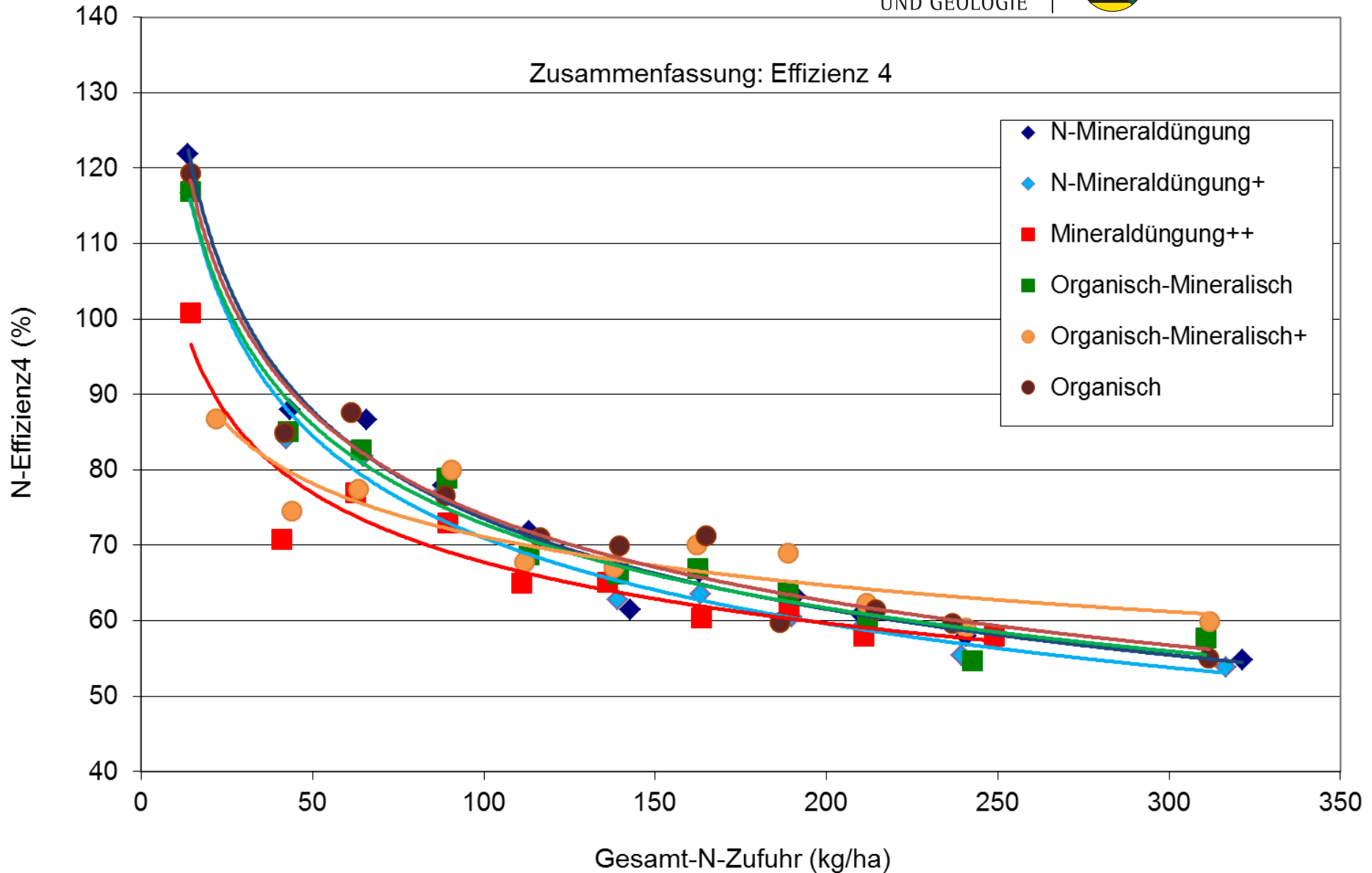


# N-Saldo Nr. 4:

Zusammenfassung: N-Brutto-Saldo+Boden-N



# N-Effizienz Nr. 4:





# Zusammenfassung für zwei Intensitätsniveaus

Varianten	N-Zufuhr (kg/ha)	TM-Zufuhr (dt/ha)	N-Abfuhr (kg/ha)	C <sub>org</sub> -Bilanz (kg/ha)	N <sub>t</sub> -Bilanz (kg/ha)	N-Saldo 1 (kg/ha)	N-Saldo 4 (kg/ha)	N-Effiz. 1 (%)	N-Effiz. 4 (%)
<b>MW: 26 – 175 kg N-Zufuhr</b>									
N-Mineraldüngung-	103	4	109	-265	-26	-6	42	117	75
N-Mineraldüngung+	102	14	106	-209	-26	-4	44	116	73
N-Mineraldüngung++	101	23	104	-164	-31	-3	50	117	69
Organisch-Mineralisch	102	20	105	-91	-19	-3	40	114	75
Organisch-Mineralisch+	102	23	106	-55	-23	-4	41	116	73
Organische Düngung	102	34	99	31	-7	4	33	109	77
<b>MW: 126 – 350 kg N-Zufuhr</b>									
N-Mineraldüngung-	212	4	153	-424	-19	57	101	75	61
N-Mineraldüngung+	210	18	146	-271	-15	63	104	73	59
N-Mineraldüngung++	190	31	136	-65	-12	54	90	74	61
Organisch-Mineralisch	209	44	143	74	-3	67	95	71	62
Organisch-Mineralisch+	209	41	145	94	3	64	86	73	65
Organische Düngung	209	92	121	516	27	90	88	62	63

# Schlussfolgerungen



- Das Versorgungsniveau an organischer Substanz hat Einfluss auf biologische, physikalische und chemische Merkmale der Bodenfruchtbarkeit
- Humus gliedert sich in einen nicht beeinflussbaren passiven Pool („Dauerhumus“) und einen beeinflussbaren aktiven Pool an organischer Bodensubstanz („Nährhumus“)
- Die gesamte zugeführte organische Bodensubstanz (Ernte- u. Wurzelrückstände, organische Dünger) unterliegt einem Umsetzungsprozess bis zu einem vollständigen Abbau, durch Mineralisation erfolgt Freisetzung an  $\text{CO}_2$  und an Nährstoffen
- Bei Daueranwendung von organischen Düngemitteln trägt der Humusumsatz immer deutlicher zur Ertragsbildung bei, was nicht nur im Ökolandbau von Bedeutung ist
- In intensiven Tierhaltungsbetrieben mit Getreidefruchtfolgen und Güllewirtschaft ( $> 2 \text{ GV/ha}$ ) kann dann leicht eine Überversorgung mit organischer Substanz auftreten
- Durch Prozessmodelle (z.B. CCB) können Humusumsatz und Nährstoffmineralisation recht genau berechnet werden, wodurch die Düngebedarfsermittlung verbessert werden kann
- Auf Grund der experimentell ermittelten hohen Datenmenge aus Dauerversuchen kann eine sichere Bestimmung der Komponenten der N-Bilanzierung (Zufuhr, Abfuhr, Saldo) unterschiedlicher Düngungssysteme (mineralisch, organisch) erfolgen
- Nährstoffeffizienzen sind streng abhängig von der Gesamt-N-Zufuhr und dem abnehmenden Ertragszuwachs der Fruchtarten bzw. der N-Abfuhr
- N-Effizienzen der Gesamt-Bilanzen liegen bei mäßiger bis mittlerer N-Zufuhr bei 70 - 77 % und bei hoher N-Zufuhr bei 60 – 65 %
- Auf lange Sicht gibt es nur geringe Unterschiede zwischen N-Mineraldüngung, mineralisch-organischer und reiner organischer Düngung (MDÄ ~ 100 %)

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

