

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)

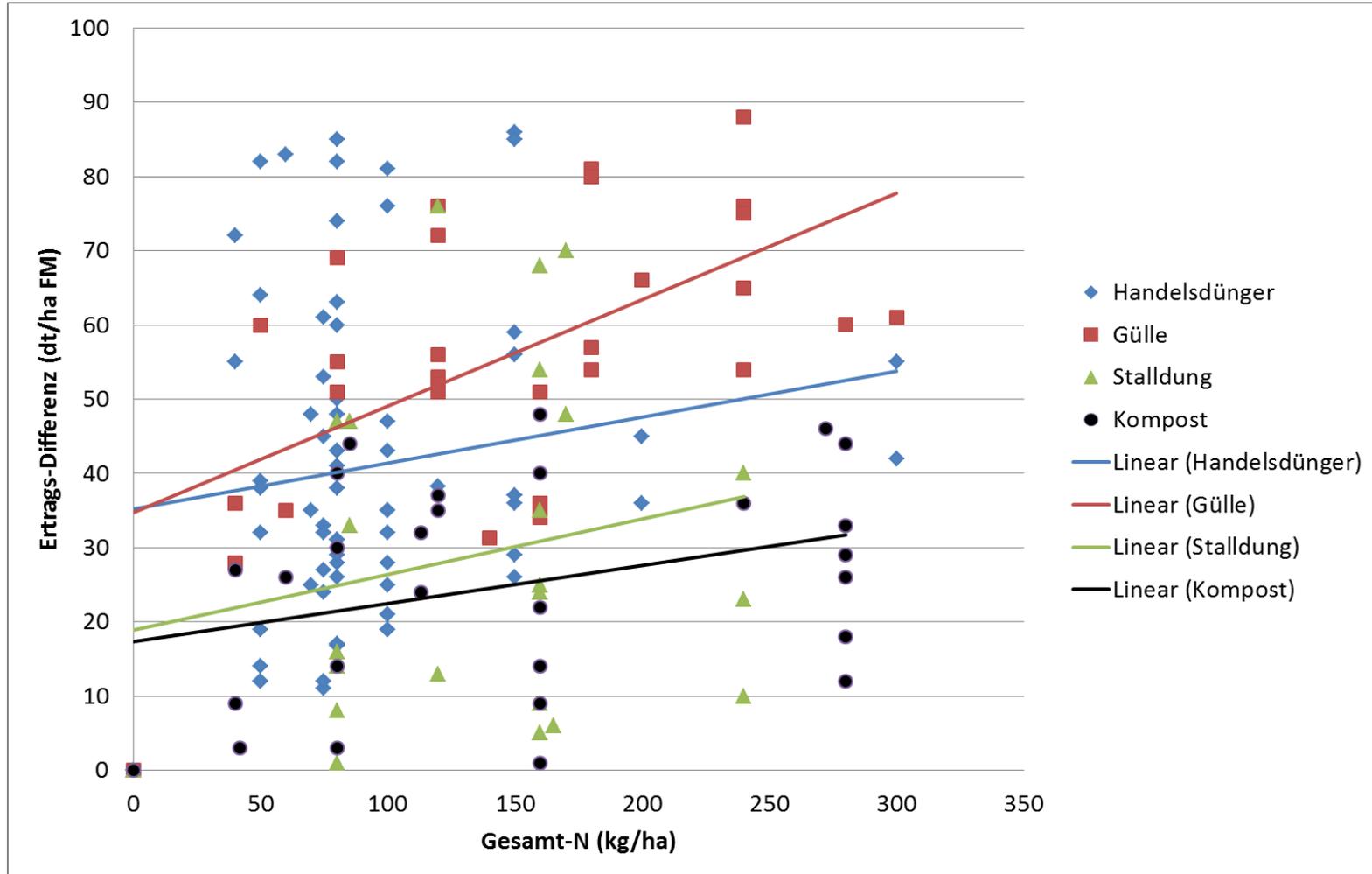
LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



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 _{org})	Mehrertrag	
						(dt/ha FM)	(Einmal- Anwendung = 100 %)
Gülle	58	50 - 60	0,6 - 0,9	307	+0,17	64	110
Stalldung	31	15 - 20	0,8 - 1,0	576	+0,33	50	161
Kompost	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 _{org} und N _t 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

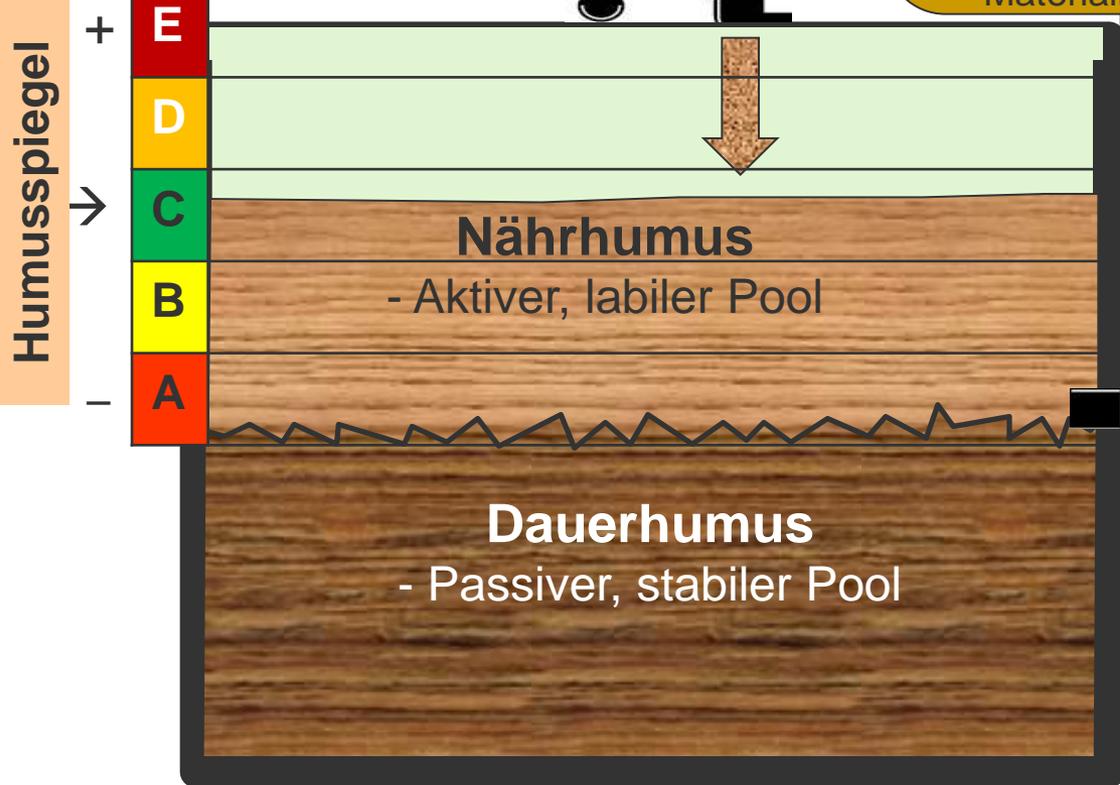
Bodengenesse

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

Abbau

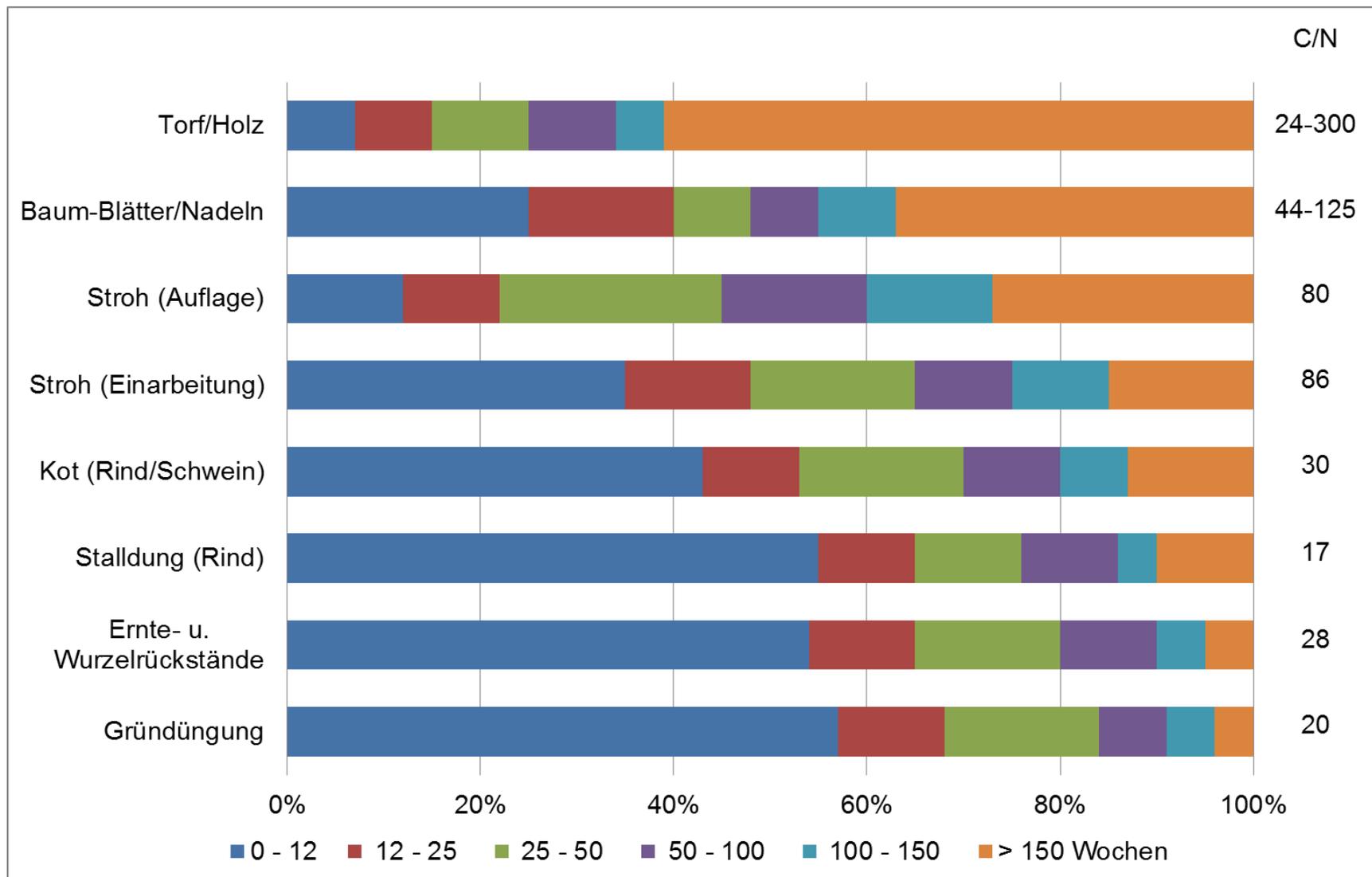
(Mineralisation)

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

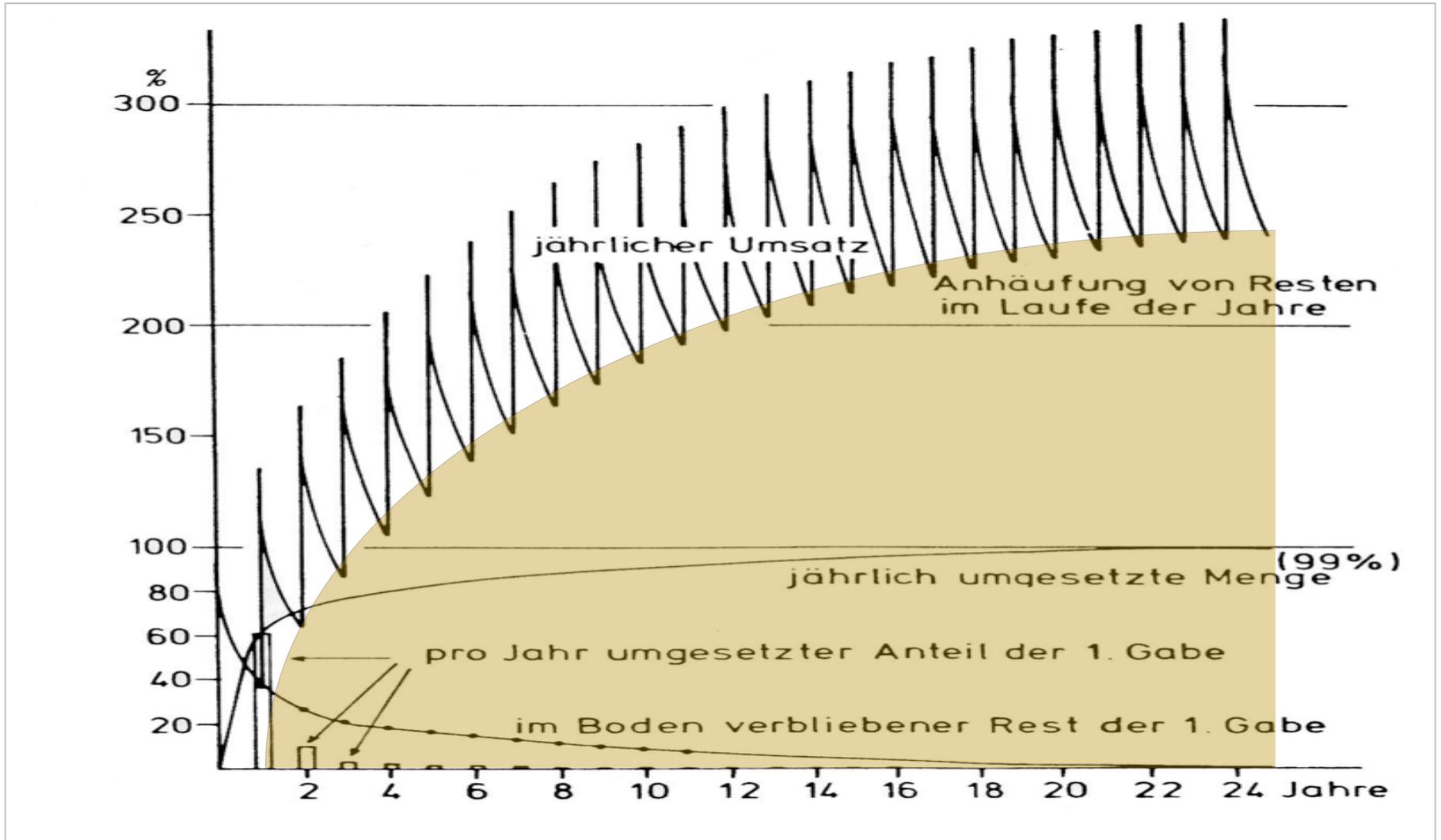


Abbaustabilität der organischen Materialien (im bzw. auf dem Boden)

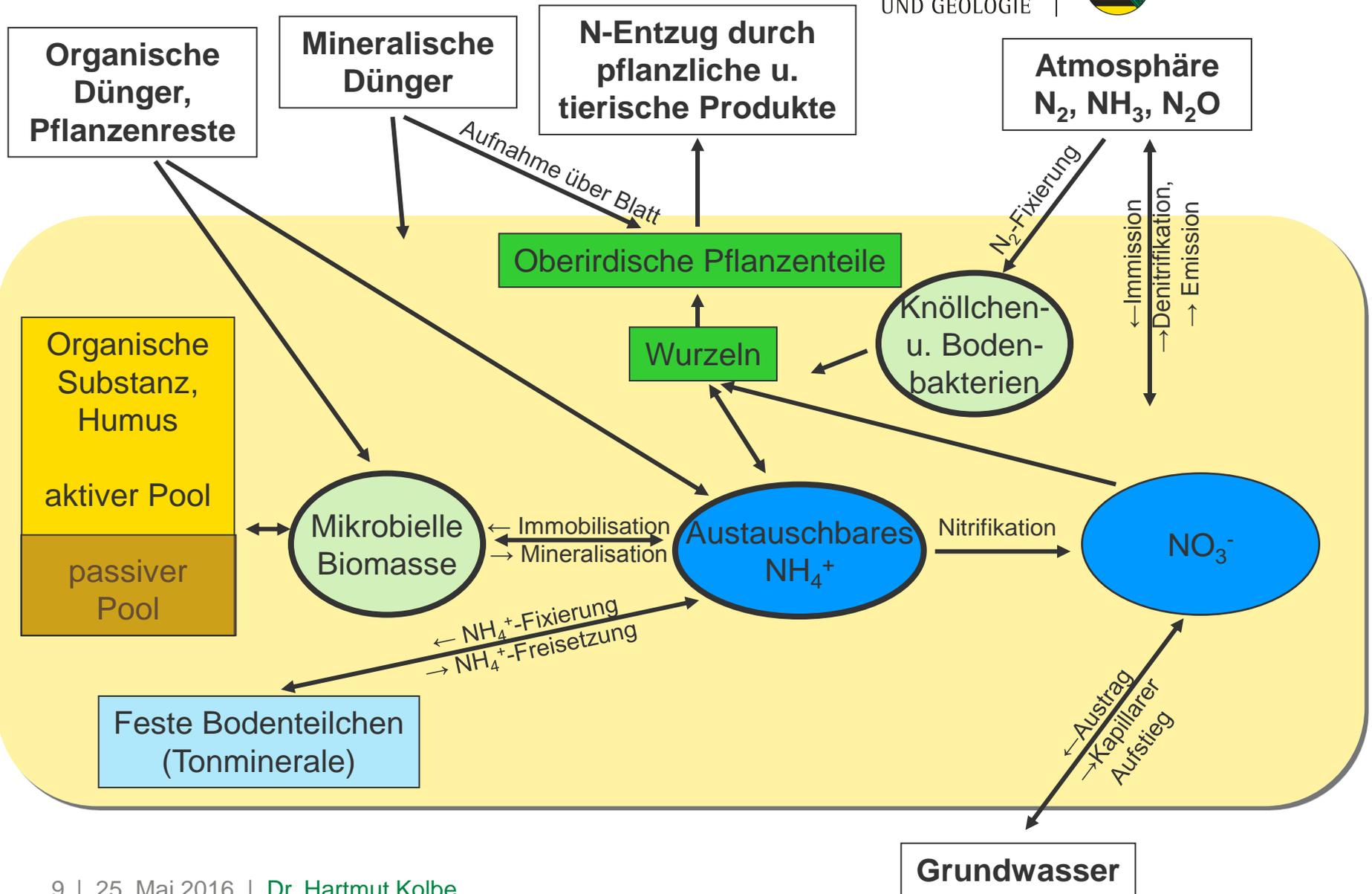
LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



Prinzip des Humusumsatz

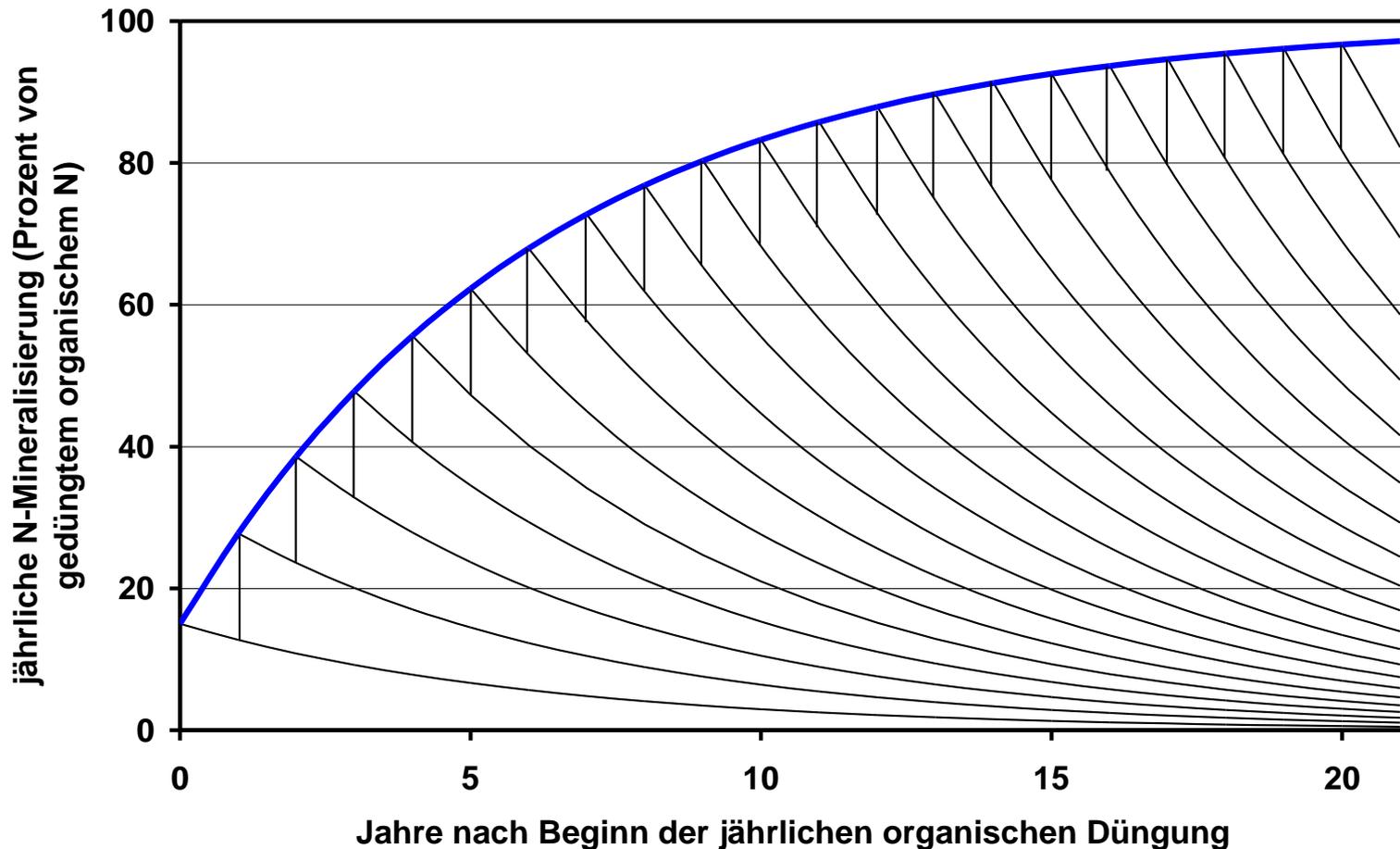


Die N-Formen im Boden



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
F1 0 %	100 % Getreide – Stroh	-30 C	-130 B	-230 A	-180 B	-280 A	-420 A
F2 25 %	75 % Getreide – Stroh 25 % K.-Mais + Stroh	-23 C	-185 B	-207 A	-152 B	-247 A	-377 A
F3 25 %	75 % Getreide – Stroh 25 % Getr. + Stroh	24 C	-62 C	-149 B	-85 B	-171 B	-298 A
F4 25 %	75 % Getr. – Stroh 25 % W.-Raps + Stroh	43 C	-44 C	-128 B	-65 C	-149 B	-276 A
F5 50 %	50 % Getr. – Stroh 25 % Getr. + Stroh 25 % W.-Raps + Stroh	97 C	25 C	-47 C	31 C	-41 C	-154 B
F6 75 %	25 % Getr. – Stroh 75 % Getreide + Stroh	133 D	74 C	15 C	105 D	46 C	-53 C
F7 75 %	25 % Getr. – Stroh + W.- Zwischenfr. + GD 75 % Getr. + Stroh	241 D	158 D	73 C	176 D	92 C	-42 C
F8 100 %	100 % Getreide + Stroh	187 D	142 D	96 C	200 D	155 D	69 C
F9 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
F10 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
F11 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
F12 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
F13 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
F14 3,6 GV/ha	100 % Getr. + Stroh + S.- Gülle + 2mal W.- Zwischenfr.	491 E	396 E	358 E	487 E	450 E	294 D

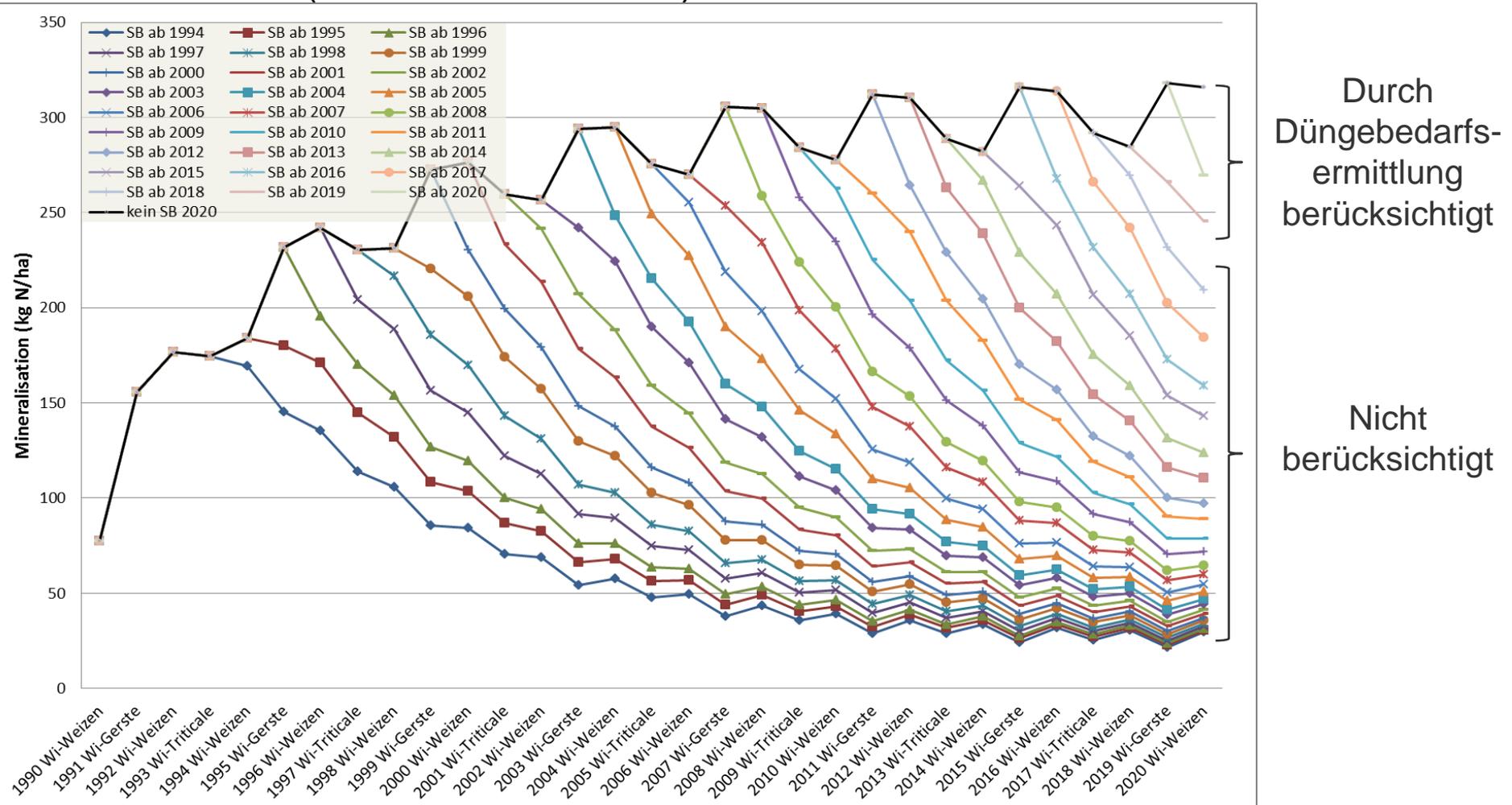
 = Versorgungsgruppe C; **5** ~ untere Werte VDLUFA-Meth.

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)



Düngerbedarfsermittlung für N

N_{\min} -Methode

N-Düngerbedarf 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	} CCB-Berechnung (N_m)
minus	N-Bereitstellung aus organischen Düngergaben zur Fruchtart	
plus/minus	Bestandessituation u. Bewässerung	
=	Düngungshöhe	

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)

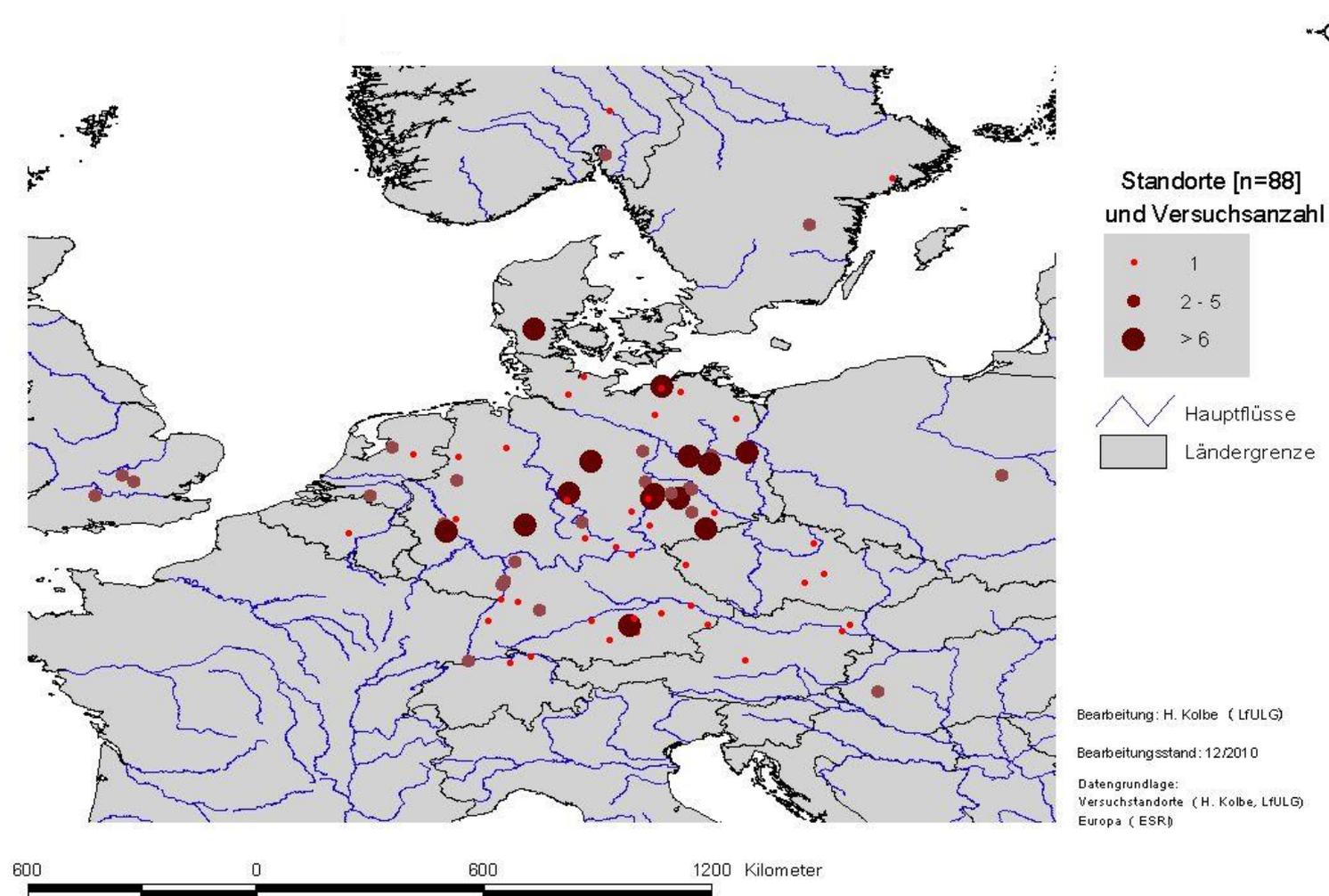
1. Bestimmung bzw. Ermittlung von sicheren Anfangs- und Endwerten für C_{org} - und N_t -Gehalte, Anzahl der Versuchsjahre, Ermittlung der C_{org} - und N_t -Differenzen je 1 Jahr
2. Zufuhrhöhe an organ. Materialien, N-Zufuhren, Fruchtfolgen, N-Abfuhren, etc.
3. Filterung von Versuchen mit jeweils Standardvarianten (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

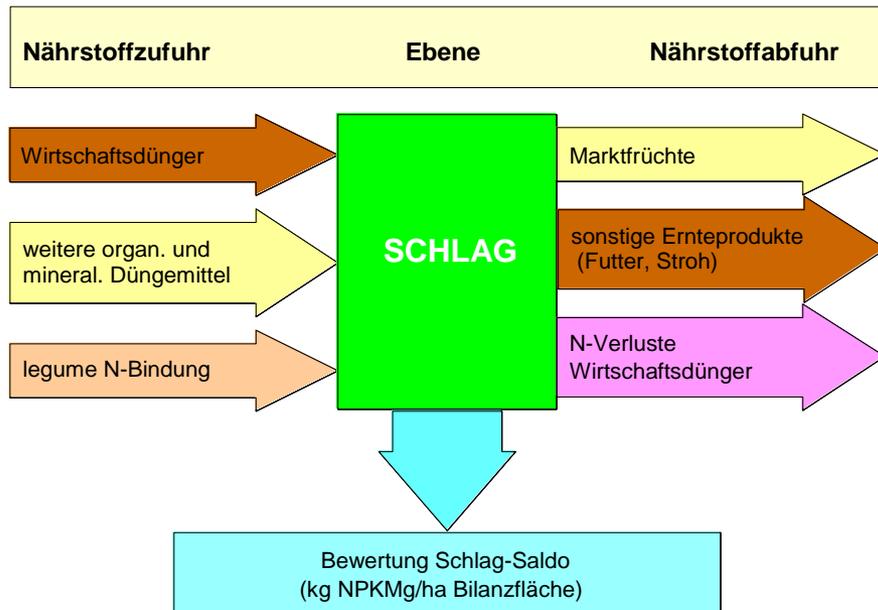


Merkmal	Varianten (N)	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
C _{org} (% TM)	2677	0,23	9,45	1,33	0,81
N _t (% TM)	1819	0,03	0,35	0,12	0,07
C/N-Verhältnis Boden	1780	6,6	30,0	11,0	2,5
pH-Wert	2734	3,1	8,2	6,1	0,7
Bodenart*	2853	1	8	4,1	2,0
Tongehalt (%)	2507	0,1	69,6	11,9	7,6
Temperatur (° C)	2681	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

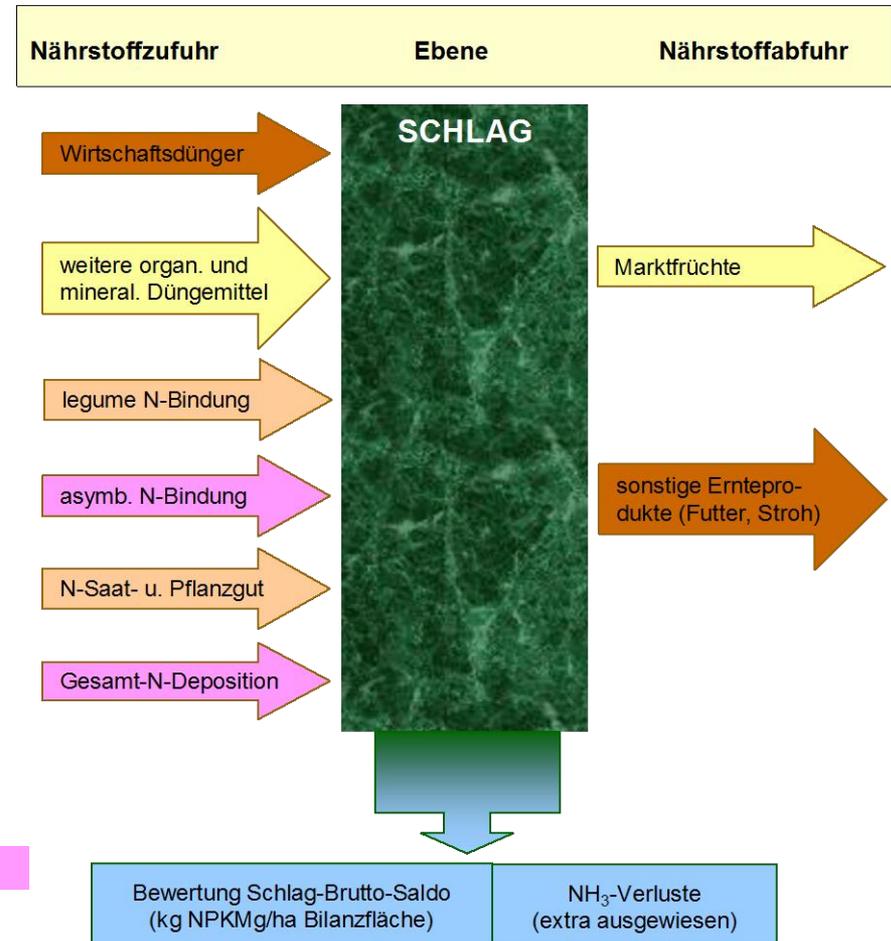
Schlag-Bilanz



Nr. 1

Legende: berechnet aufgezeichnet geschätzt pauschal

Schlag-Brutto-Bilanz



Nr. 3

Schlagbilanz

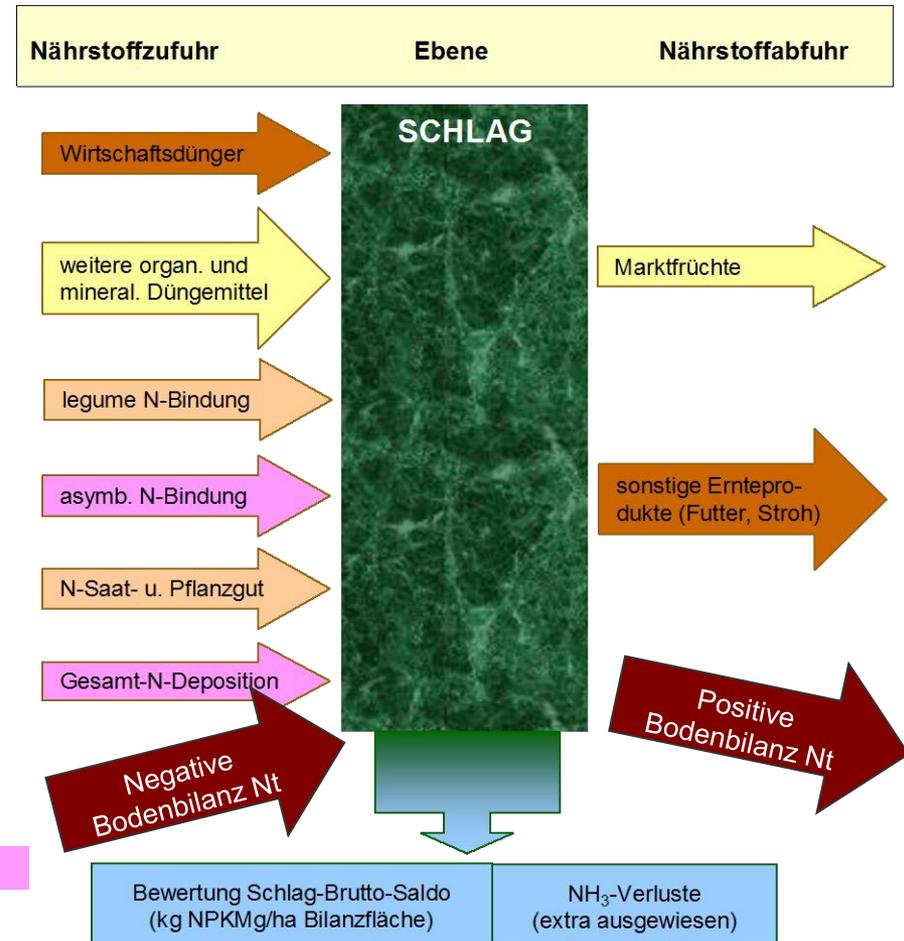
Schlag-Bilanz



Nr. 2

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

Schlag-Brutto-Bilanz



Nr. 4

Varianten der mineralischen und organischen Düngung

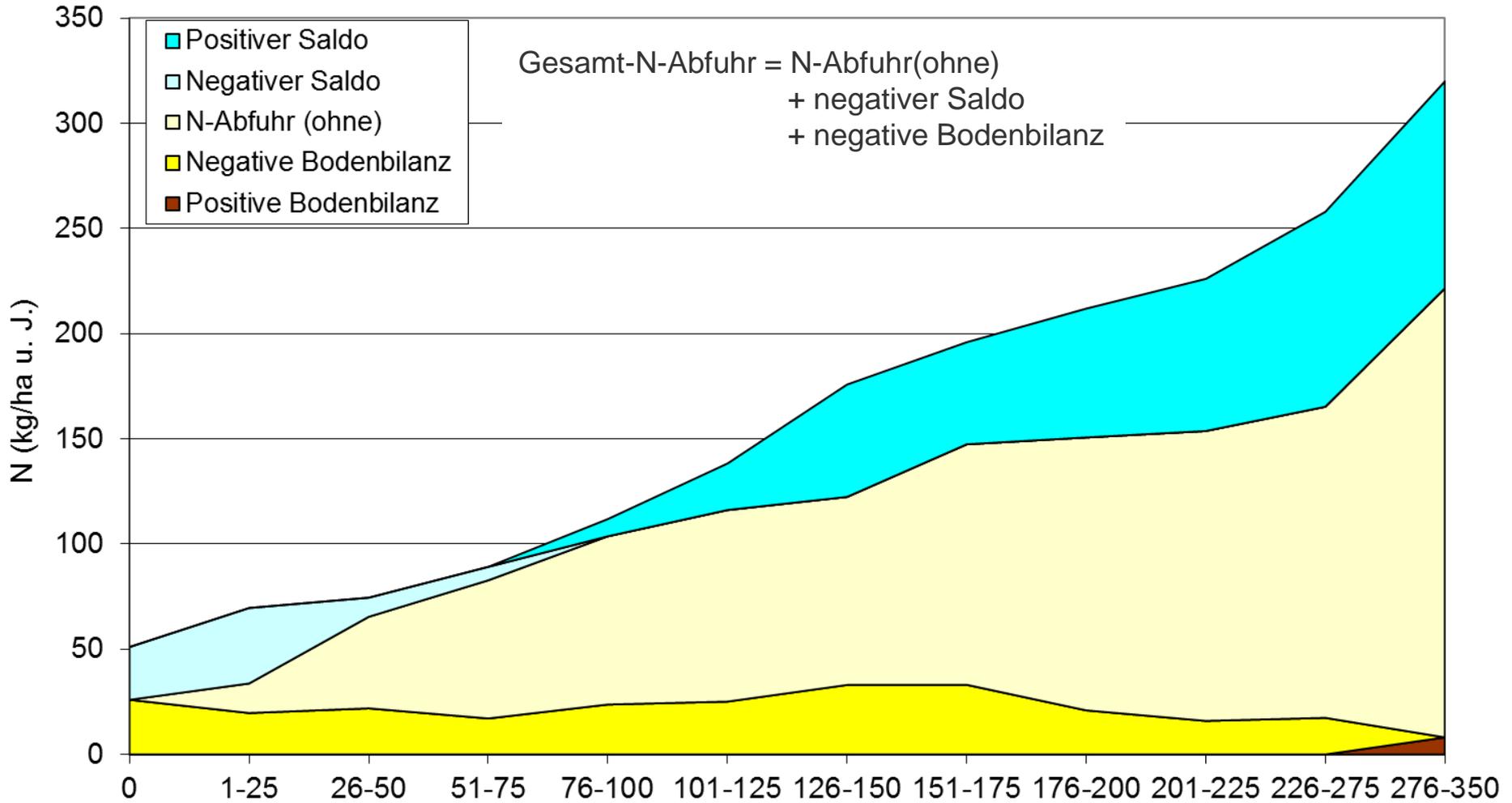
LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE



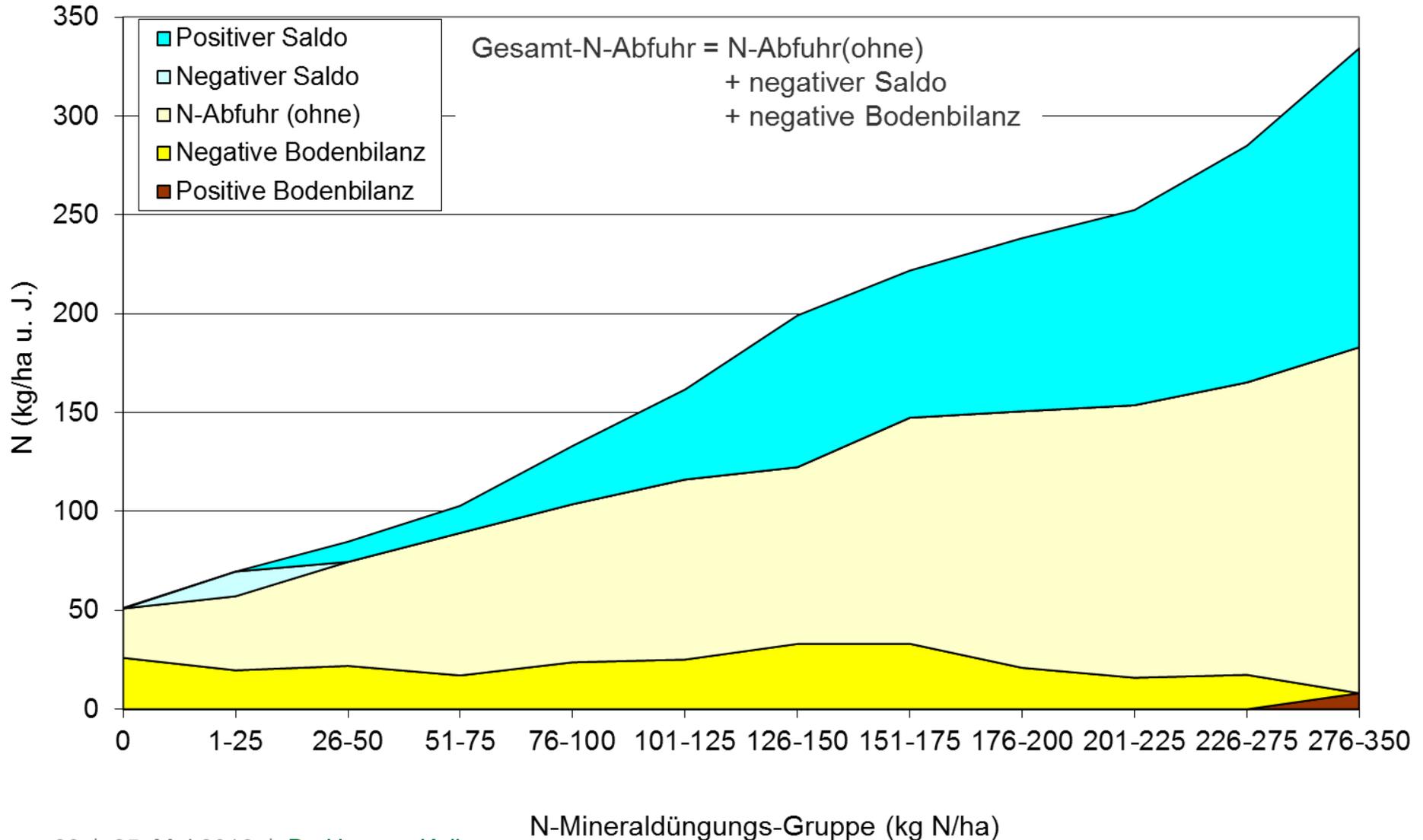
Freistaat
SACHSEN

- 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

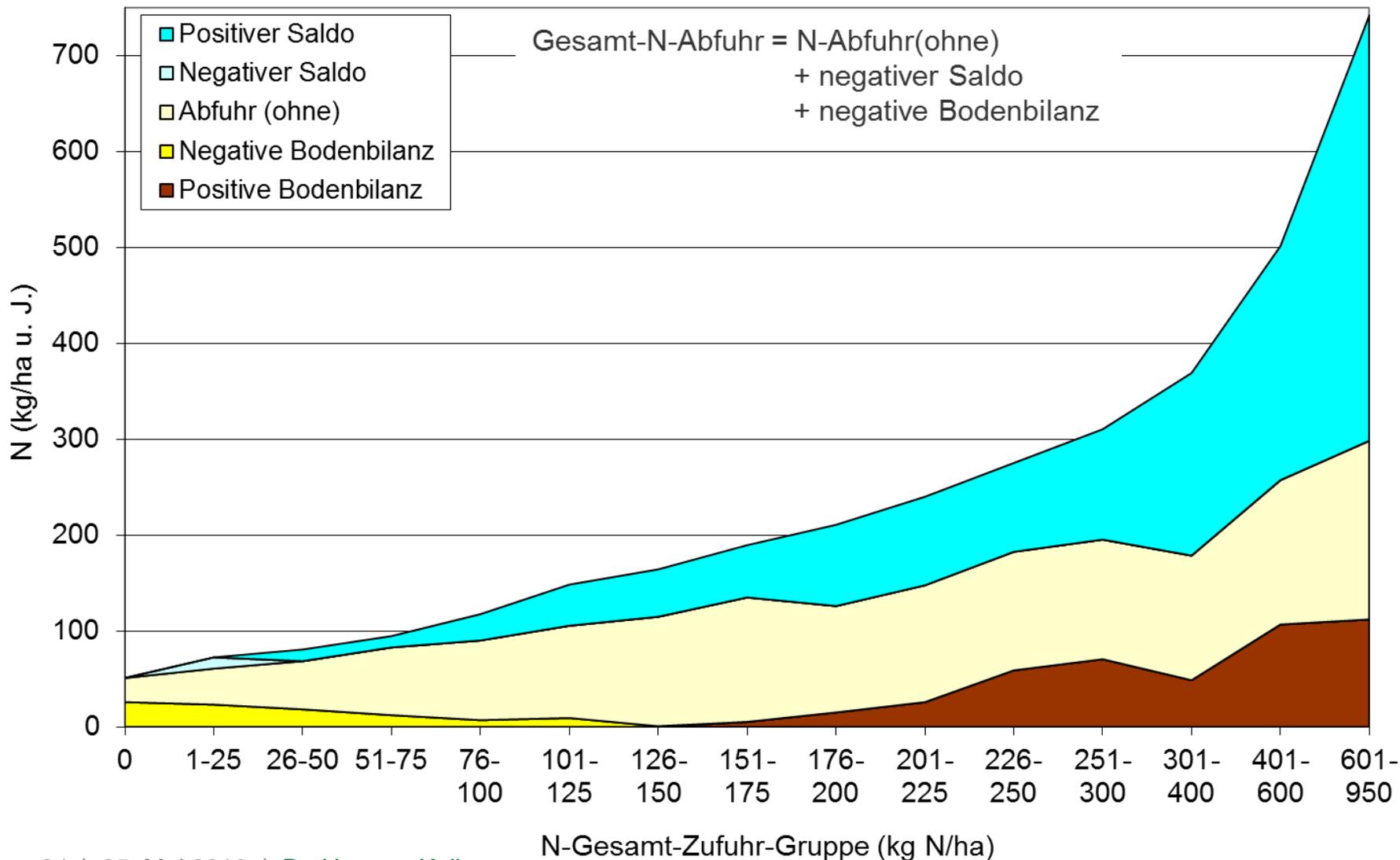


Gesamtbilanz: N-Mineraldüngung (mit N-Deposition) Nr. 4

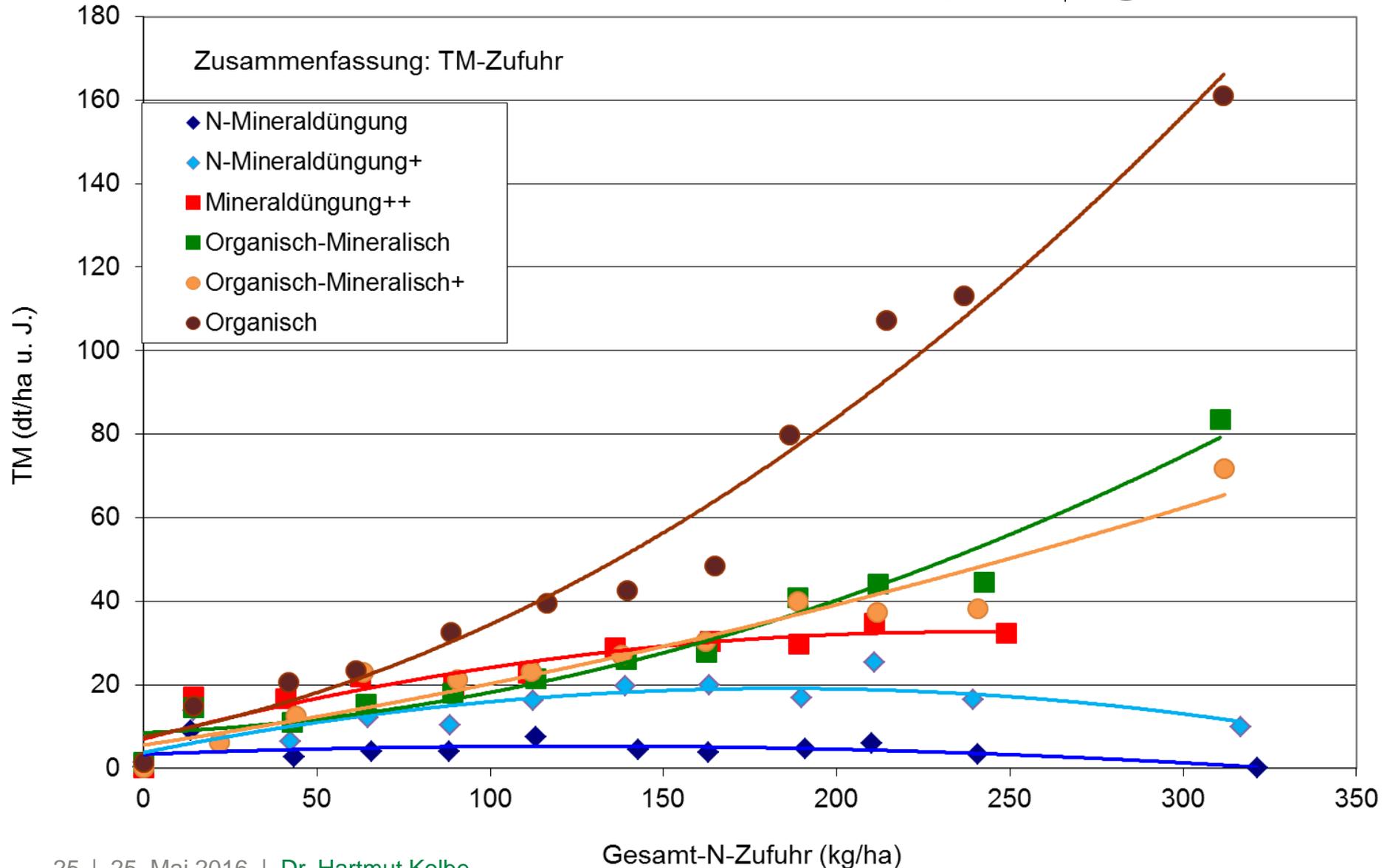


Gesamtbilanz: Organische Düngemittel

(mit Deposition, abs. Werte) Nr. 4

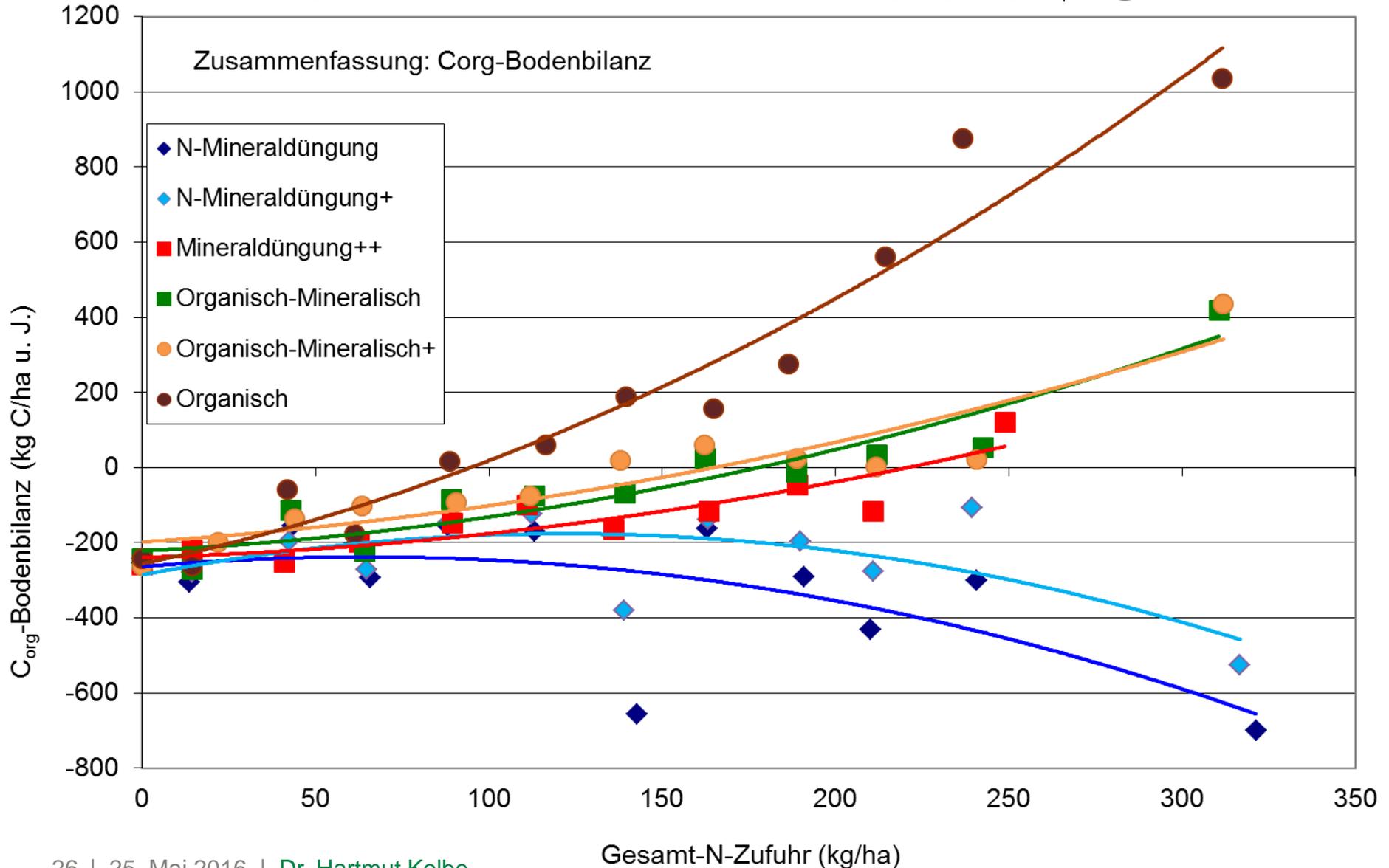


TM-Zufuhr



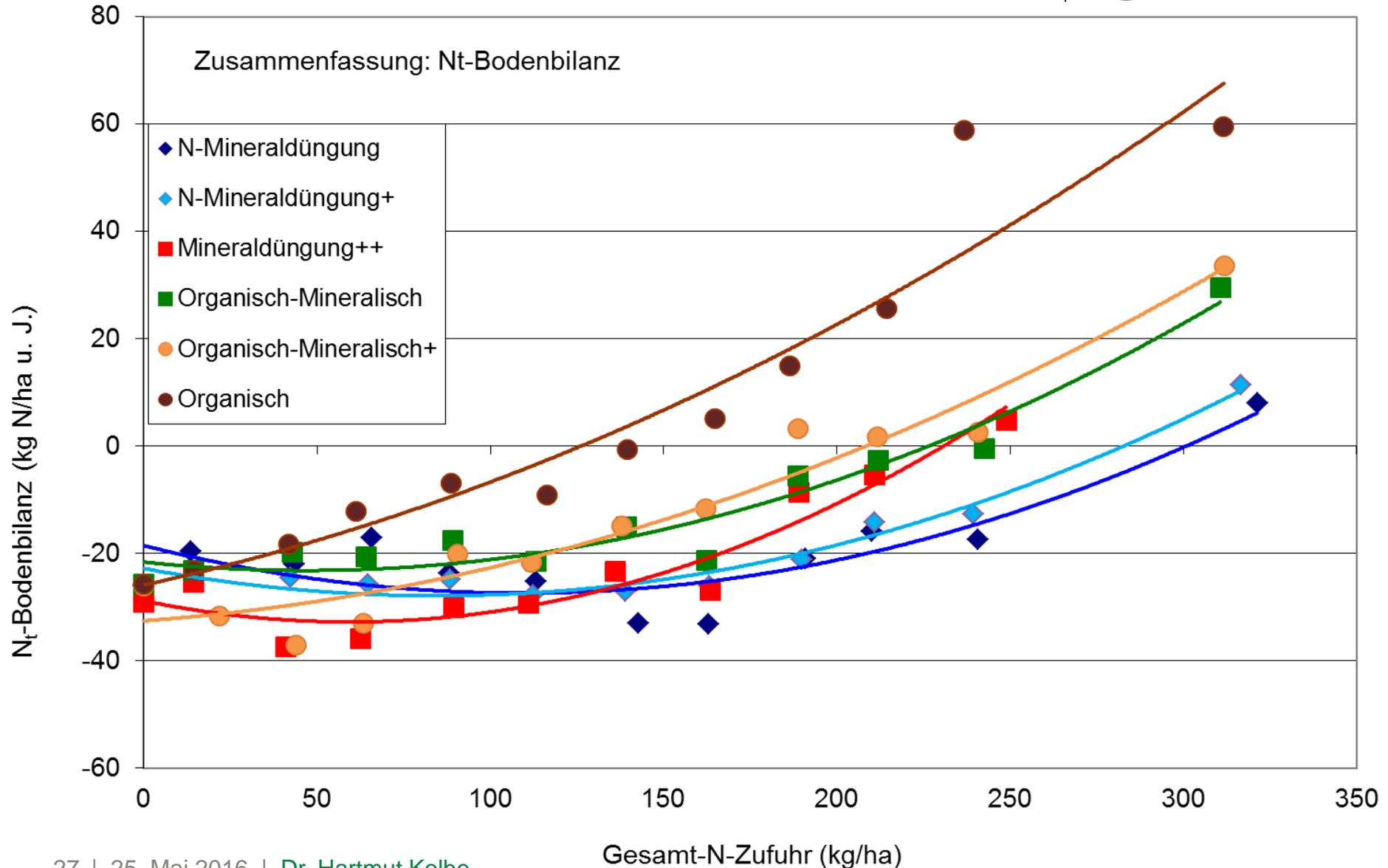
C_{org}-Bodenbilanz

Zusammenfassung: C_{org}-Bodenbilanz



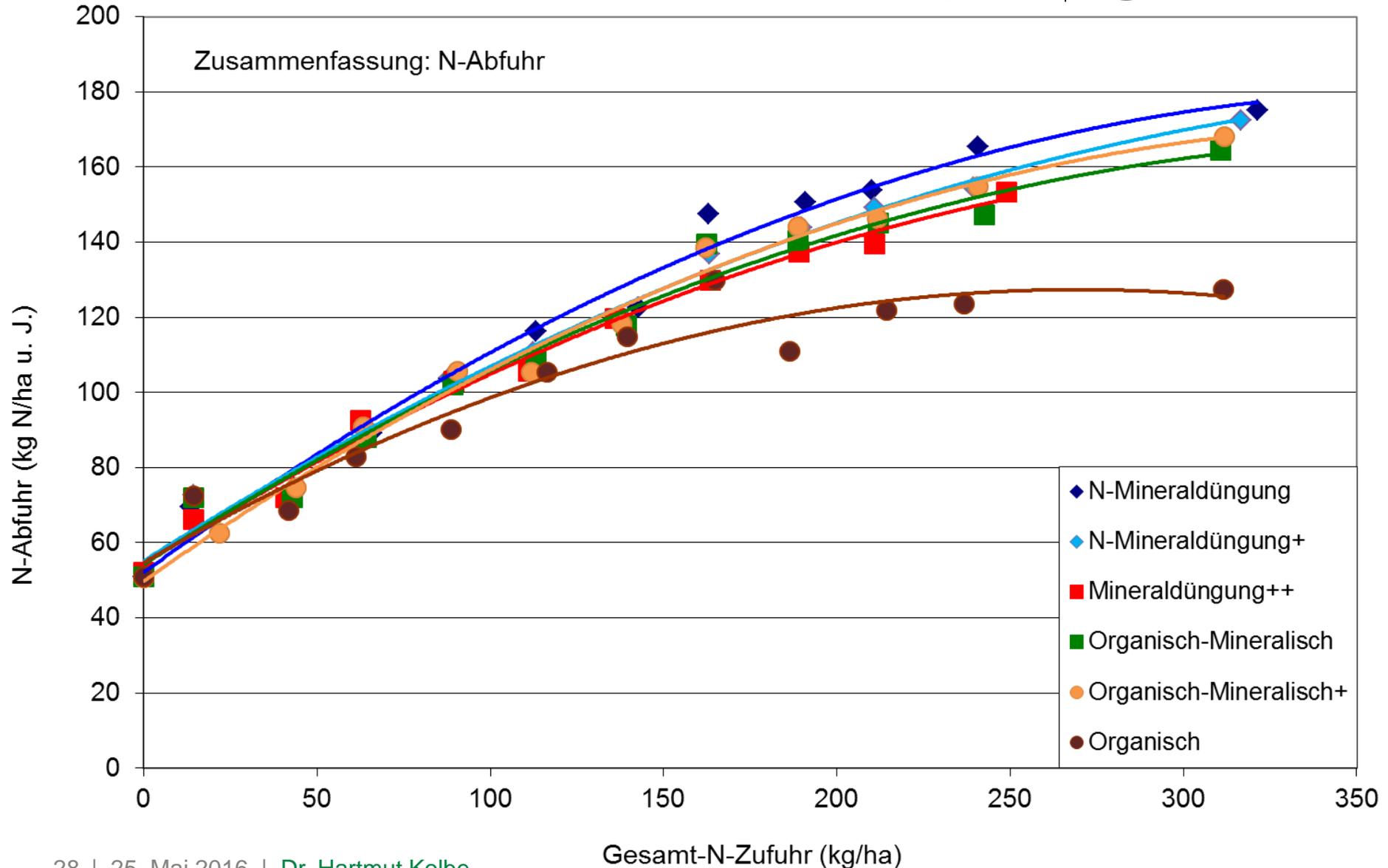
N_t-Bodenbilanz

Zusammenfassung: N_t-Bodenbilanz



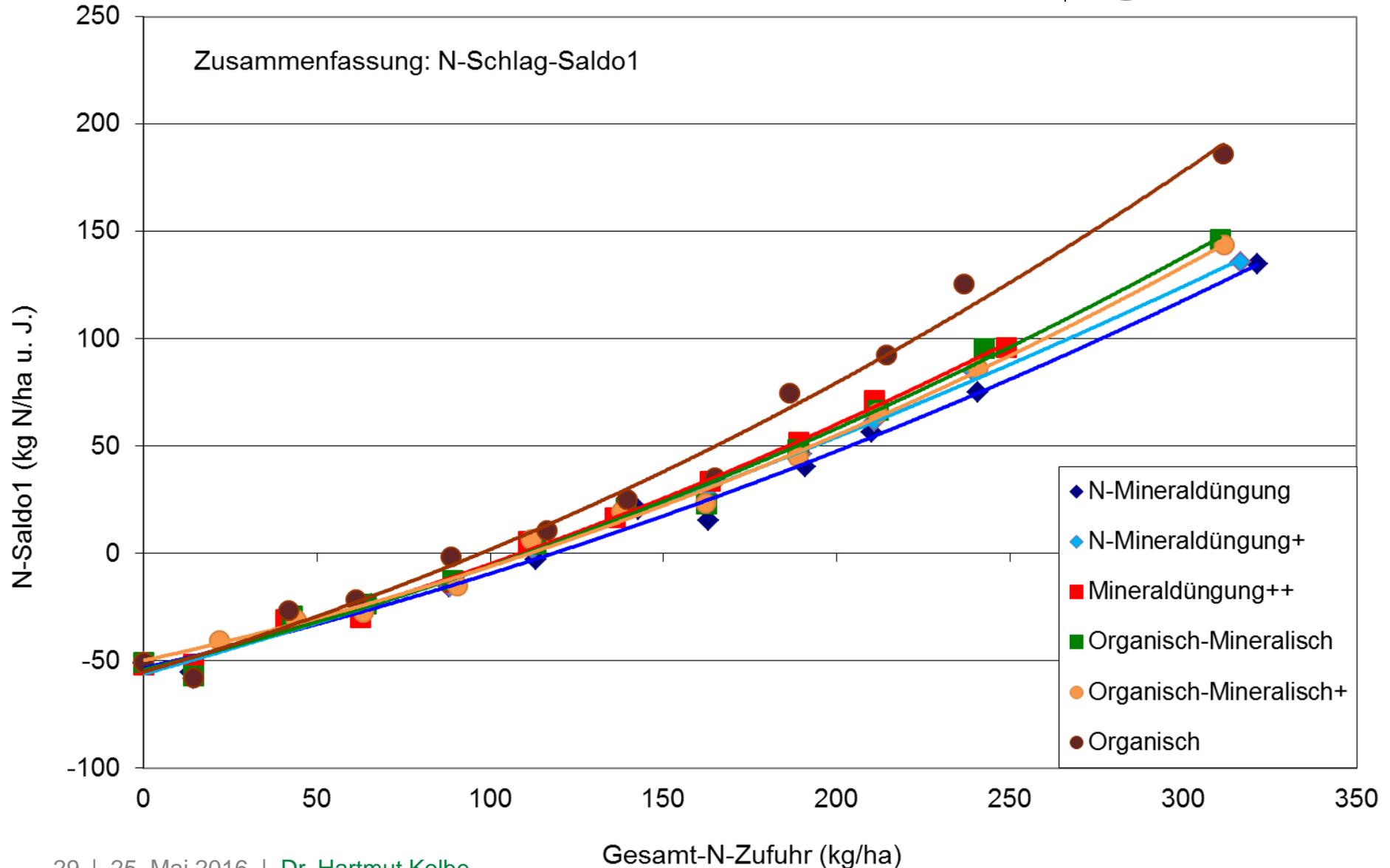
N-Abfuhr

Zusammenfassung: N-Abfuhr

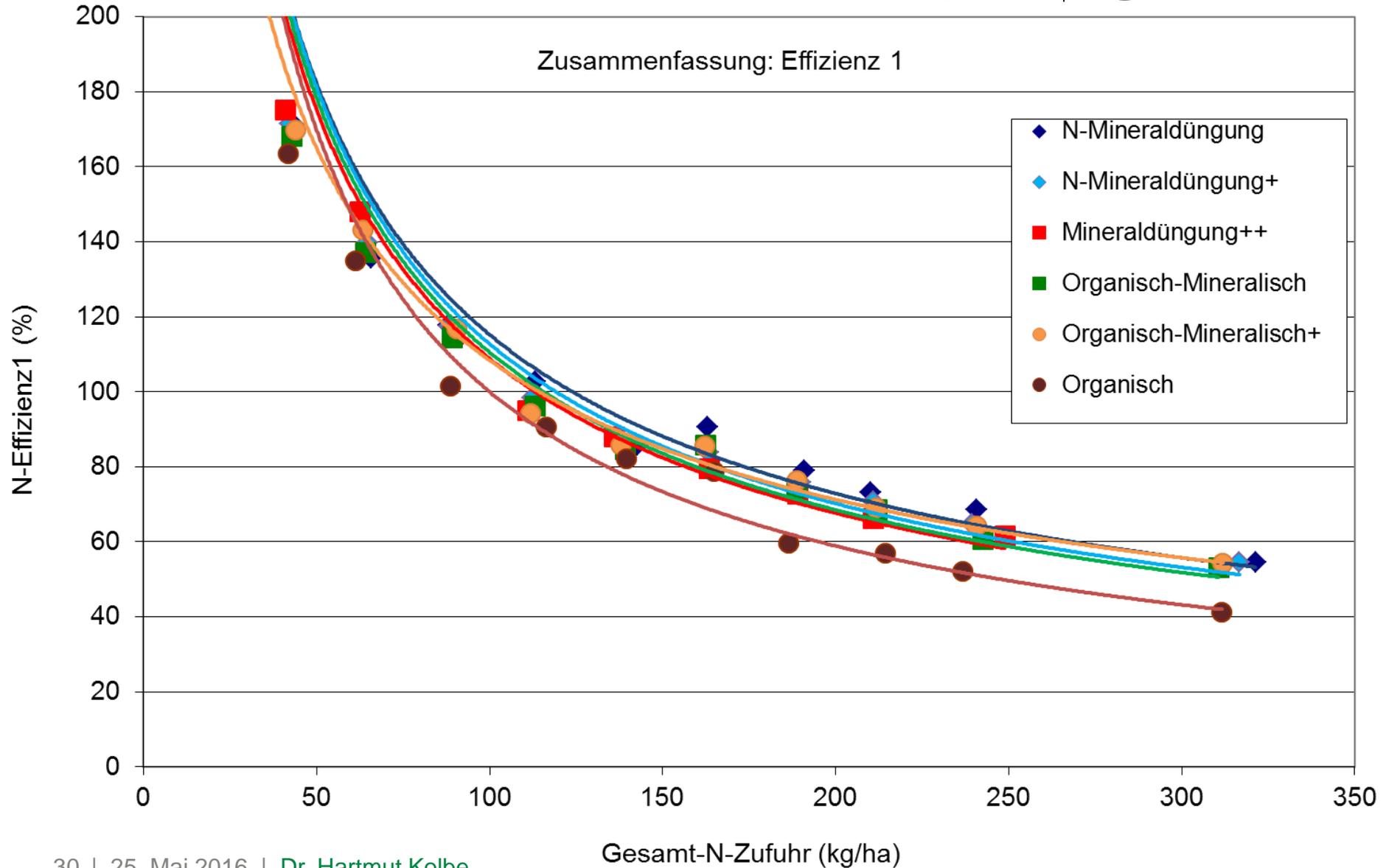


N-Saldo Nr. 1:

Zusammenfassung: N-Schlag-Saldo1

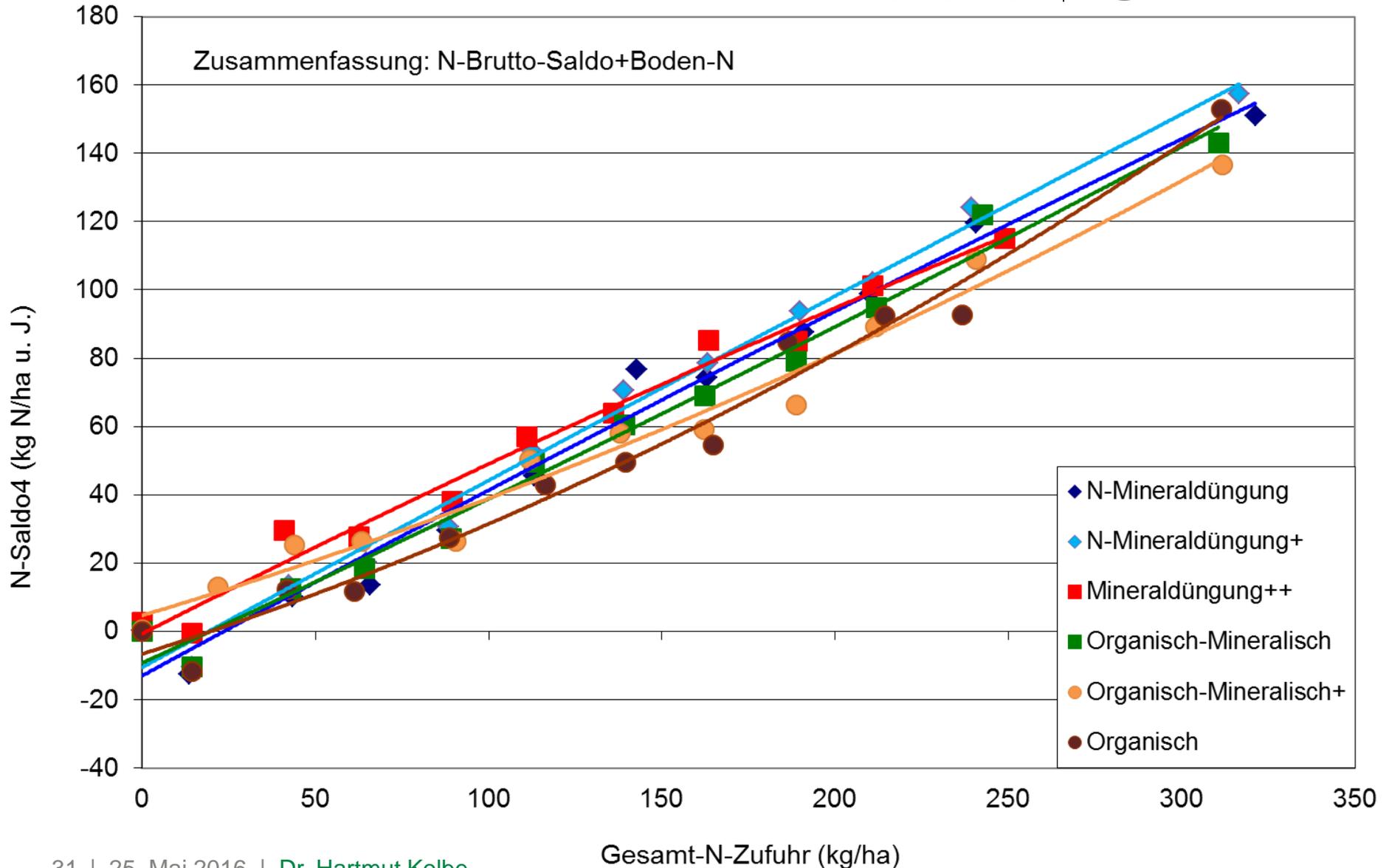


N-Effizienz Nr 1:

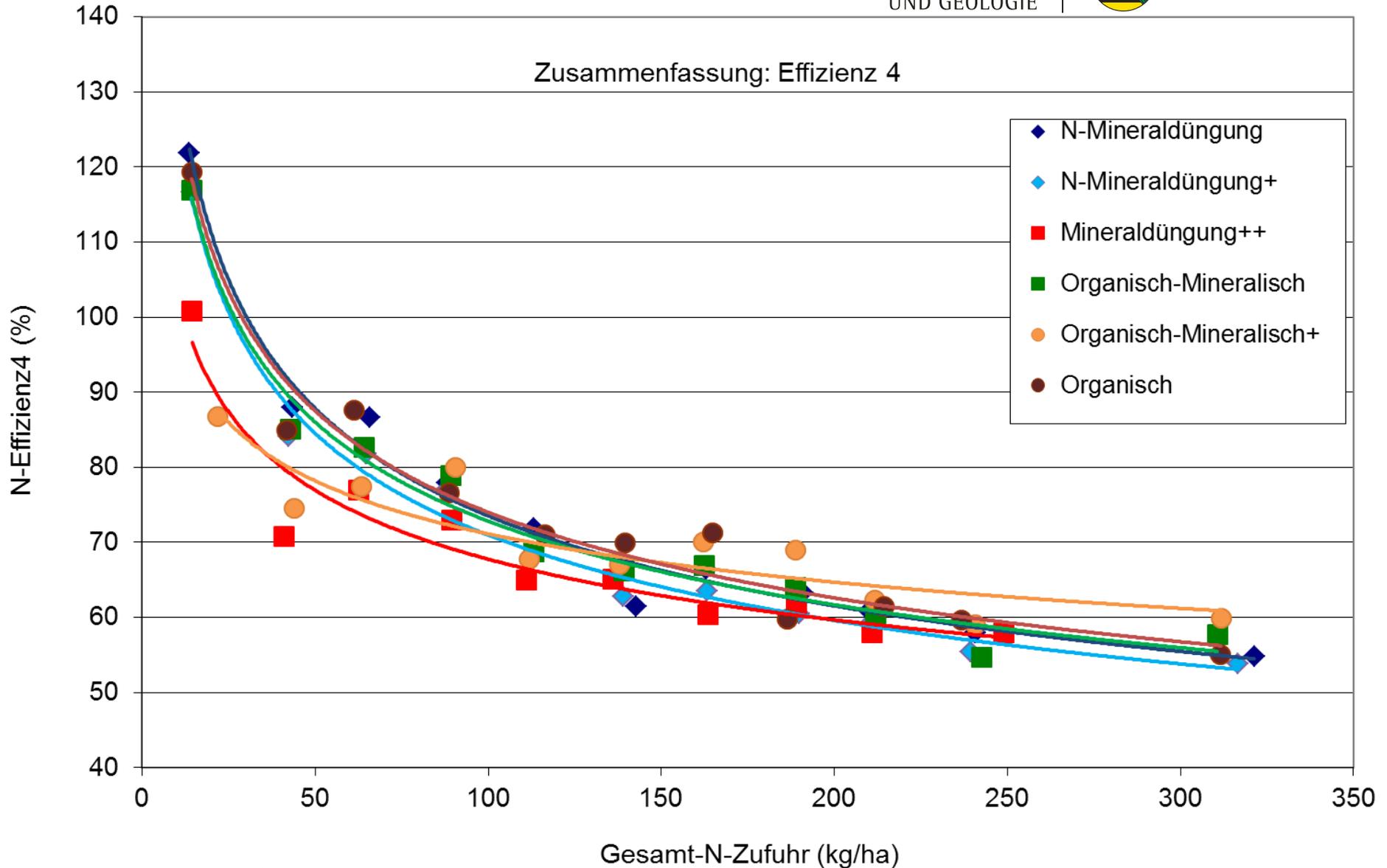


N-Saldo Nr. 4:

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 _{org} -Bilanz (kg/ha)	N _t -Bilanz (kg/ha)	N-Saldo 1 (kg/ha)	N-Saldo 4 (kg/ha)	N-Effiz. 1 (%)	N-Effiz. 4 (%)
MW: 26 – 175 kg N-Zufuhr									
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
MW: 126 – 350 kg N-Zufuhr									
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 CO₂ 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 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!

