

# Humusumsatz und Nährstoffbilanzen



Quelle: LfULG

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus Dauerversuchen Mitteleuropas

# Aufnahme und Auswertung von Dauerversuchen unterschiedlicher Standorte und Themenstellungen aus Mitteleuropa

- Ursprung: Entwicklung von Beratungs-Systemen zum Nährstoffmanagement im ökologischen und konventionellen Landbau (und Integration ins Programm BEFU):**
- Methoden der Grunddüngung (P, K, Mg)
  - Prüfung und Verbesserung von Methoden der Humusbilanzierung (VDLUFA, STAND)
  - Prüfung und Verbesserung von C- und N-Prozessmodellen (CCB, RothC)
  - Validierung von Methoden (VDLUFA, STAND, CCB, REPRO-basierte Verfahren)
  - Datenbasis Dauerversuche **EuroSomnet**: [www.ufz.de/somnet](http://www.ufz.de/somnet)
  - Modell REGRESS (statistisches Modell zum Einfluss v. Standort, Boden, Klima u. Bewirtschaftung auf  $C_{org}$ ,  $N_t$  u. C/N-Verhältnis im Boden)

**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)

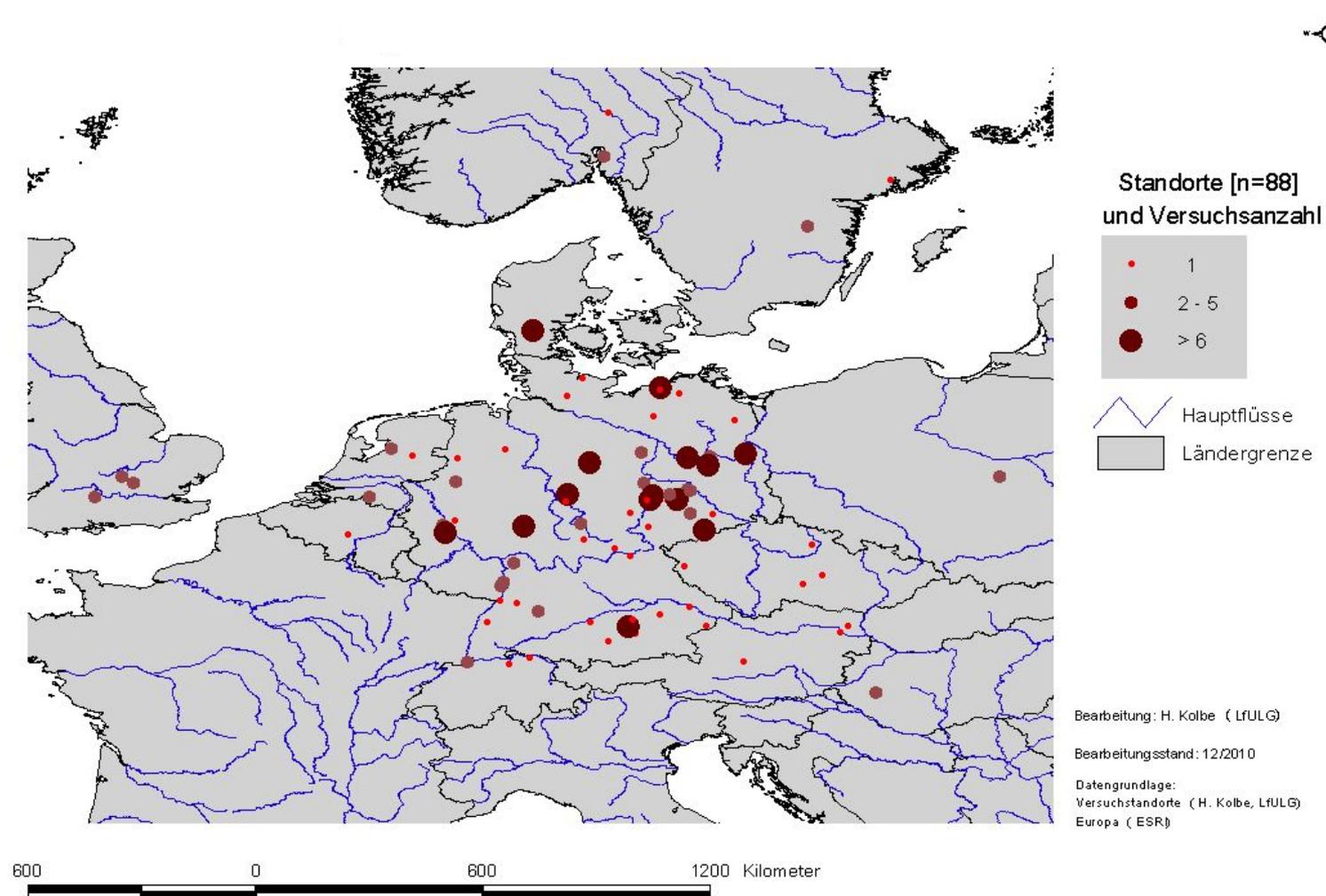
1. Bestimmung bzw. Ermittlung von sicheren Anfangs- und Endwerten für  $C_{\text{org}}$ - und  $N_t$ -Gehalte, Anzahl der Versuchsjahre, Ermittlung der  $C_{\text{org}}$ - und  $N_t$ -Differenzen je 1 Jahr
2. Zufuhrhöhe an organ. Materialien, N-Zufuhren, Fruchtfolgen, N-Abfahren, etc.
3. Filterung von 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  $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ , 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



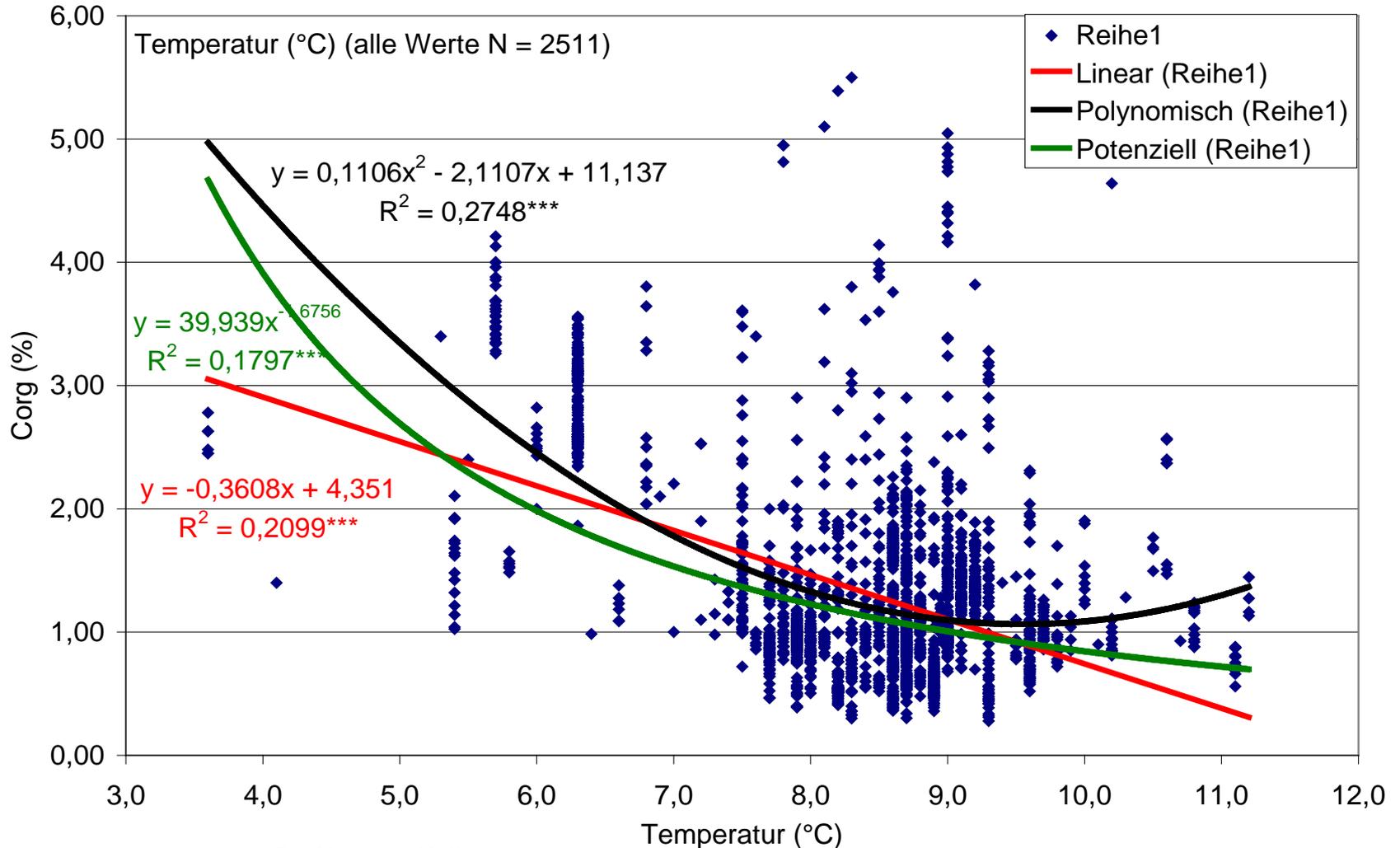
Merkmal	Varianten (N)	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
C <sub>org</sub> (% TM)	2677	0,23	9,45	1,33	0,81
N <sub>t</sub> (% TM)	1819	0,03	0,35	0,12	0,07
C/N-Verhältnis Boden	1780	6,6	30,0	11,0	2,5
pH-Wert	2734	3,1	8,2	6,1	0,7
Bodenart*	2853	1	8	4,1	2,0
Tongehalt (%)	2507	0,1	69,6	11,9	7,6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

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

# Programm

- I Einflussfaktoren auf  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte im Boden (einfache und multiple Regressionsanalyse)**
- I Einfluss organischer Düngemittel auf die  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Veränderung im Boden zur Ermittlung von Humifizierungskoeffizienten (Mittelwert- und Boxplot-Analysen für Gruppen unterschiedlicher Zufuhrhöhen)**
- I Wechselwirkungen zwischen organischer und mineralischer Düngung auf Böden mit unterschiedlichen C/N-Verhältnissen auf die  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte des Bodens (Regressionsanalyse, Modell REGRESS)**
- I Einfluss mineralischer, mineralisch-organischer und organischer Düngung auf die Komponenten der N- und C-Bilanz sowie die Nährstoff-Effizienz in Folge steigender N-Zufuhr (Mittelwert-Analysen für Gruppen unterschiedlicher Zufuhrhöhen)**

# Einfluss der Temperatur auf die $C_{org}$ -Gehalte (Einfach-Regression)

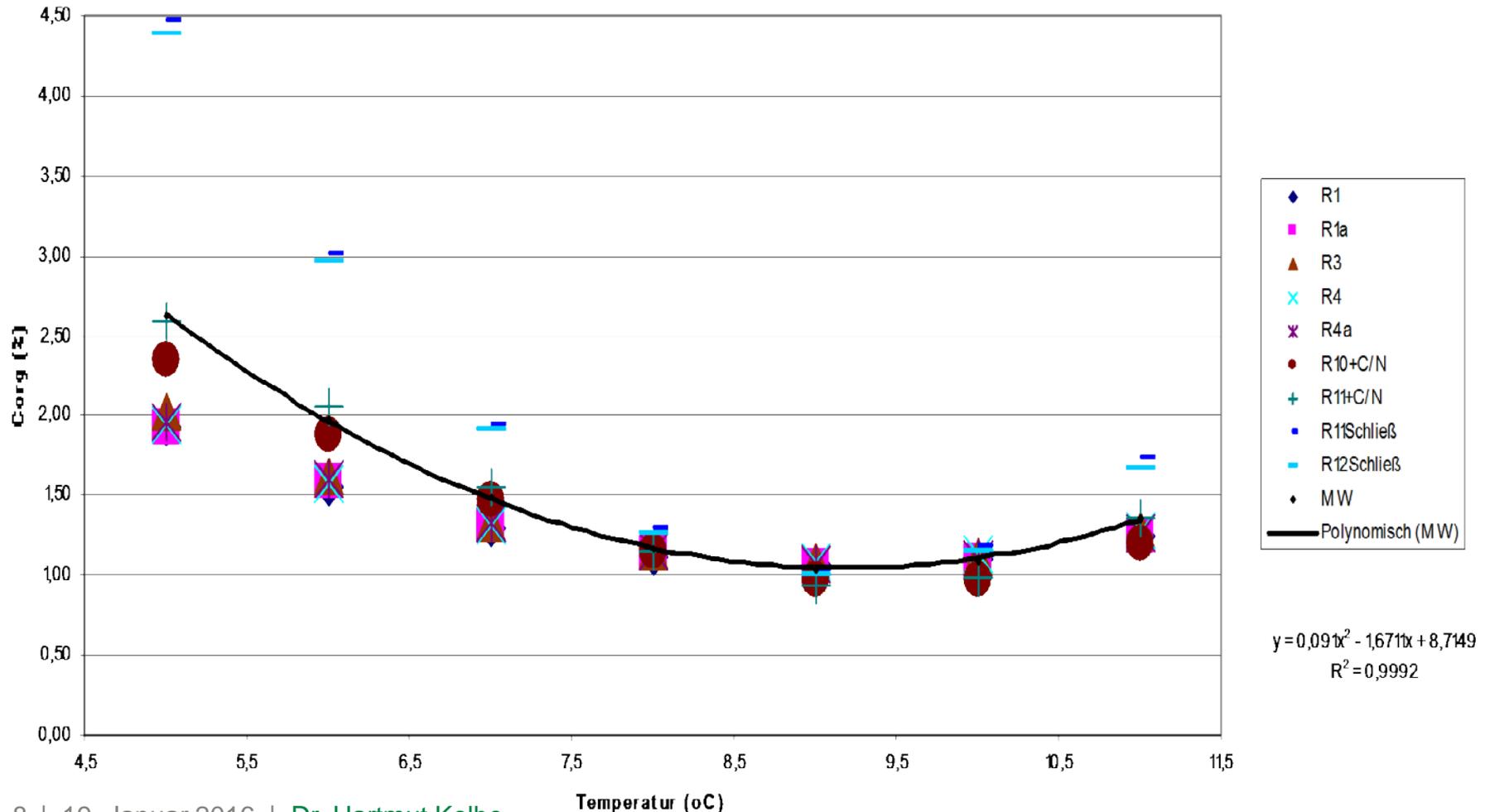


# Einfluss der Temperatur auf die $C_{org}$ -Gehalte des Bodens

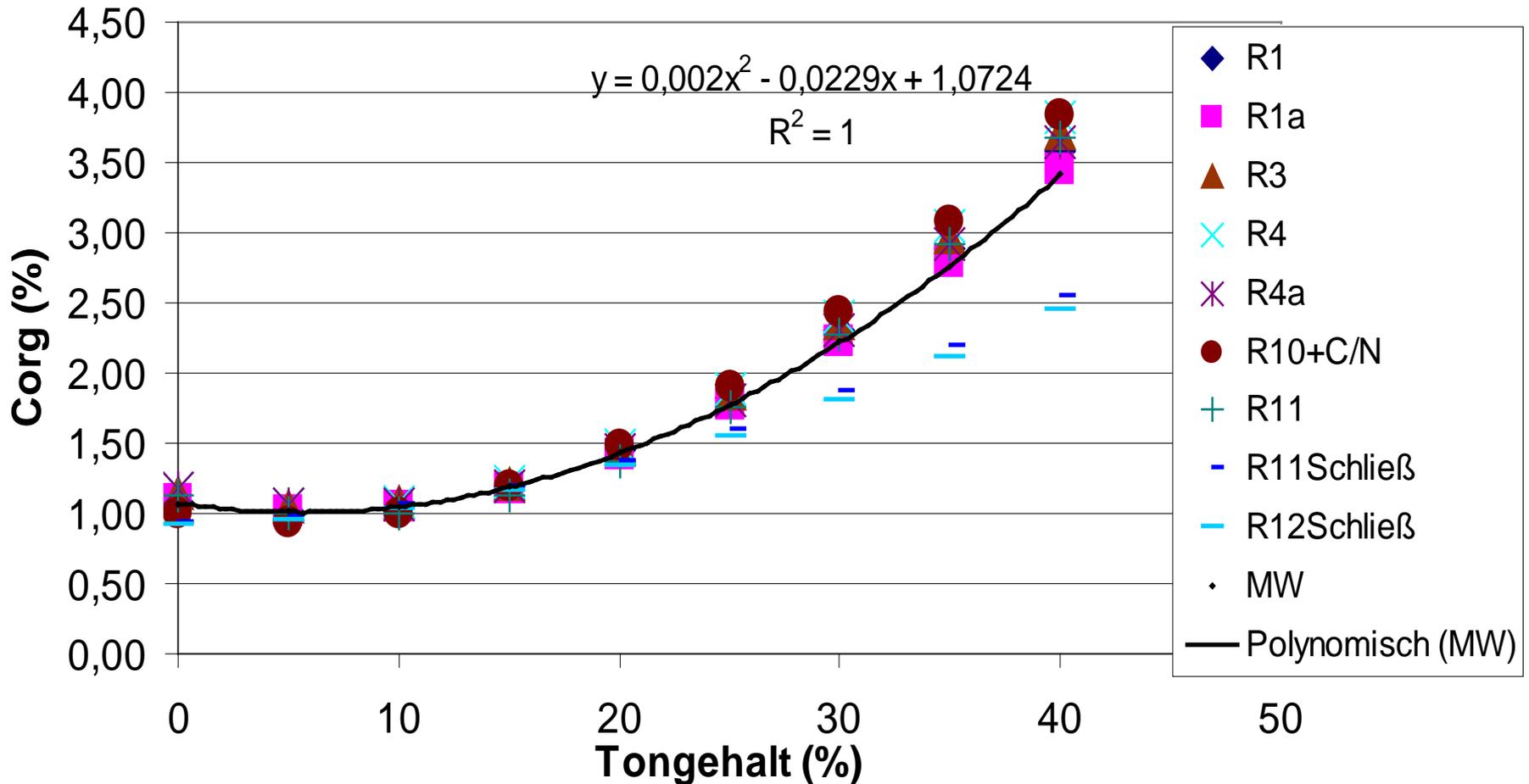
LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



(Auswertung von ca. 240 Dauerversuchen aus Mitteleuropa)

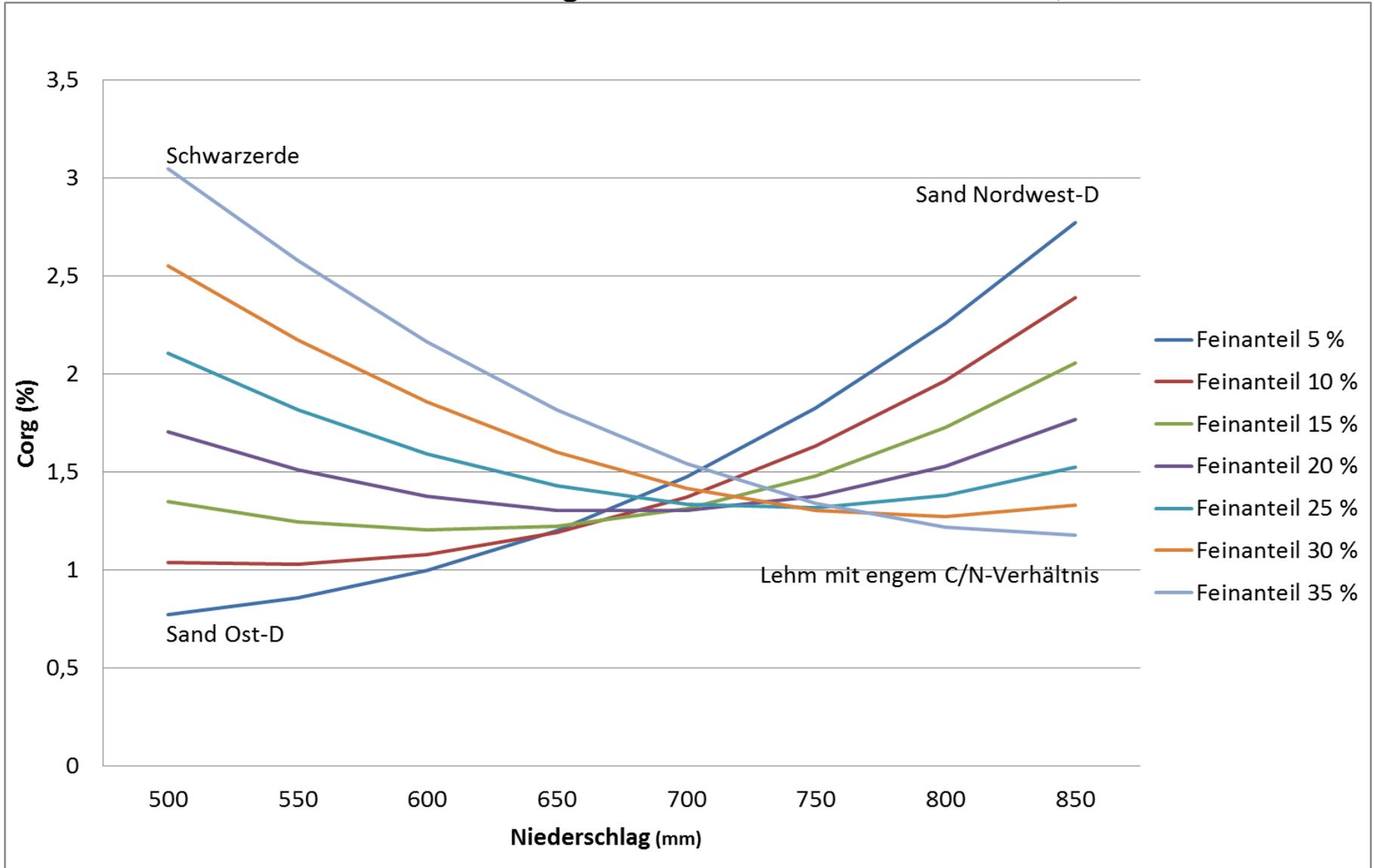


# Einfluss der Tongehalte auf die $C_{org}$ -Gehalte des Bodens (Auswertung von ca. 240 Dauerversuchen)



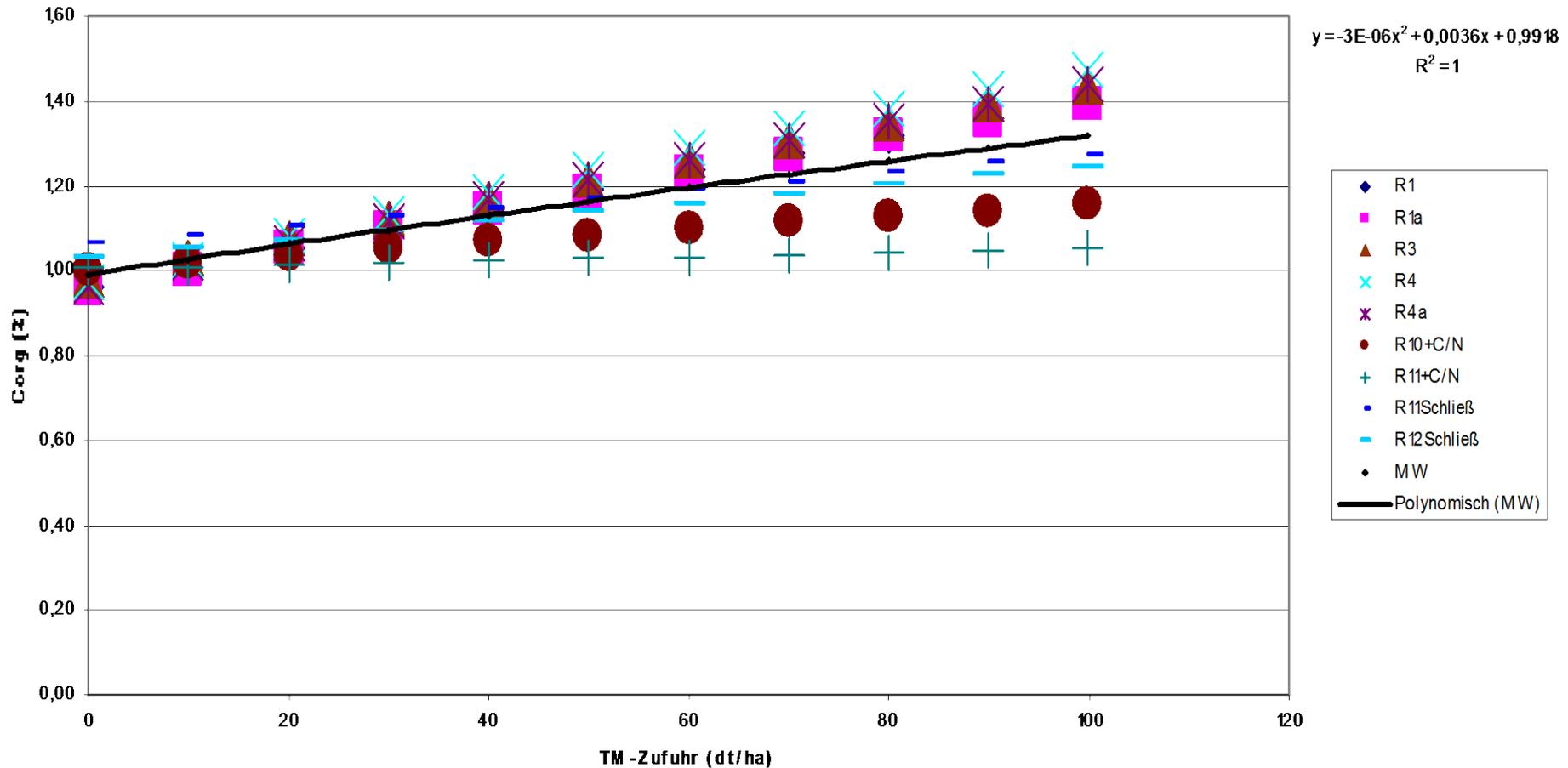
# Einfluss von Niederschlag und Boden- Feinanteil auf die $C_{org}$ -Gehalte

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



# Einfluss der TM-Zufuhr (gesamt) auf die Humusgehalte

(Auswertung von ca. 240 Dauerversuchen)



# Zusammenfassung: Einflussfaktoren

## auf den C<sub>org</sub>-Gehalt des Bodens

(R<sup>2</sup> in %)

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



Freistaat  
SACHSEN

Faktor	Modell ohne WW-Glieder	Modell mit WW-Glieder		Mittelwert
<b>Temperatur, Temperatur<sup>2</sup></b>	65,3	12,3	65,3	<b>ca. 48</b>
<b>Textur: Tongehalt, Tongehalt<sup>2*</sup></b>	18,3	6,2	18,5	<b>ca. 23</b>
WW Tongehalt x pH-Wert			0,8	
WW Tongehalt x Niederschlag		48,9		
WW Tongehalt x N-Bilanz			0,2	
Bodenart, Bodenart <sup>2**</sup>		1,5		
<b>Niederschlag, Niederschlag<sup>2</sup></b>	5,3	5,2	0,9	<b>ca. 14</b>
WW Niederschlag x pH-Wert			5,5	
<b>Fruchtfolge</b>				<b>ca. 2,5</b>
Legum.-Anteil, Legum.-Anteil <sup>2</sup>	1,7	0,7	1,6	
Hackfrucht- u. Getreide-Anteil	0,2	4,3		
<b>Gesamt-TM-Zufuhr</b>	0,8	0,3	0,4	<b>ca. 0,5</b>
<b>N-Bilanz: Zufuhr, Abfuhr, Saldo</b>		1,5	0,1	<b>ca. 0,4</b>
WW N-Bilanz x Legum.-Anteil			0,2	
<b>pH-Wert</b>	0,1		0,4	<b>ca. 0,3</b>
<b>Summe</b>	<b>91,7</b>	<b>80,9</b>	<b>93,9</b>	<b>ca. 89</b>

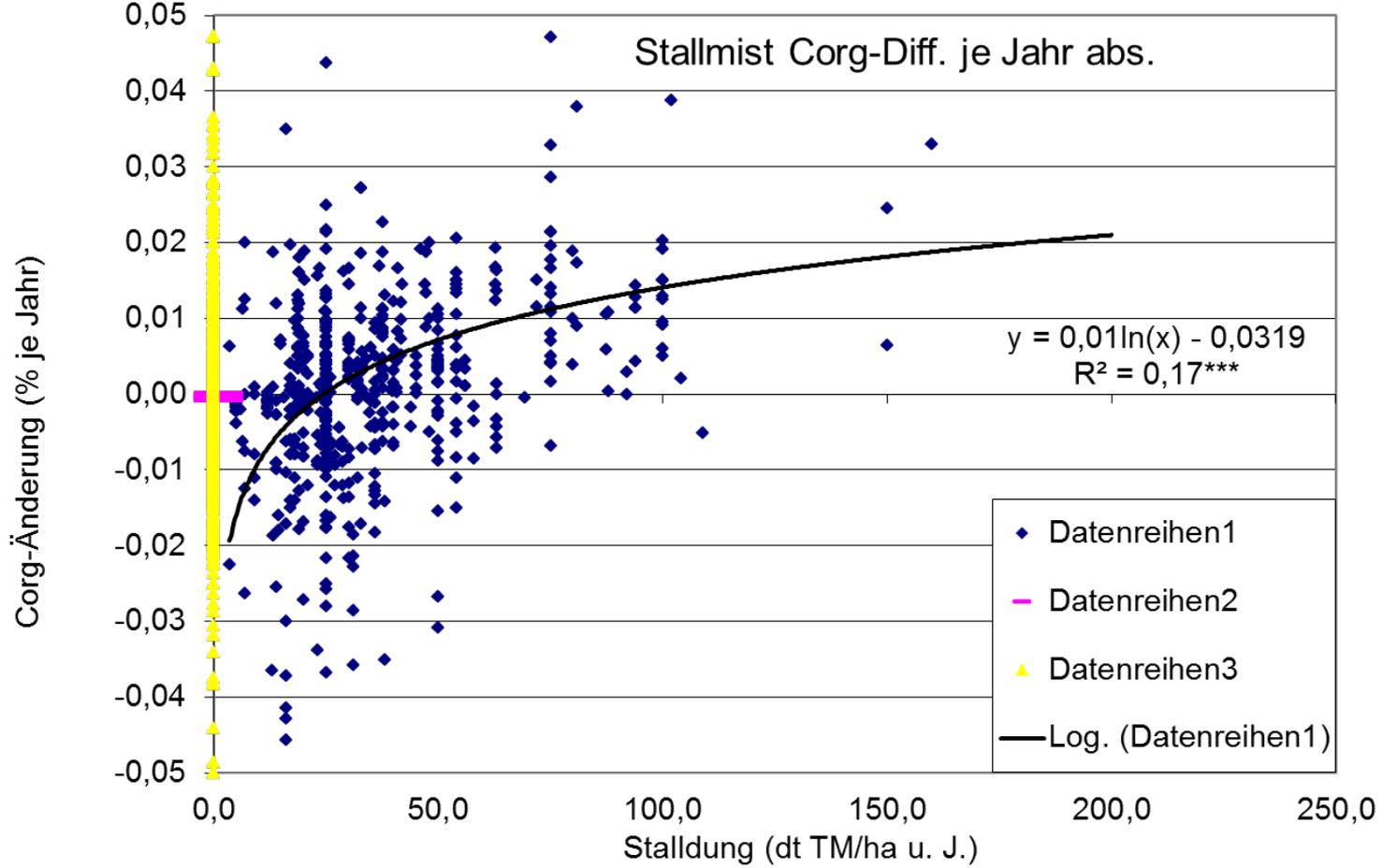
# Programm

- I Einflussfaktoren auf  $C_{\text{org}}$ - und  $N_t$ -Gehalte im Boden (einfache und multiple Regressionsanalyse)
- I Einfluss organischer Düngemittel auf die  $C_{\text{org}}$ - und  $N_t$ -Veränderung im Boden zur Ermittlung von Humifizierungskoeffizienten: Kompost, Stalldung, Gülle, Stroh, Gründüngung (Mittelwert- und Boxplot-Analysen für Gruppen unterschiedlicher Zufuhrhöhen)
- I Wechselwirkungen zwischen organischer und mineralischer Düngung auf Böden mit unterschiedlichen C/N-Verhältnissen auf die  $C_{\text{org}}$ - und  $N_t$ -Gehalte des Bodens (Regressionsanalyse, Modell REGRESS)
- I Einfluss mineralischer, mineralisch-organischer und organischer Düngung auf die Komponenten der N- und C-Bilanz sowie die Nährstoff-Effizienz in Folge steigender N-Zufuhr (Mittelwert-Analysen für Gruppen unterschiedlicher Zufuhrhöhen)

# Beispiel Stalldung:

Basis  $C_{org}$ -Gehalt:  $C_{org}$ -Änderung je Jahr

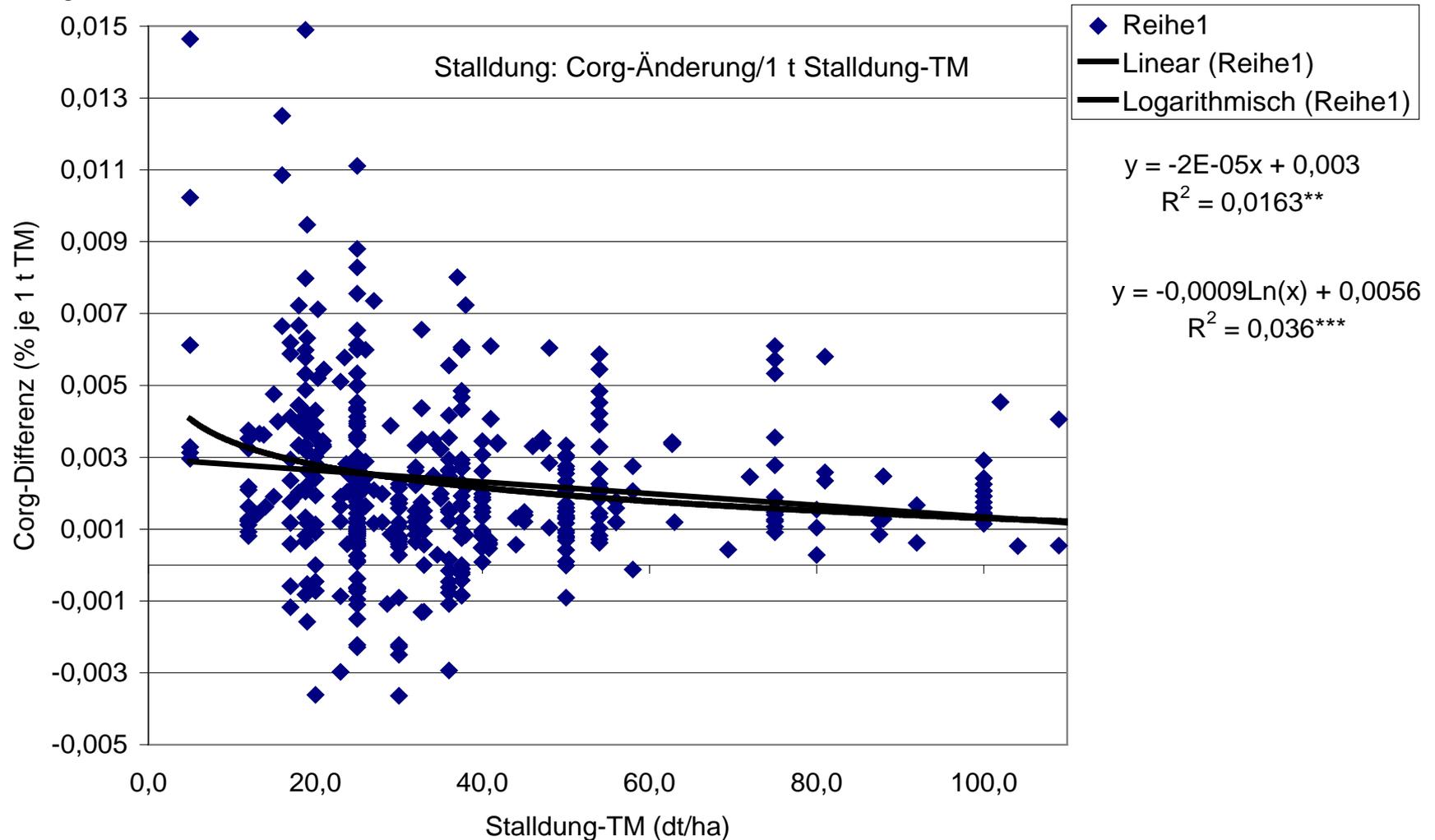
Von  $n = 1541$  Varianten sind 980 Varianten ohne ( $\approx$  Standard, gelb) und 561 Varianten mit Stalldung, davon 471 Varianten in Auswertung einbezogen (blau)

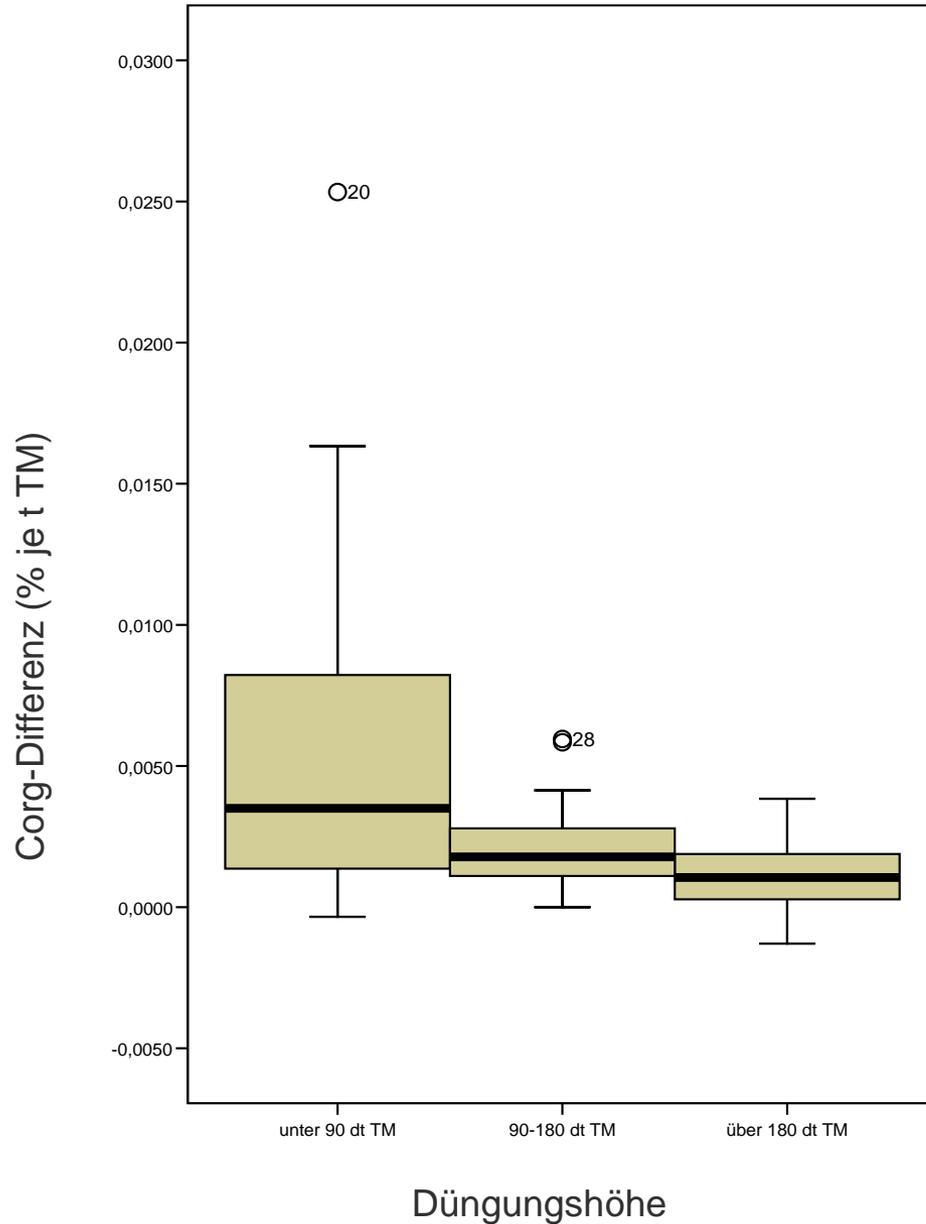


# Stalldung

Basis  $C_{org}$ -Gehalt:

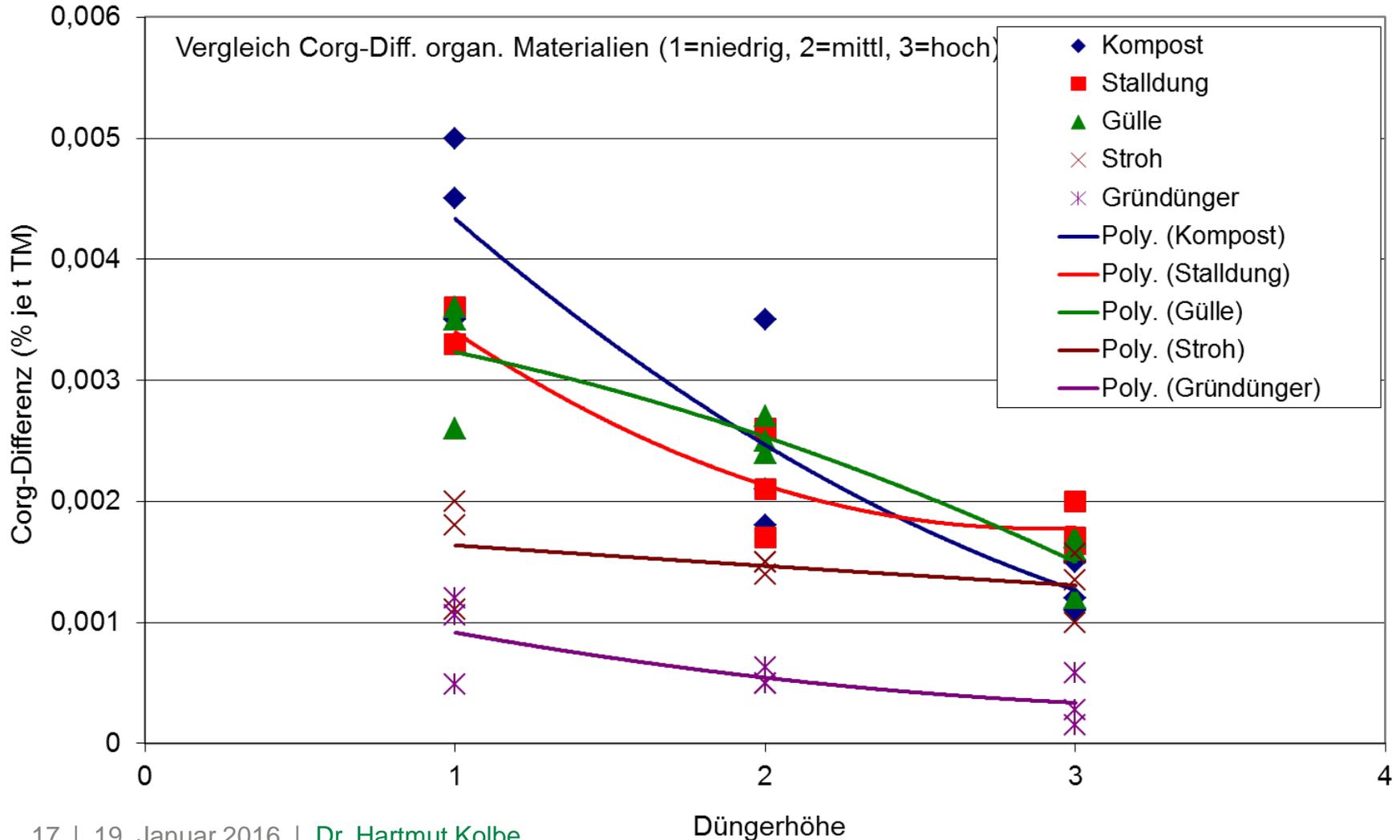
$C_{org}$ -Änderung je Jahr je t TM)





Boxplot:  
Beispiel Kompost

# Zusammenfassende Darstellung: Humifizierungswirkung organ. Düngemittel



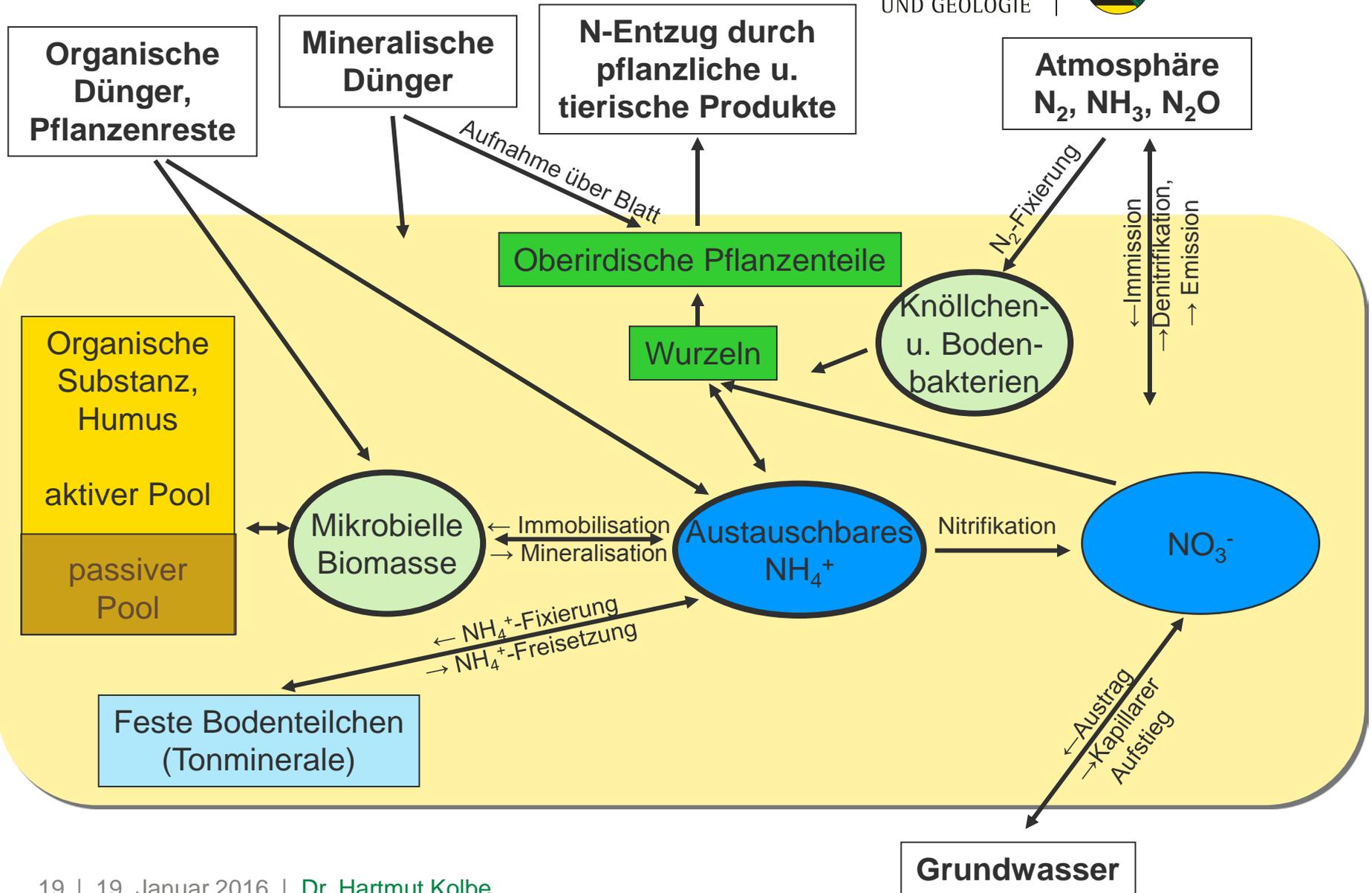
# Programm

- I Einflussfaktoren auf  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte im Boden (einfache und multiple Regressionsanalyse)
- I Einfluss organischer Düngemittel auf die  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Veränderung im Boden zur Ermittlung von Humifizierungskoeffizienten (Mittelwert- und Boxplot-Analysen für Gruppen unterschiedlicher Zufuhrhöhen)
- I Wechselwirkungen zwischen organischer und mineralischer Düngung auf Böden mit unterschiedlichen C/N-Verhältnissen auf die  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte des Bodens (Regressionsanalyse, Modell REGRESS)

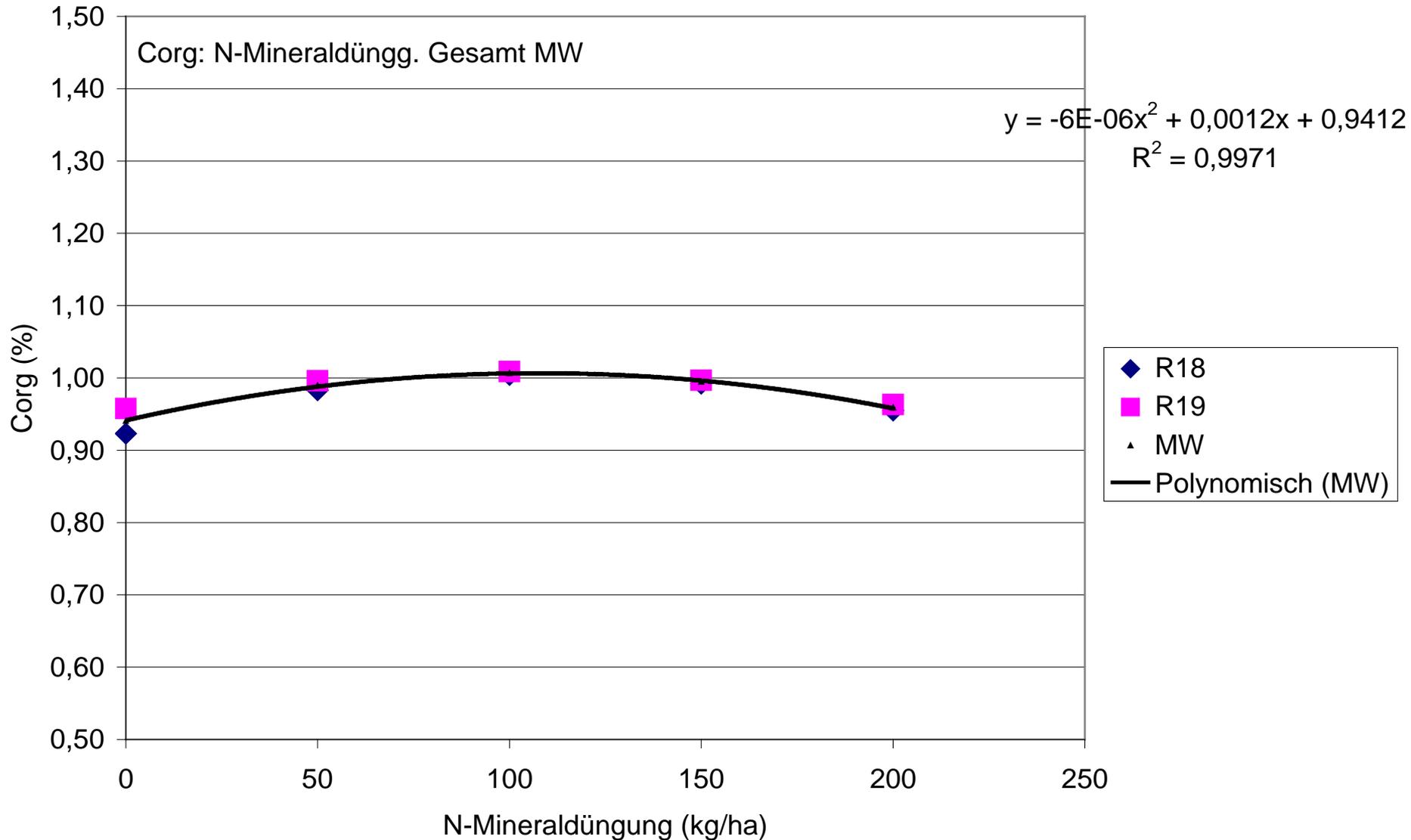
## Ausgangsfrage:

Warum ist es auf bestimmten Lössböden in Sachsen nicht einfach, eine positive Humusversorgung zu gewährleisten?

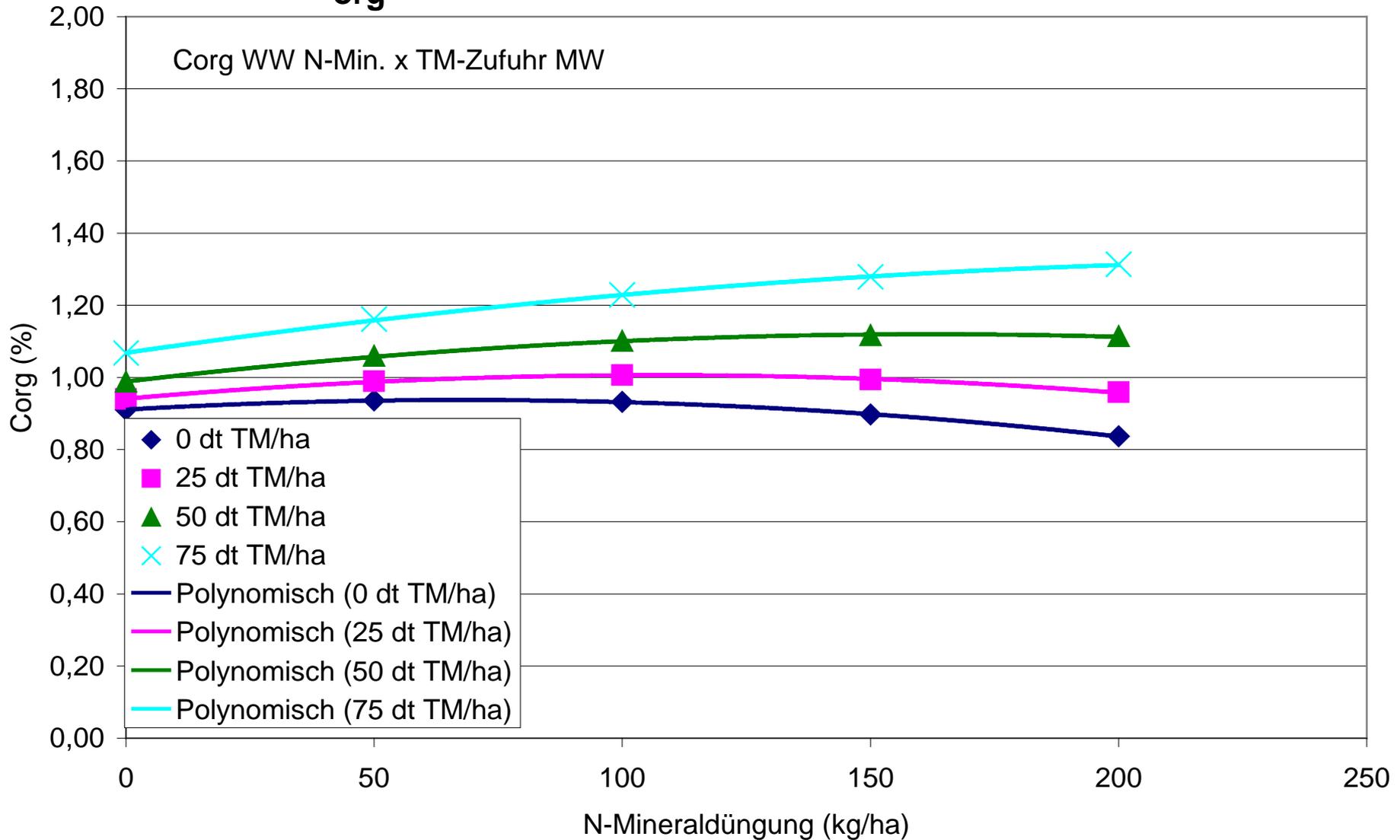
# Die N-Formen im Boden



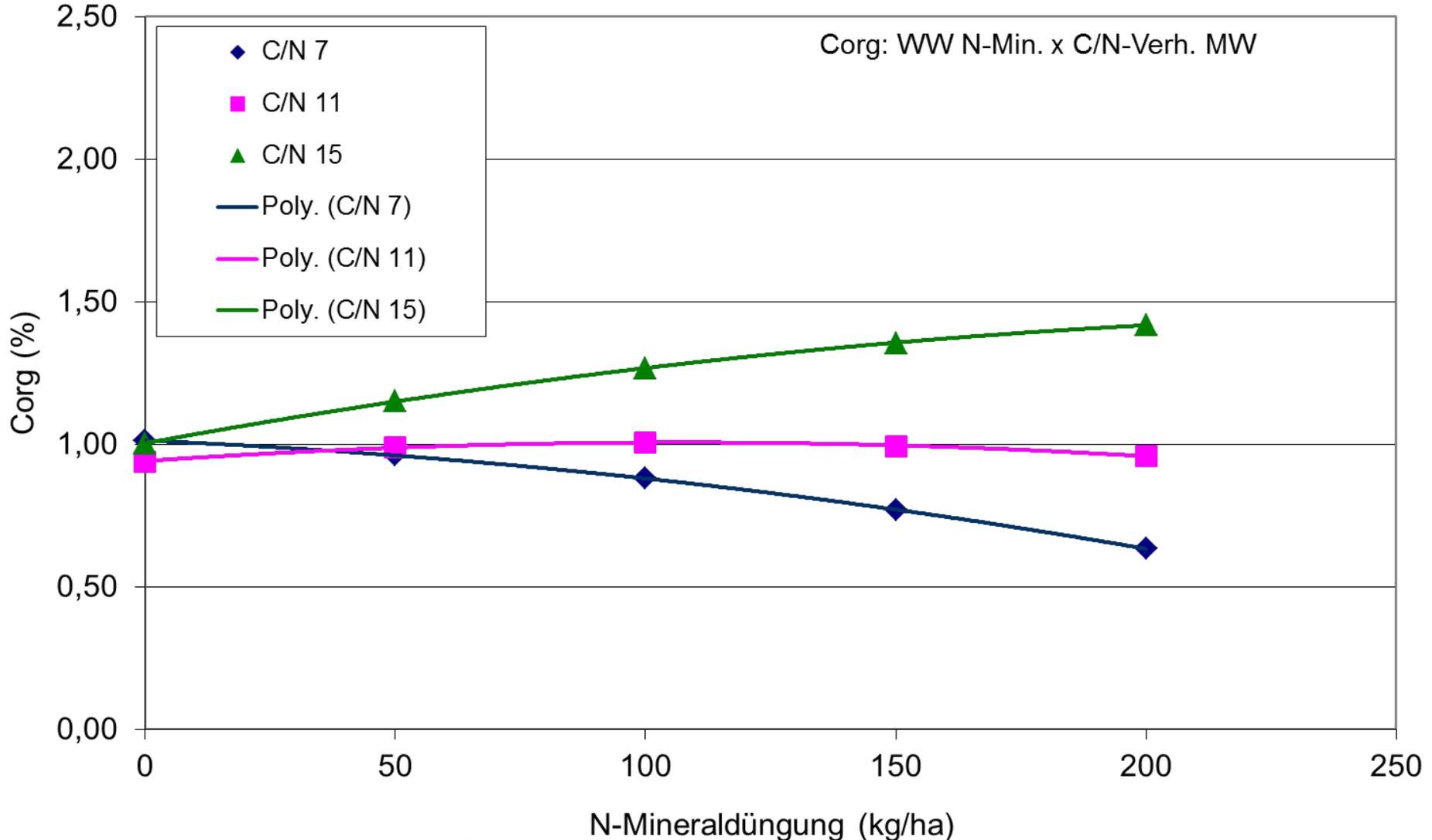
# Wirkung der N-Mineraldüngung auf die C<sub>org</sub>-Gehalte im Boden



# Wechselwirkung zw. N-Mineraldüngung und TM-Zufuhr auf die $C_{org}$ -Gehalte



# Wechselwirkung zw. N-Mineraldüngung u. C/N-Verhältnis im Boden



# Programm

- **Einflussfaktoren auf  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte im Boden** (einfache und multiple Regressionsanalyse)
- **Einfluss organischer Düngemittel auf die  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Veränderung im Boden zur Ermittlung von Humifizierungskoeffizienten** (Mittelwert- und Boxplot-Analysen für Gruppen unterschiedlicher Zufuhrhöhen)
- **Wechselwirkungen zwischen organischer und mineralischer Düngung auf Böden mit unterschiedlichen C/N-Verhältnissen auf die  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte des Bodens** (Regressionsanalyse, Modell REGRESS)
- **Einfluss mineralischer, mineralisch-organischer und organischer Düngung auf die Komponenten der N- und C-Bilanz sowie die Nährstoff-Effizienz in Folge steigender N-Zufuhr** (Mittelwert-Analysen für Gruppen unterschiedlicher Zufuhrhöhen)

# Beispiel: Dauerversuch M4, Groß Kreutz, Brandenburg, Ergebnisse aus 40 Anbaujahren

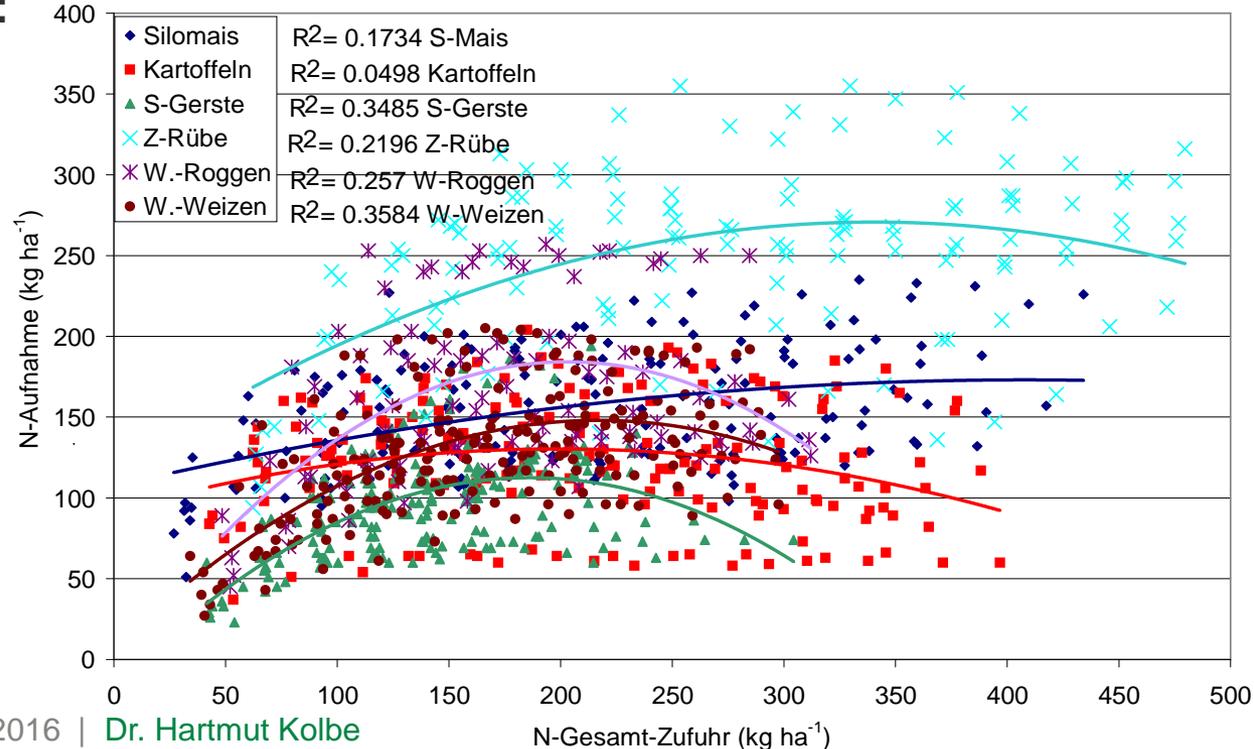
(Asmus, 1990, Zimmer, 2003)

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



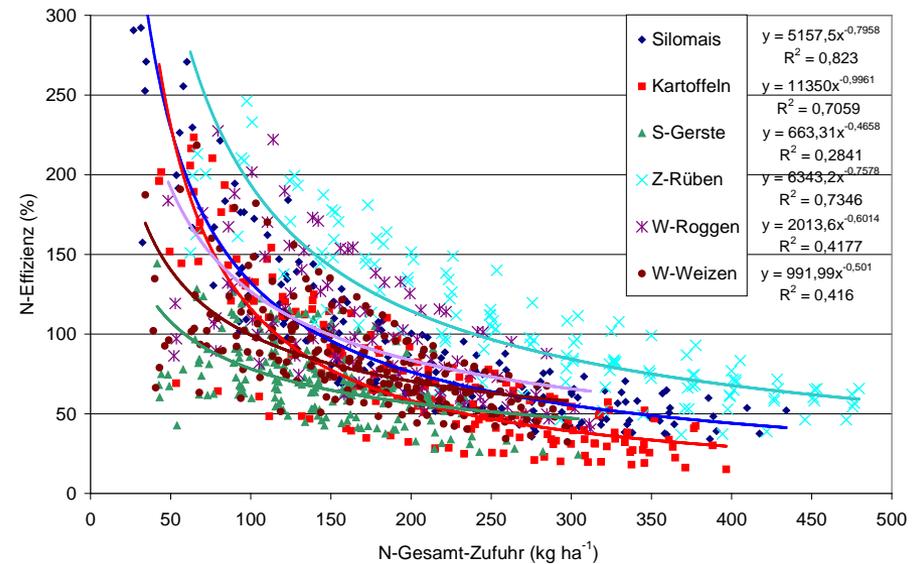
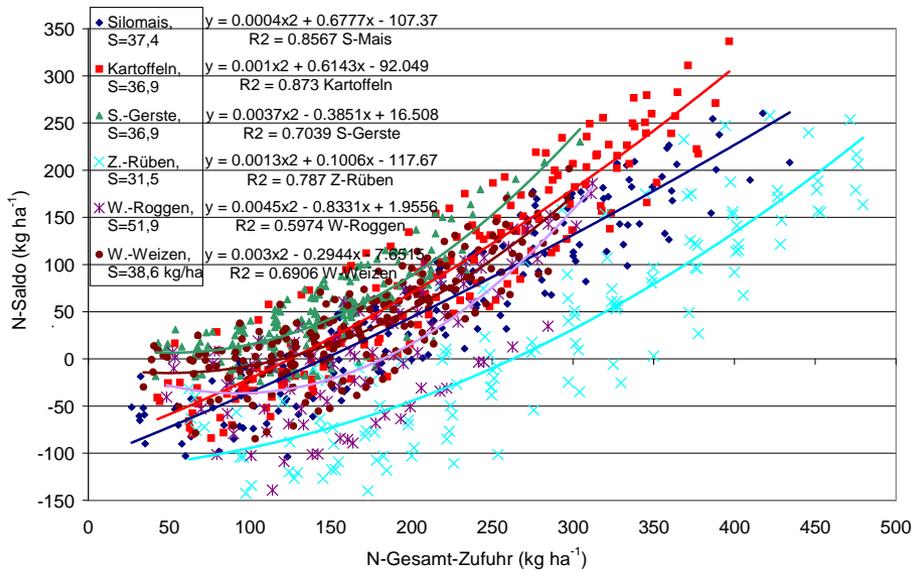
**Versuchsfrage:** Einfluss steigender N-Mineraldüngung (5 Stufen von 0 – 200 kg N/ha) und organischer Düngung mit Stalldung (5 Stufen von 0 – 200 kg/ha Gesamt-N) in einer Fruchtfolge auf Erträge und Bodeneigenschaften auf Sandboden

## Einfluss der Gesamt-N-Zufuhr auf die N-Aufnahme der Fruchtarten (Einzelwerte):



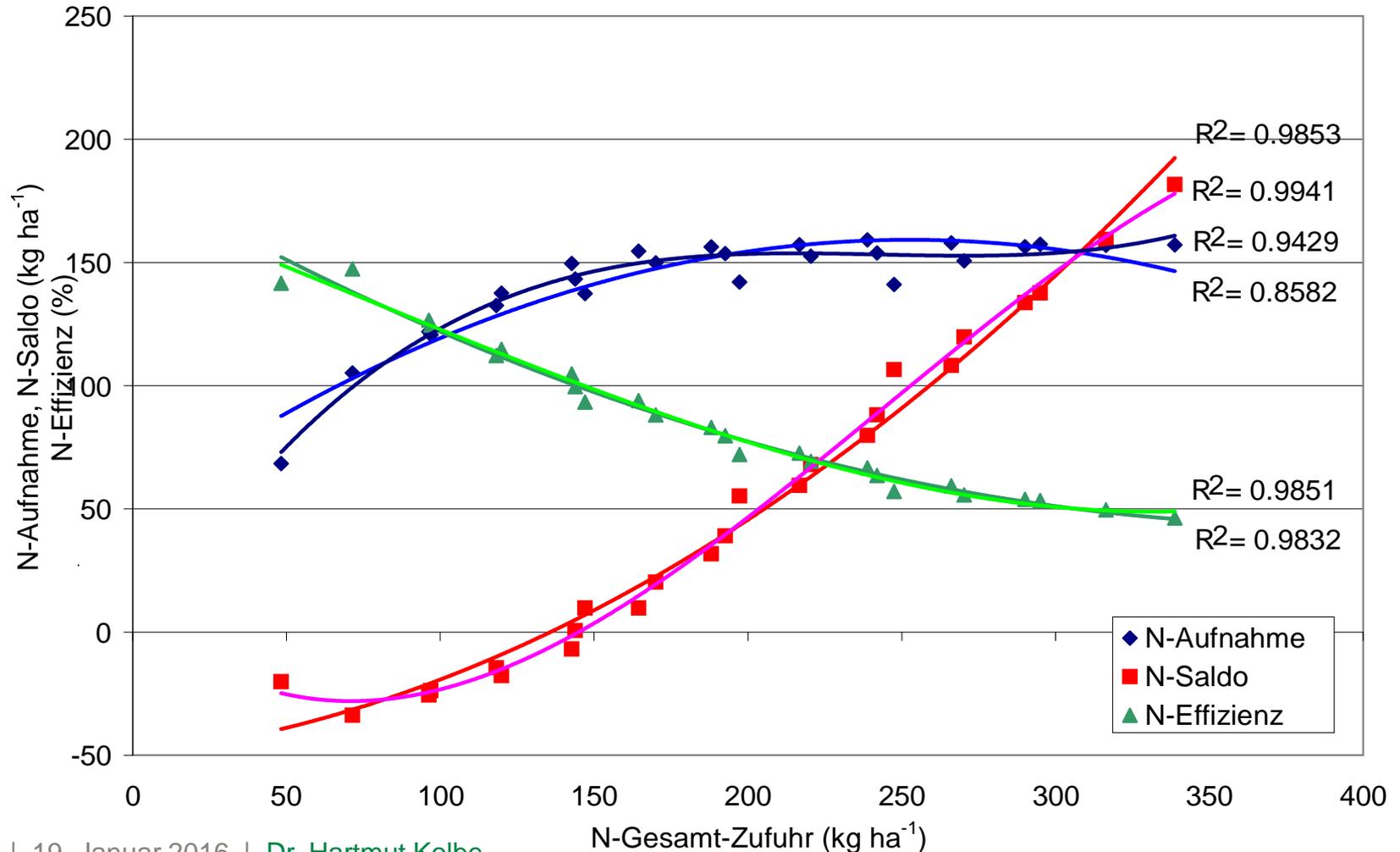
# Dauerversuch M4, Groß Kreutz

**Einfluss der Gesamt-N-Zufuhr auf die N-Salden (links) und die N-Effizienz (rechts) der Fruchtarten (Einzelwerte):**



# Dauerversuch M4, Groß Kreuz

Einfluss der Gesamt-N-Zufuhr auf N-Aufnahme, N-Salden und N-Effizienz im Durchschnitt der Fruchtfolge (aggregierte Werte):

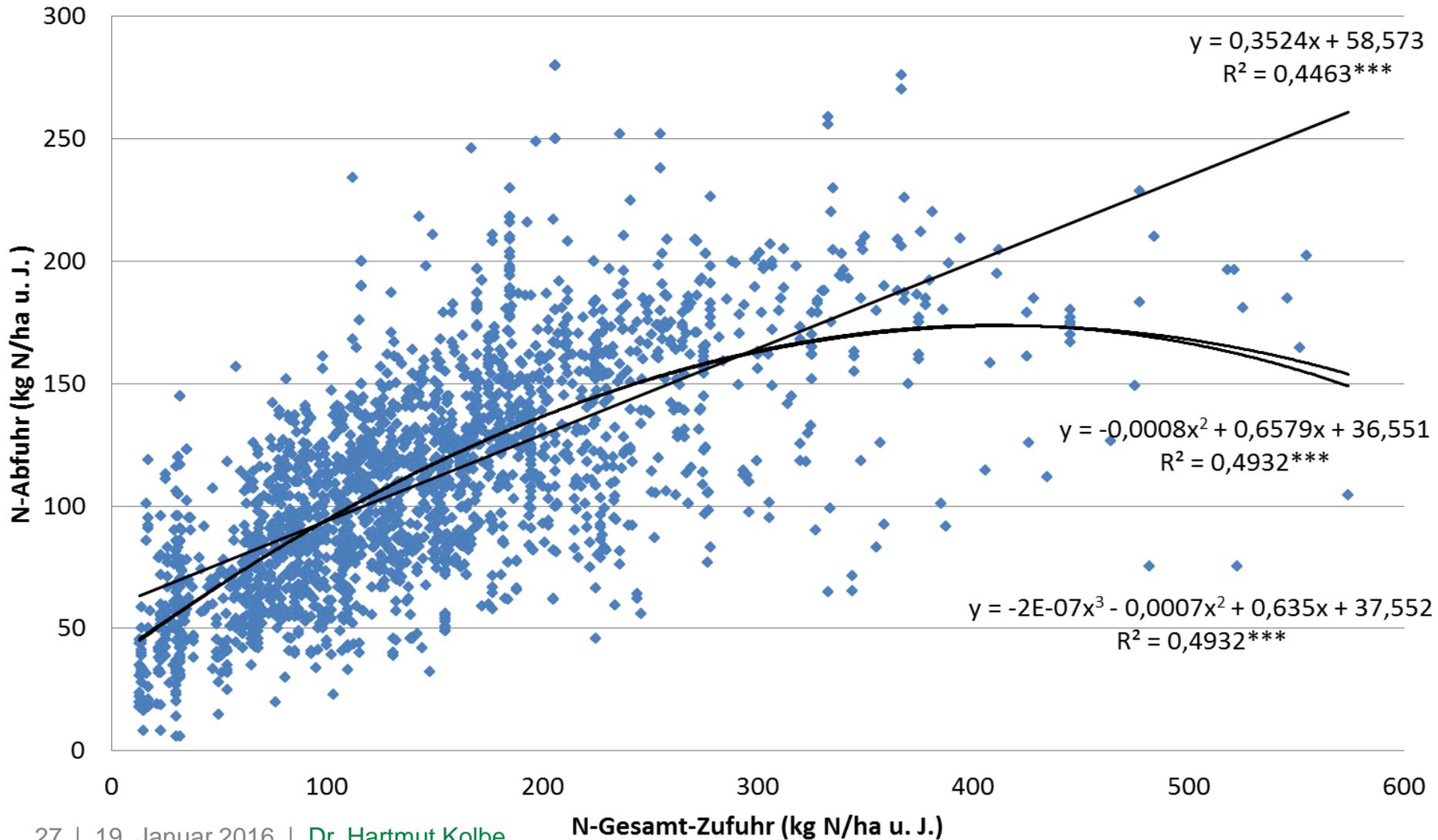


# N-Abfuhr (alle Varianten 240 Versuche; n = ca. 2400)

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE

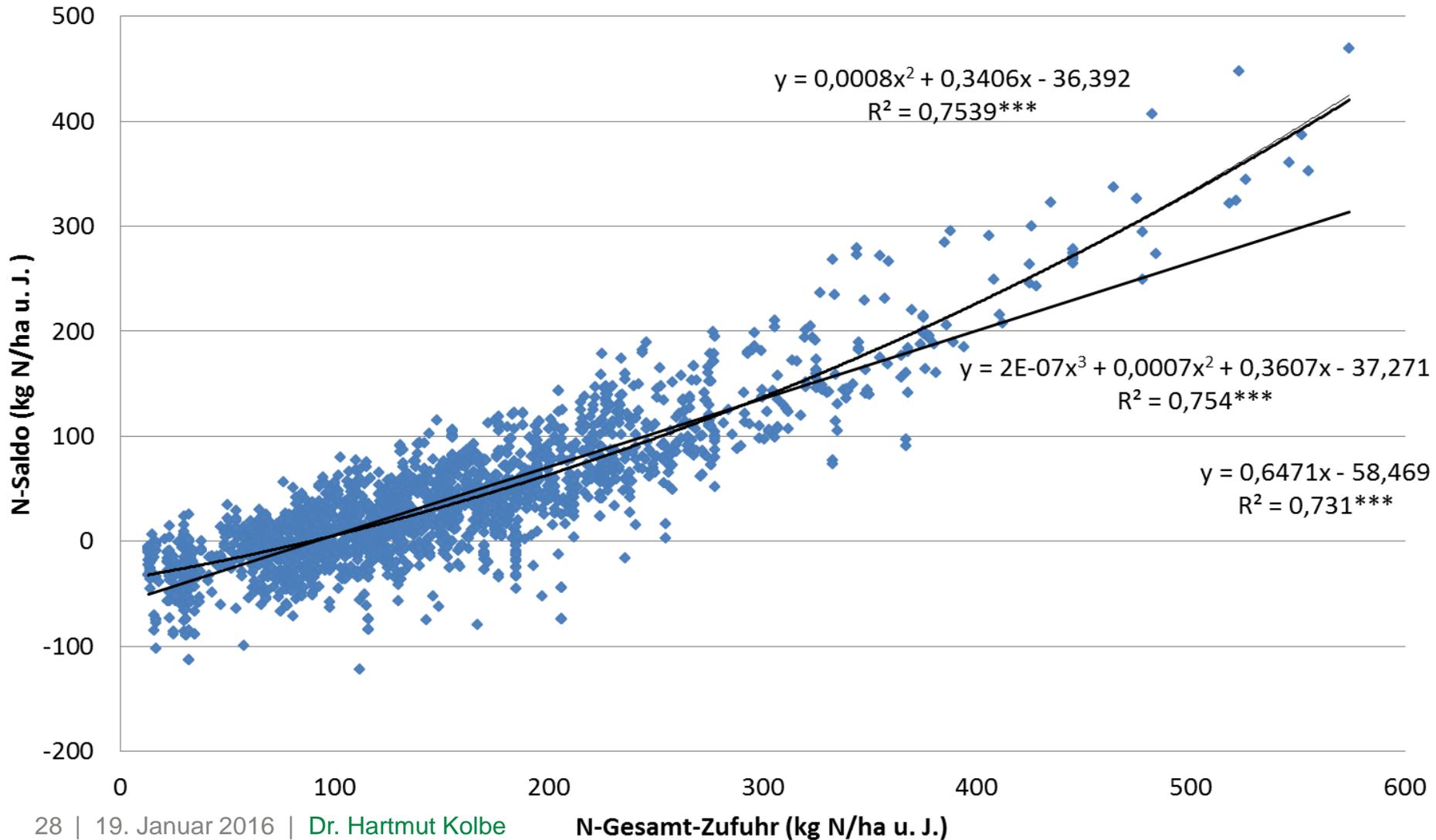


### N-Zufuhr-gesinklDep. - N-Abfuhr



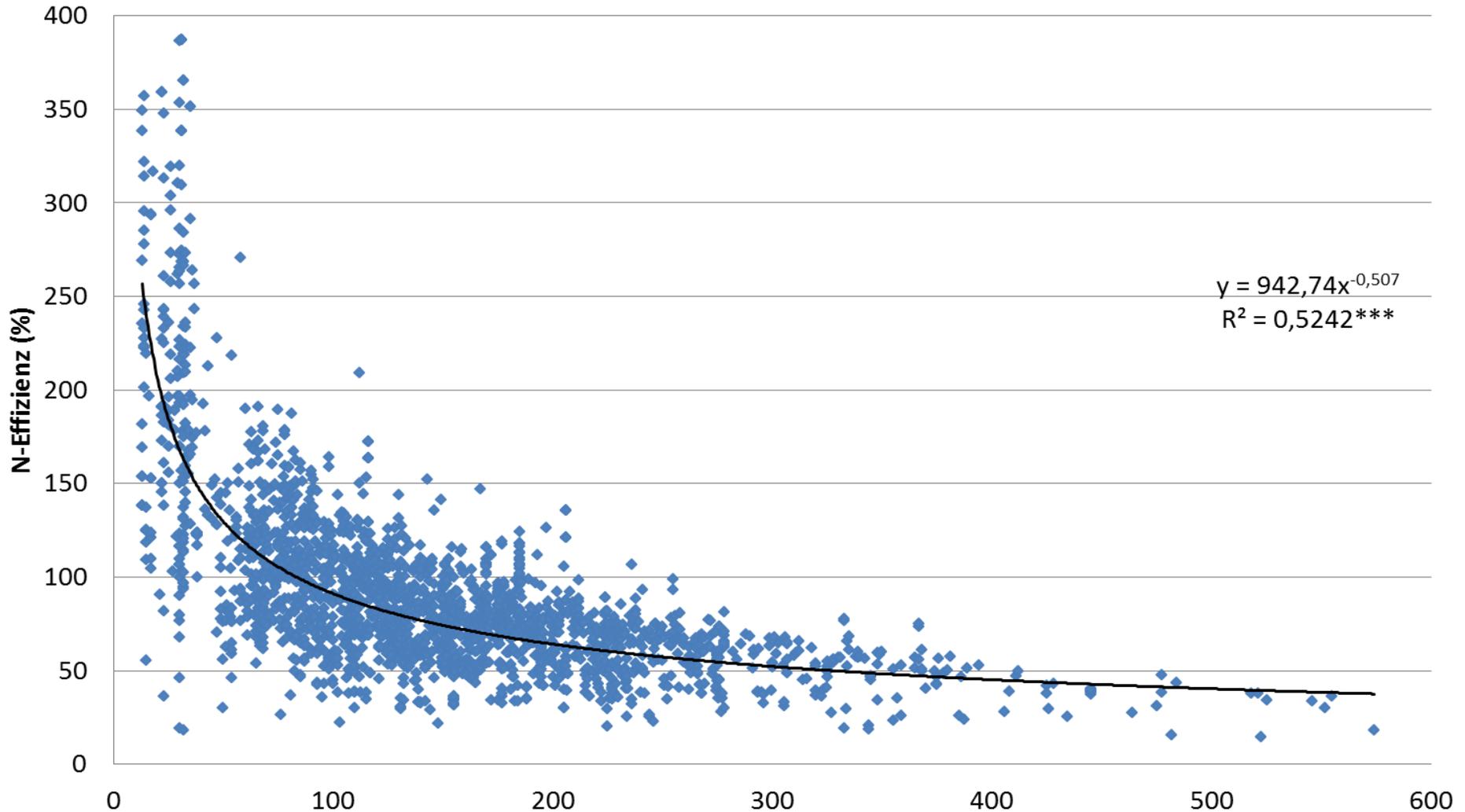
# N-Saldo (240 Versuche)

## N-Zufuhr-ges.inkl.Dep. - N-SaldoGesDep



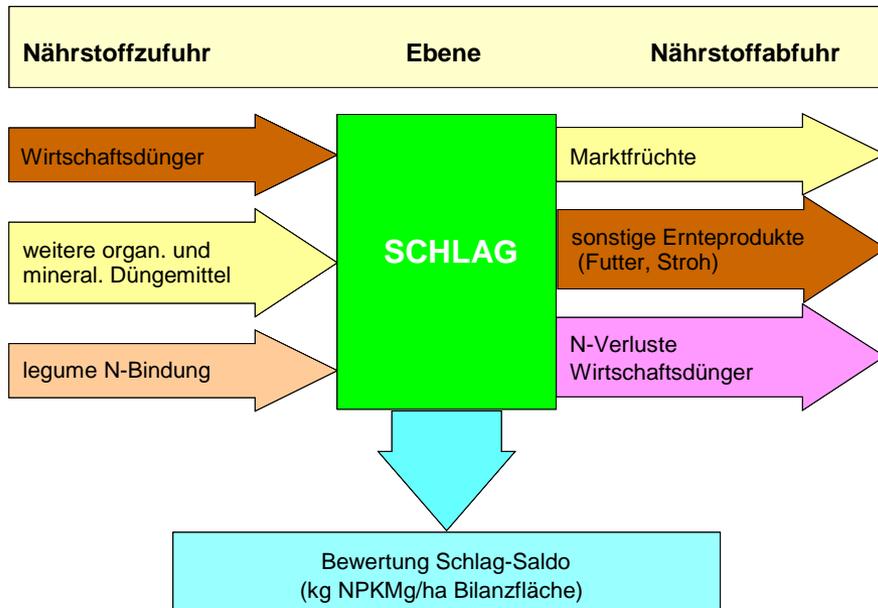
# N-Effizienz (240 Versuche)

## N-Zufuhr-ges.inkl.Dep. - N-SaldoGesDep



# Schlagbilanz

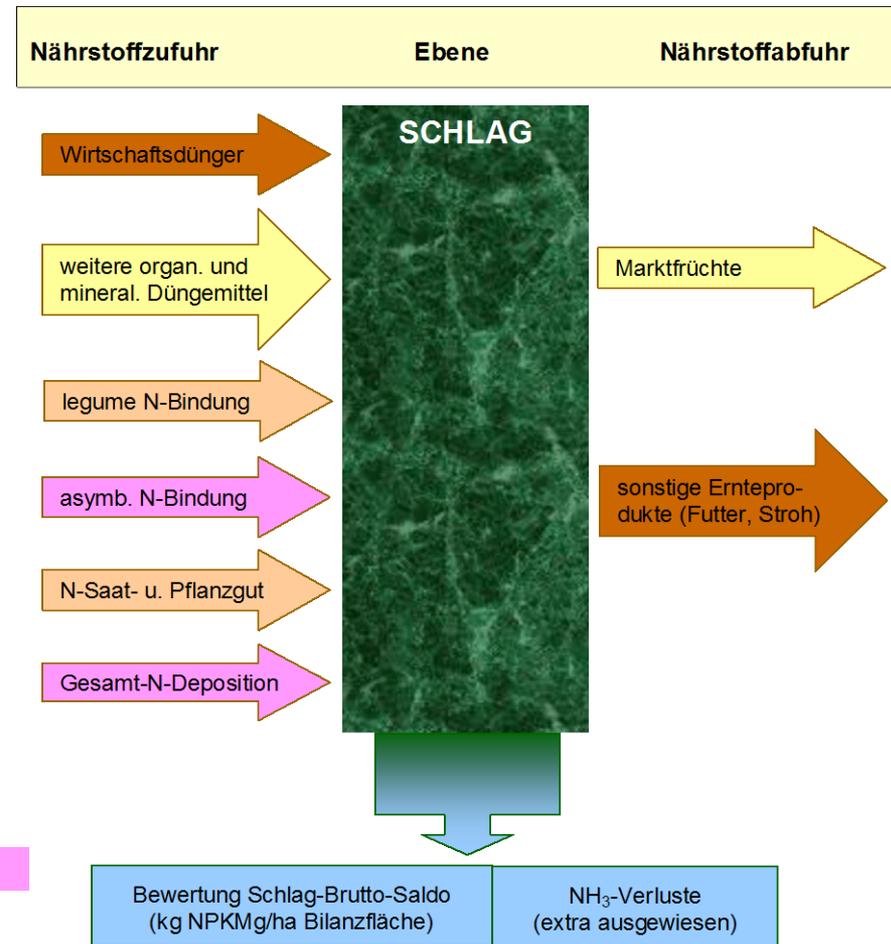
## Schlag-Bilanz



Nr. 1

Legende: berechnet aufgezeichnet geschätzt pauschal

## Schlag-Brutto-Bilanz



Nr. 3

# Schlagbilanz

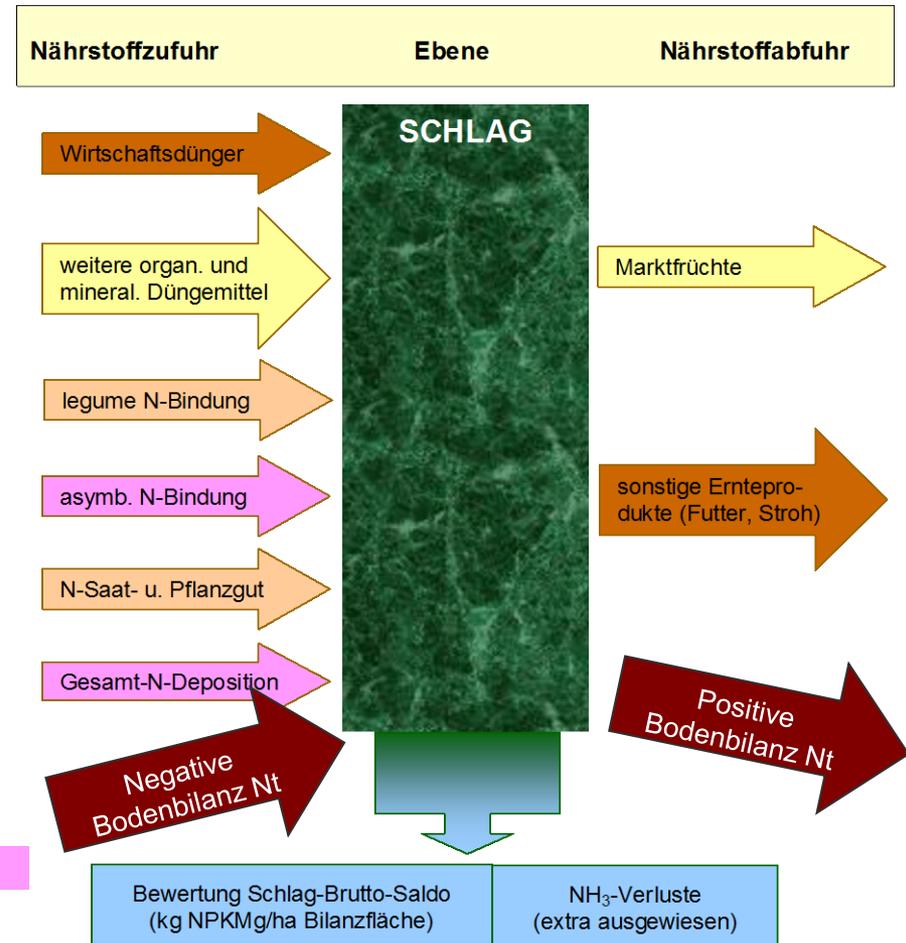
## Schlag-Bilanz



Nr. 2

Legende: berechnet aufgezeichnet geschätzt pauschal

## Schlag-Brutto-Bilanz



Nr. 4

# Varianten der mineralischen und organischen Düngung

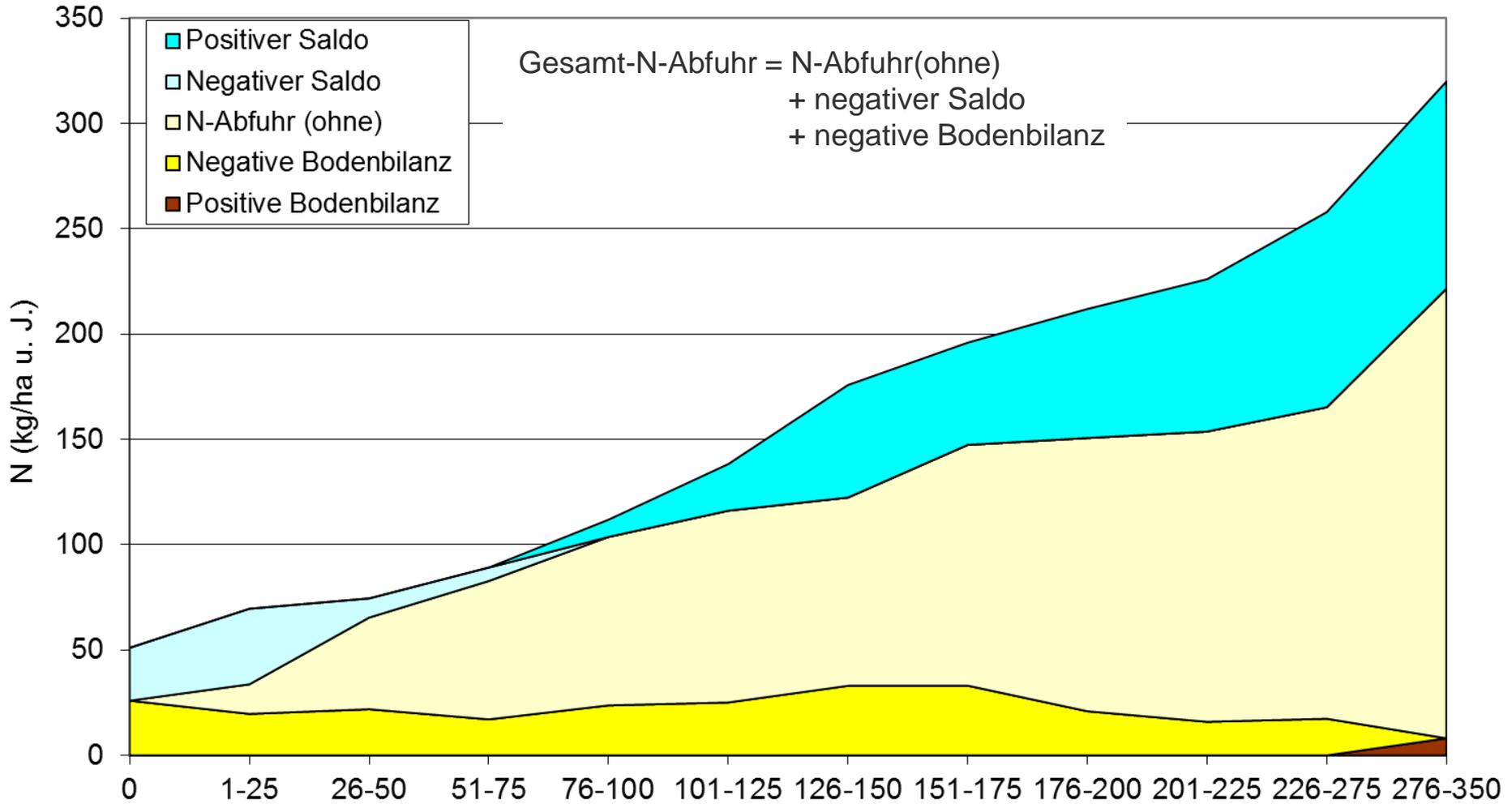
LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



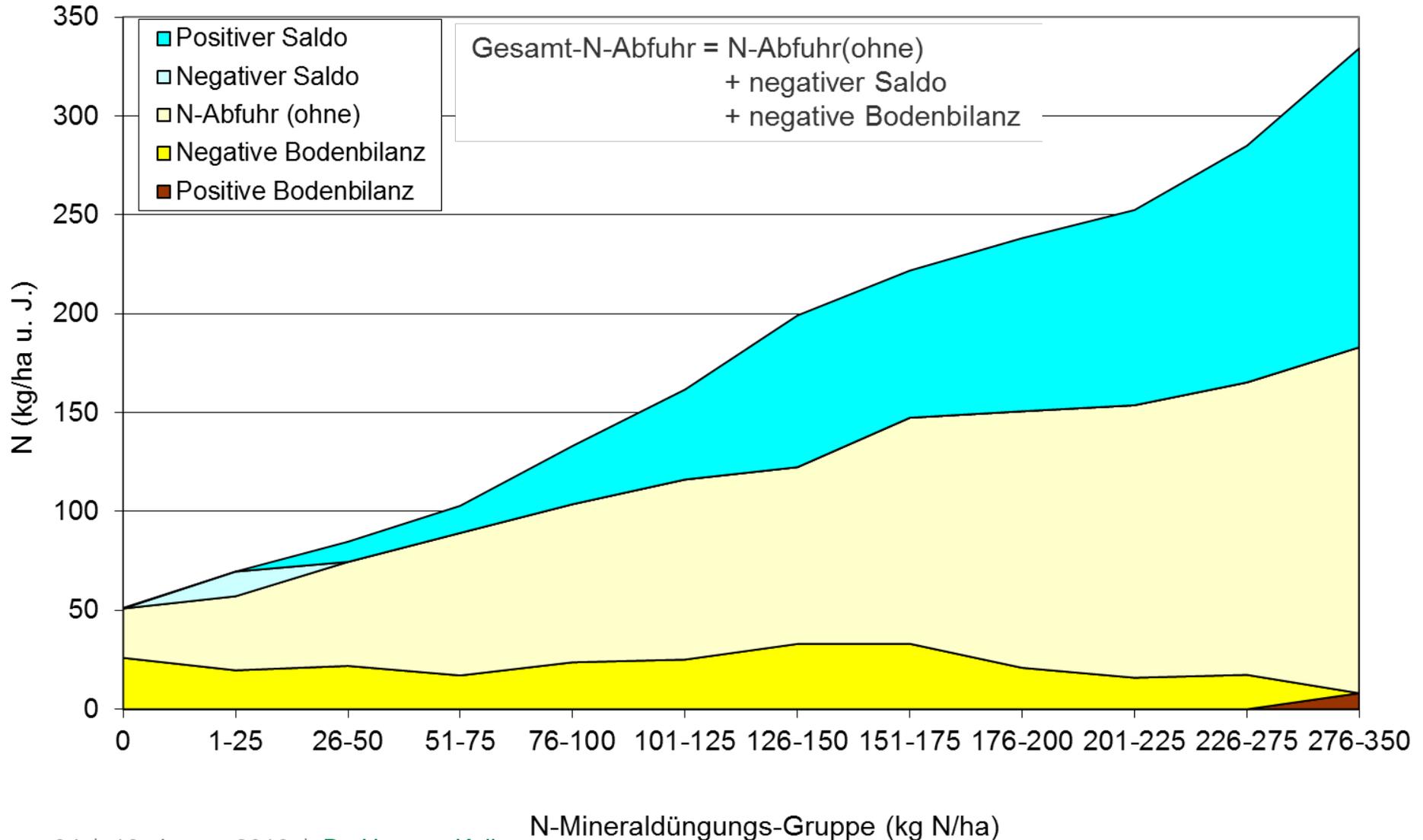
Freistaat  
SACHSEN

- 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



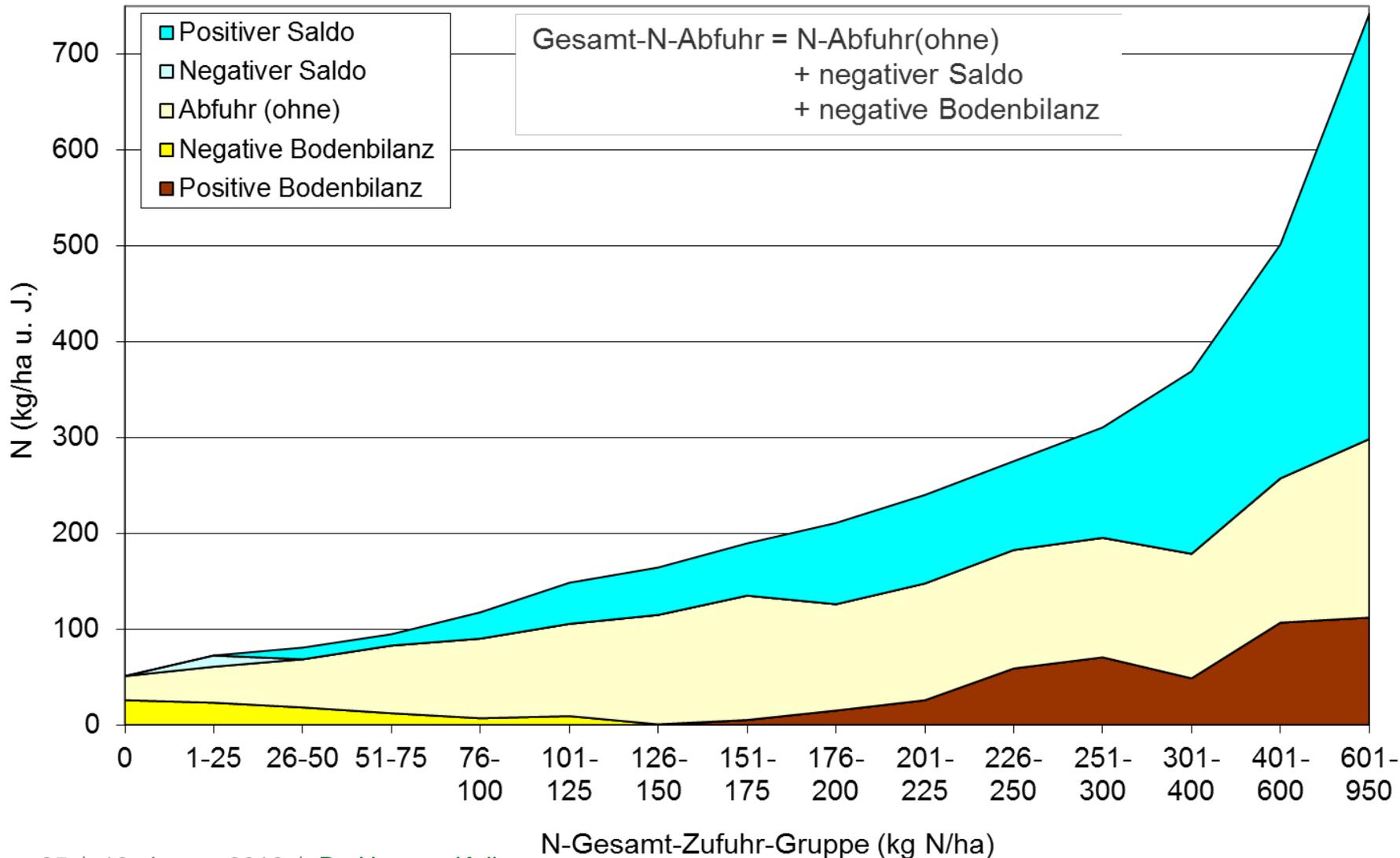
# Gesamtbilanz: N-Mineraldüngung (mit N-Deposition) Nr. 4



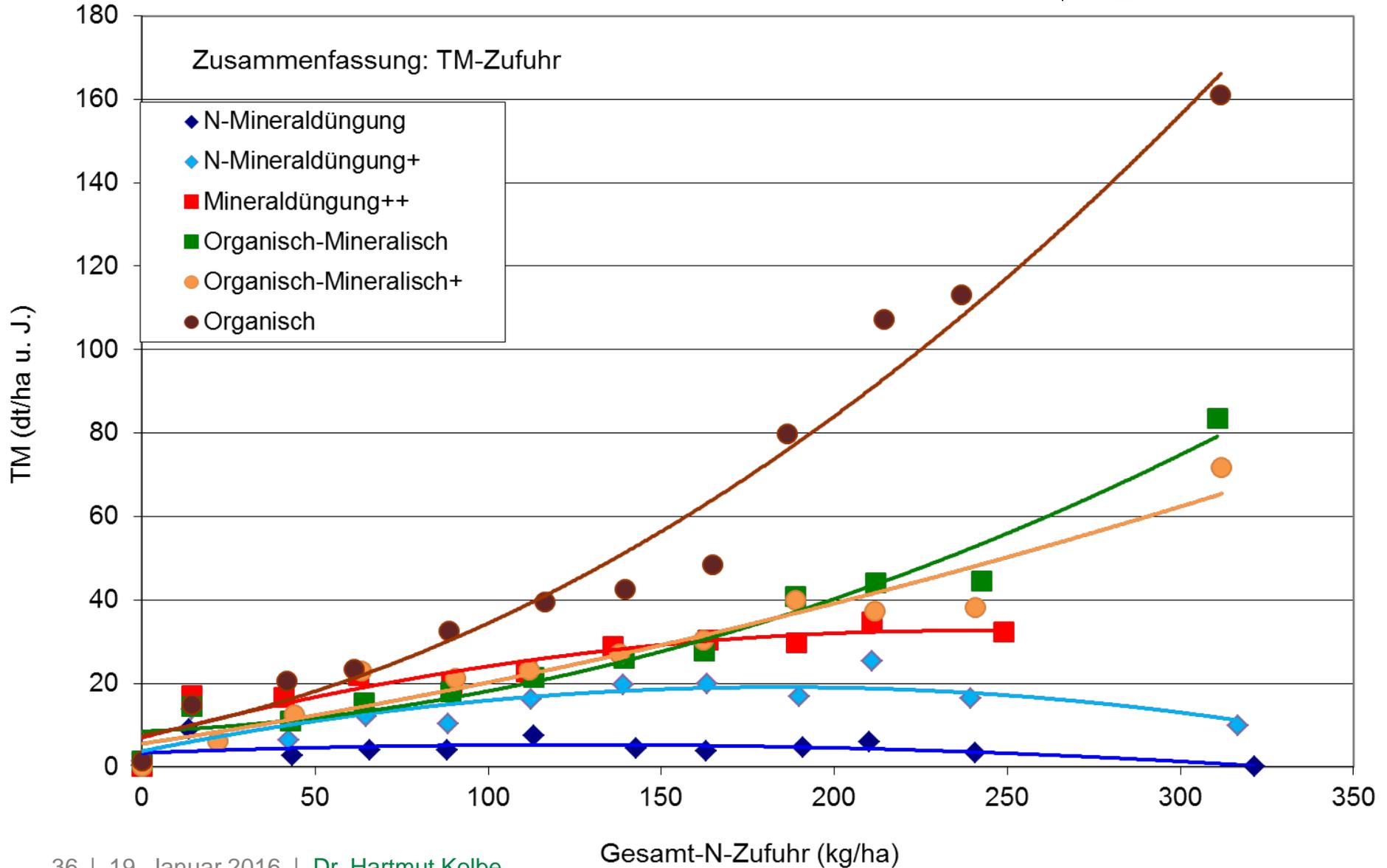
# Gesamtbilanz: Organische Düngemittel

(mit Deposition, abs. Werte) Nr. 4

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE

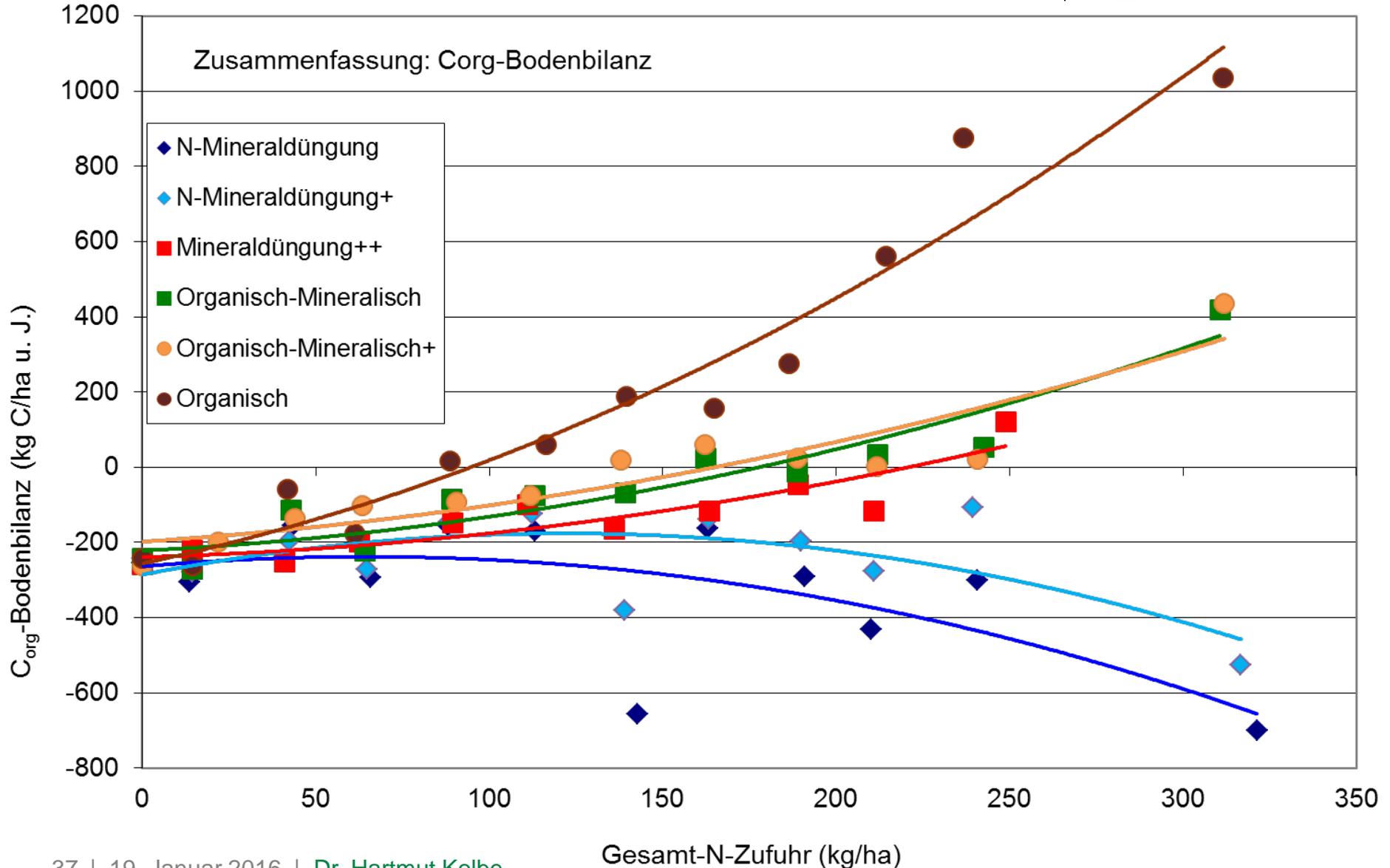


# TM-Zufuhr



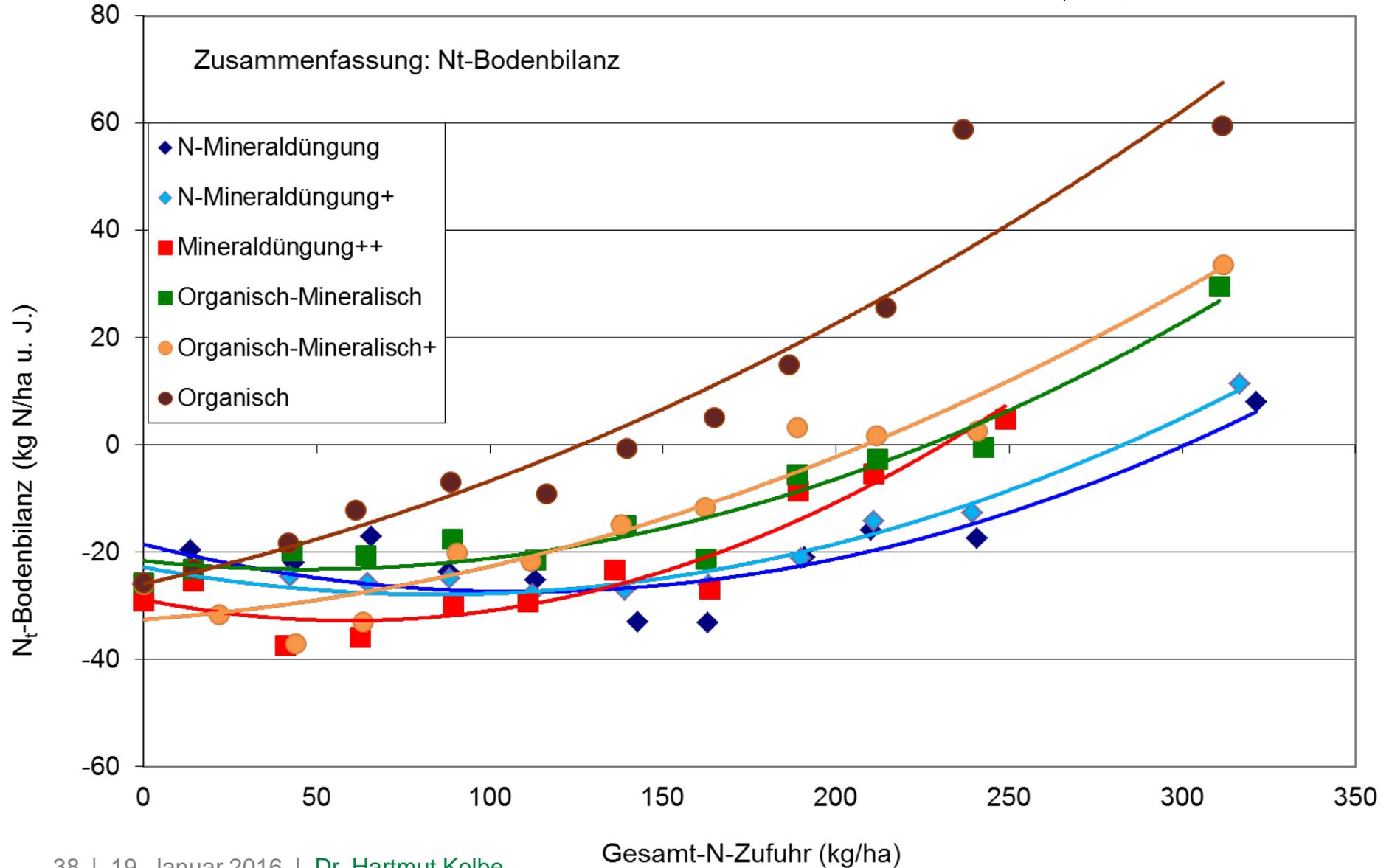
# C<sub>org</sub>-Bodenbilanz

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



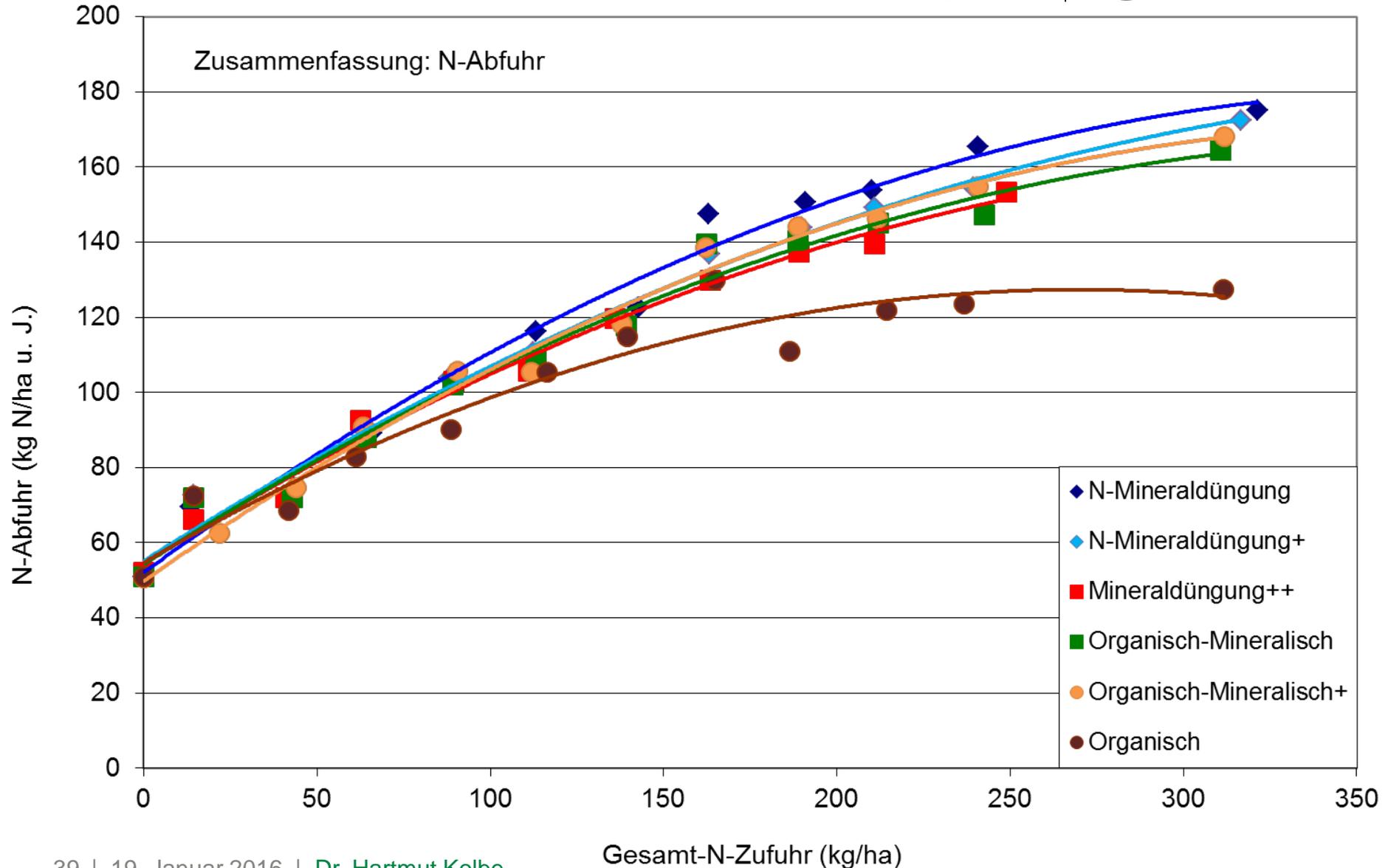
# N<sub>t</sub>-Bodenbilanz

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



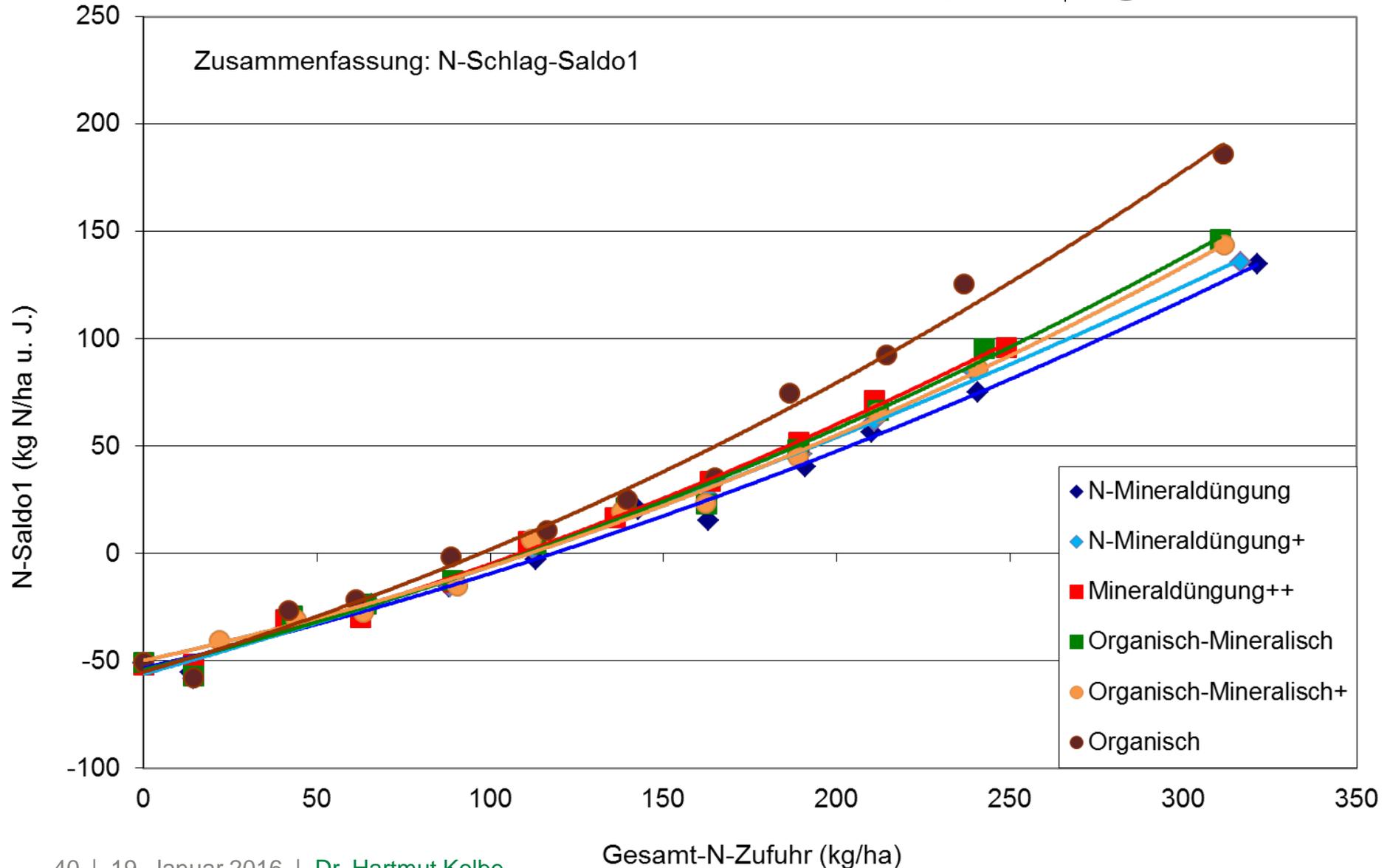
# N-Abfuhr

Zusammenfassung: N-Abfuhr

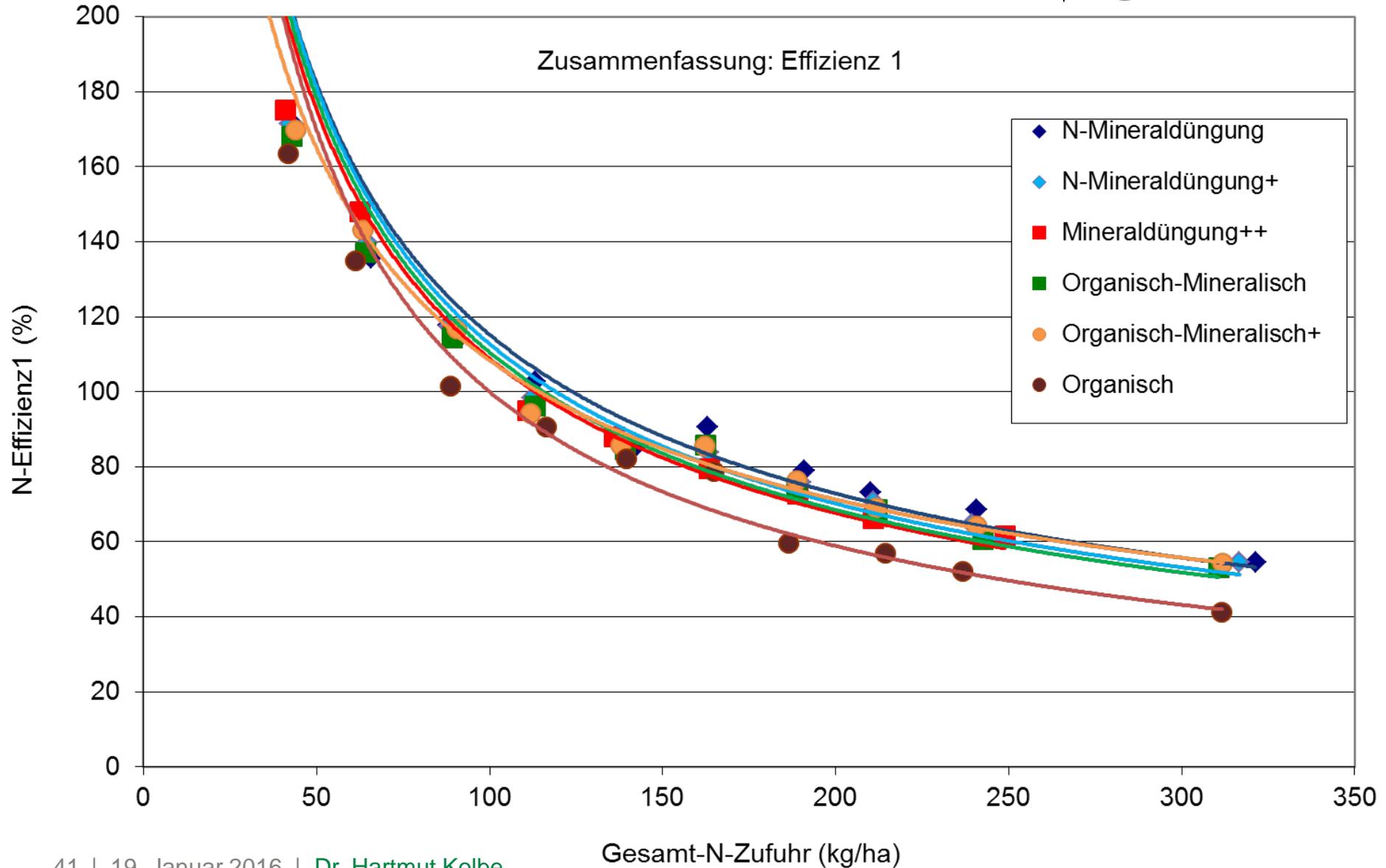


# N-Saldo Nr. 1:

Zusammenfassung: N-Schlag-Saldo1

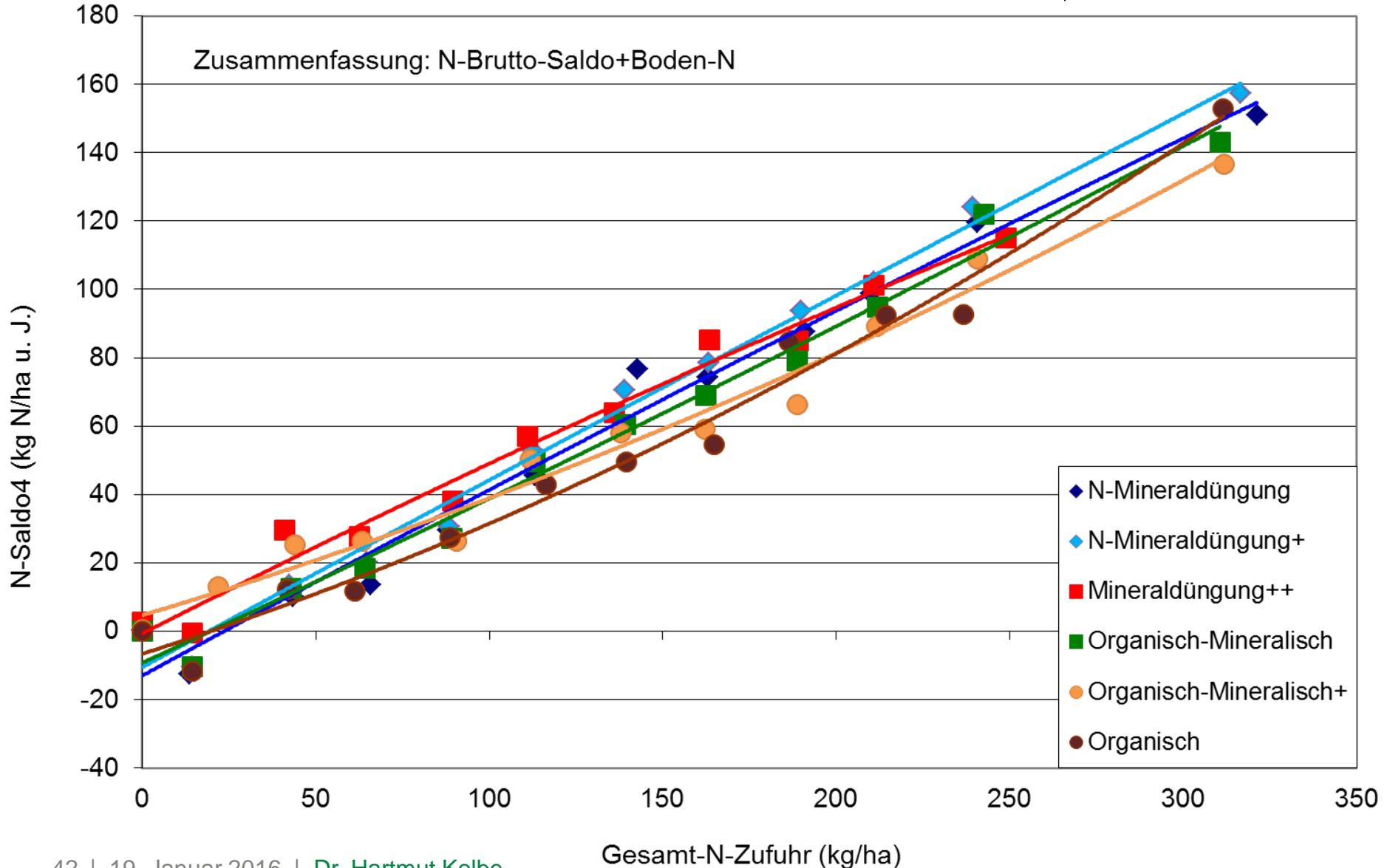


# N-Effizienz Nr 1:

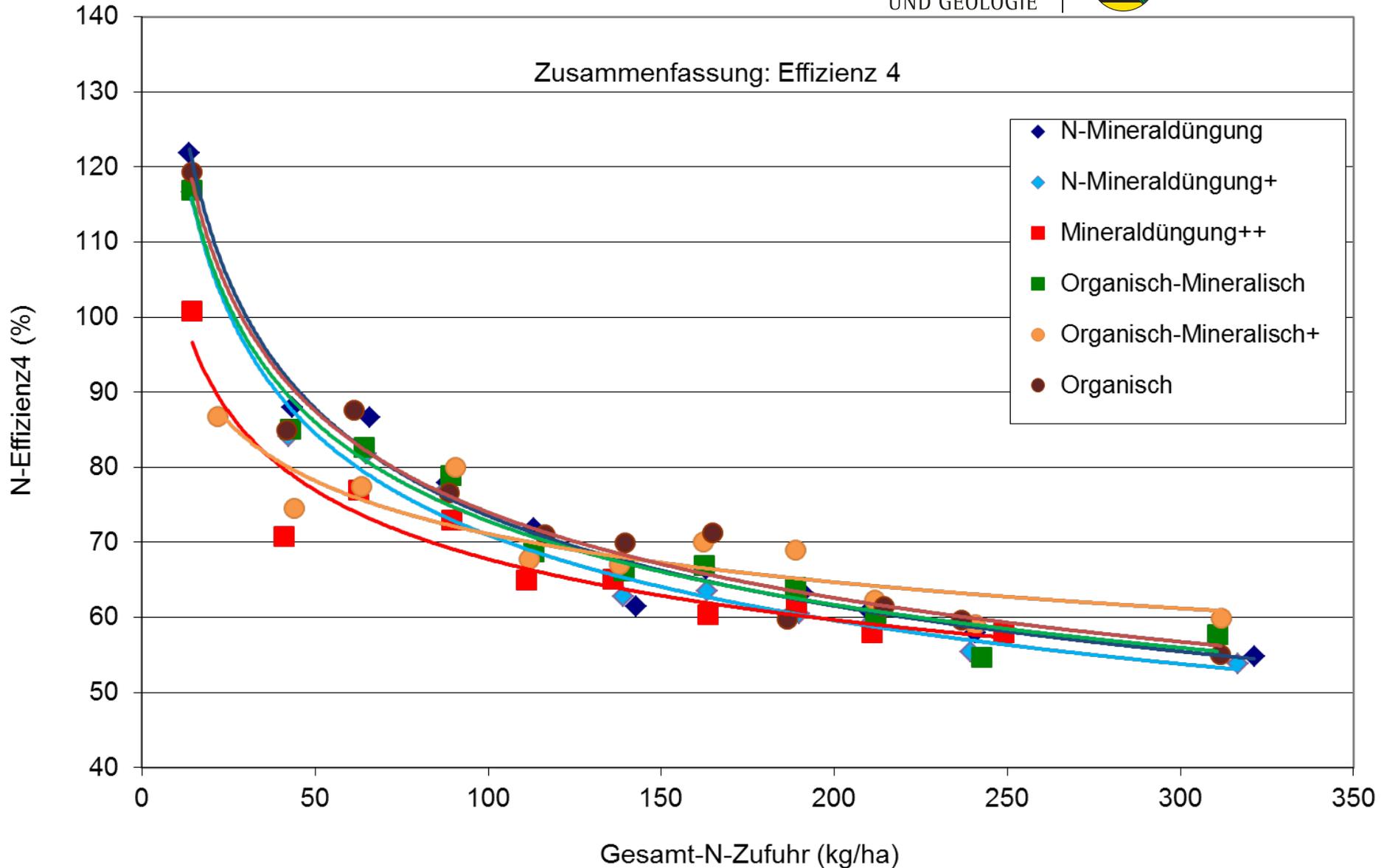


# N-Saldo Nr. 4:

Zusammenfassung: N-Brutto-Saldo+Boden-N



# N-Effizienz Nr. 4:



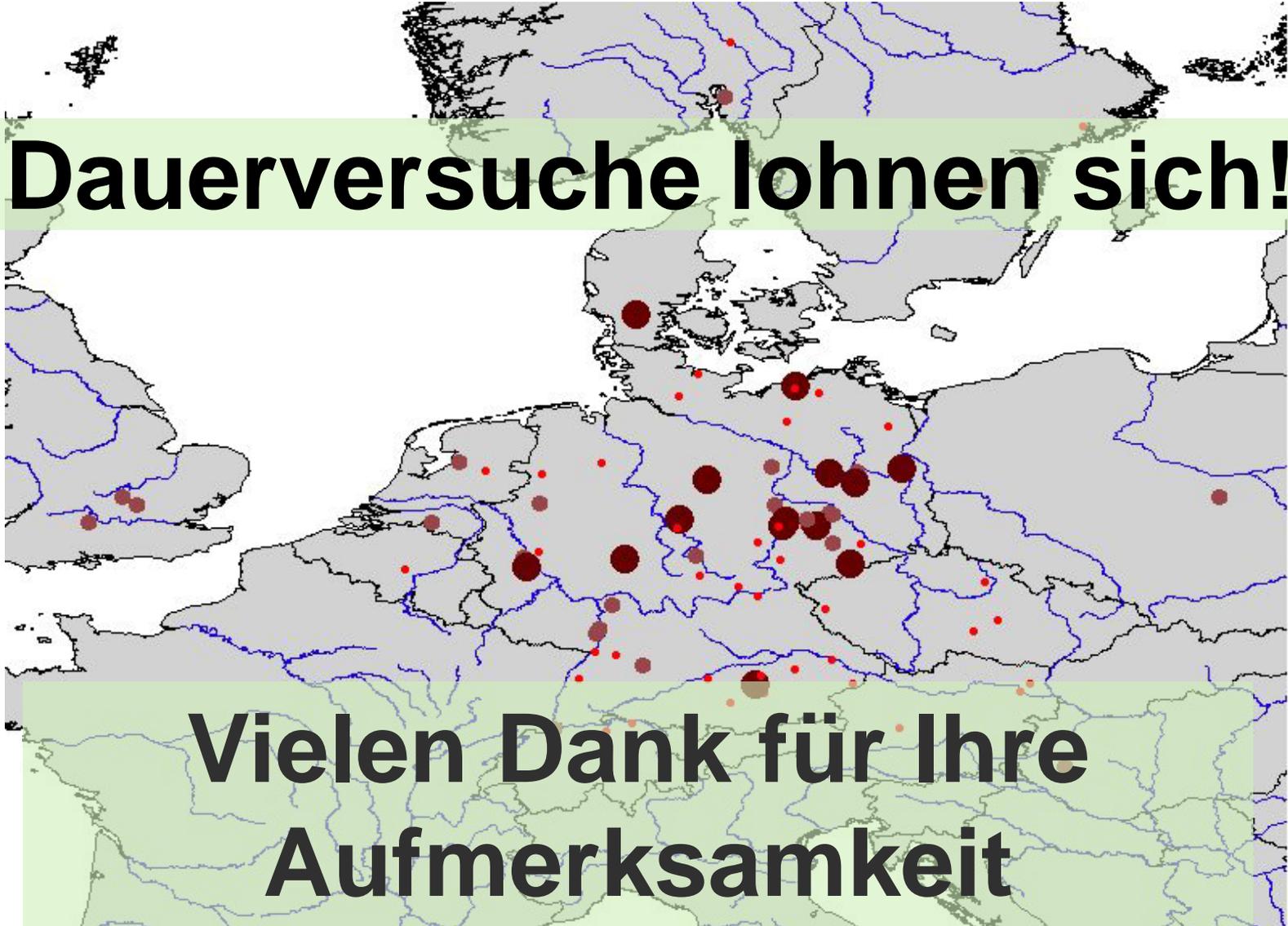
# Zusammenfassung für zwei Intensitätsniveaus

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++	<b>190</b>	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

**Auf Grund der Vielfalt an vorhandenen Dauerversuchen (Themenstellungen, Standorte, Klima, etc.) und den umfangreichen technischen Möglichkeiten der Datenauswertung haben Metastudien erhebliche Vorteile in Forschung und Entwicklung:**

- Erstellung und Prüfung von Bilanzierungs- und Düngungsmethoden
- Herausarbeitung und Gewichtung von Einflussfaktoren auf die  $C_{org}$ - und  $N_t$ -Gehalte des Bodens: Klima =  $\geq 50$ , Boden = 20 – 30, Bewirtschaftung = 5 – 30 % Bestimmtheitsmaß
- Humifizierungswirkung organischer Düngemittel: Kompost  $\geq$  Stalldung  $\geq$  Gülle  $\geq$  Stroh  $\geq$  Gründünger (mit steigender Zufuhr = geringere Wirkung, Koeffizienten liegen z.T. niedriger als bei der VDLUFA-Methode zur Humusbilanzierung)
- Aufzeigung komplexer Zusammenhänge und Wechselwirkungen - Beispiel 1: WW Feinanteil x Niederschlag auf  $C_{org}$ -Gehalt verschiedener Standorte in Deutschland; Beispiel 2: WW N-Mineraldüngung x C/N-Verhältnis auf Humusbilanz bzw.  $C_{org}$ -Gehalte im Boden
- Auf Grund der experimentell ermittelten hohen Datenmenge sichere Bestimmung der Komponenten der N-Bilanzierung (Zufuhr, Abfuhr, Saldo) unterschiedlicher Düngungssysteme (mineralisch, organisch)
- 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



**Dauerversuche lohnen sich!**

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**