

Wissenschaftliche Düngekalk-Tagung, 27. – 28. März 2023

# Direkte sensorgestützte Vorhersage des teiflächenspezifischen Kalkbedarfs mittels Basenneutralisationskapazität

Sebastian Vogel, Eric Bönecke, Robin Gebbers, Ingmar Schröter, Charlotte Kling, Jörg Rühlmann, Eckart Kramer



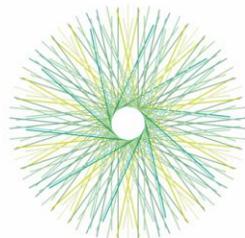
Landwirtschaft  
Philipp



LAB-Landwirtschaftliche  
Beratung der Agrarverbände  
Brandenburg GmbH



PARTICIPATING IN



eip-agri  
AGRICULTURE & INNOVATION

funded by



## 1. Methoden der Kalkbedarfsermittlung

- Indirekte Bestimmung nach VDLUFA
- Direkte Bestimmung nach der Basenneutralisationskapazität (BNK)

## 2. Ermittlung des teilflächenspezifischen Kalkbedarfs mittels Bodensensoren und BNK

- Verwendete Bodensensoren
- Variablengewichtung & Modellergebnisse
- Hochauflösende Kalkbedarfskarten

## 3. Vergleich BNK-Kalkbedarf und VDLUFA-Kalkbedarf

- Pedotransferfunktion der pH-Wertänderung durch Kalkung
- Erhaltungskalkung

## 4. Zusammenfassung & Ausblick

# Indirekte Ermittlung des Kalkbedarfs nach VDLUFA



## VDLUFA-Kalkungstabelle

### 4 Humusklassen:

< 4%; 4...8%; 8...15%; 15...30%

### 5 Texturklassen (Mineralböden):

- Sand;
- schwach lehmiger Sand;
- stark lehmiger Sand;
- sandiger bis schluffiger Lehm
- toniger Lehm bis Ton

### 5 pH-Klassen:

- A sehr niedrig
- B niedrig
- C optimal
- D hoch
- E sehr hoch

pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤ 4,0 %		4,1 bis 8,0 %		8,1 bis 15,0 %		15,1 bis 30 %	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
BG 1								
A	≤ 4,0	45	≤ 3,7	50	≤ 3,4	50	≤ 3,1	21
	4,1	42	3,8	46	3,5	47	3,2	19
	4,2	39	3,9	43	3,6	43	3,3	18
	4,3	36	4,0	39	3,7	39	3,4	16
	4,4	33	4,1	35	3,8	35	3,5	15
B	4,5	30	4,2	32	3,9	31	3,6	13
	4,6	27	4,3	28	4,0	28	3,7	12
	4,7	24	4,4	24	4,1	24	3,8	10
	4,8	22	4,5	21	4,2	20	3,9	9
	4,9	19	4,6	17	4,3	16	4,0	7
	5,0	16	4,7	13	4,4	13	4,1	6
	5,1	13	4,8	10	4,5	9	4,2	4
	5,2	10	4,9	6	4,6	5		
C	5,4 - 5,8	6	5,0 - 5,4	5	4,7 - 5,1	4	4,3 - 4,7	3
D	5,9 - 6,2	-	5,5 - 5,8	-	5,2 - 5,4	-	4,8 - 5,1	-
E	≥ 6,3	-	≥ 5,9	-	≥ 5,5	-	≥ 5,2	-

Kalkdüngungsbedarf (dt CaO/ha)

Bodengruppe 5								
Bodengruppe 4								
Bodengruppe 3								
Bodengruppe 2								
Bodengruppe 1								
pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤ 4,0 %		4,1 bis 8,0 %		8,1 bis 15,0 %		15,1 bis 30 %	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
A	≤ 4,0	45	≤ 3,7	50	≤ 3,4	50	≤ 3,1	21
	4,1	42	3,8	46	3,5	47	3,2	19
	4,2	39	3,9	43	3,6	43	3,3	18
	4,3	36	4,0	39	3,7	39	3,4	16
	4,4	33	4,1	35	3,8	35	3,5	15
B	4,5	30	4,2	32	3,9	31	3,6	13
	4,6	27	4,3	28	4,0	28	3,7	12
	4,7	24	4,4	24	4,1	24	3,8	10
	4,8	22	4,5	21	4,2	20	3,9	9
	4,9	19	4,6	17	4,3	16	4,0	7
	5,0	16	4,7	13	4,4	13	4,1	6
	5,1	13	4,8	10	4,5	9	4,2	4
	5,2	10	4,9	6	4,6	5		
C	5,4 - 5,8	6	5,0 - 5,4	5	4,7 - 5,1	4	4,3 - 4,7	3
D	5,9 - 6,2	-	5,5 - 5,8	-	5,2 - 5,4	-	4,8 - 5,1	-
E	≥ 6,3	-	≥ 5,9	-	≥ 5,5	-	≥ 5,2	-

Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV)

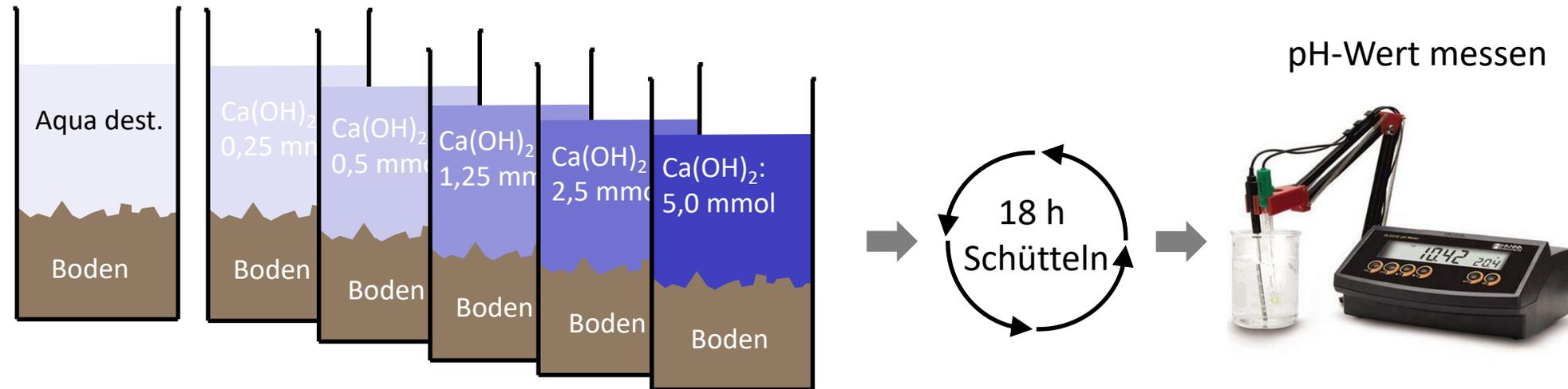
Gemeinsame Hinweise der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt

veröffentlicht durch das Land Brandenburg



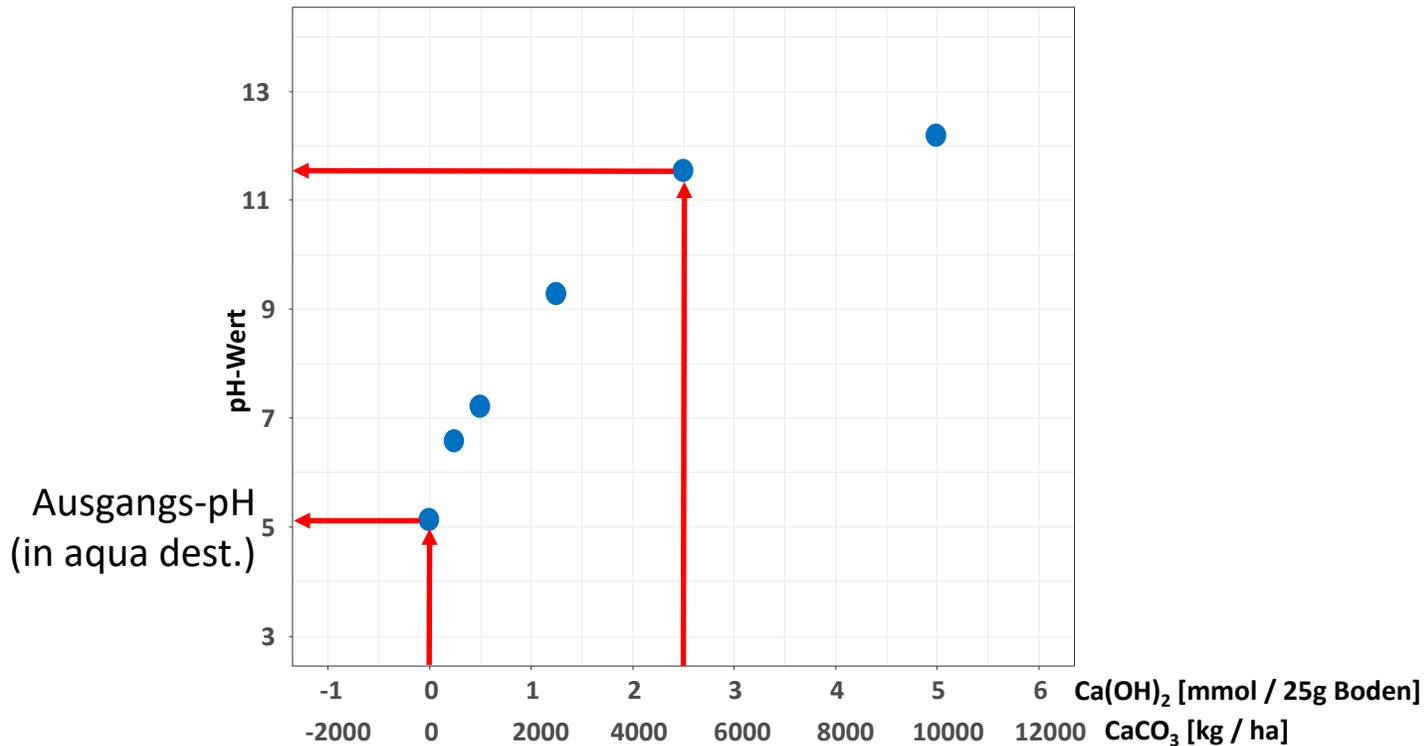
- **Definition:** Die BNK ist die Säuremenge im Boden, die innerhalb einer bestimmten Zeitspanne bis zu einem bestimmten pH-Wert durch eine Base neutralisiert wird.

- **Definition:** Die BNK ist die Säuremenge im Boden, die innerhalb einer bestimmten Zeitspanne bis zu einem bestimmten pH-Wert durch eine Base neutralisiert wird.
- **Durchführung:**
  - Zugabe von 6 Konzentrationsstufen von  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ : 0, 0.25, 0.5, 1.25, 2.5, 5 mmol zu 25g Boden
  - 18 h Schütteln
  - pH-Wert messen



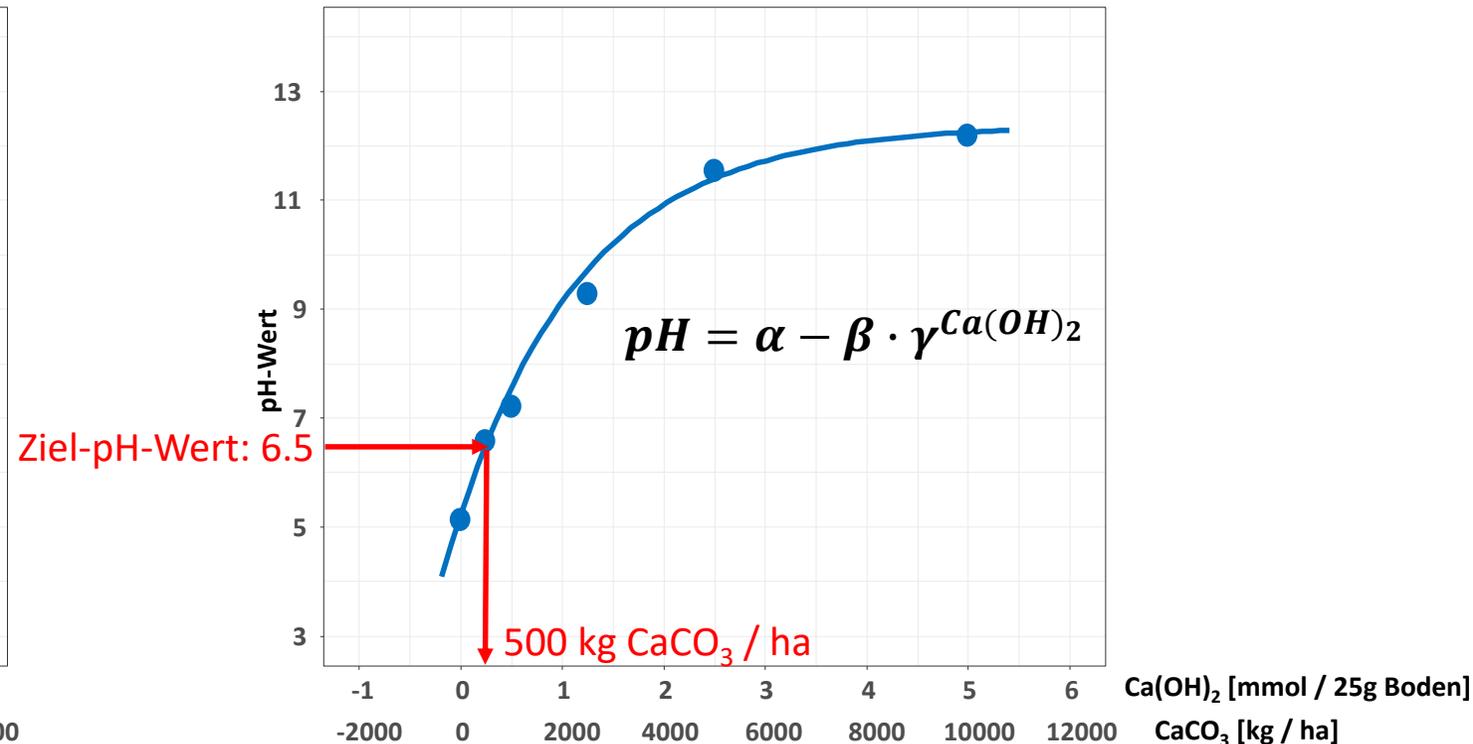
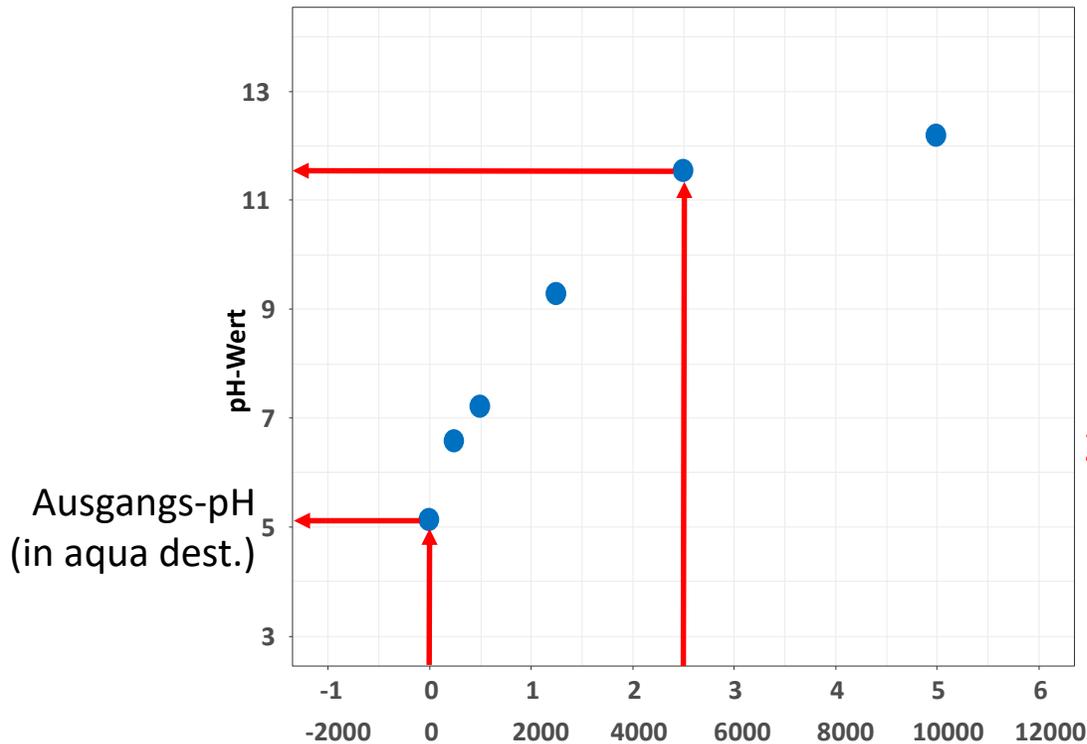
## ➤ Durchführung:

- Auftragen der pH-Werte in Abhängigkeit der Basenkonzentration

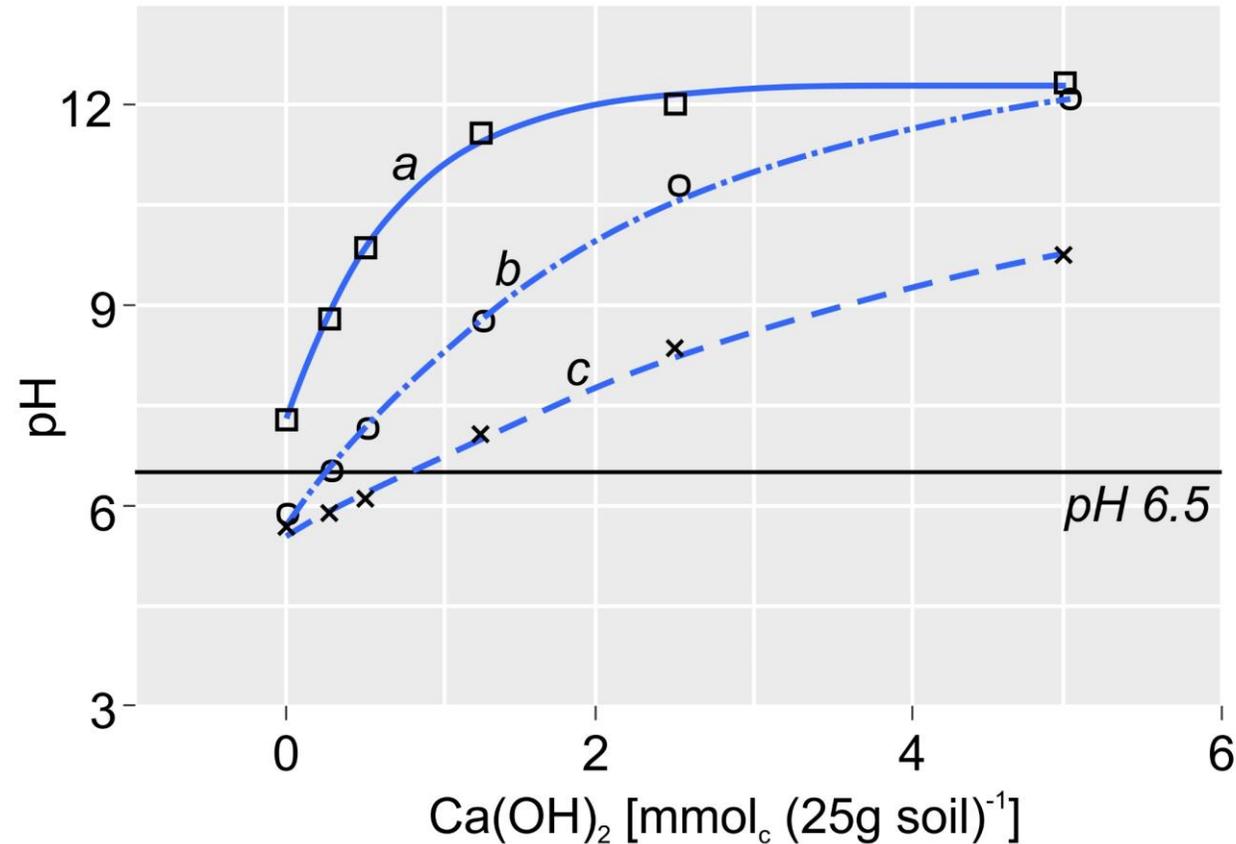


## ➤ Durchführung:

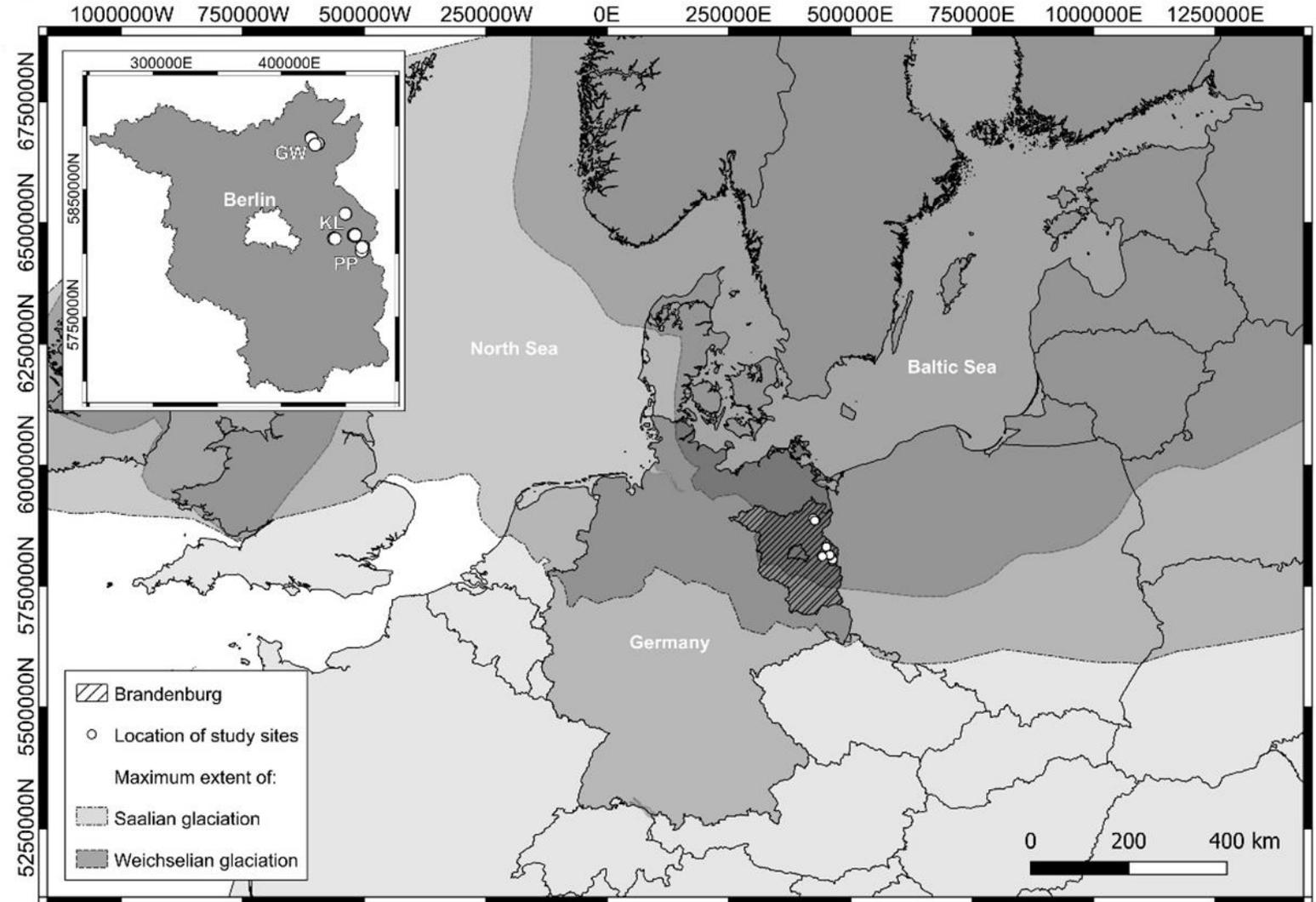
- Auftragen der pH-Werte in Abhängigkeit der Basenkonzentration
- Anpassung einer Funktion an die Messwerte und Berechnung des Kalkbedarfs für den Ziel-pH



- BNK-Titrationskurven haben aufgrund der spezifischen Kombination der Bodeneigenschaften der Proben unterschiedliche Geometrien



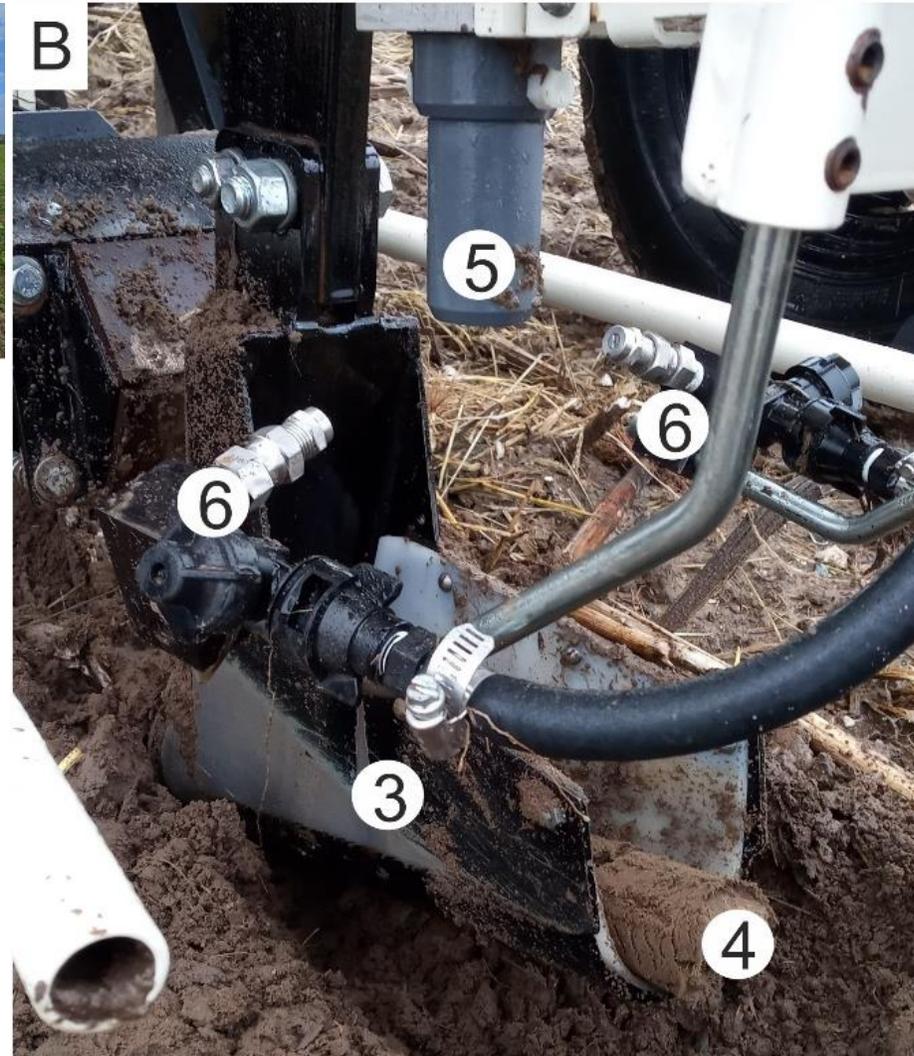
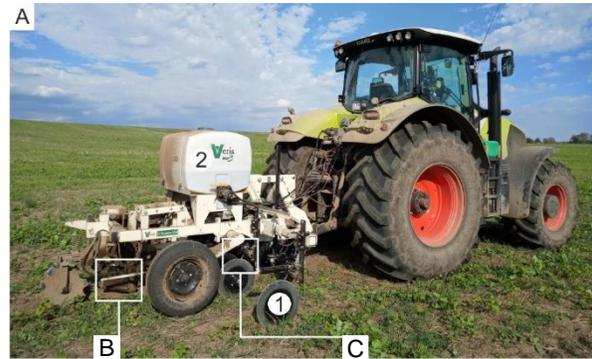
- 164 Bodenproben von 9 Ackerschlägen und 3 Betrieben in Brandenburg
- Weichseleiszeitlich geprägte Landschaft mit vorwiegend sandigen Böden mit geringen Humusgehalten, teilweise carbonathaltig aus Geschiebemergel





A: Multisensorplattform (Veris technologies, Salina, USA)

1: EC-Sensor (Elektrische Leitfähigkeit)

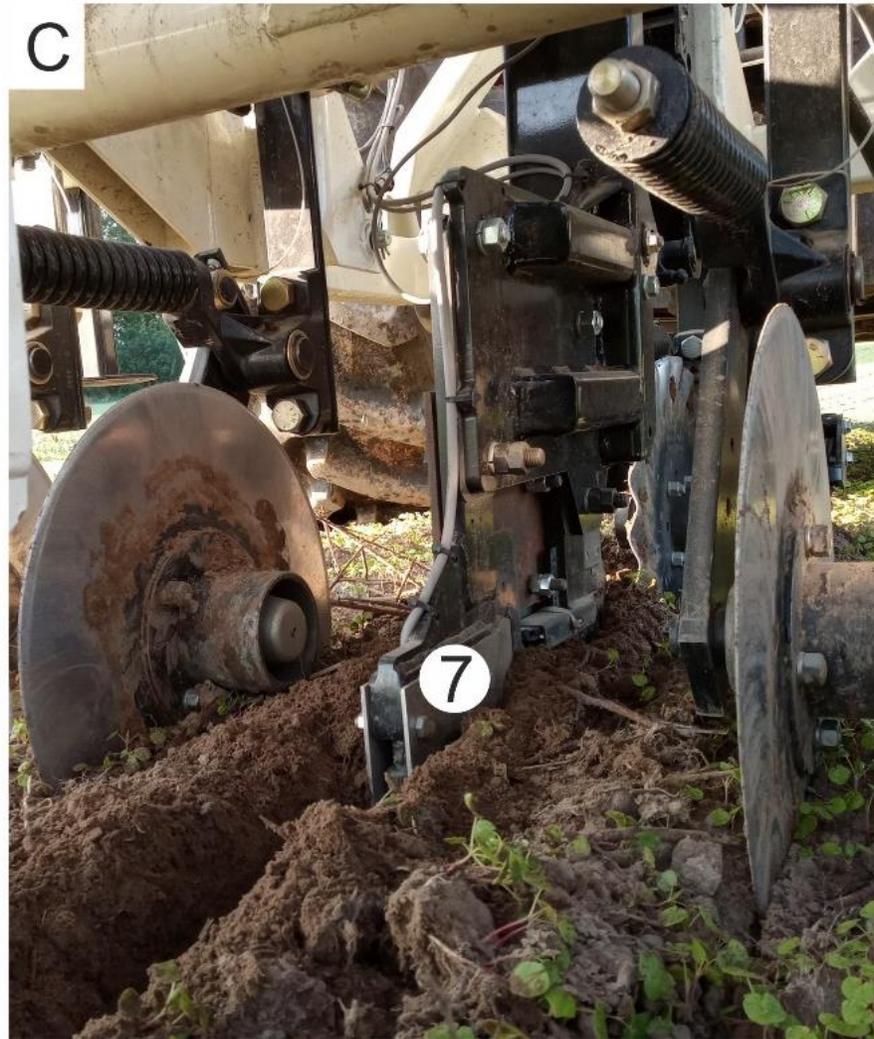
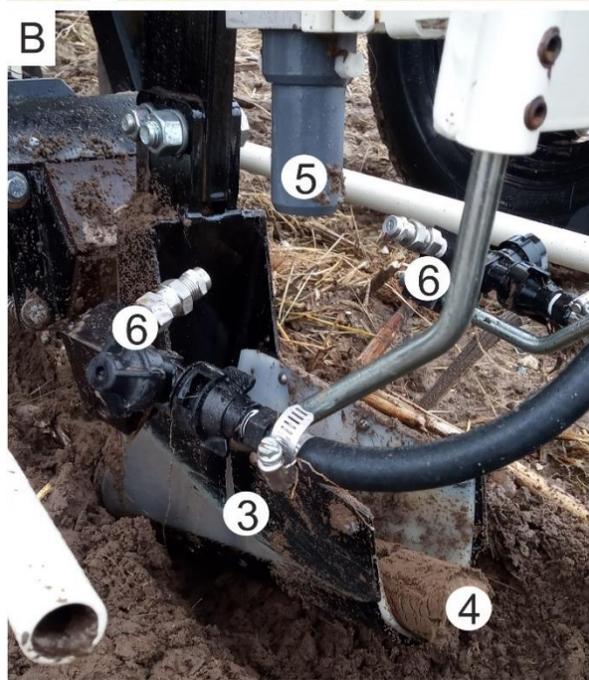


A: Multisensorplattform (Veris technologies, Salina, USA)

1: EC-Sensor (Elektrische Leitfähigkeit)

B: pH-Potenzimetrie (pH Manager; ionen-selektive Antimon-Elektroden)

2: Wassertank, 3: Bodenprobenehmer, 4: Bodenprobe, 5: pH-Elektroden, 6: Reinigungsdüsen.



**A: Multisensorplattform (Veris technologies, Salina, USA)**

**1: EC-Sensor (Elektrische Leitfähigkeit)**

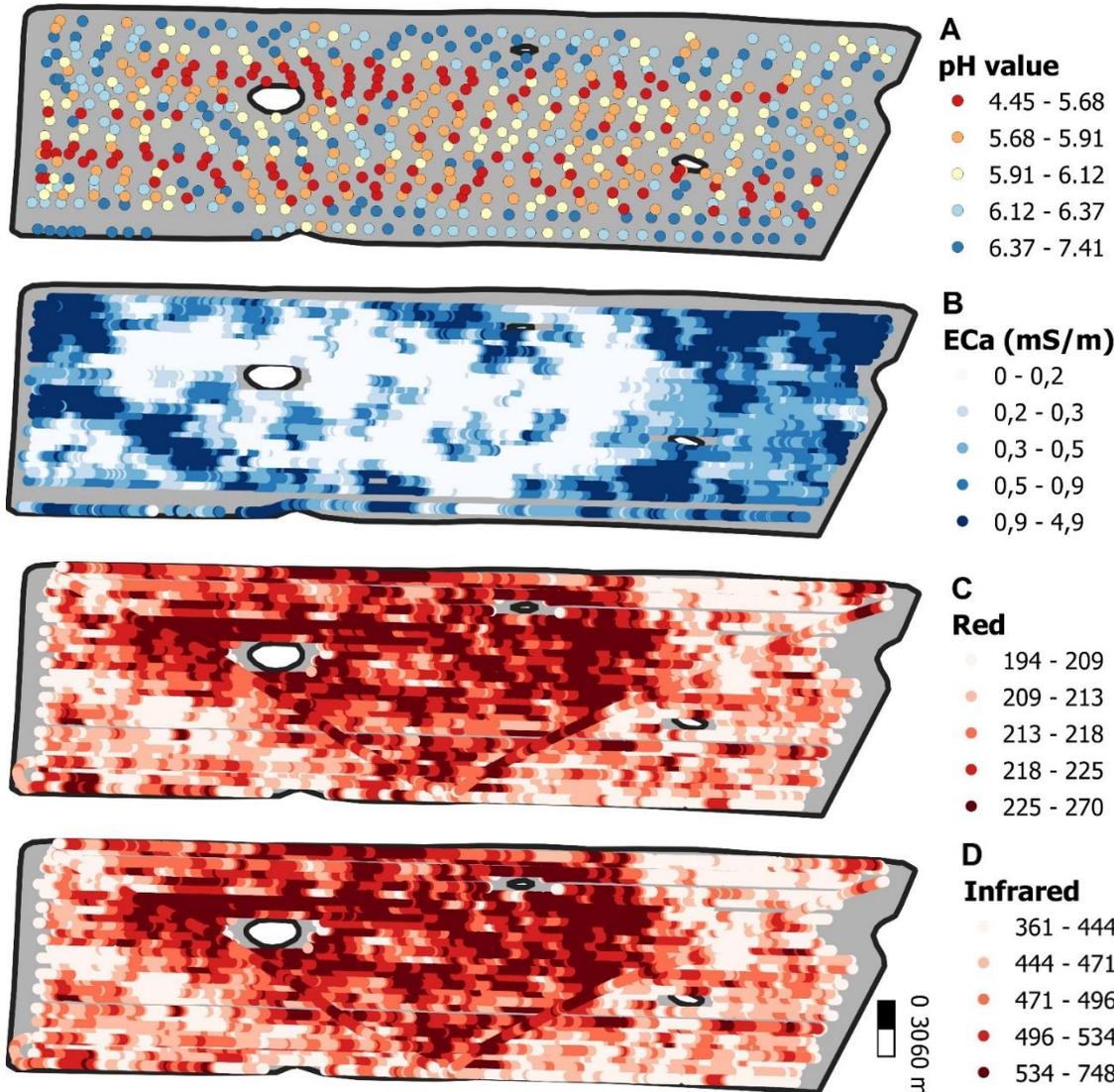
**B: pH-Potenzimetrie (pH Manager; ionen-selektive Antimon-Elektroden)**

**2: Wassertank, 3: Bodenprobenehmer, 4: Bodenprobe, 5: pH-Elektroden, 6: Reinigungsdüsen.**

**C: Optischer Sensor (OpticMapper)**

**7: Messung der Lichtreflektion des Bodens im visuellen (660 nm) und Nahinfrarot-Bereich (940 nm)**

# Ermittlung des teilflächenspezifischen Kalkbedarfs mittels Sensoren und BNK



pH-Potenzimetrie (pH Manager;  
ionen-selektive Antimon-Elektroden)

EC-Sensor (Elektrische Leitfähigkeit)

Optischer Sensor (OpticMapper)  
Lichtreflektion des Bodens im visuellen  
(Red: 660 nm) und ...

... Nahinfrarot-Bereich (IR: 940 nm)

## ➤ Sensordatenfusion:

- Schrittweise multivariate lineare Regression
- Abhängige Variable: Kalkbedarf nach BNK
- Unabhängige Variablen: pH, EC, OM-Red, OM-IR
- Bei korrelierenden Variablen wurden die Residuen errechnet und als unkorrelierte Variable weiterverwendet

## ➤ Sensitivitätsanalyse:

- Standardisierte Regressionskoeffizienten (SRK)

Korrelationen zwischen den unabhängigen Variablen

	OM-IR vs. OM-Red	EC-sh vs. OM-IR	pH vs. OM-IR	pH vs. EC-sh
GW6	0.90	0.40	0.23	0.44
GW21	0.74	0.53	0.22	0.47
GW32	0.82	0.55	0.66	0.45
KL6	0.93	0.38	0.00	0.14
KL41	0.99	0.46	0.24	0.06
KL42	0.91	0.69	0.00	0.11
KL60	0.95	0.32	0.27	0.22
PP1392	0.25	0.50	0.41	0.25
PP1401	0.71	0.48	0.01	0.03

## Rangfolge der Variablengewichtung aus Sensitivitätsanalyse

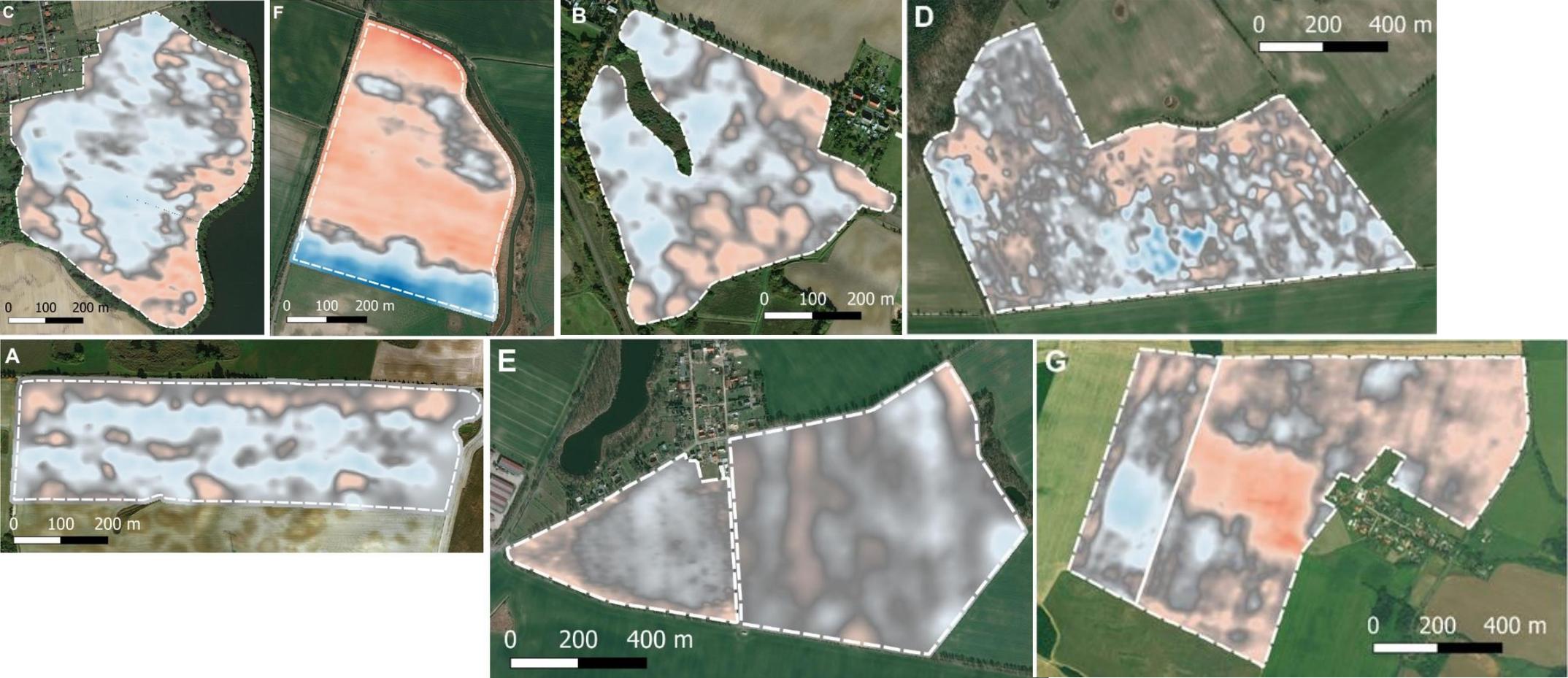
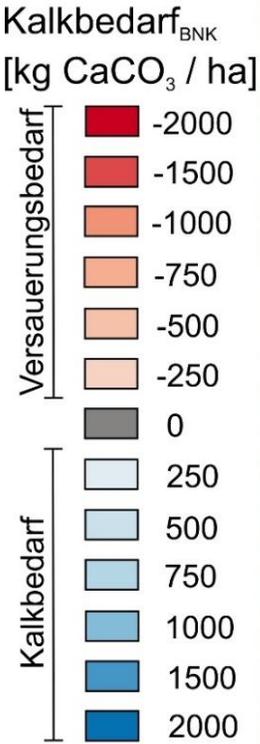
Feld	nvar	RMSE [kg CaCO <sub>3</sub> ha <sup>-1</sup> ]	adj. R <sup>2</sup>	#1	#2	#3	#4	#5
GW6	1	169.6	0.76	pH				
GW21	3	77.47	0.91	pH	Res-IR_Red	Res-ECsh_IR		
GW32	3	234.3	0.80	IR	pH	EC-sh		
KL6	5	120.3	0.86	Res-IR_Red	pH	Ratio-IR-Red	IR	EC-sh
KL41	2	65.18	0.75	pH	EC-sh			
KL42	1	102.6	0.70	pH				
KL60	2	203.8	0.90	pH	Ratio-IR-Red			
PP1392	3	134.3	0.70	pH	EC-sh	Ratio-IR-Red		
PP1401	2	163.2	0.72	pH	IR			

- pH (pH Sensor)
- IR (Infrarotkanal OM)
- Red (Rotkanal OM)

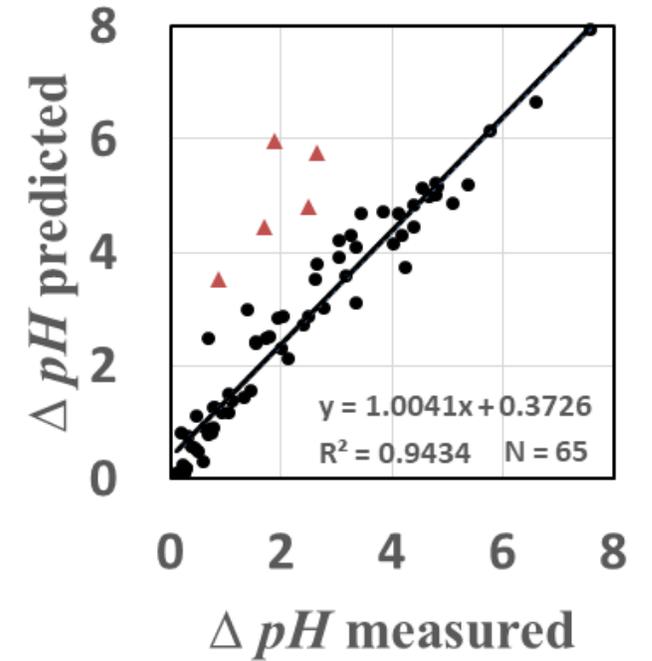
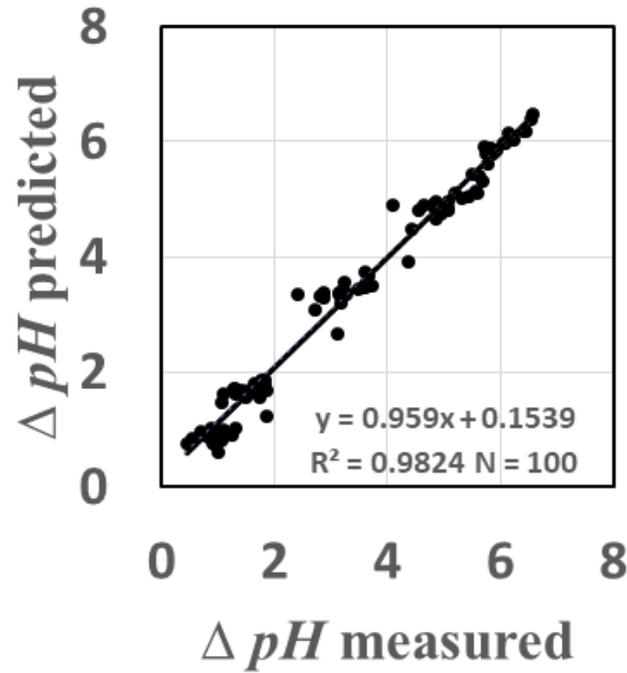
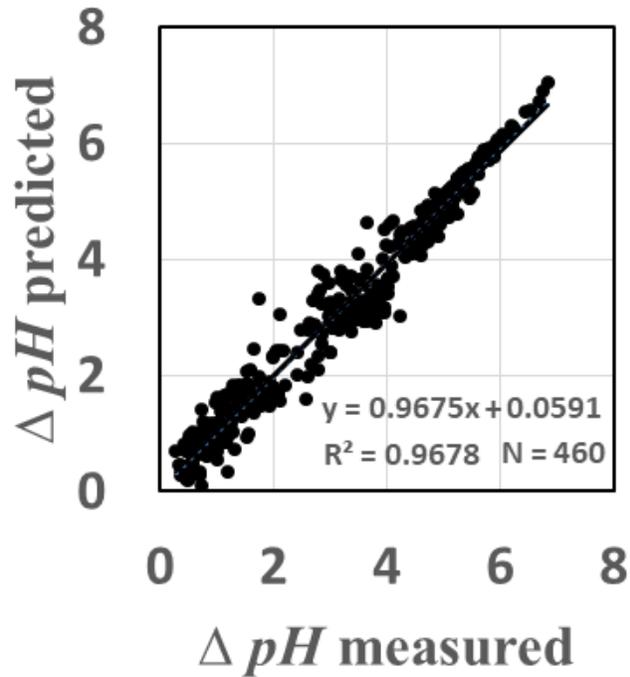
- Ratio\_IR\_Red (Verhältnis Infrarot-Rotkanal)
- Res-IR (Residuen Infrarot)

- EC-sh (Elektr. Leitfhgk. flach)
- Res-ECsh (Residuen Elektr. Leitfhgk. flach)

## Ergebnisse: Ortsspezifische Kalkbedarfskarten nach der BNK



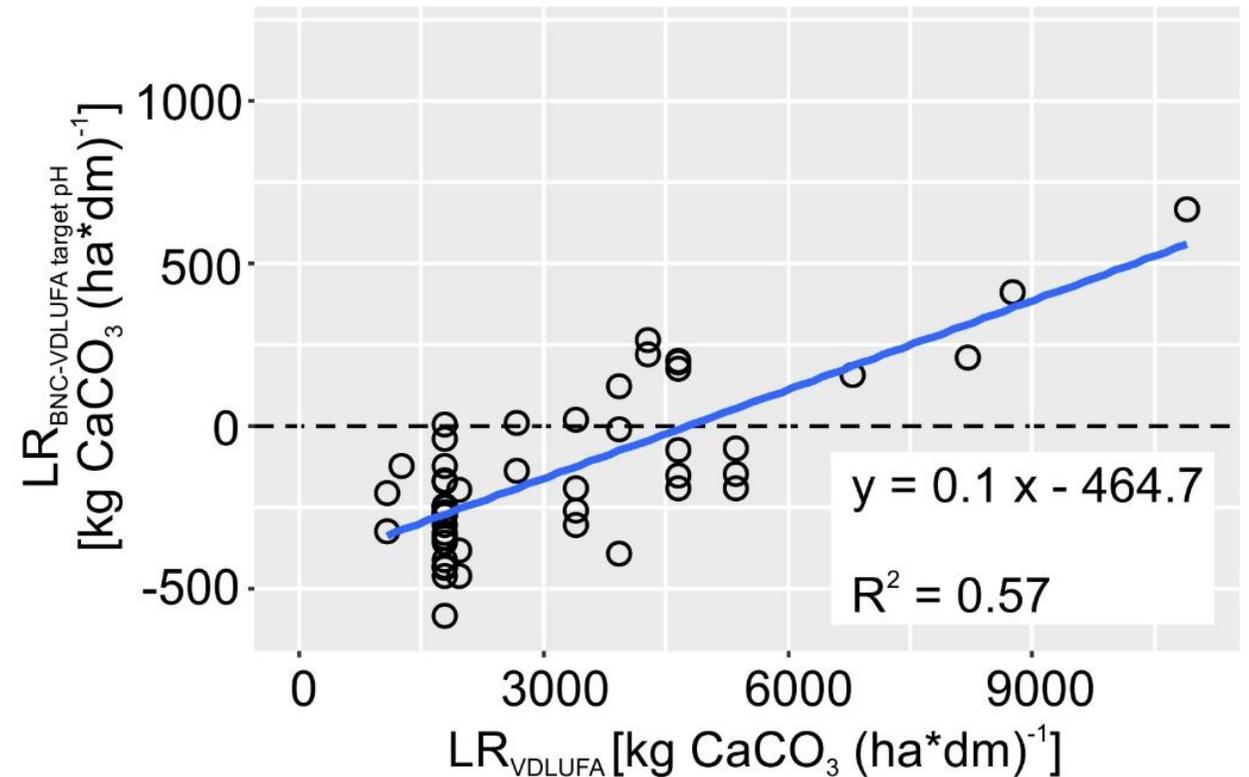
$$\Delta pH = (pH_{max} - pH_0) * (1 - EXP(-\alpha * Ca(OH)_2)) + \beta * MPD - \gamma * SOC$$



- BNK beschreibt die reine pH-Änderung im Boden in Abhängigkeit von Ausgangs-pH, Textur, Humusgehalt und Kalkmenge

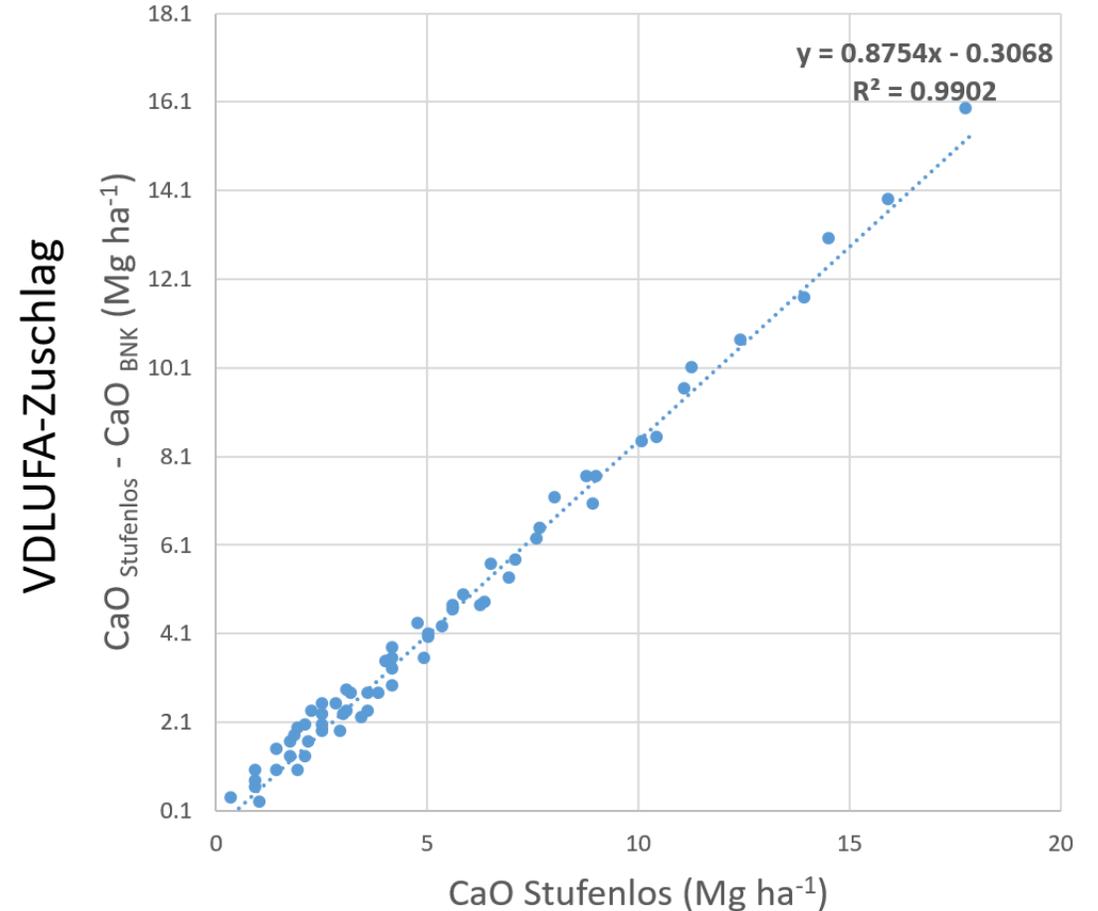
Der BNK-Kalkbedarf beträgt **nur etwa 10%** des VDLUFA-Kalkbedarfs

➤ Vermutung: Konzept der **Erhaltungskalkung** des VDLUFA-Ansatzes

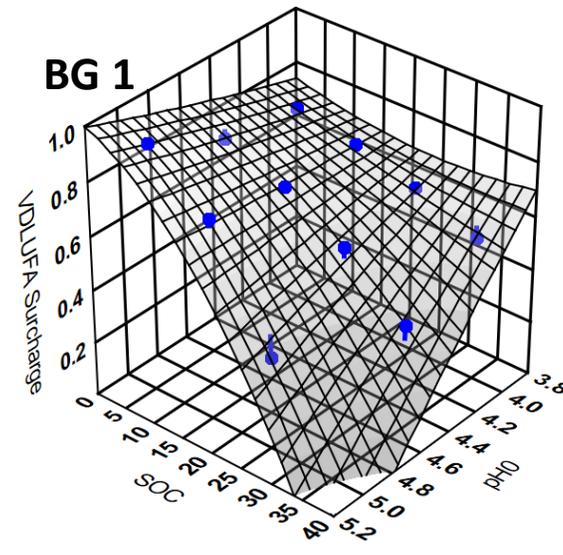
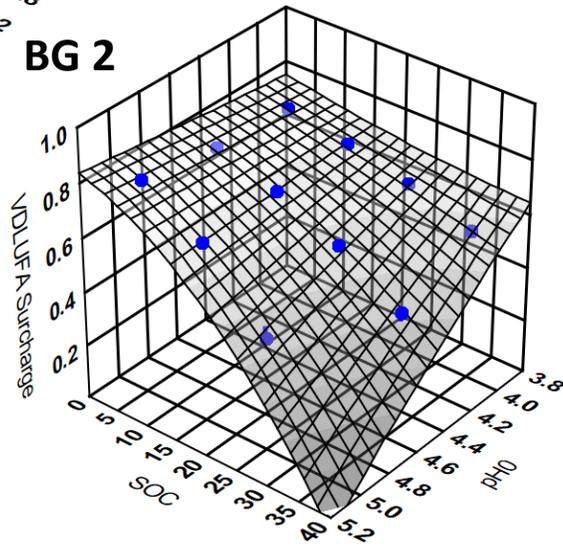
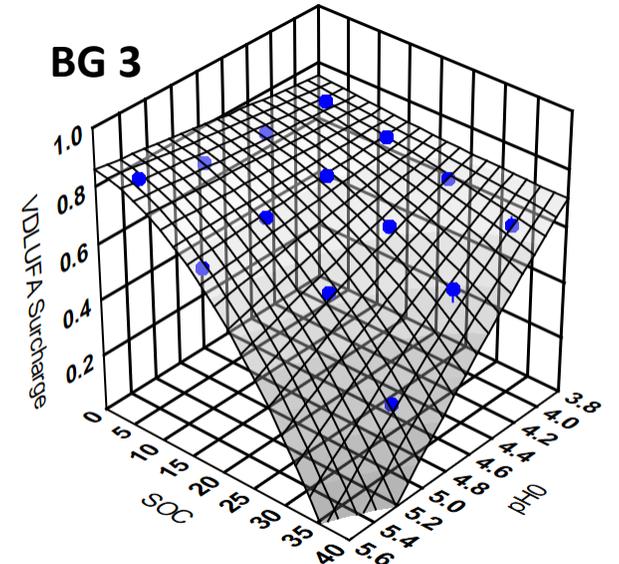
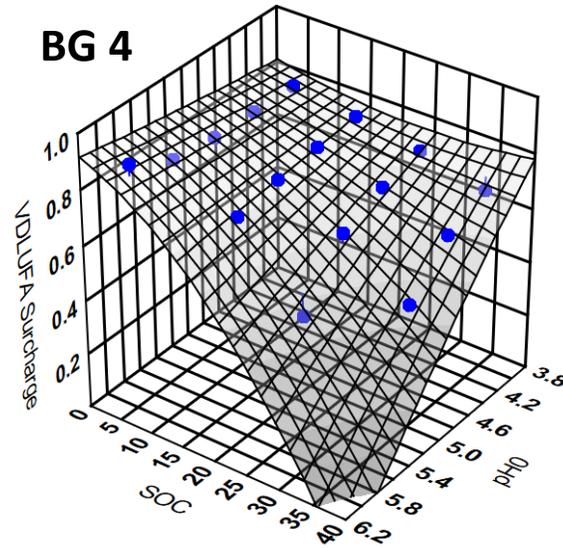
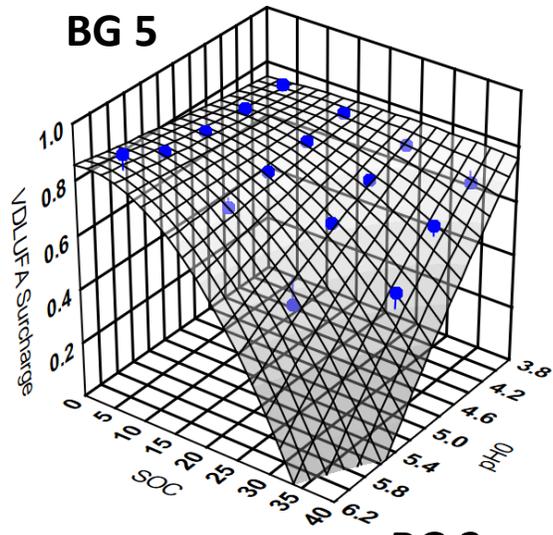


➤ Kalkbedarf<sub>stufenlos</sub> vs. VDLUFA-Zuschlag (Kalkbedarf<sub>stufenlos</sub> vs. Kalkbedarf<sub>BNK</sub>)

➤ Der 10x höhere VDLUFA-Kalkbedarf ergibt sich allein aus dem Konzept der Erhaltungskalkung



## ➤ Einfluss von pH, Humusgehalt und Textur auf VDLUFA-Zuschlag (Erhaltungskalkung)



- Erfolgreicher Test der direkten ortsspezifischen Kalkbedarfsermittlung basierend auf Bodensensordaten und der Basenneutralisationskapazität (BNK)
- Reduzierung des Probenumfangs und Verringerung des Arbeitsaufwandes durch direkte Ableitung aus den Sensordaten
- Neben dem Kalkbedarf kann auch der Versauerungsbedarf bei zu hohen pH-Werten ermittelt werden
- Vergleich von VDLUFA-Kalkbedarf und BNK-Kalkbedarf
- BNK-Kalkbedarf beinhaltet keine Erhaltungskalkung → Korrekturfaktor notwendig
- Pedotransferfunktion zur Quantifizierung der pH-Änderung durch Kalkung in Abhängigkeit vom Ausgangs-pH, Humusgehalt, Textur und Kalkmenge
- Diese Pedotransferfunktion sollte an weiteren Bodenlandschaften getestet und recalibriert werden

Wissenschaftliche Düngekalk-Tagung, 27. – 28. März 2023

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt: [svogel@atb-potsdam.de](mailto:svogel@atb-potsdam.de)



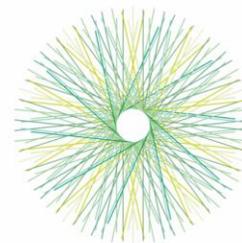
Landwirtschaft  
Philipp



LAB-Landwirtschaftliche  
Beratung der Agrarverbände  
Brandenburg GmbH



PARTICIPATING IN



eip-agri  
AGRICULTURE & INNOVATION

funded by  European Commission