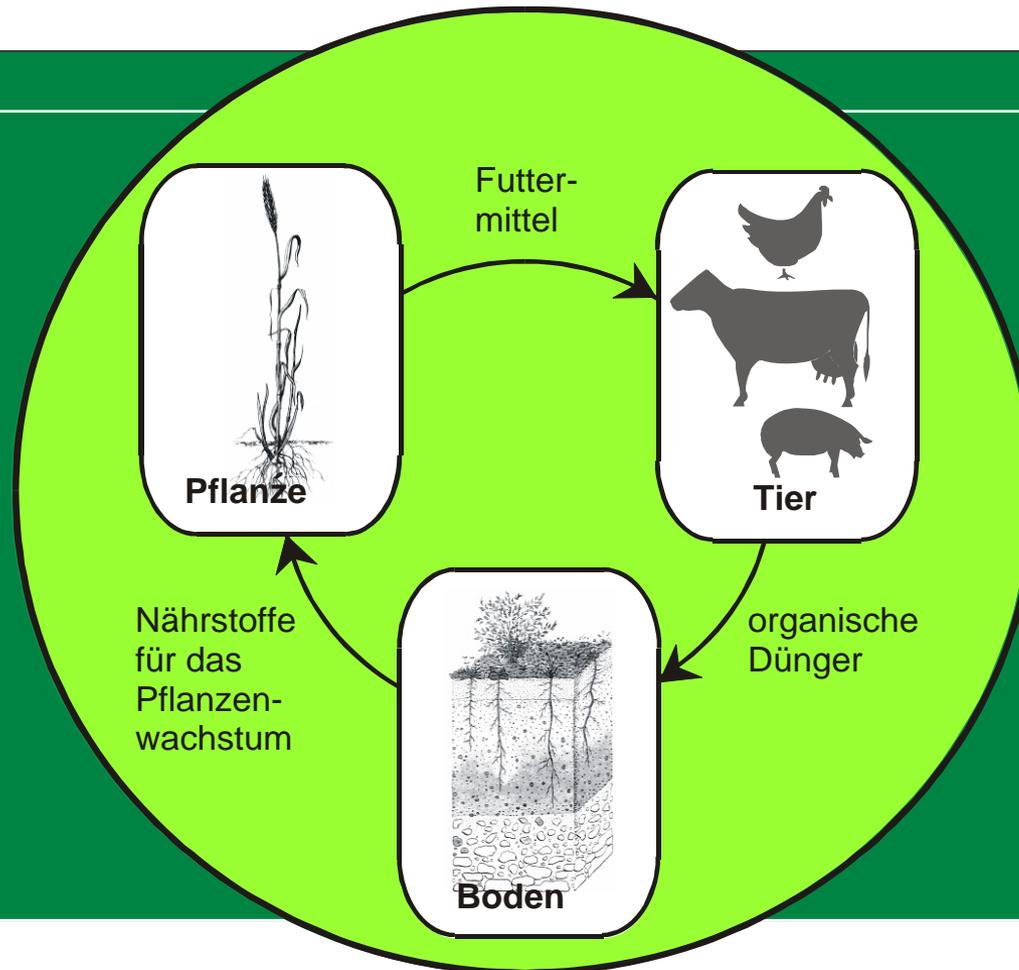


# Phosphor und Kalium im Ökologischen Landbau

## Aktuelle Probleme, Herausforderungen, Düngungsstrategien



Düngegesetz

Bundes-Bodenschutzgesetz

Cross Compliance

EU-Verordnung 834/2007 zum Ökologischen Landbau

„Gute fachliche Praxis“

LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE

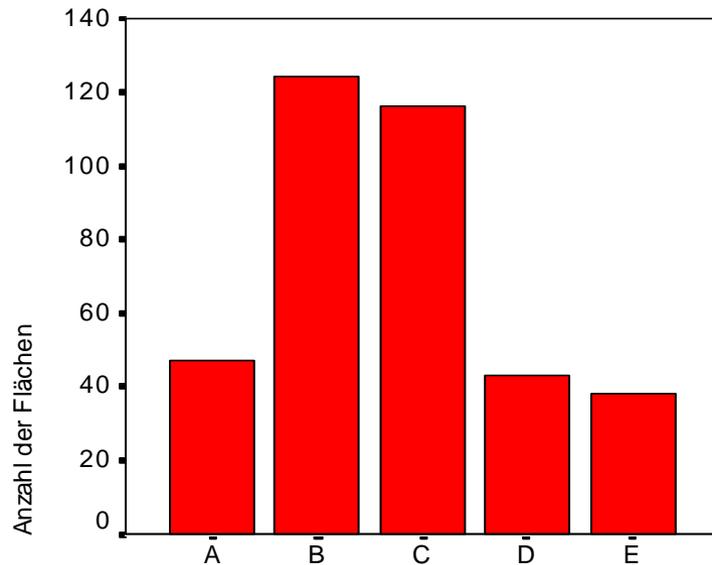


Freistaat  
SACHSEN

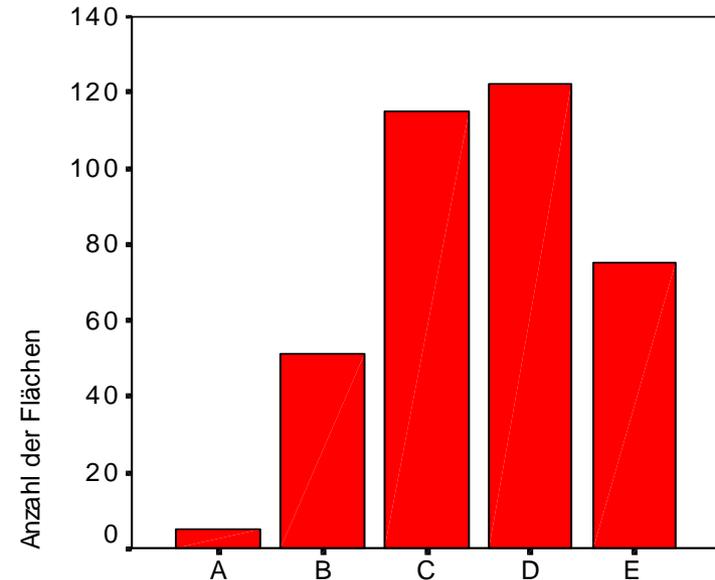


Die Fruchtbarkeit und biologische Aktivität sowie die Humusgehalte des Bodens sind zu erhalten oder in geeigneten Fällen zu erhöhen.

## PK-Versorgung der Ökobetriebe in Sachsen (Ackerland)



Versorgungsstufe Phosphor



Versorgungsstufe Kalium

## Flächenbezogene Nährstoffbilanzen von 15 Ökobetrieben in Sachsen-Anhalt (Harzer, 2006)

P-Saldo (kg P/ha u. a): **-6** (+26 bis -16)    K-Saldo (Kg K/ha u. a): **-13** (+134 bis -64)

# Vorstellungen zur Grunddüngung und Bodenuntersuchung im Ökolandbau (u.a. UK-Studie von WATSON et al., 2008)

- I** **Kein Handlungsbedarf** → **Nährstoffmobilisierung und Verwitterung**
- I** **Fruchtfolge** → **Fruchtwechsel (u.a. Tiefwurzler, bestimmte Pflanzenarten zur Nährstoffmobilisierung, Umsatz organischer Substanz, etc.)**
- I** **Bilanzierung** → **Rückführung des Entzugs**
- I** **Bodenuntersuchung**
  - **VDLUFA u.a. in D** → **auf konventionelle Erfahrungen u. Versuchsergebnisse kann aufgebaut werden**
  - **Alternative Verfahren (BALZER, 2000; KINSEY & WALTERS, 1999; u.a.)** → **kaum Erfahrung u. keine Versuchsergebnisse vorhanden**
- I** **Düngung** → **Öko-VO: Düngemittelliste, organische u. mineral. Düngemittel erlaubt  
neue Düngemittel werden geprüft (z.B. Bio-Super-Phosphat)**



# Nährstoffgehalte und Mengen von Gesteinen und Sedimenten als Ausgangsmaterial der Bodenbildung

(aus SCHACHTSCHABEL et al., 1989)

Nährstoff	Ausgangsmaterial der Bodenbildung	
	Gehalte (%)	Mengen (kg/ha 1 m Tiefe)
P	0,04 – 0,13	6 600 – 18 500
K	0,6 – 4,3	100 000 – 635 000
Mg	0,06 – 0,17	9 000 – 25 200

## I Entwicklung eines Grunddüngungssystems zum Einsatz im Ökolandbau

### I Untersuchungsmaterial 1:

P: 245 Dauer-Feldversuche des konvent. Ackerlandes mit 1087 Varianten aus Deutschland

K: 170 Dauer-Feldversuche des konvent. Ackerlandes mit 1050 Varianten aus Deutschland

### I Untersuchungsmaterial 2:

Ergebnisse aus PK-Düngungssteigerungs-Versuchen des Ökolandbaus

### I Faktoren:

u.a. Erträge, Nährstoff-Feldbilanz, Düngemittelart u. Höhe, DL- bzw. CAL-lösl. Nährstoffgehalte, Bodenart, pH-Wert, Niederschlag, Temperatur, Fruchtfolge

### I Auswertungsmethode:

(multiple) Regressionsanalyse nach der Grundfunktion:  $y = f(x_n)$

x = lineare Glieder

quadratische Glieder

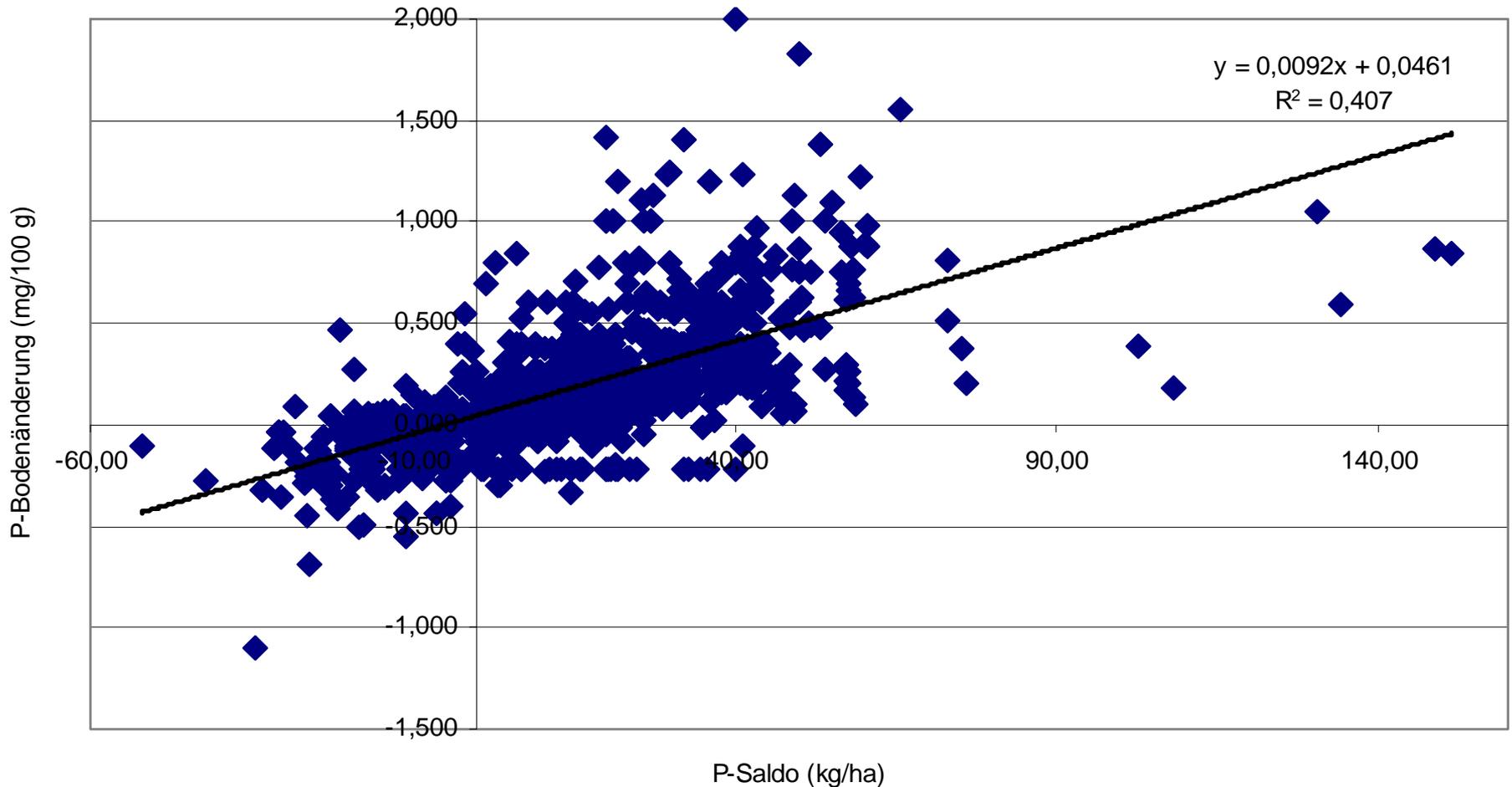
einfache lineare Wechselwirkungsglieder (WW)

y = DL- u. CAL-lösl. Nährstoffgehalte (Diff. Versuchsanfang u. –Ende)

# Multiple Regressionsanalyse zum Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf die löslichen P-Gehalte (DL, CAL, konvent. Dauerversuche, Varianten-Anzahl = 349)

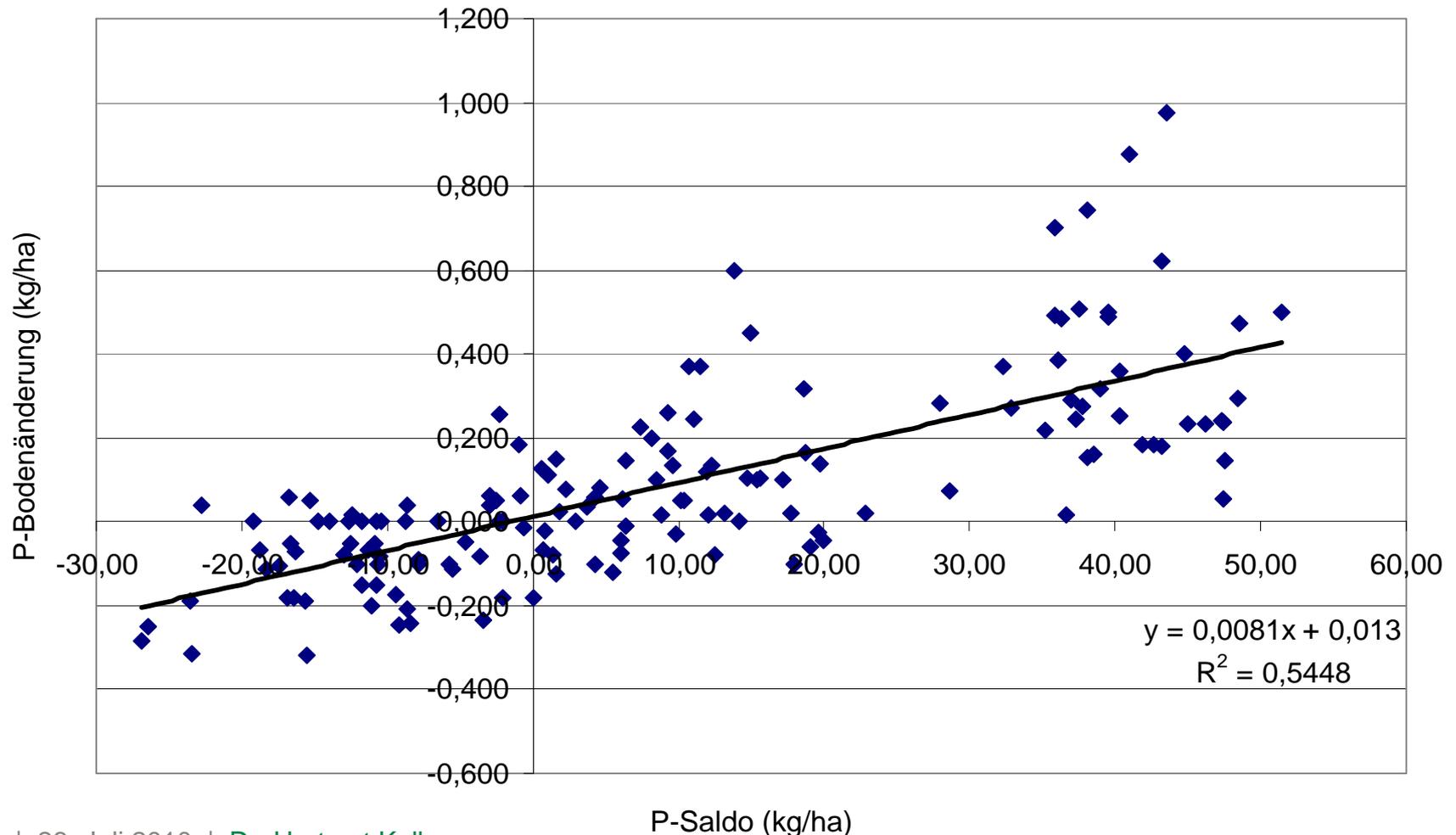
Faktor	Multpl. Bestimmtheitsmaß $r^2$ (%)	
	Modell ohne WW-Glieder	Modell mit WW-Glieder
P-Bilanz	<b>41,2</b>	
WW P-Bilanz x Temperatur		<b>42,8</b>
Temperatur	6,2	4,0
Temperatur <sup>2</sup>	1,5	
WW P-Bilanz x N-Düngung		1,8
N-Düngung	0,5	
N-Düngung <sup>2</sup>	6,1	7,1
WW P-Bilanz x Humusgehalt		0,2 n.s.
P-Gehalt Versuchsanfang <sup>2</sup>	4,8	5,6
Bodenart <sup>1)</sup>	0,8	0,7
Niederschlag	0,3 n.s.	0,6
<b>Summe</b>	<b>61,4</b>	<b>62,8</b>

# Beziehung zwischen P-Saldo und P-Bodenänderung (konvent. Dauerversuche, 601 Var.)

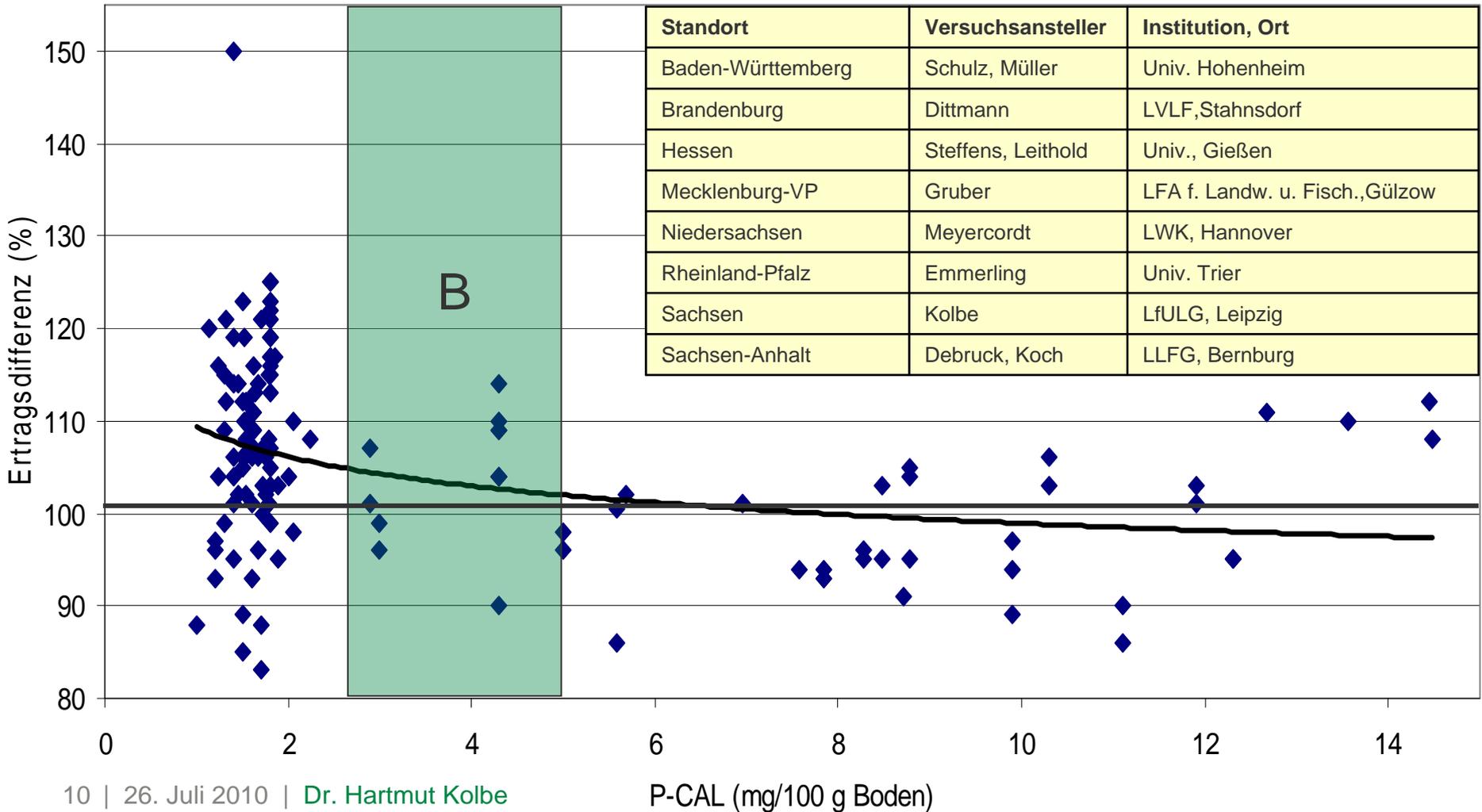


# Einfluss des P-Saldos auf die P-Bodenänderung

(konvent. Dauerversuche, 152 Var., Ost-D, KERSCHBERGER & MARKS, 1974)



# Einfluss der mineral. P-Düngung auf die Ertragsdifferenz bei unterschiedlichen P-Bodengehalten aus **Öko-Versuchen**

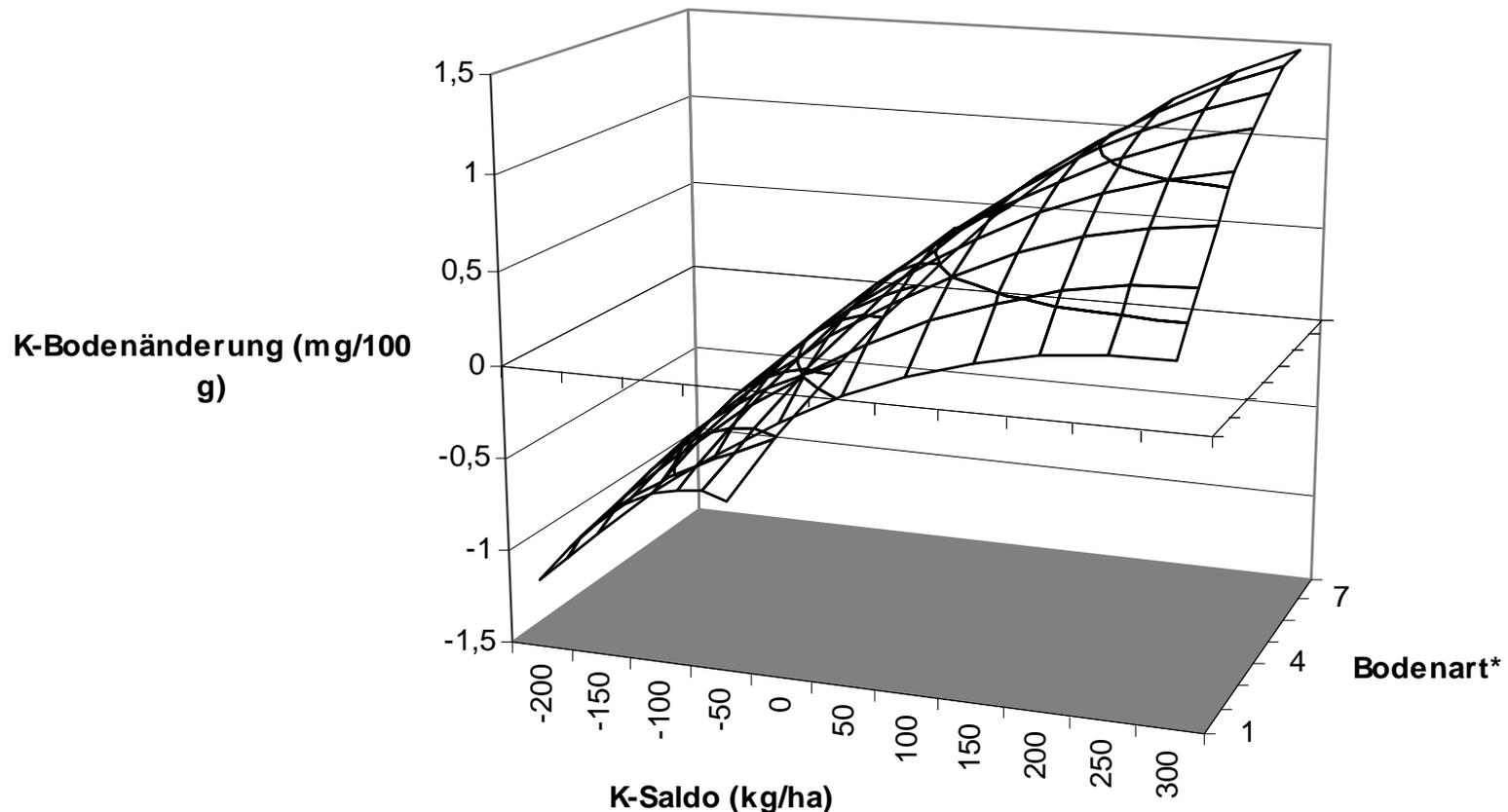


# Multiple Regressionsanalyse zum Einfluss von Standort und Bewirtschaftung auf die löslichen K-Gehalte (DL, CAL, konvent. Dauerversuche, Varianten-Anzahl = 306)

Faktor	Multpl. Bestimmtheitsmaß $r^2$ (%)	
	Modell ohne WW-Glieder	Modell mit WW-Glieder
WW K-Bilanz x Bodenart <sup>1)</sup>		<b>33,3</b>
K-Bilanz	<b>24,8</b>	1,1
K-Bilanz2		<b>18,0</b>
Bodenart <sup>1)</sup>	1,0	0,3
Bodenart2 <sup>1)</sup>		0,8
WW K-Bilanz x Humusgehalt		8,1
Humusgehalt	9,9	
Humusgehalt2		0,9
WW Bilanz x Niederschlag		7,2
Niederschlag (mm)	1,0	1,0
WW Bilanz x Temperatur		1,4
Temperatur	1,9	10,4
Temperatur2		1,1
WW K-Bilanz x pH-Wert		0,5
pH-Wert2		0,9
K-Gehalt Versuchsanfang	2,7	1,4
K-Gehalt Versuchsanfang2		0,9
<b>Summe</b>	<b>41,3</b>	<b>87,3</b>

# Wechselwirkung zwischen K-Saldo und Bodenart auf die K-Bodenänderung

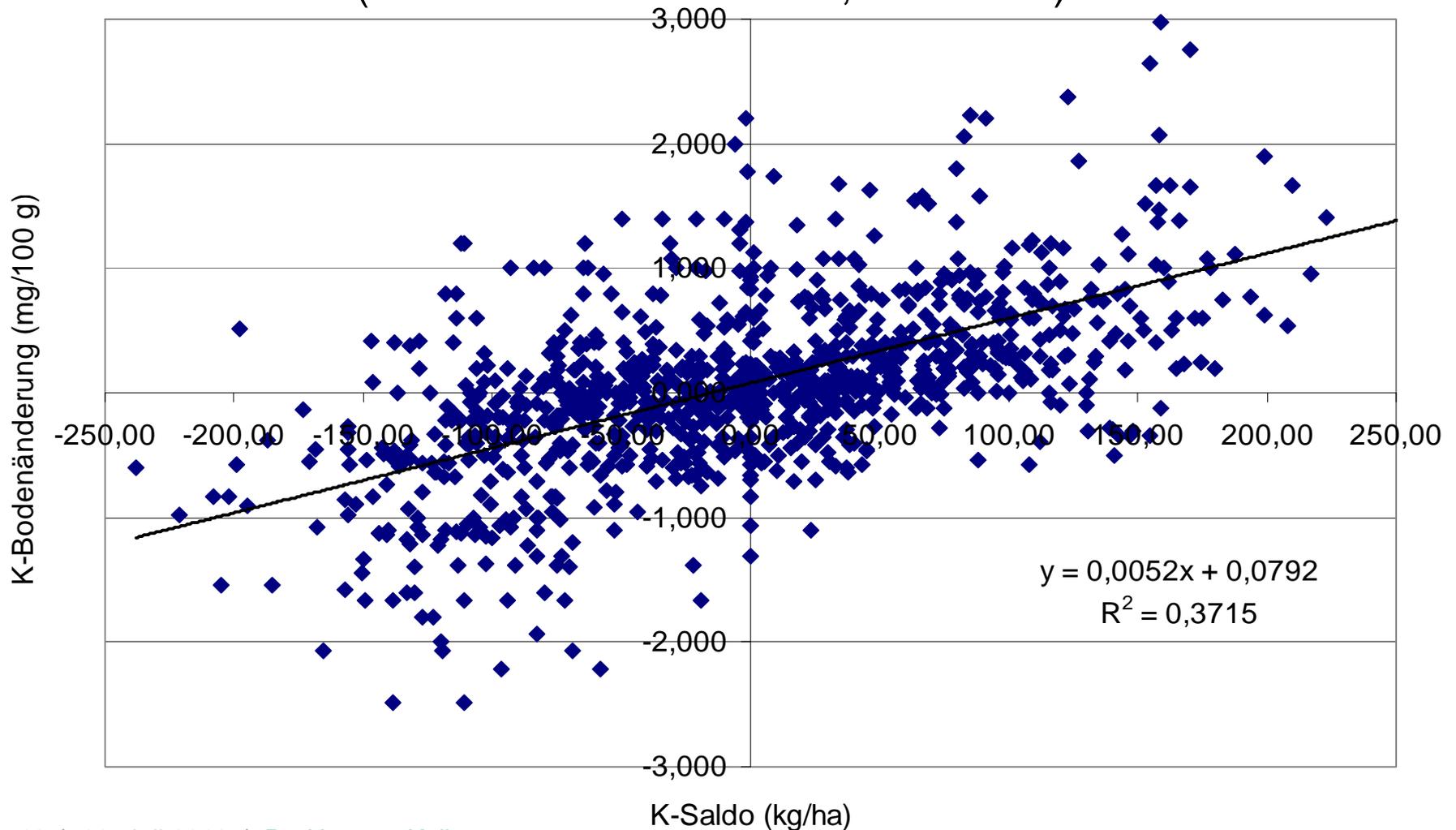
Kalium, Bodenart,  $r^2 = 38\%$



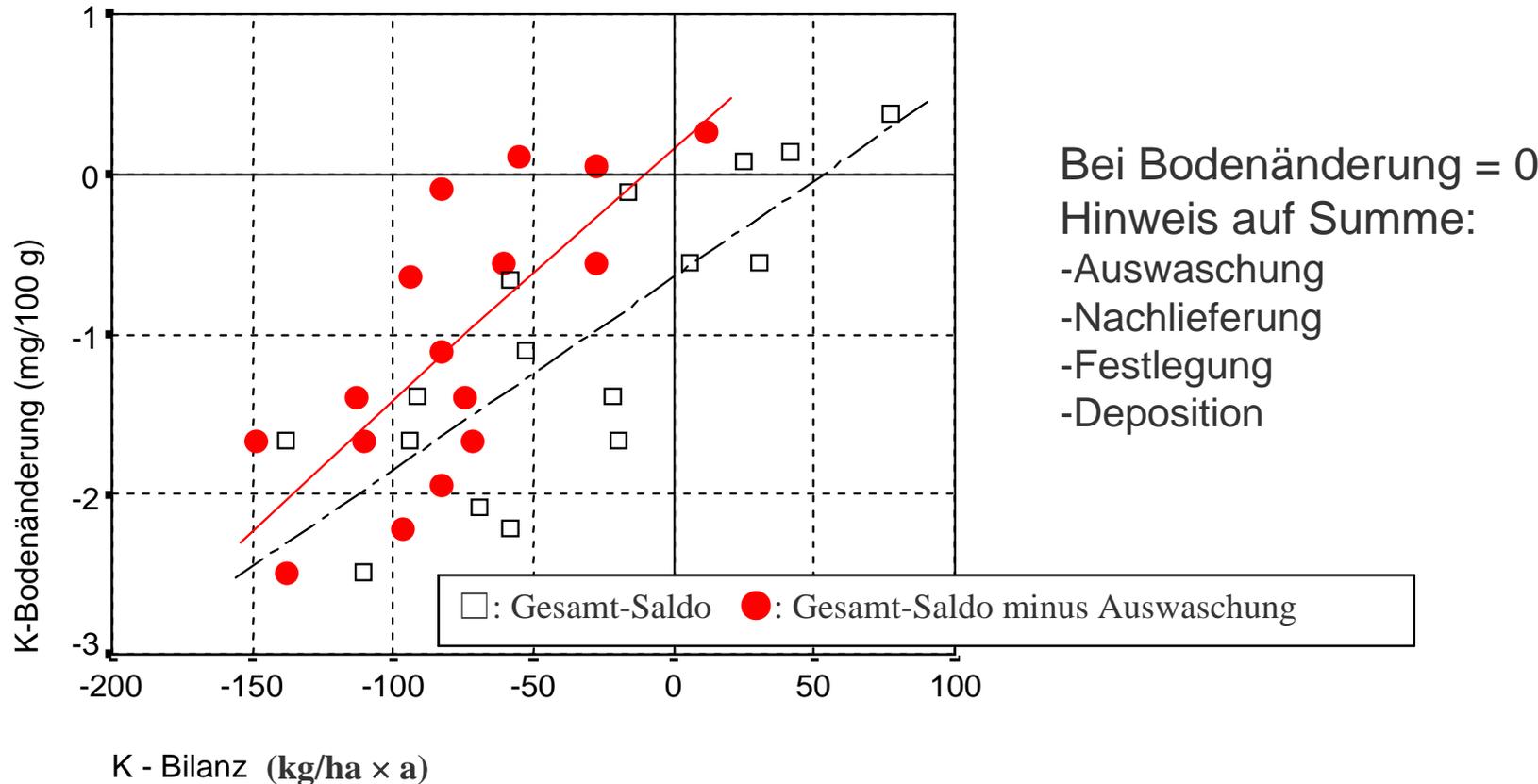
\* Bodenart: 1 = S; 2 = SI; 3 = IS; 4 = SL; 5 = sL; 6 = L; 7 = LT; 8 = T

# Einfluss der K-Bilanz auf die K-Bodenänderung

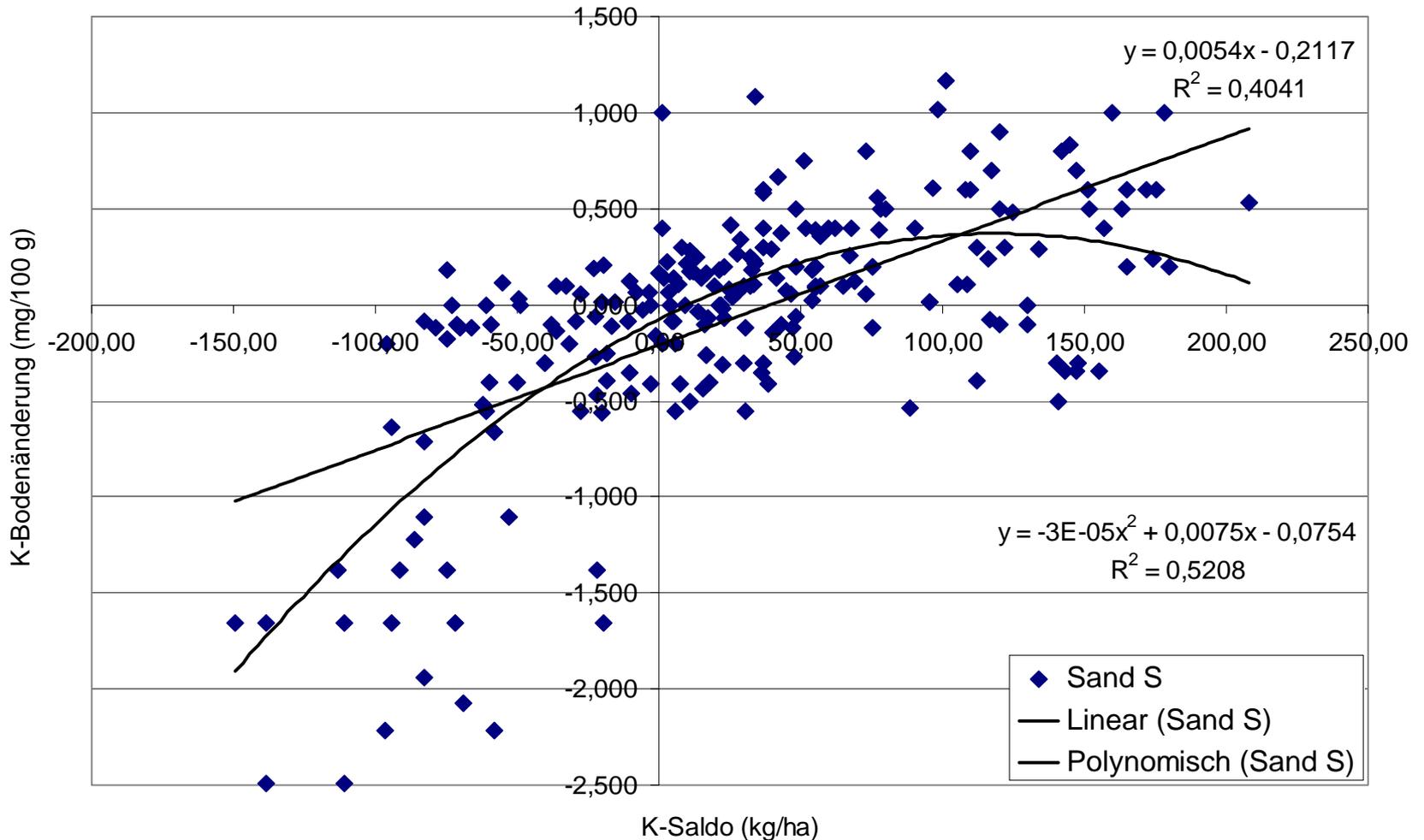
(konvent. Dauerversuche, 1033 Var.)



# Feldbilanz und jährliche Änderung der Bodengehalte an Kalium mit und ohne Berücksichtigung der K-Auswaschung auf Sand (n. SCHULZ, 1994)

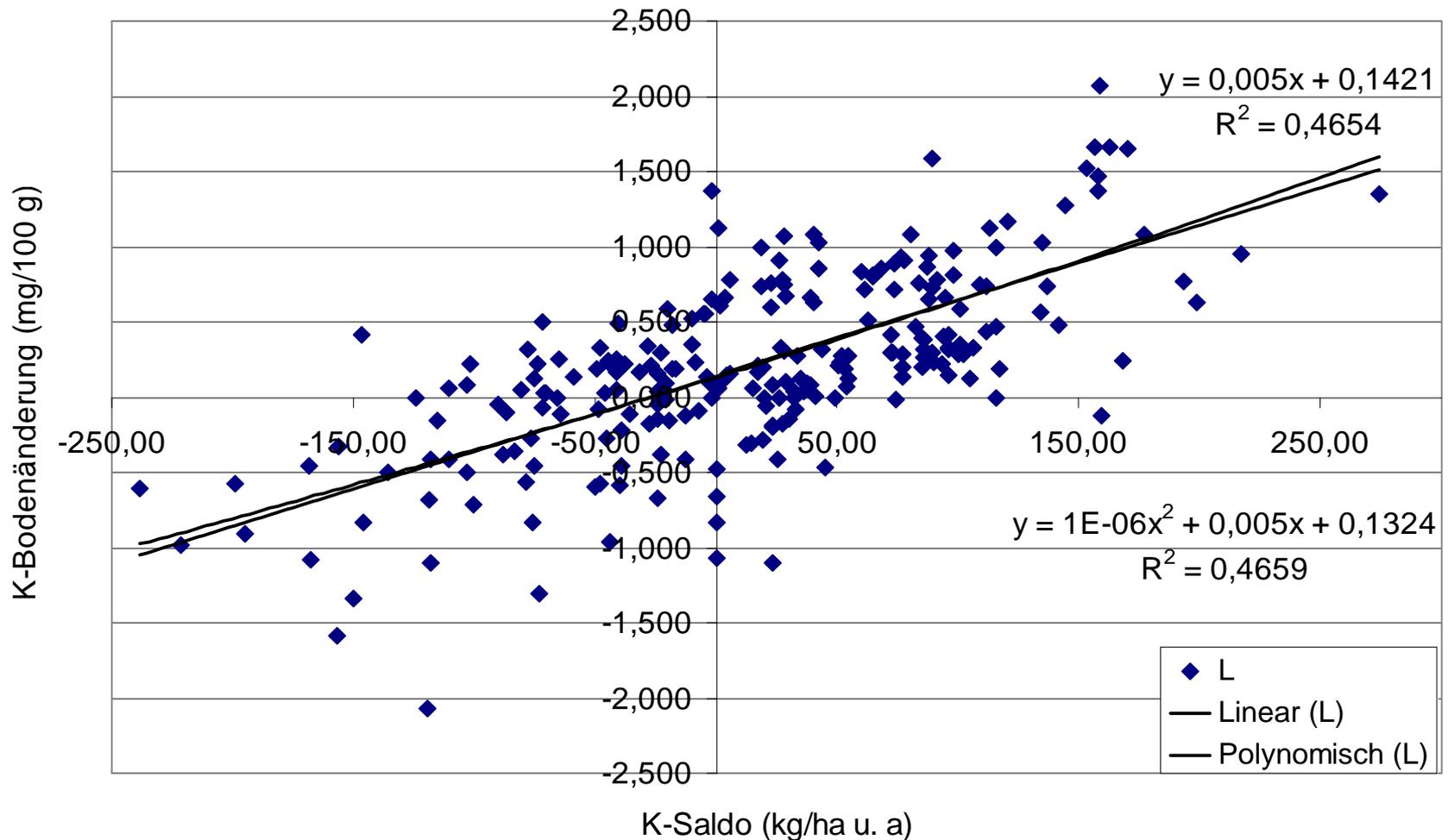


# Einfluss der K-Bilanz auf die K-Bodenänderung auf Sand (konvent. Dauerversuche, 229 Var.)

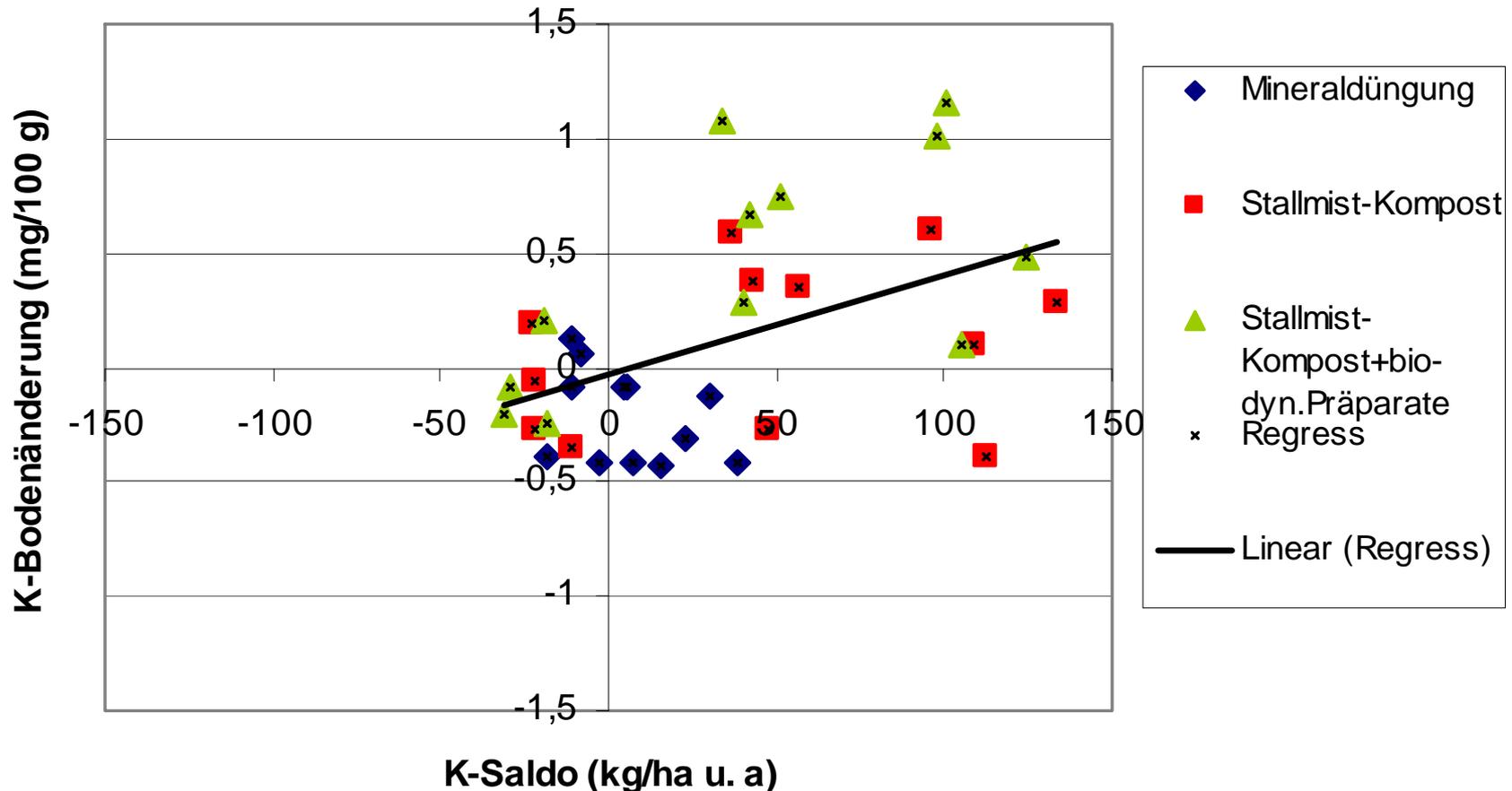


# Einfluss der K-Bilanz auf die K-Bodenänderung auf **Lehm**

(konvent. Dauerversuche, 238 Var.)



# Einfluss der K-Salden auf die jährliche Veränderung der K-Bodengehalte im Öko-Versuch Darmstadt auf Sand (ABELE, 1987)

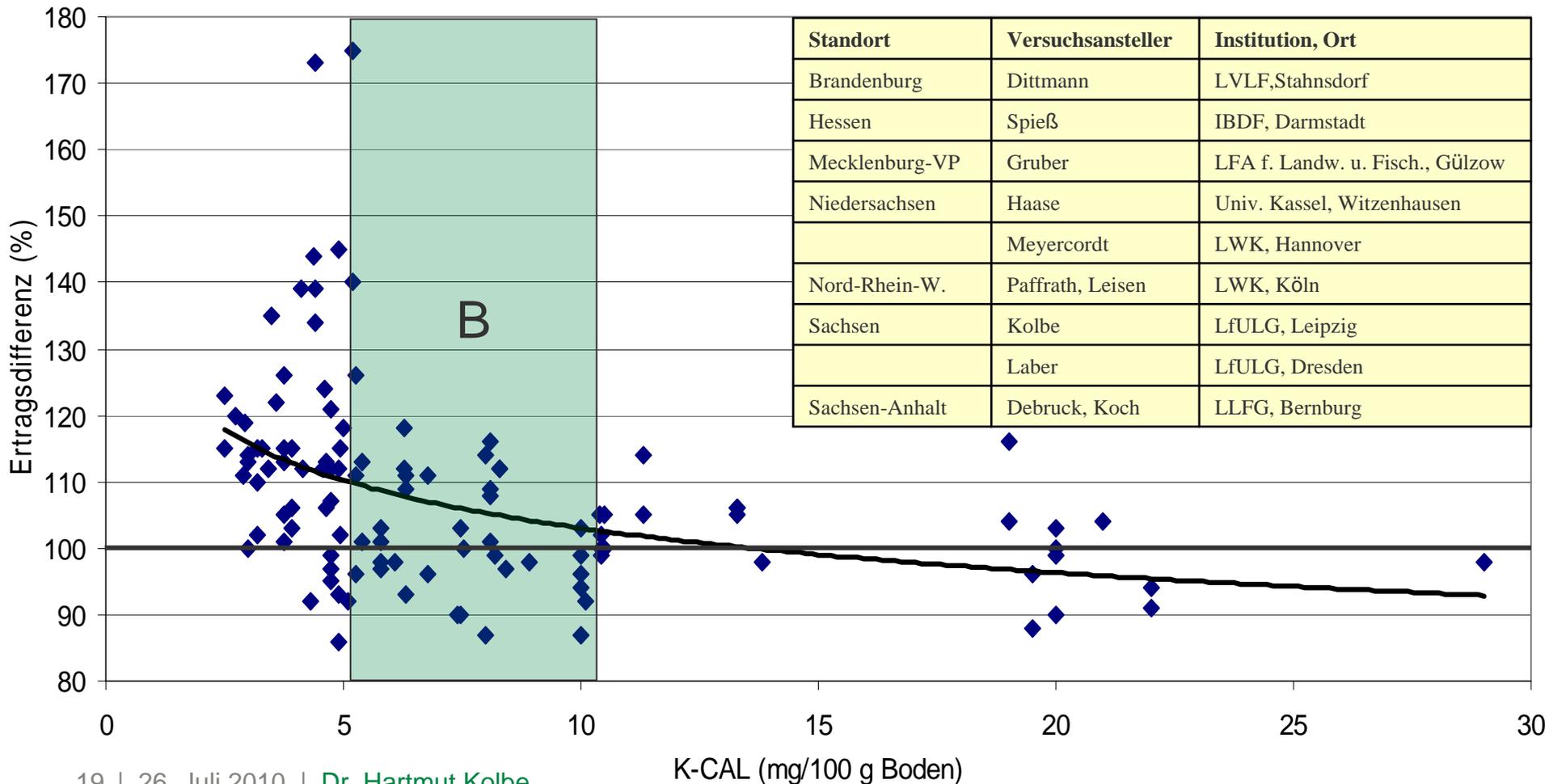




# Beziehungen zwischen K-Salden und K-Bodenänderung nach Bodenart gegliedert

Bodenart	Achsen- abschnitt A	Steigung B	Multipl. Be- stimmtheits- mass $r^2$ (%)	K-Saldo (kg/ha) bei K-Boden- änderung = 0	Varianten- Anzahl
Sand	-0,2117	0,0054x	40,4 <sup>***</sup>	<b>39</b>	229
	-0,0754	0,0075x -0,00003x <sup>2</sup>	52,1 <sup>***</sup>	<b>10</b>	
anlehm. Sand, lehm. Sand	-0,0437	0,003	24,3 <sup>**</sup>	<b>15</b>	139
	-0,0216	0,003x -0,000005x <sup>2</sup>	24,6 <sup>**</sup>	<b>7</b>	
stark lehm. Sand, sand. Lehm	0,2959	0,0068	45,5 <sup>***</sup>	<b>-44</b>	348
	0,1601	0,0064x 0,00001x <sup>2</sup>	48,8 <sup>***</sup>	<b>-26</b>	
Lehm	0,1421	0,005	46,5 <sup>***</sup>	<b>-29</b>	238
	0,1324	0,005x 0,000001x <sup>2</sup>	46,6 <sup>***</sup>	<b>-27</b>	
lehm. Ton, Ton	0,2076	0,0061	41,2 <sup>***</sup>	<b>-34</b>	79
	0,314	0,0066x -0,000009x <sup>2</sup>	45,2 <sup>***</sup>	<b>-45</b>	

# Einfluss der mineral. K-Düngung auf die Ertragsdifferenz bei unterschiedlichen K-Bodengehalten aus **Öko-Versuchen**



## Versorgungsstufen für lösliche Bodennährstoffe (P, K, Mg) von Ackerland und Grünland für Öko-Betriebe

Gehaltsklasse	Einstufung	Anmerkung für den ökologischen Landbau
<b>A</b> Sehr niedrig	Ertrags- und Qualitätsmängel, sehr guter Umwelt- und Ressourcenschutz, geringe Effizienz bei singulärem Mangel	Zufuhr an Grundnährstoffen von außen in der Regel notwendig
<b>B</b> Niedrig	Optimal für ökologischen Landbau: Ertrag, Qualität, Umwelt- und Ressourcenschutz	Zufuhr an Grundnährstoffen von außen ggf. langfristig notwendig
<b>C</b> Mittel	Optimal für konventionellen Landbau bezüglich Ertrag aber verringerter Umwelt- und Ressourcenschutz	Zufuhr an Grundnährstoffen von außen begründungsbedürftig
<b>D</b> Hoch	Maximaler Ertrag, Luxuskonsum, geringer Umwelt- und Ressourcenschutz	Keine Zufuhr an Grundnährstoffen von außen
<b>E</b> Sehr hoch	Ertrags- und Qualitätsdepressionen möglich, Luxuskonsum, kein Umwelt- und Ressourcenschutz	Keine Zufuhr an Grundnährstoffen von außen (Vorsorge- und Sanierungsmaßnahmen erwägen)

# Schema zur Berechnung der Fruchtfolge-Schlagbilanz

Nährstoff-Zufuhr	Substrat- menge	Nährstoffgehalte (Tabellenwerte)	Nährstoffmenge
Vorfrüchte (Haupt-, Zwischenfrüchte, Nebenprodukte, Gründüngung)	....	X ....	= ....
Wirtschaftsdünger	....	X ....	= ....
Mineral-Düngemittel (Haupt- und Nebenbestandteile)	....	X ....	= ....
			
Nährstoff-Abfuhr/-Entzug	Substrat- menge	Nährstoffgehalte (Tabellenwerte)	Nährstoffmenge
Hauptfrüchte (Aufwuchs bzw. Abfuhr von Haupt- und Nebenprodukten)	....	X ....	= ....
Zwischenfrüchte (Aufwuchs bzw. Abfuhr)	....	X ....	= ....
			
<b>Schlagbilanz</b> Nährstoff-Zufuhr - Nährstoff-Abfuhr =		<b>± Saldo</b>	(1 bis n Jahre, Fruchtfolge)

**Ziele: P:**  $\geq 0$  kg P/ha u. Jahr

**K:** leichte Böden  $\geq +15$  kg/ha u. Jahr, schwere Böden bis  $\geq -40$  kg K/ha u. Jahr

# Prinzip zur Berechnung der P- und K-Grunddüngung

## Berechnung der Fruchtfolge-Schlagbilanz

### Nährstoffzufuhren:

- + Vorfrüchte (Haupt-Zwischenfrüchte, Nebenprodukte, Gründüngung)
- + Mineral-Düngemittel (Haupt- u. Nebenbestandteile)
- + Wirtschaftsdünger (Stallmist, Kompost, Gülle, Jauche, etc.)

### Nährstoff-Abfuhr/-Entzug:

- Hauptfrüchte (Aufwuchs bzw. Abfuhr von Haupt- und Nebenprodukten)
- Zwischenfrüchte (Aufwuchs bzw. Abfuhr)

=  $\pm$  **Nährstoffsaldo**

## Berechnung der Boden-Ausgleichs-Düngerhöhe

- Bodenarten
- Versorgungsstufen-Zielgehalte (= Versorgungsstufe B, C)

- Versorgungsstufenausgleich
- Jahres-Ausgleich
- Boden-Ausgleich

=  $\pm$  **Boden-Ausgleichs-Düngerhöhe**

## Berechnung der Düngungshöhe

Bodenausgleich — Nährstoffsaldo = Düngungshöhe

# Berechnungs-Schema

(PC-Programm BEFU, Teil Ökolandbau: [www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/befu](http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/befu))

Bodenarten, Versorgungsstufen-Zielgehalte (Versorgungsstufe B)					
Phosphor (mg P/100 g Boden)			Kalium (mg K/100 g Boden)		
Bodenarten	DL-Methode	CAL-Methode	Bodenarten	DL-Methode	CAL-Methode
alle Bodenarten	4,7	3,7	S	5,5	5,0
			Sl, IS	6,0	6,0
			SL, sL	7,0	7,5
			L	8,5	8,5
			IT, T	13,0	11,5

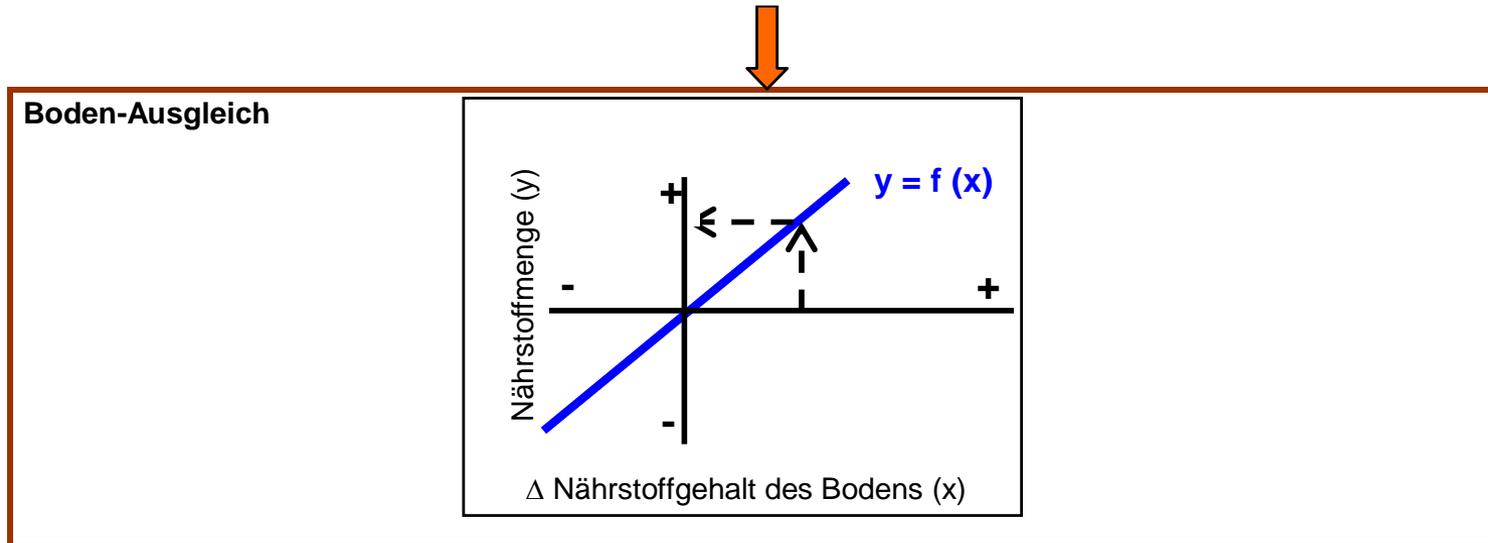


Versorgungsstufen-Ausgleich					
Zielgehalte (Mitte d. Stufe B)	-	Aktueller Gehalt (laut Bodenuntersuchung)	=	$\pm \Delta$	Nährstoffgehalt des Bodens



Jahres-Ausgleich					
$\pm \Delta$	Nährstoffgehalt	÷	10 Jahre	=	$\pm \Delta$ Nährstoffgehalt/ Jahr

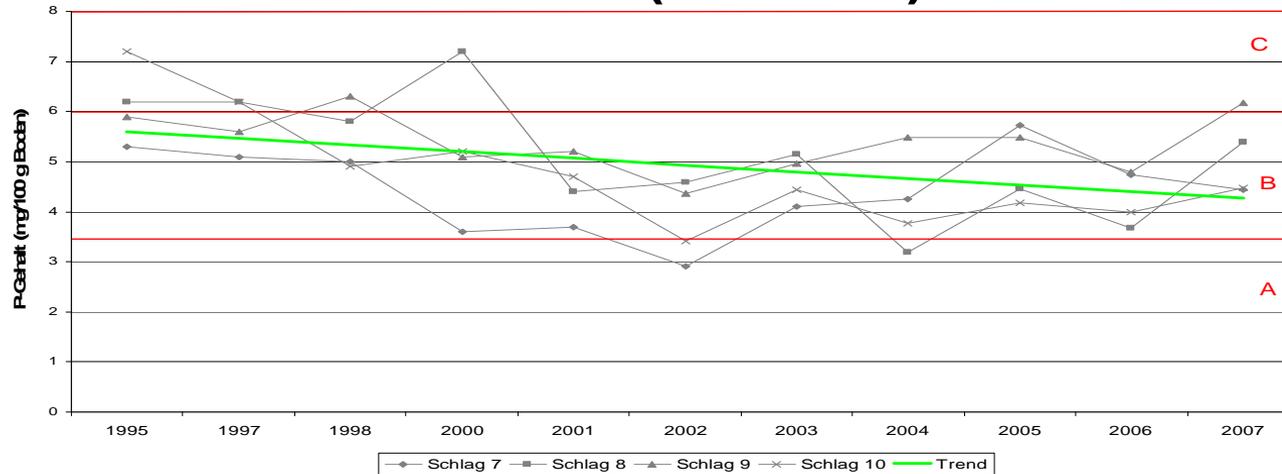
# Berechnungs-Schema (Fortsetzung)



**Düngungshöhe**

$\pm$ Boden- ausgleich	-	$\pm$ Nährstoff-Saldo (Schlagbilanz)	=	$\pm$ Düngungshöhe (- = Nährstoff-Überschuss)
---------------------------	---	---	---	--

# Entwicklung der P-Gehalte ( DL) in der viehlosen Fruchtfolge des Ökofeldes in Roda (Sachsen) von 1995 - 2007



## Schlagbilanz und Düngungsempfehlung für P (kg P/ha)

Schlag Nr.	Saldo (Ziel = min. 0)	Düngungsempfehlung	Gehaltsklasse (Ziel = B)
7	-6	98	B
8	-14	105	B
9	-17	43	B
10	-13	123	B
<b>Mittelwert</b>	<b>-13</b>	<b>92</b>	<b>B</b>



## Schlussfolgerungen und Ausblick

- **Nährstoffbilanzen und Bodengehalte von Ökobetrieben weisen oft einen negativen Trend für P und K auf**
- **Bei guter Nährstoffversorgung kann zunächst ein Überhang abgeschöpft werden**
- **Bei knappen Boden-Reserven besteht Handlungsbedarf zur Sicherung der Nachhaltigkeit**
- **Ein reichhaltiger Schatz an Düngungsversuchen sowie experimentell erprobte Methoden der Bodenuntersuchung und des Nährstoffmanagements stehen aus der konventionellen Landwirtschaft zur Verfügung**
- **Einige Methoden wurden an Hand von Versuchen für die Bedingungen des Ökolandbaus abgestimmt und weiterentwickelt:**
  - Hoftor- und Schlagbilanzierung
  - Düngungsbemessungsverfahren
  - System der VDLUFA-Versorgungsstufen (Versorgungsklasse B für den Ökolandbau ausreichend)
- **Die organisch gebundenen Nährstoffe und deren Dynamik sollten zukünftig bei der Methodenentwicklung besser berücksichtigt werden**  
(→u.a. Methoden d. Bodenuntersuchung sowie in dynamischen C- u. N-Bilanzierungsmodellen, z.B. CCB)

