

pH-BB – Präzise Kalkung in Brandenburg

Standortangepasstes Kalkbedarfsmanagement mittels Sensor- und modellgestützter Verfahren

Eric Bönecke



Wissenschaftliche Düngekalktagung – Fulda 27.-28.03.2023

pH-BB – Das Team – Vielen Dank



Anne Nagel

Ingmar Schröter

Zina Zaimche

Prof. Dr. Eckart Kramer

Alan Liftenegger

Dr. Sebastian Vogel

Dr. Robin Gebbers

Karin Zieger

Dr. Jörg Rühlmann

Steffan Sorge

Dirk Scheibe & Kevin Fahle

Dr. Swen Meyer

Eric Bönecke

Ulrike Schwarzlose

Landwirtschaft Petra Philip

Charlotte Kling

Katrin Lück & Thorsten Schubert

Golo Philipp



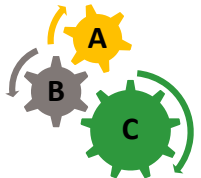
➤ Wissenstransfer:

- Sensibilisierung der Landwirte für das Problem der Bodenversauerung
- Durchführung von Schulungen zur Präzisionskalkung



➤ Bodenkartierung:

- Hochauflösende Kartierung relevanter Bodeneigenschaften mit Hilfe mobiler Naherkundungssensoren



➤ Entscheidungsunterstützung:

- Entwicklung robuster Algorithmen zur Verarbeitung von Sensordaten
- Ableitung von Kalkungsempfehlungen (Applikationskarten)



➤ Einschätzung ökonomischer Vorteile:

- Vergleich mit konventionellen Ansätzen

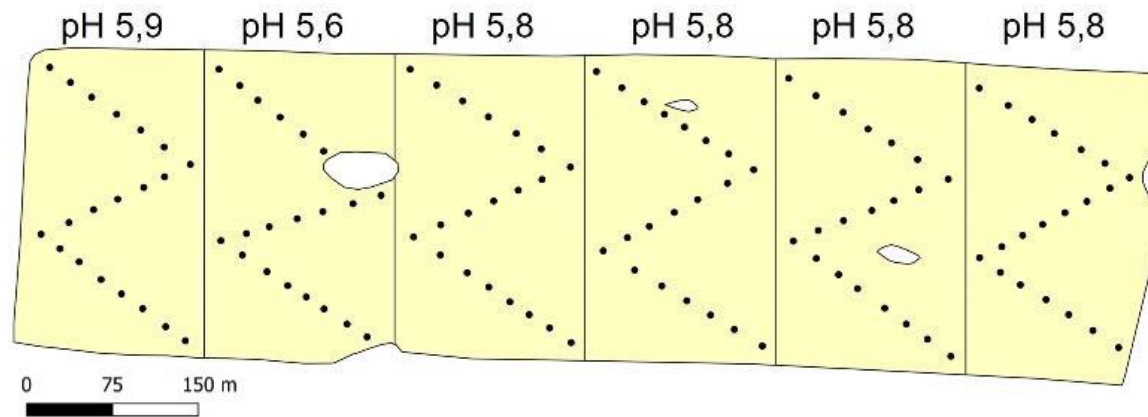


➤ Feldversuche:

- Beobachtung der Entwicklung von pH-Wert und Erträgen auf drei Versuchsbetrieben unter 3 Behandlungen (keine Kalkung, Einheitskalkung, Präzisionskalkung)

- Hohe schlaginterne Bodenvariabilität
- Düngungsfehler durch fehlerbehaftete Datengrundlage (z.B. Bodenschätzung, Fingerprobe)
- Unzureichende Lösungen für ein teilflächendifferenziertes Management in der Praxis

Bodenstrukturen können erheblich variieren und herkömmliche Probenahme- und Kartierungsmethoden stellen diese zugrunde liegenden Bodeneigenschaften nur unzureichend dar.



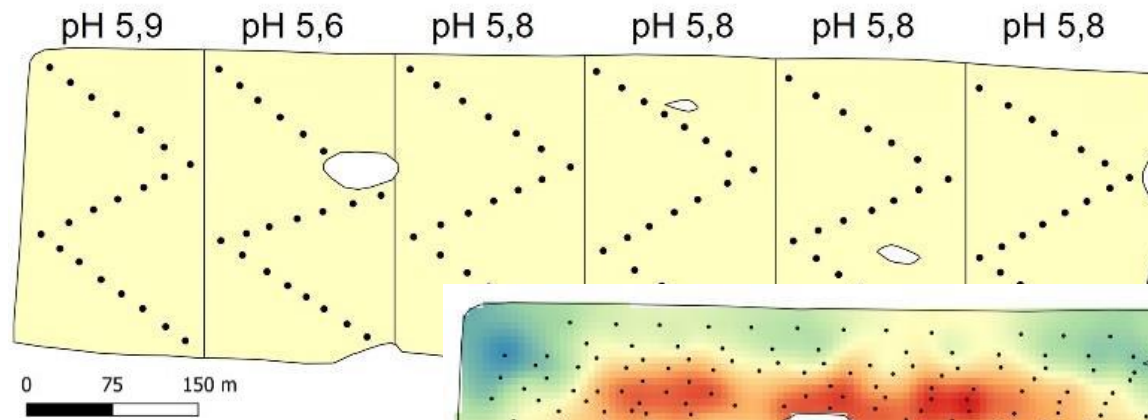
Beprobung nach VDLUFA:

Mischproben aus 20 Einzelproben von 3-4 ha Teilflächen

⇒ Einstufung in GK C,

⇒ Unterschiede max. 0,3 pH-Einheiten

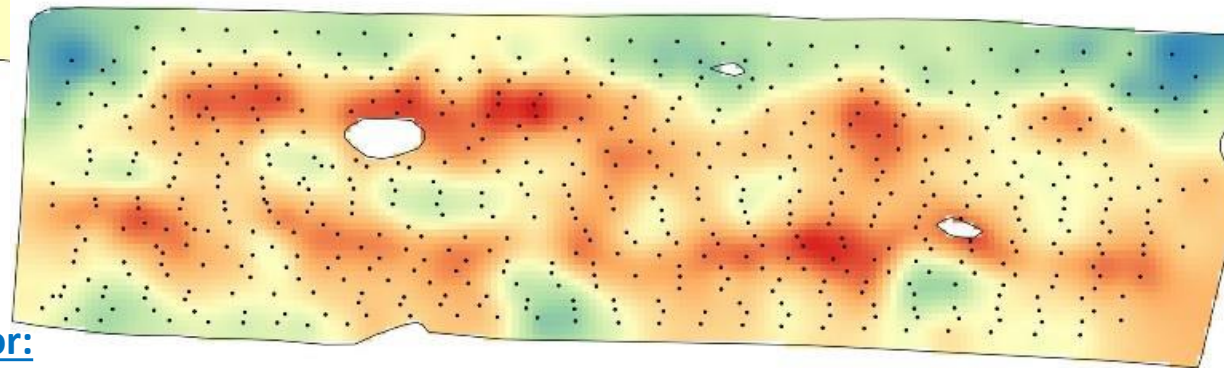
Bodenstrukturen können erheblich variieren und herkömmliche Probenahme- und Kartierungsmethoden stellen diese zugrunde liegenden Bodeneigenschaften nur unzureichend dar.



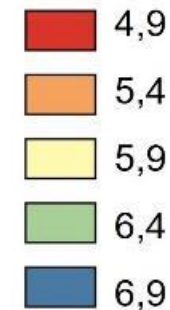
Beprobung nach VDLUFA:

Mischproben aus 20 Einzelproben von 3-4 ha Teilflächen

- ⇒ Einstufung in GK C,
- ⇒ Unterschiede max. 0,3 pH-Einheiten



Soil pH value

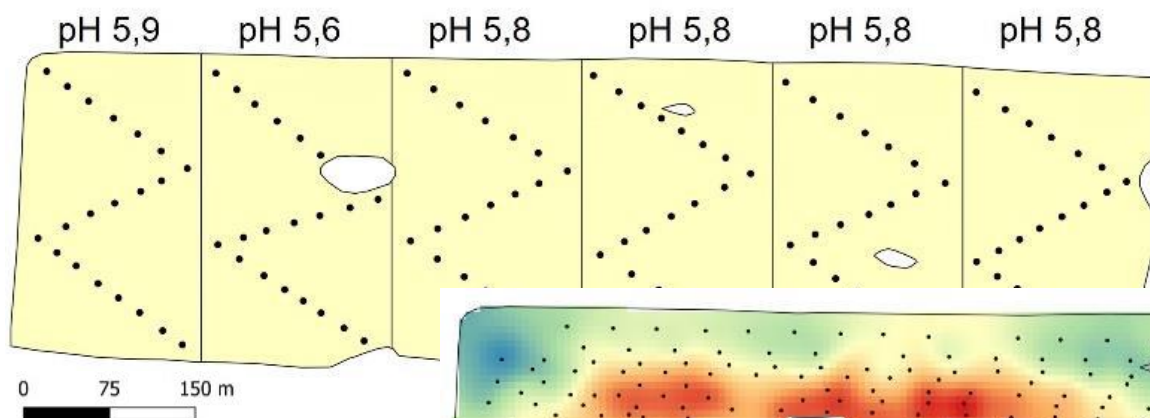


Beprobung mit pH-Sensor:

570 Einzelmessungen (ca. 30 Messungen je Hektar)

- ⇒ Einstufung von GK A bis E,
- ⇒ pH-Werte von 4,9 bis 6,9

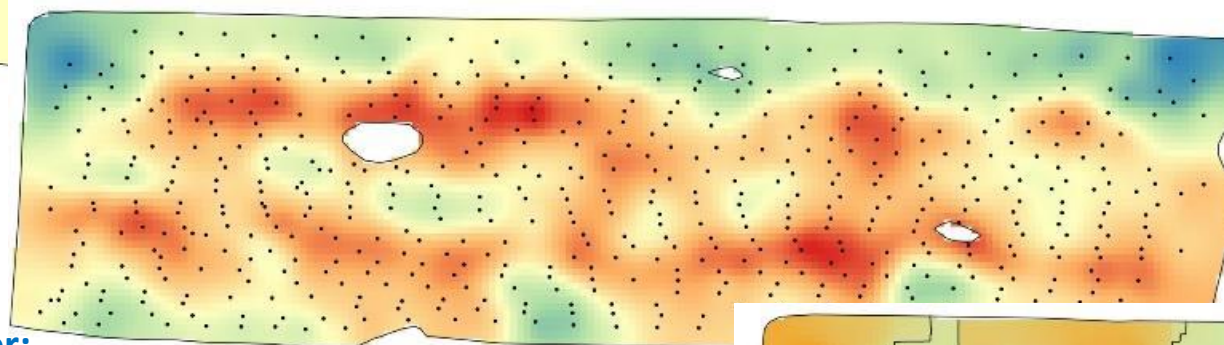
Bodenstrukturen können erheblich variieren und herkömmliche Probenahme- und Kartierungsmethoden stellen diese zugrunde liegenden Bodeneigenschaften nur unzureichend dar.



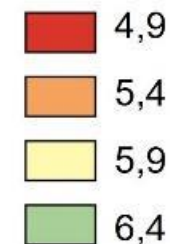
Beprobung nach VDLUFA:

Mischproben aus 20 Einzelproben von 3-4 ha Teilflächen

- ⇒ Einstufung in GK C,
- ⇒ Unterschiede max. 0,3 pH-Einheiten



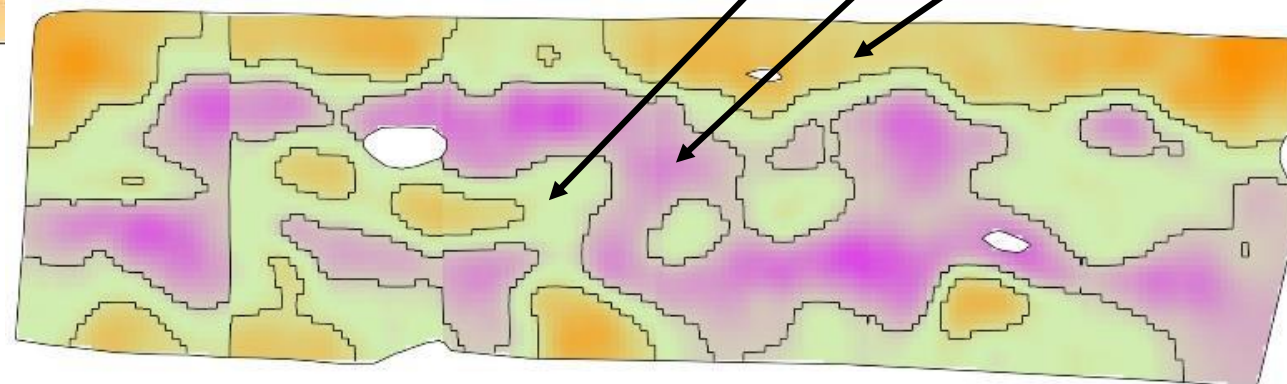
Soil pH value



optimal versorgt (35%)

unterversorgt (40%)

überversorgt (25%)



Beprobung mit pH-Sensor:

570 Einzelmessungen (ca. 30 Messungen je Hektar)

- ⇒ Einstufung von GK A bis E,
- ⇒ pH-Werte von 4,9 bis 6,9

Standardkalkdüngung in Deutschland: VDLUFA-Methode



VDLUFA-Kalkungstabellen



LAND
BRANDENBURG
Ministerium für Umwelt, Energie,
Umwelt und Verbraucherschutz



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

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

veröffentlicht durch das Land Brandenburg



- 5 pH-Klassen:
- A sehr niedrig

B niedrig

C optimal

D hoch

E sehr hoch

4 Humusklassen:

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

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
C	5,2	10	4,9	6	4,6	5		
	5,3	7						
	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	-

- 5 Texturklassen
(Mineralböden):
- Sand;

- schwach lehmiger Sand;

- stark lehmiger Sand;

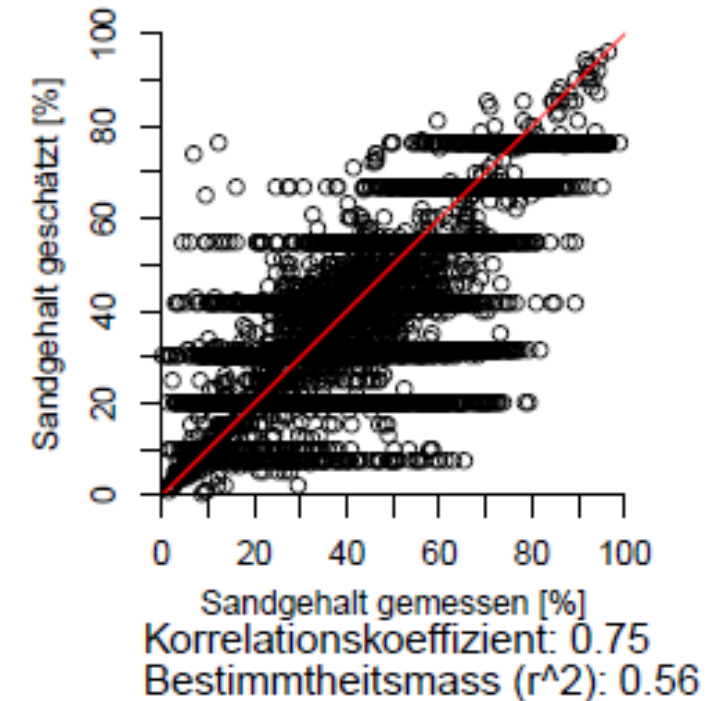
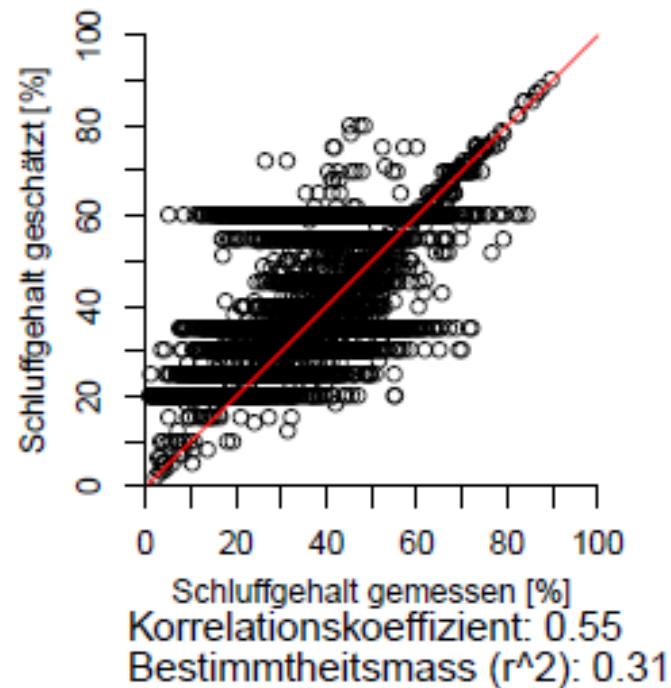
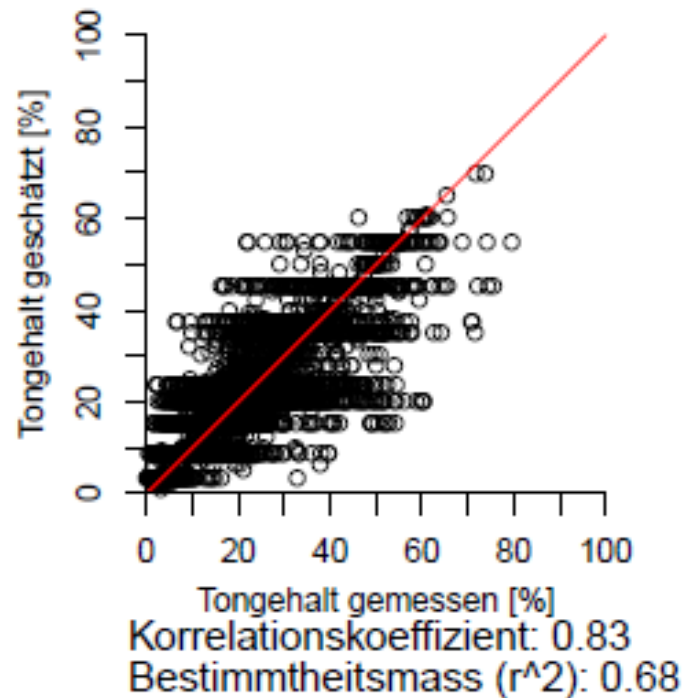
- sandiger bis schluffiger Lehm

- toniger Lehm bis Ton

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
C	5,2	10	4,9	6	4,6	5		
	5,3	7						
	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	-

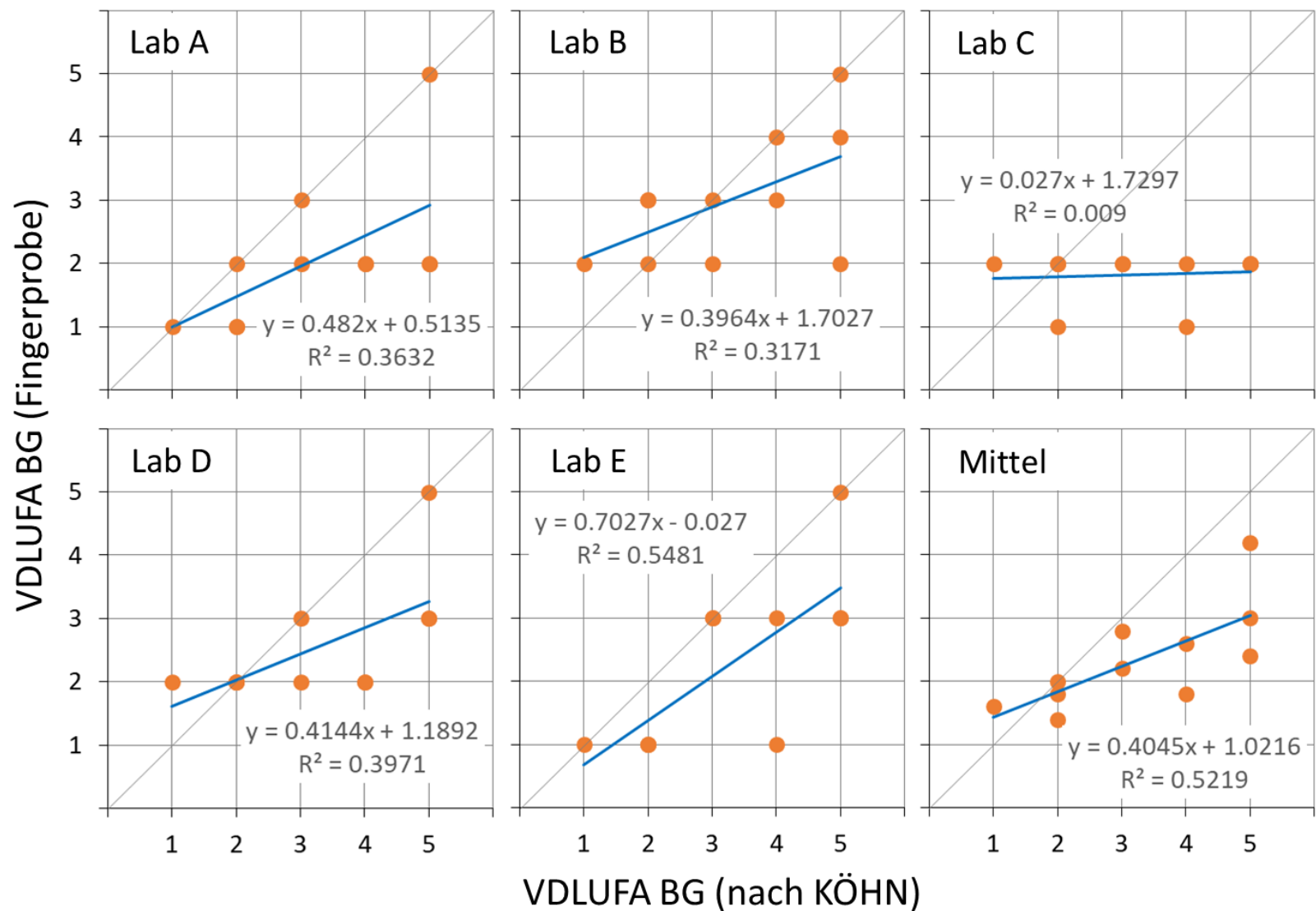
Kalkdüngungsbedarf (dt CaO/ha)

Fehleinschätzung Textur: Fingerprobe vs Schlämmanalyse

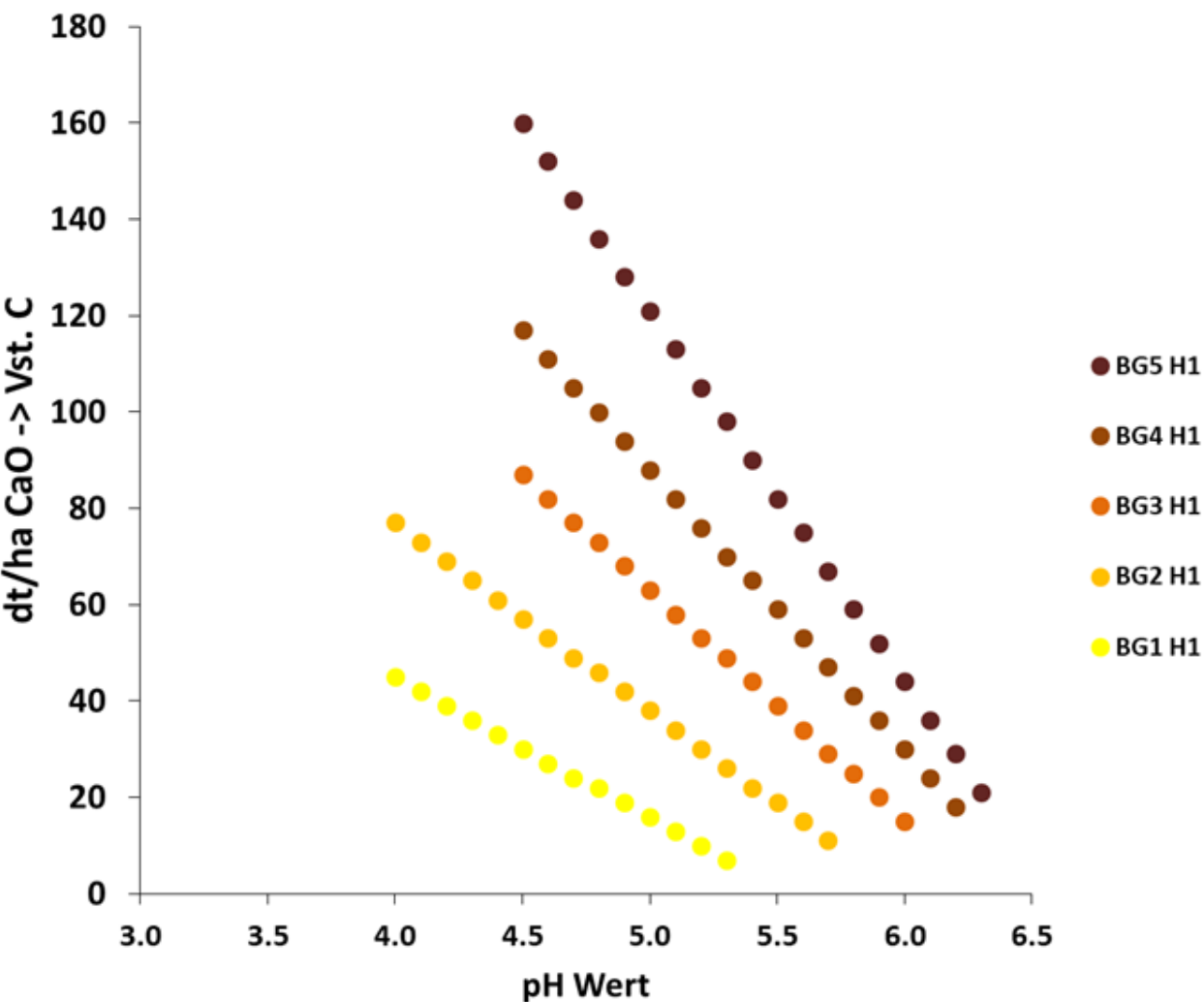


Stocker, N. und Walthert, L. (2013): Böden und Wasserhaushalt von Wäldern und Waldstandorten der Schweiz unter heutigem und zukünftigem Klima. Datengrundlage und Datenharmonisierung. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Projektinterner Bericht, S. 51-62

Fehleinschätzung Textur: Fingerprobe vs Schlämmanalyse

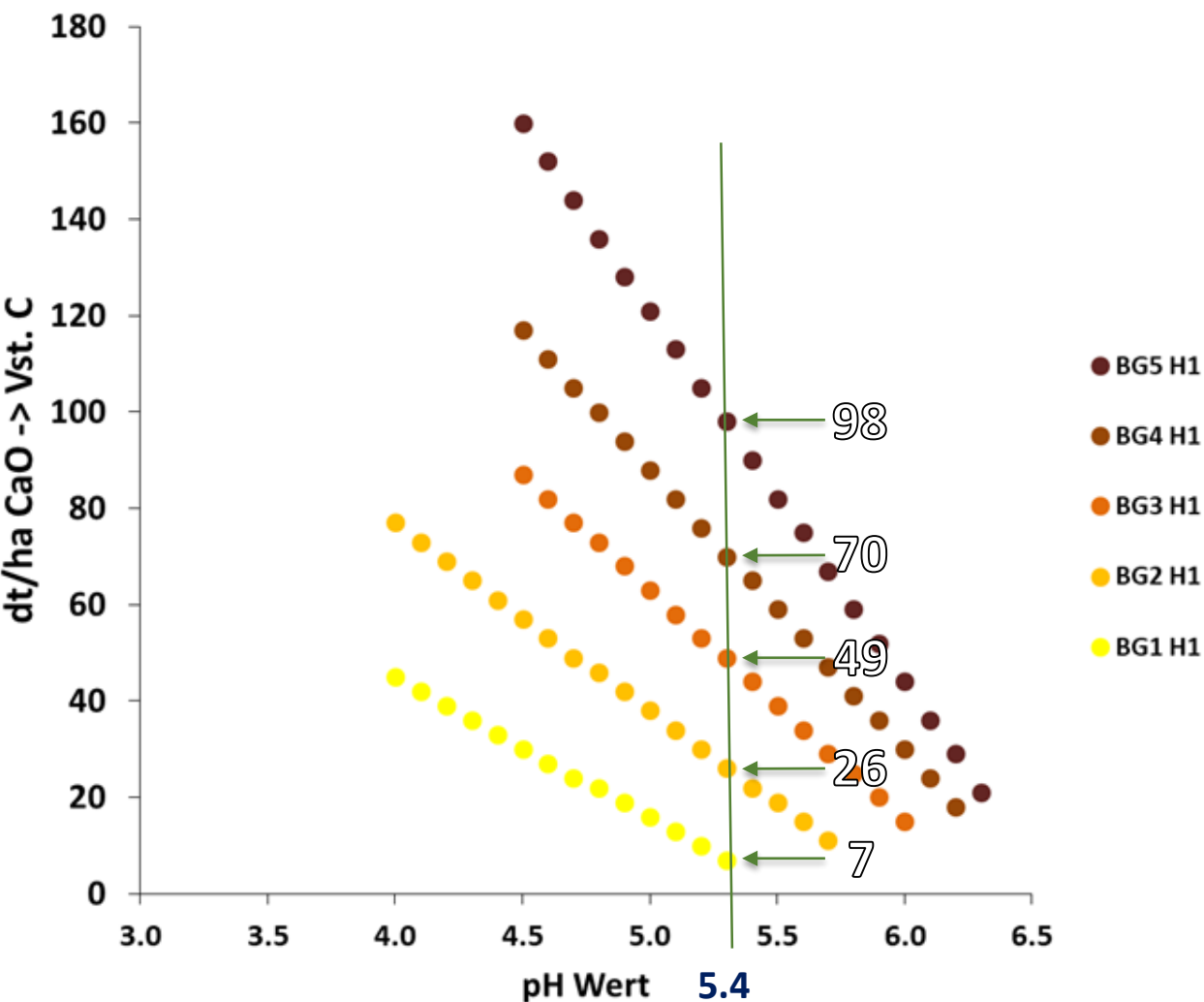


Kalkbestimmung in Deutschland:



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
	4,5	30	4,2	32	3,9	31	3,6	13
B	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		
	5,3	7						
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	-

Kalkbestimmung in Deutschland:

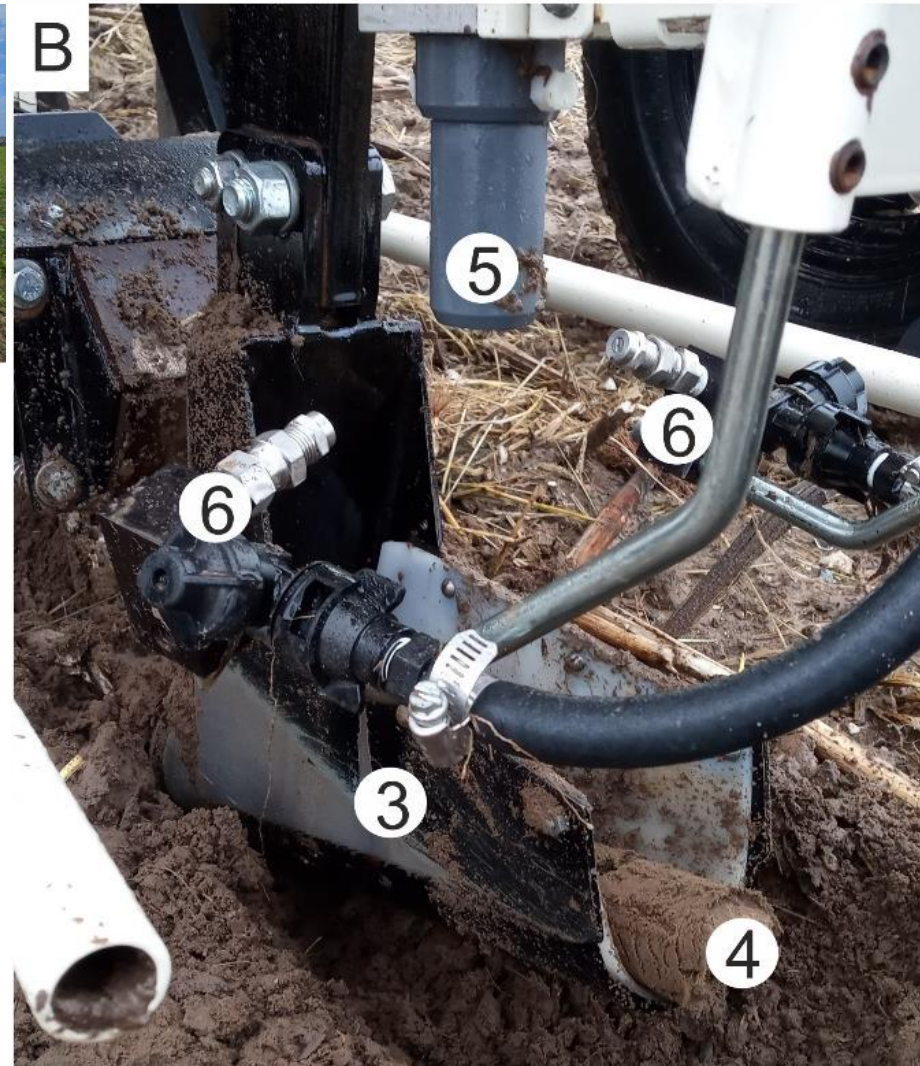
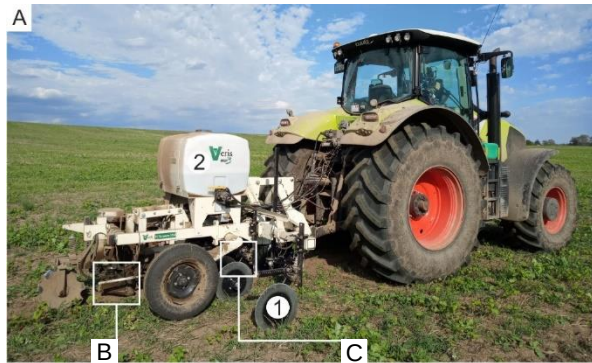


pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤ 4,0 %		4,1 bis 8,0 %		8,1 bis 15,0 %		15,1 bis 30 %	
	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
BG 1								
A	≤ 4,0	45	≤ 3,7	50	≤ 3,4	50	≤ 3,1	21
	4,1	42	3,8	46	3,5	47	3,2	19
	4,2	39	3,9	43	3,6	43	3,3	18
	4,3	36	4,0	39	3,7	39	3,4	16
	4,4	33	4,1	35	3,8	35	3,5	15
B	4,5	30	4,2	32	3,9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



A: Multisensorplattform (Veris technologies, Salina, Kansas, USA)
1: EC-Sensor (Elektrische Leitfähigkeit)

Sensortechnik zur Bodenkartierung: pH und Humus

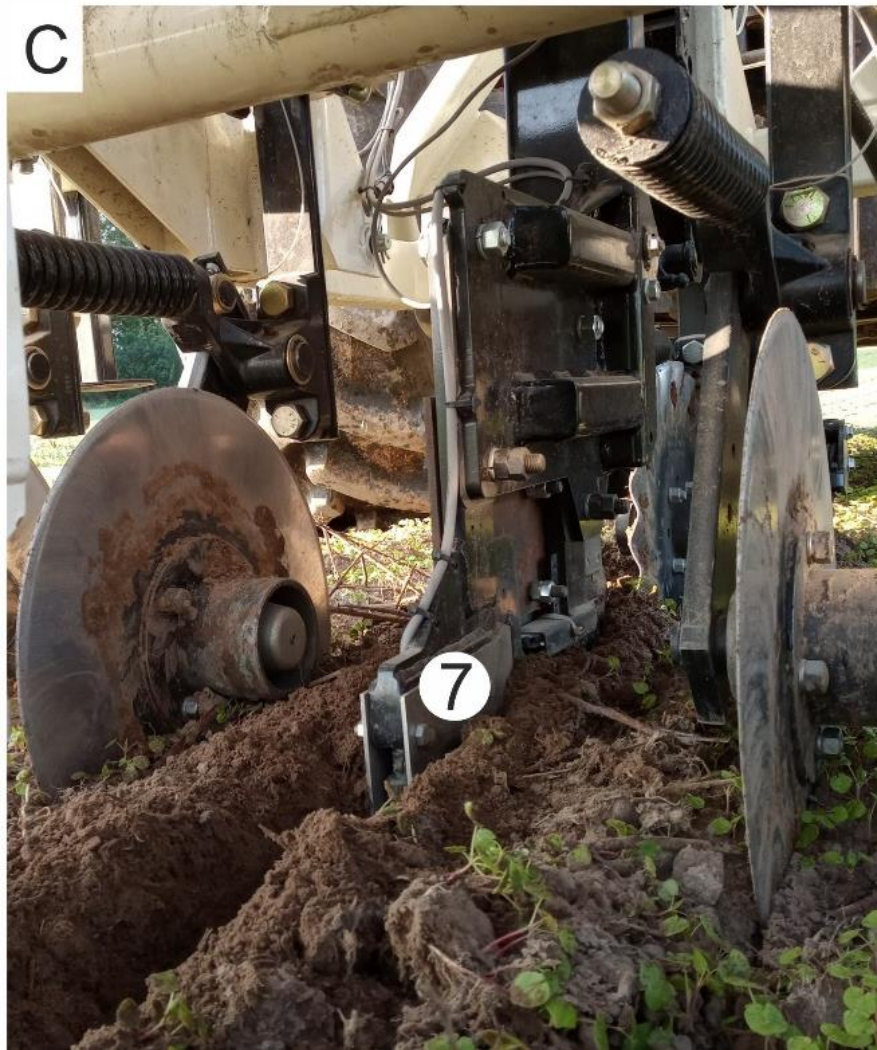
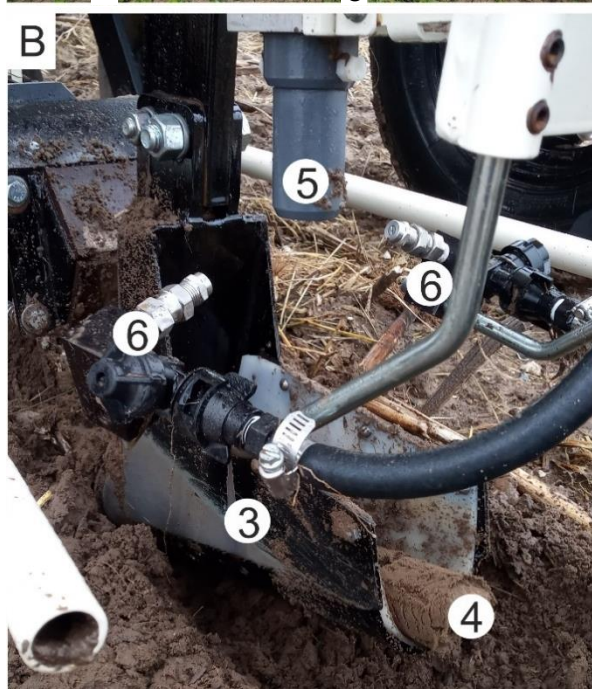


A: Multisensorplattform (Veris technologies, Salina, Kansas, USA)

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, Kansas, USA)

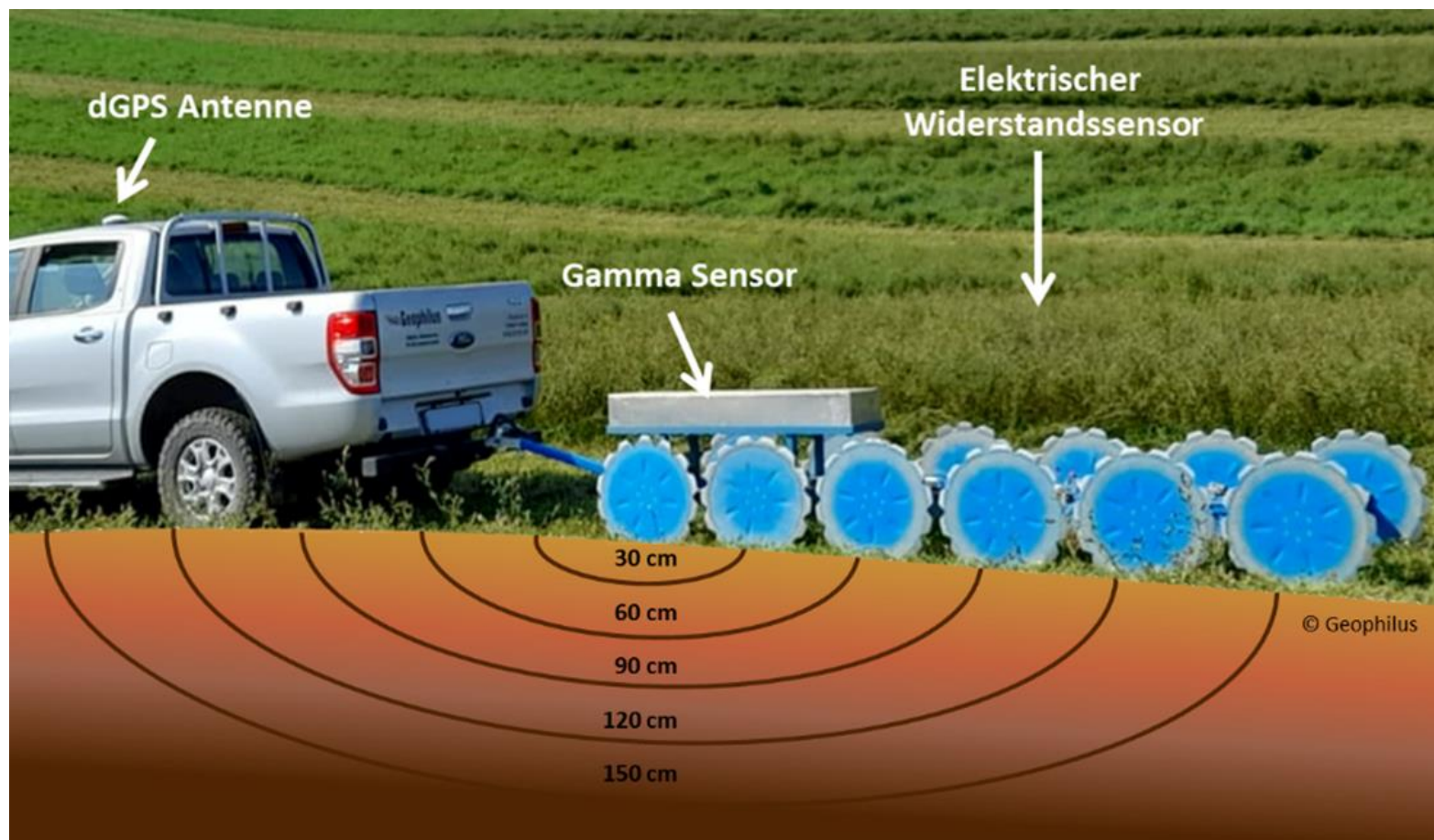
1: EC-Sensor (Elektrische Leitfähigkeit)

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)



Geophilus-Sensorplattform

(Entwicklung IGZ/ Uni Potsdam -
Förderung durch MWFK: AZ 24-
17/319, 2001-2003; AZ 24-17/329,
2004-2006)

Elektrischer Widerstand

- 5 Tiefenstufen bis 1.5 m

Gamma Aktivität

- Oberboden ~30cm

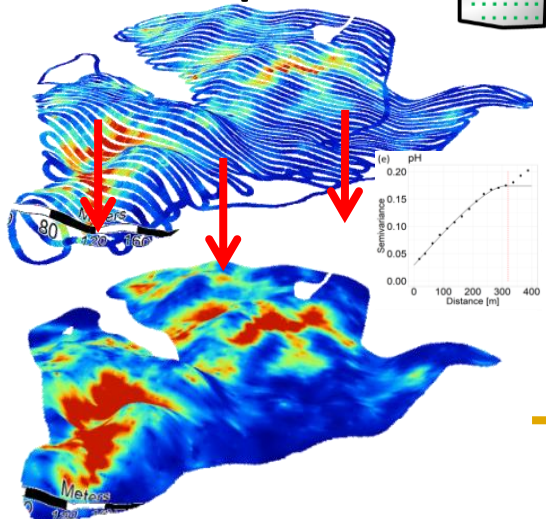
Digitales Geländemodell (dGPS)

Daten Erfassungsrate:

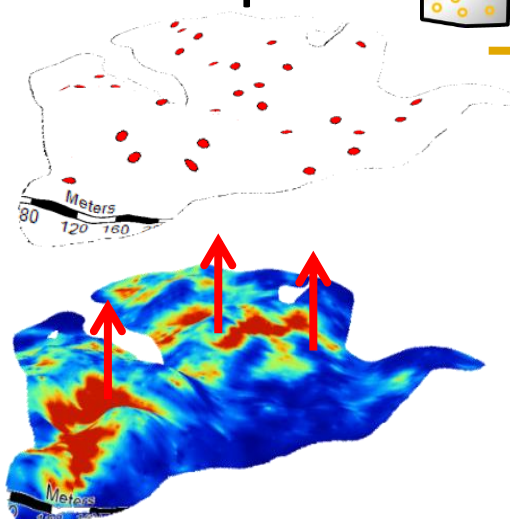
- > ca. 3-4 m Messpunktabstand
- > 150-200 Messpunkte/ha

Tagesleistung in der Landwirtschaft:
bis 120 ha (18 m Spurabstand)

1. Interpolation



2. Referenzpunkte

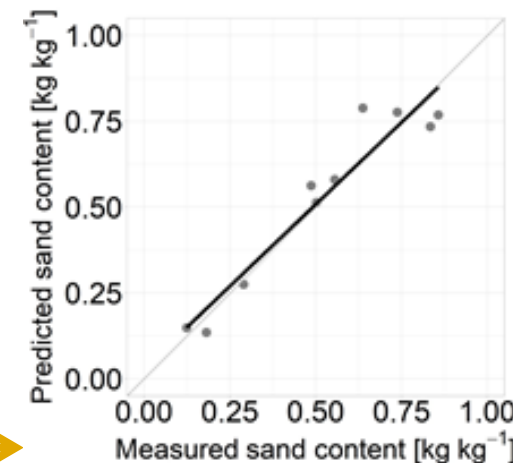


3. Laboranalysen



Point	X	Y	CLAY	SILT	SAND	Gamma	DEM	ERa
1	427230	5886318	14.5	25.5	60.1	1.57	60.9	42.5
2	427298	5885959	5.5	23.9	70.8	1.37	65.7	270.2
3	427324	5886483	9.1	23.1	67.6	1.51	61.1	142.1
4	427347	5886407	11.4	26.7	61.9	1.57	61.3	48.9
5	427356	5886095	3.5	16.6	79.9	1.32	65.5	407.3
6	427459	5886452	15.5	27.6	57.9	1.64	63.1	54.4
7	427460	5886053	2.8	10.9	86.2	1.13	69.1	481.6
8	427501	5886061	4.3	10.4	84.6	1.12	69.1	373.9
9	427531	5886127	4.4	12.6	82.5	1.23	66.8	473.7
10	427677	5886328	17.8	25.7	57.7	1.64	62.8	45.3

4. Datenkalibrierung



eISBN 978-90-8686-888-9



Creating soil texture maps for precision liming using electrical resistivity and gamma ray mapping
 S. Meyer, C. Kling, S. Vogel, I. Schröter, A. Nagel, E. Kramer, R. Gebbers, G. Philipp, K. Lück, F. Gerlach, D. Scheibe, J. Rühlmann

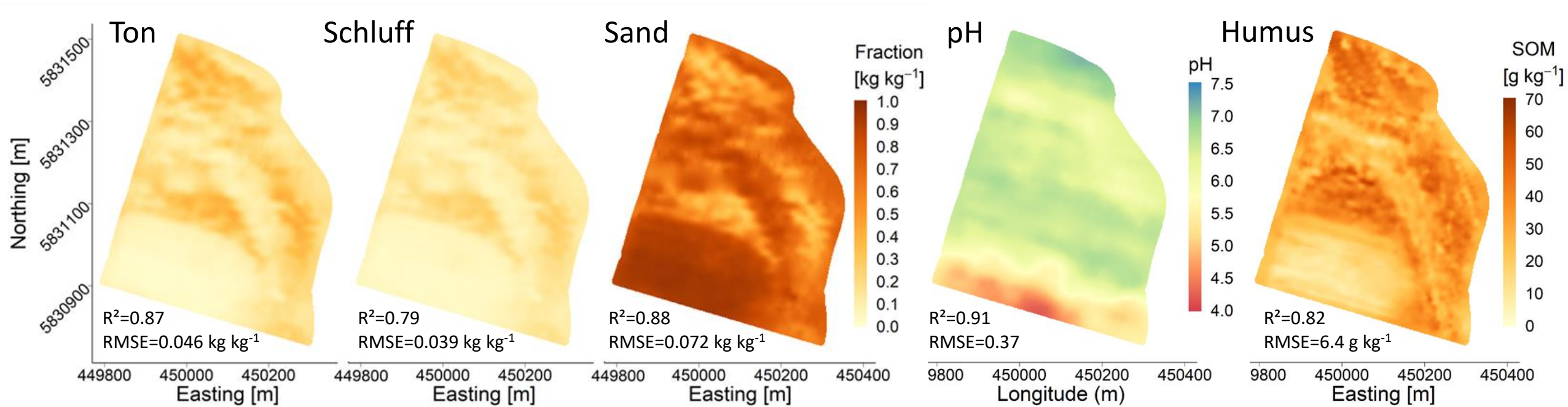
Precision Agriculture
<https://doi.org/10.1007/s11119-020-09766-8>



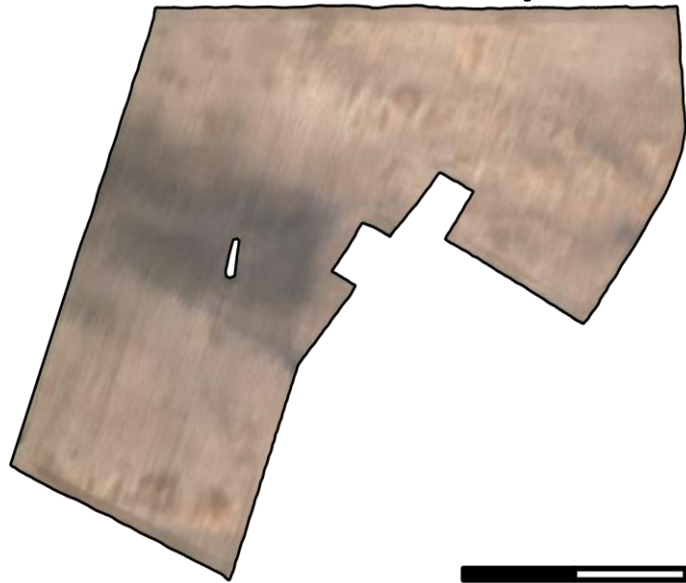
Guidelines for precise lime management based on high-resolution soil pH, texture and SOM maps generated from proximal soil sensing data

Eric Bönecke¹ · Swen Meyer¹ · Sebastian Vogel² · Ingmar Schröter³ · Robin Gebbers² · Charlotte Kling⁴ · Eckart Kramer³ · Katrin Lück⁵ · Anne Nagel³ · Golo Philipp⁶ · Felix Gerlach⁵ · Stefan Palme⁴ · Dirk Scheibe⁷ · Karin Zieger⁸ · Jörg Rühlmann¹

Accepted: 12 October 2020
 © The Author(s) 2020



BING Maps



ESRI ArcGIS
World Imagery

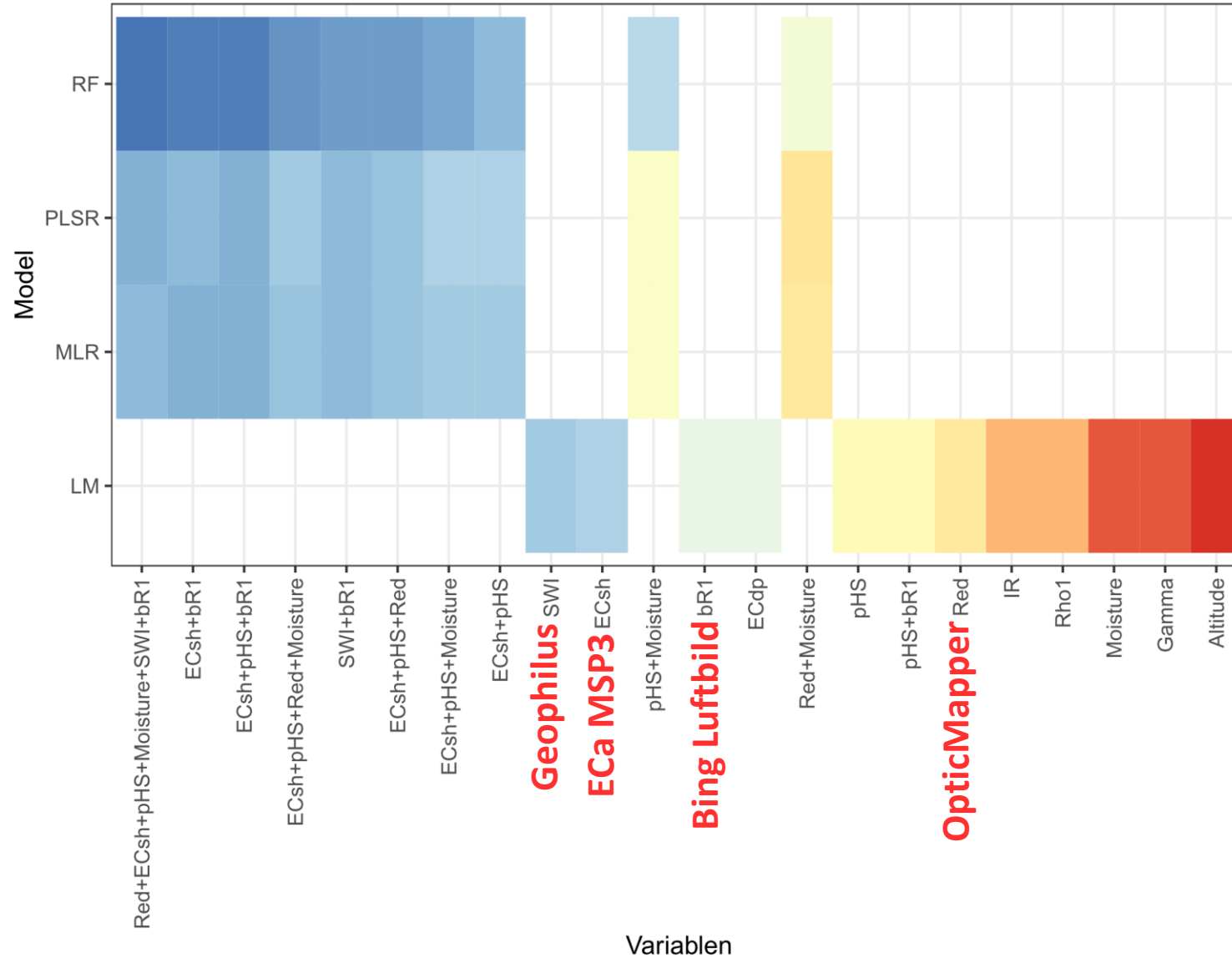


Google Maps



0 200 400m

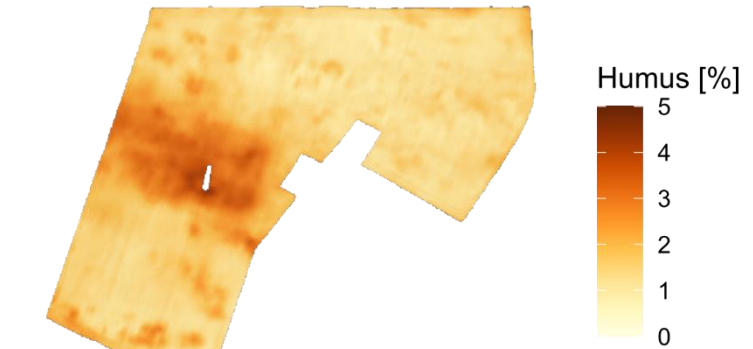
Humuskarten: Vergleich Naherkundung mit Satellitendaten



Räumliche Prognose des Humusgehalts

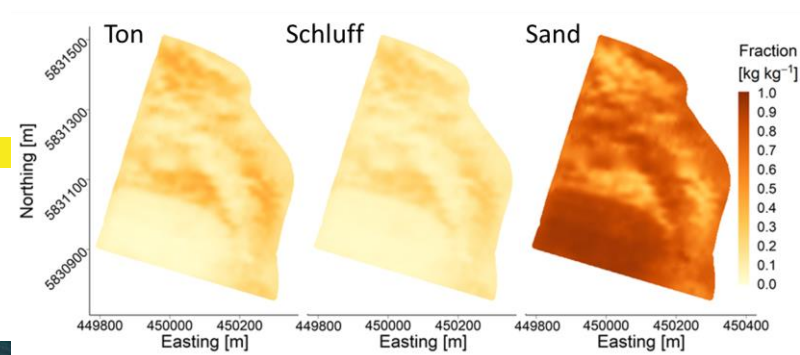
PP 1392 | N = 250 | Variablen: ECsh+bR1

Random Forest | NSE = 0.81 | RMSE = 0.35



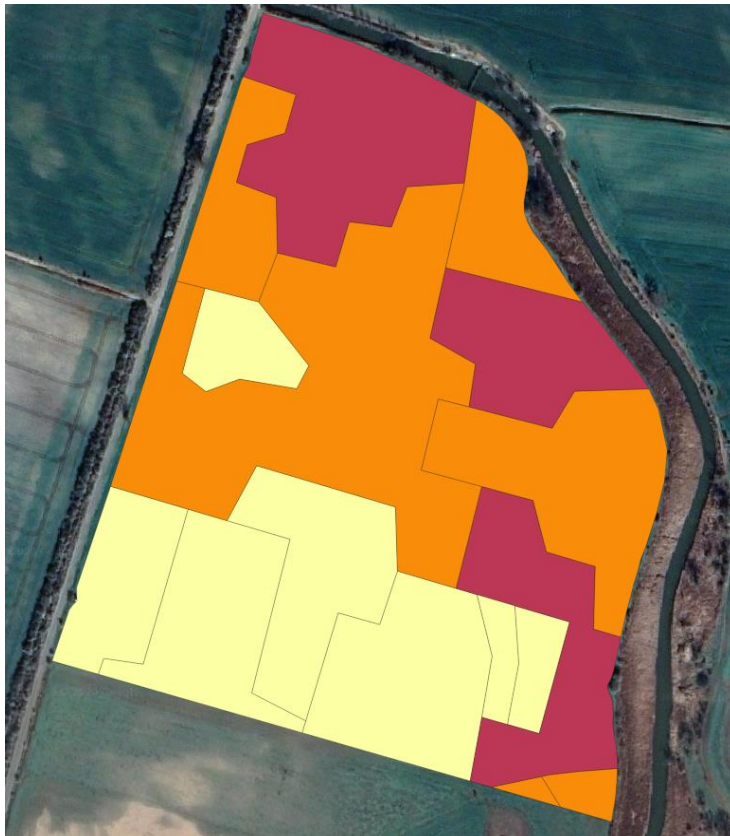
Bodenvariabilität: Textur

Qualitätssprung durch Kombination räumlich hoch aufgelöster
Sensordaten und deren Kalibration an Exaktanalysen aus Labor

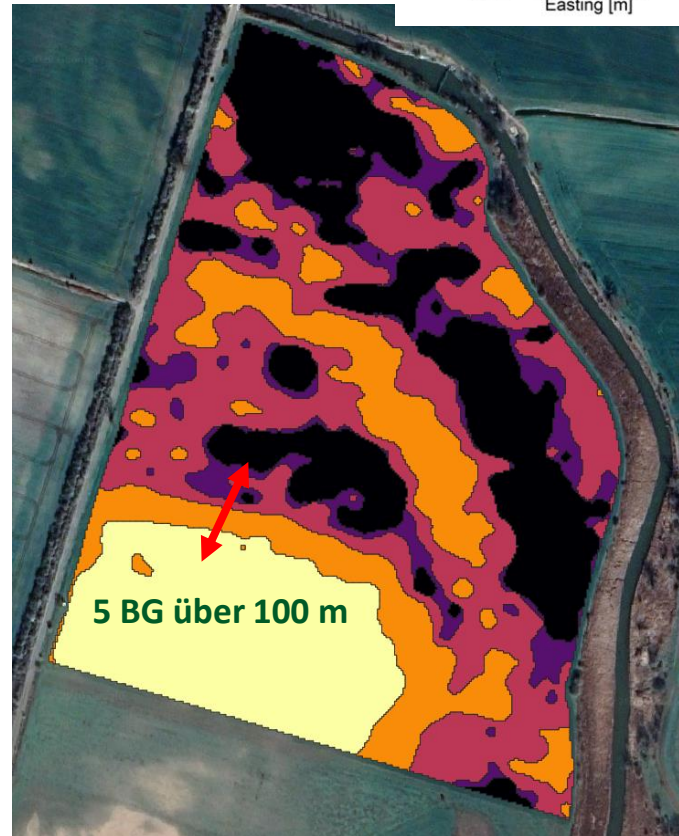


Bodengruppen
(VDLUFA)

- S Sand
- IS lehmiger Sand
- SL schwer lehmiger Sand
- sL sandiger Lehm
- L/ LT/T
toniger Lehm bis Ton



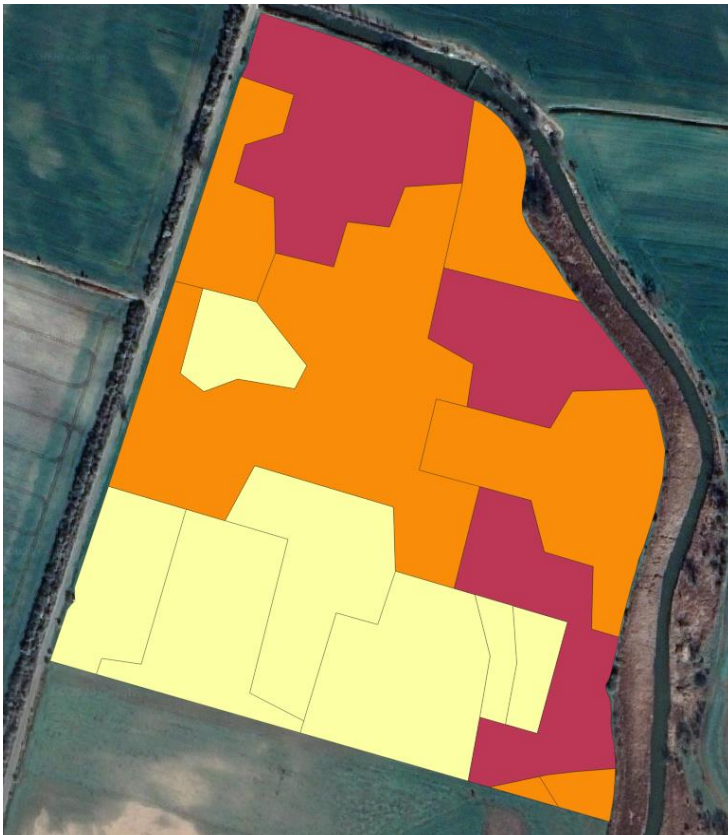
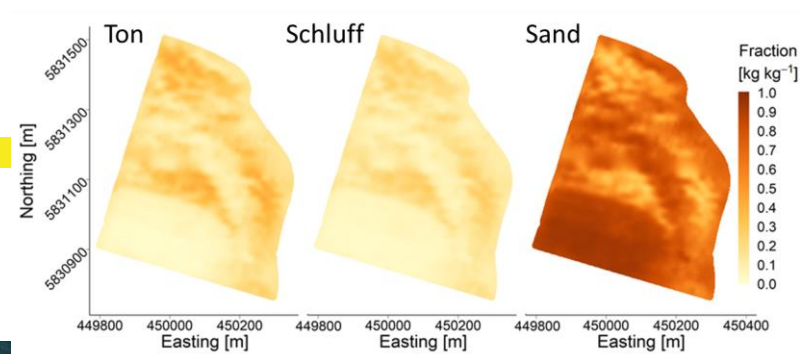
Bodenschätzkarte



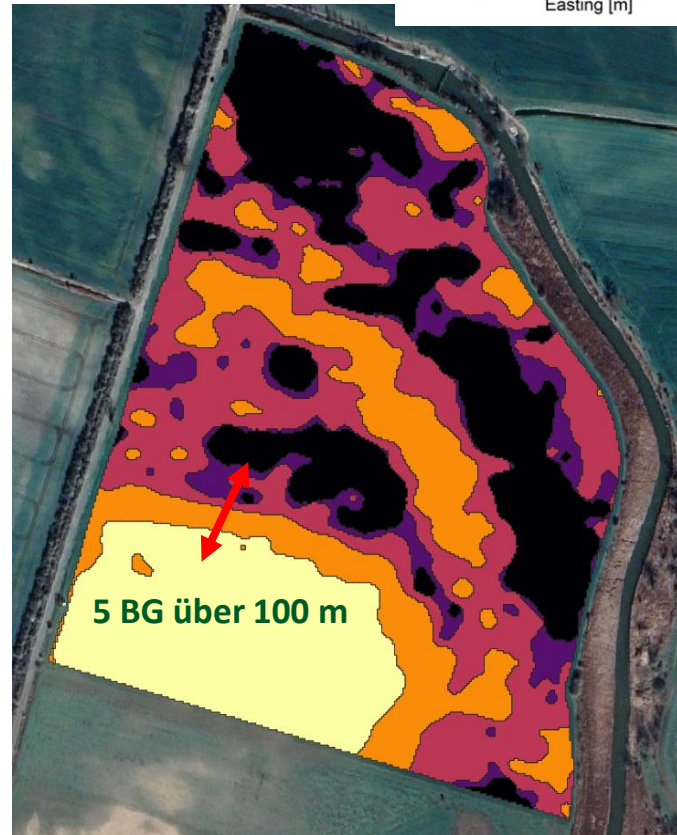
Sensorbasiert-klassifizierte
Bodentexturkarte (VDLUFA BG)

Bodenvariabilität: Textur

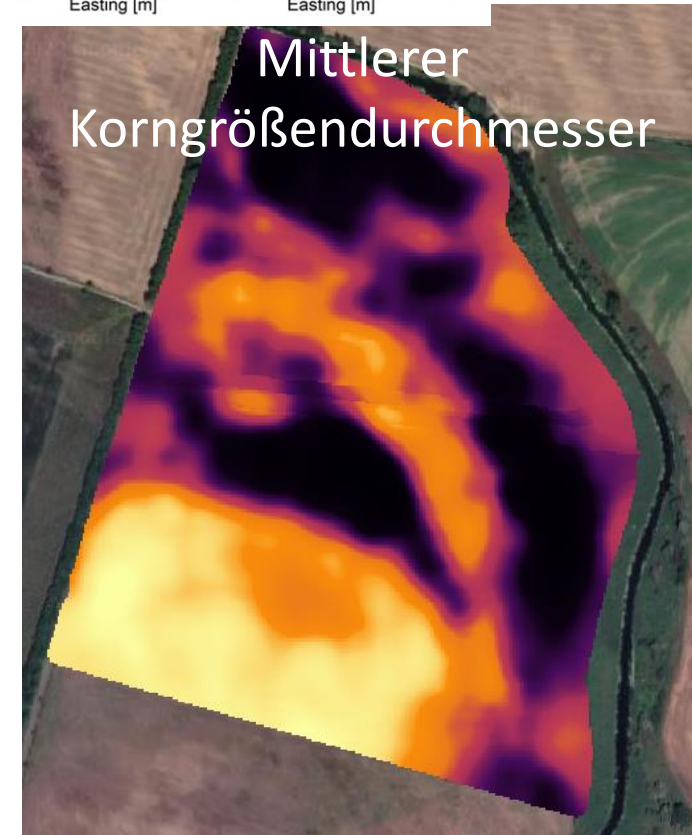
Qualitätssprung durch Kombination räumlich hoch aufgelöster
Sensordaten und deren Kalibration an Exaktanalysen aus Labor



Bodenschätzkarte



Sensorbasiert-klassifizierte
Bodentexturkarte (VDLUFA BG)



Sensorbasiert-stufenlose
Bodentexturkarte (MKD)

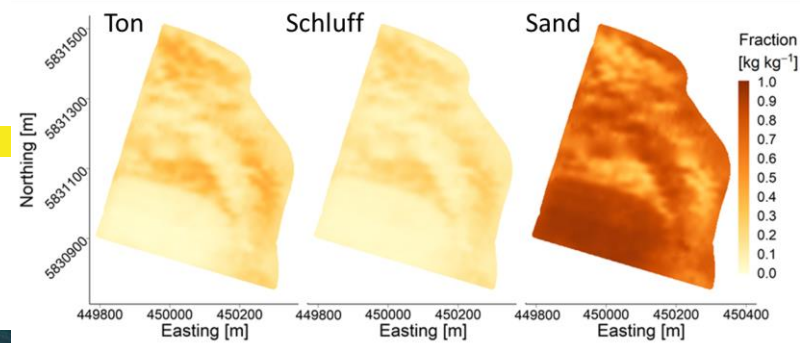
Mittlerer
Korngrößendurchmesser

Bodengruppen
(VDLUFA)

- S Sand
- IS lehmiger Sand
- SL schwer lehmiger Sand
- SL sandiger Lehm
- L/ LT/T
toniger Lehm bis Ton

Bodenvariabilität: Textur

Qualitätssprung durch Kombination räumlich hoch aufgelöster
Sensordaten und deren Kalibration an Exaktanalysen aus Labor



Bodengruppen
(VDLUFABG)

S	Sand
IS	lehmgiger Sand
SL	schwer lehmiger Sand
sL	sandiger Lehm
L/LT/T	toniger Lehm bis Ton

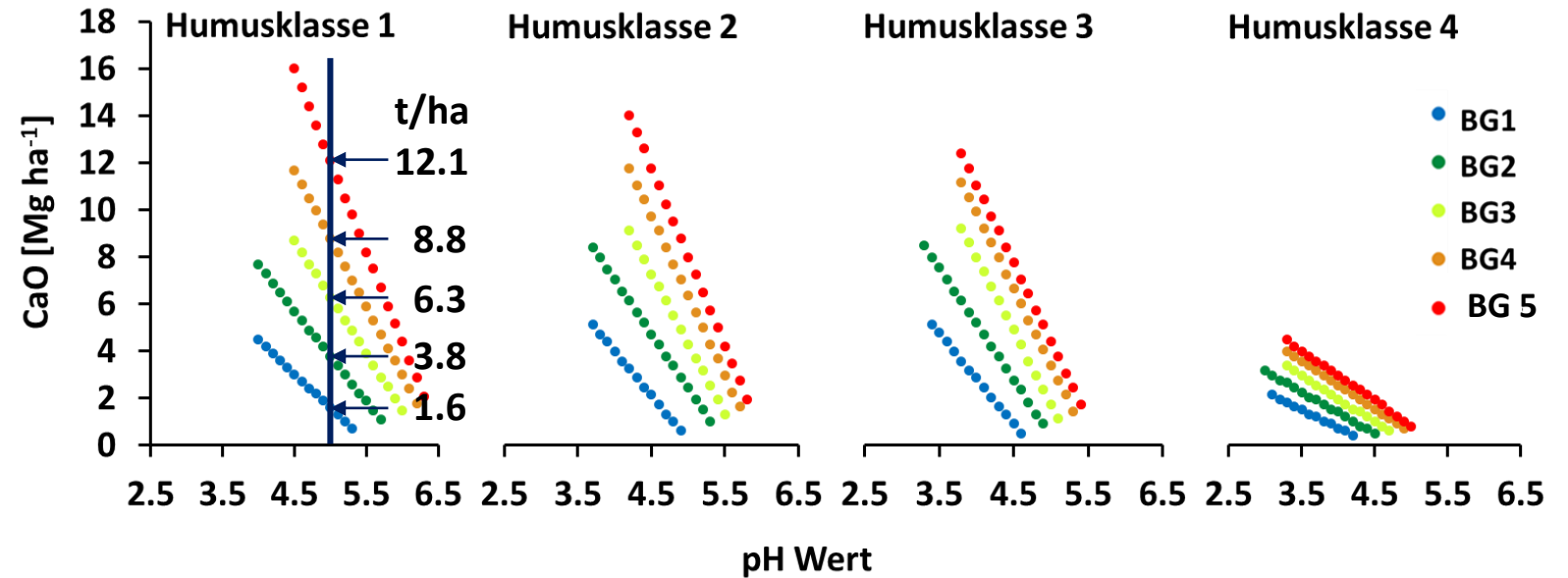
Bodenschätzkarte

Sensorbasiert-klassifizierte
Bodentexturkarte (VDLUFABG)

Sensorbasiert-stufenlose
Bodentexturkarte (MPD)

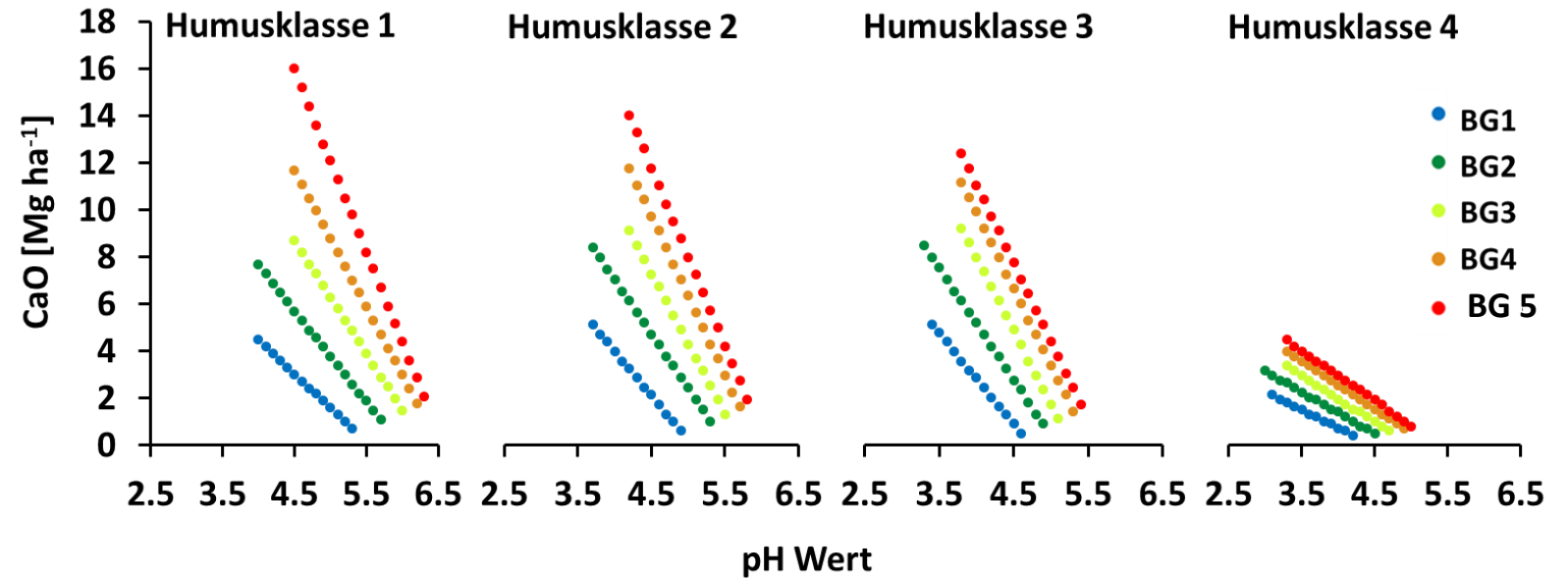
Stufenlose Kalkbestimmung

Bodengruppe 5								
Bodengruppe 4								
Bodengruppe 3								
Bodengruppe 2								
Bodengruppe 1								
pH-Klasse	Humusgehalt							
	≤ 4,0 %		4,1 bis 8,0 %		8,1 bis 15,9 %		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
	4,5	30	4,2	32	3,9	31	3,6	13
B	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		
	5,3	7						
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	-



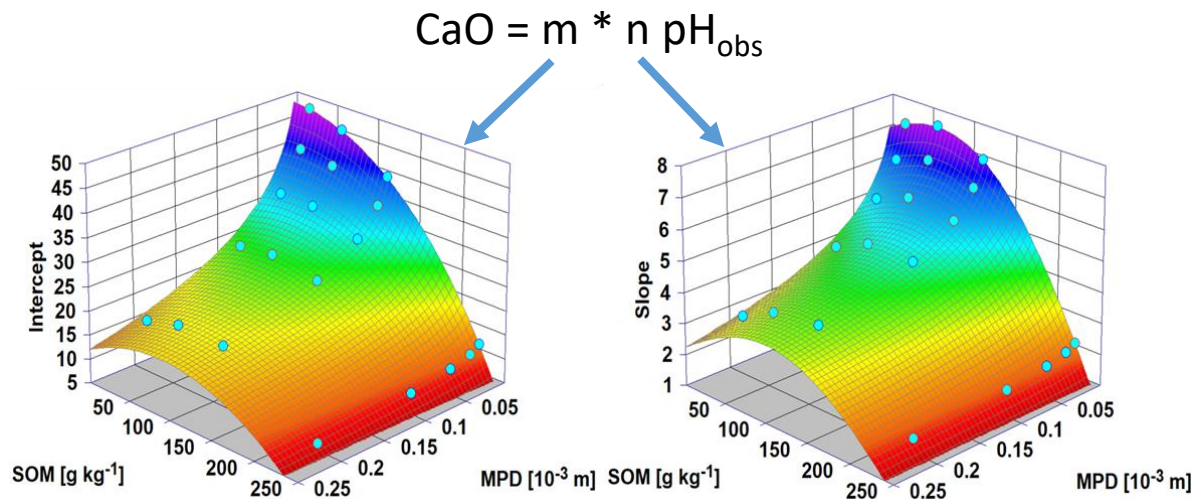
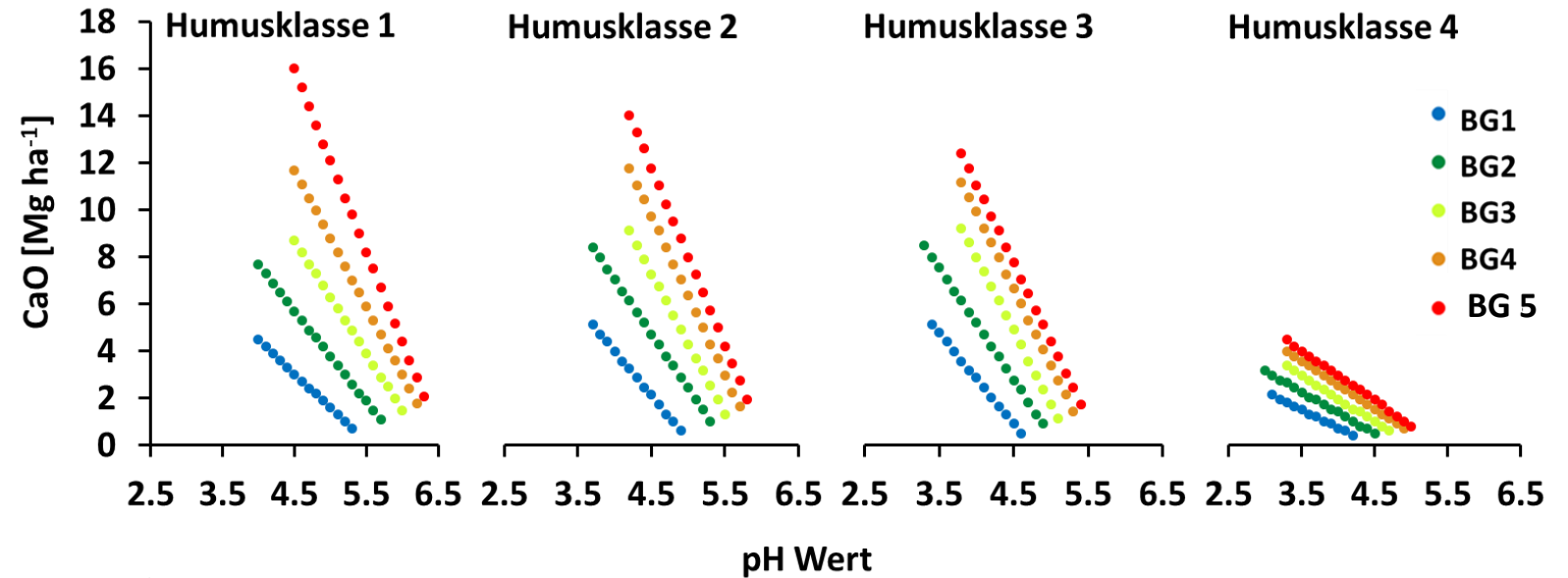
Stufenlose Kalkbestimmung

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
A	≤ 4,0	45	≤ 3,7	50	≤ 3,4	50	≤ 3,1
	4,1	42	3,8	46	3,5	47	3,2
	4,2	39	3,9	43	3,6	43	3,3
	4,3	36	4,0	39	3,7	39	3,4
	4,4	33	4,1	35	3,8	35	3,5
	4,5	30	4,2	32	3,9	31	3,6
B	4,6	27	4,3	28	4,0	28	3,7
	4,7	24	4,4	24	4,1	24	3,8
	4,8	22	4,5	21	4,2	20	3,9
	4,9	19	4,6	17	4,3	16	4,0
	5,0	16	4,7	13	4,4	13	4,1
	5,1	13	4,8	10	4,5	9	4,2
C	5,2	10	4,9	6	4,6	5	4,3
	5,3	7					
	5,4 - 5,8	6	5,0 - 5,4	5	4,7 - 5,1	4	4,3 - 4,7
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



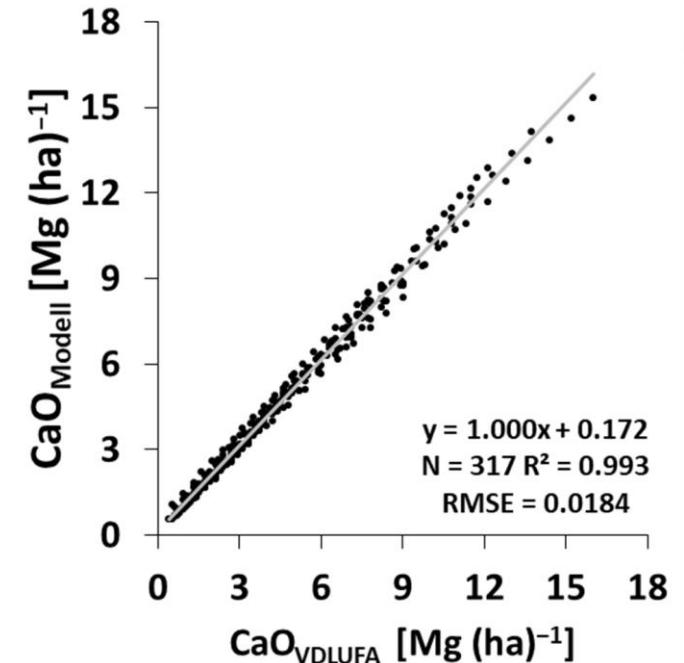
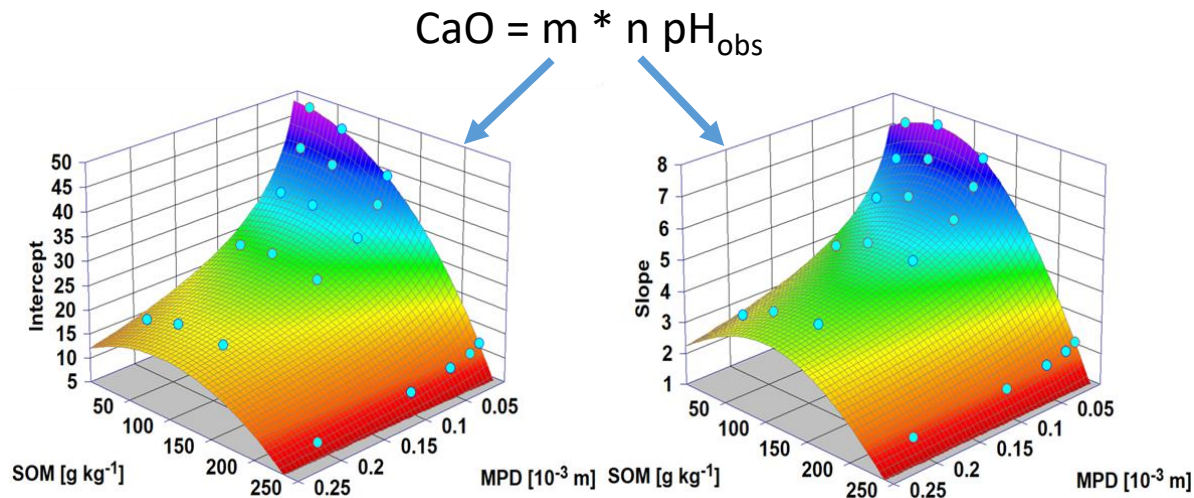
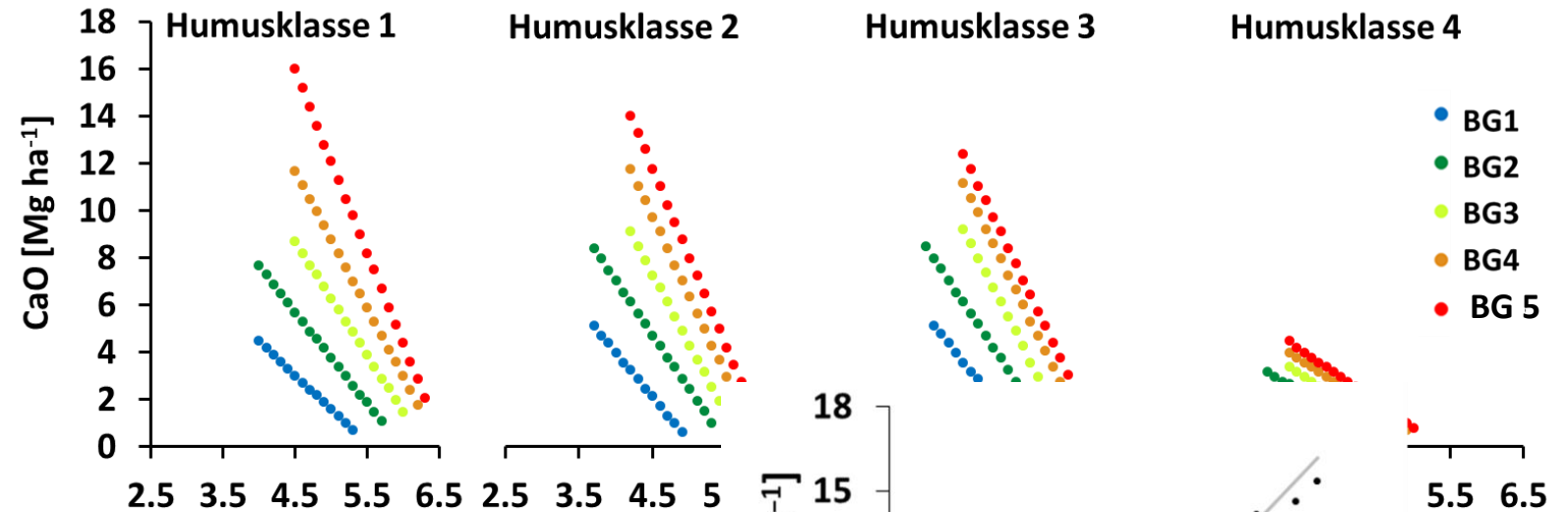
Stufenlose Kalkbestimmung

pH-Klasse		Humusgehalt							
		≤ 4,0 %		4,1 bis 8,0 %		8,1 bis 15,0 %		15,1 bis 30 %	
A	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	
	≤ 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	
C	5,1	13	4,8	10	4,5	9	4,2	4	
	5,2	10	4,9	6	4,6	5			
	5,3	7							
	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	-	
	≥ 6,3	-	≥ 5,9	-	≥ 5,5	-	≥ 5,2	-	
E		-	-	-	-	-	-	-	



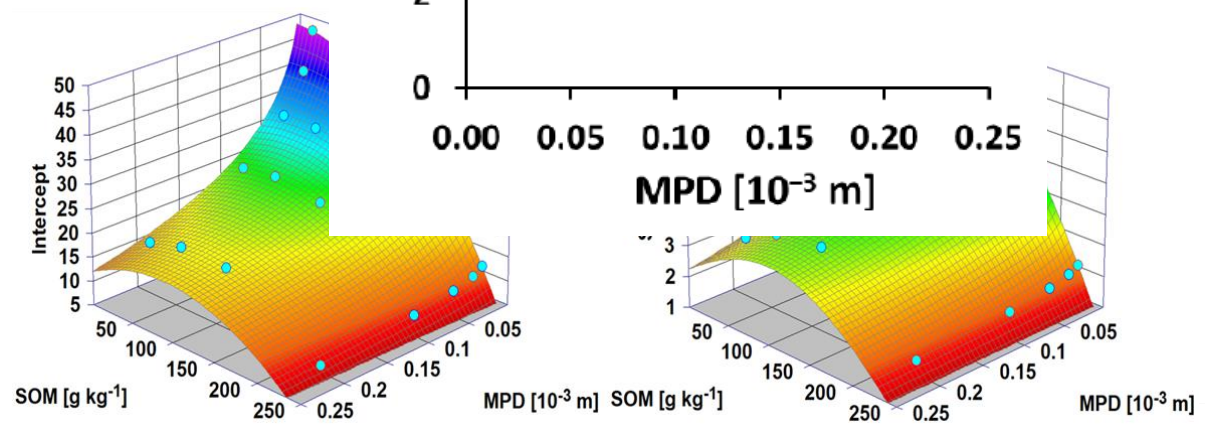
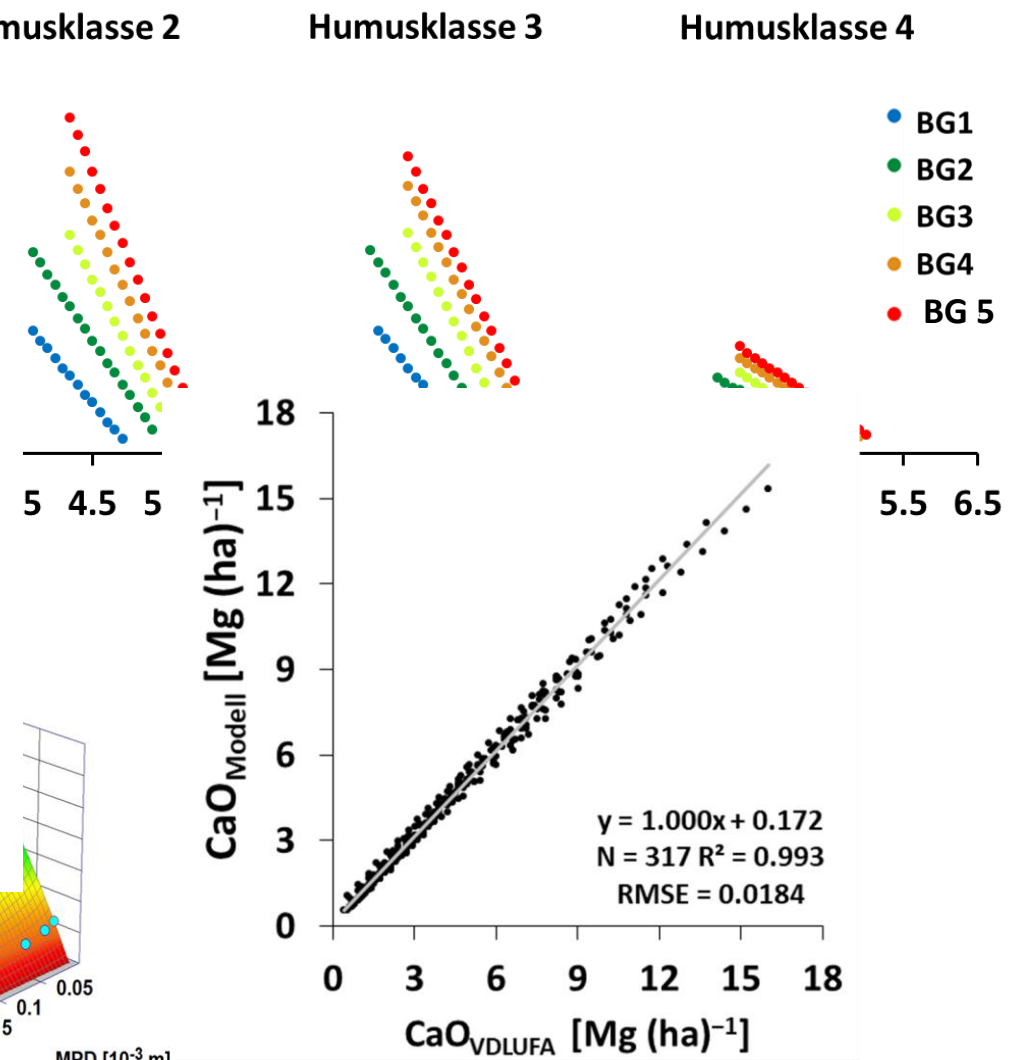
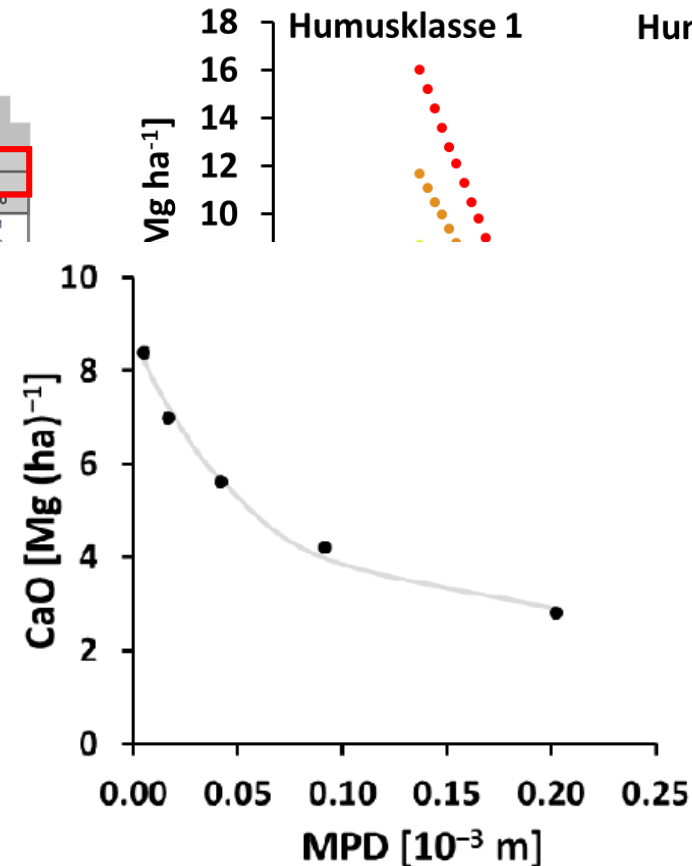
Stufenlose Kalkbestimmung

		Humusgehalt							
		≤ 4,0 %		4,1 bis 8,0 %		8,1 bis 15,0 %		15,1 bis 30 %	
pH-Klasse		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
		4,5	30	4,2	32	3,9	31	3,6	13
B		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
C		5,2	10	4,9	6	4,6	5		
		5,3	7						
D		5,4 - 5,8	6	5,0 - 5,4	5	4,7 - 5,1	4	4,3 - 4,7	3
E		5,9 - 6,2	-	5,5 - 5,8	-	5,2 - 5,4	-	4,8 - 5,1	-
		≥ 6,3	-	≥ 5,9	-	≥ 5,5	-	≥ 5,2	-

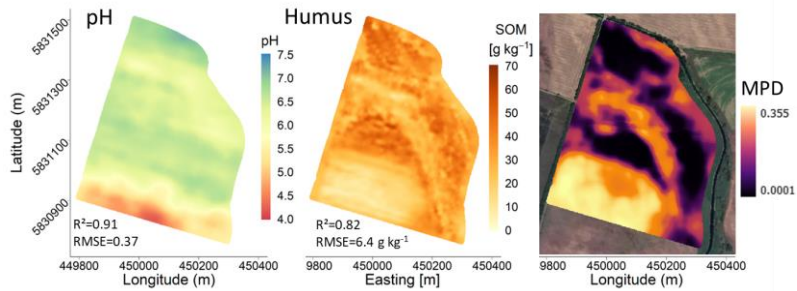


Stufenlose Kalkbestimmung

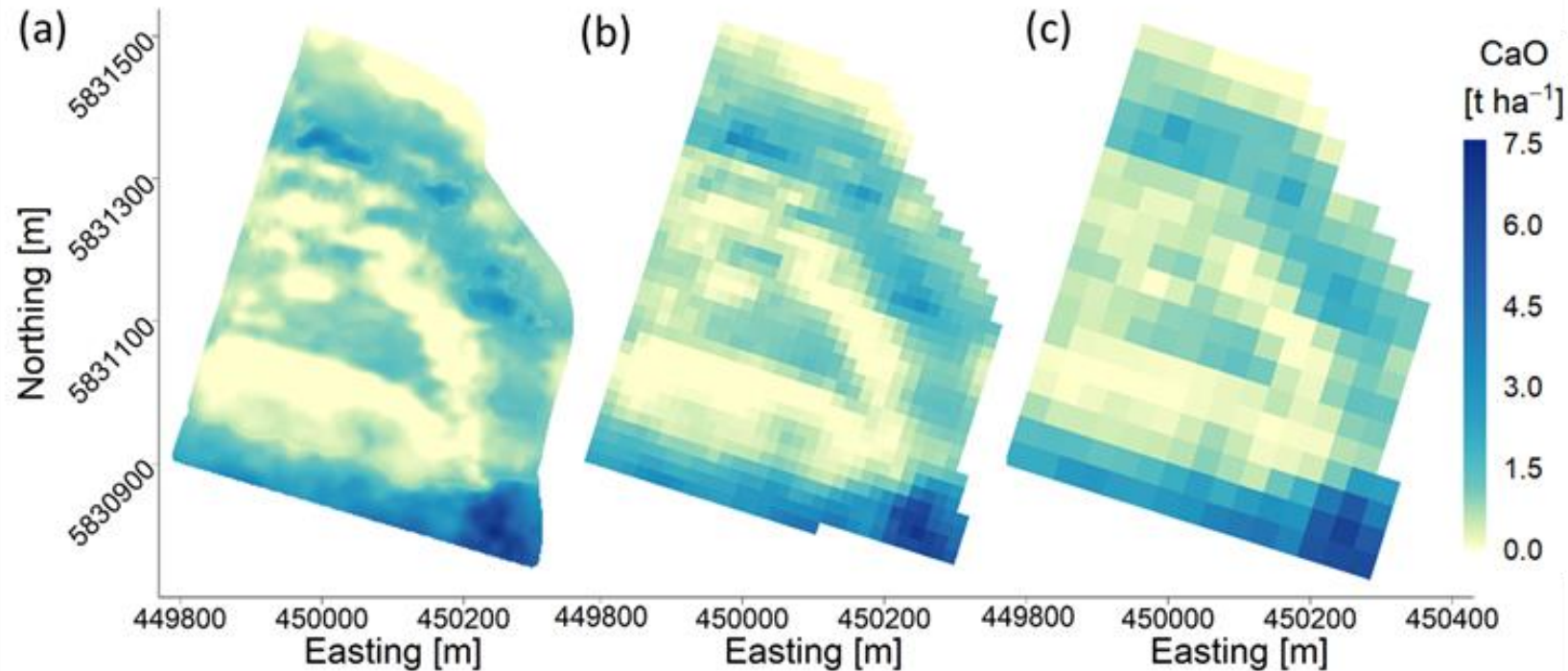
		Bodengruppe 5							
		Bodengruppe 4							
		Bodengruppe 3							
		Bodengruppe 2							
		Bodengruppe 1							
pH-Klasse		Humusgehalt							
		≤ 4,0 %		4,1 bis 8,0 %		8,1 bis 15,9 %		15,1 bis 30 %	
		pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO	pH	CaO
A		≤ 4,0	45	≤ 3,7	50	≤ 3,4	50	≤ 3,1	21
		4,1	42	3,8	46	3,5	47	3,2	1*
	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



Berechnung teilflächendifferenzierter Kalkbedarfsmengen

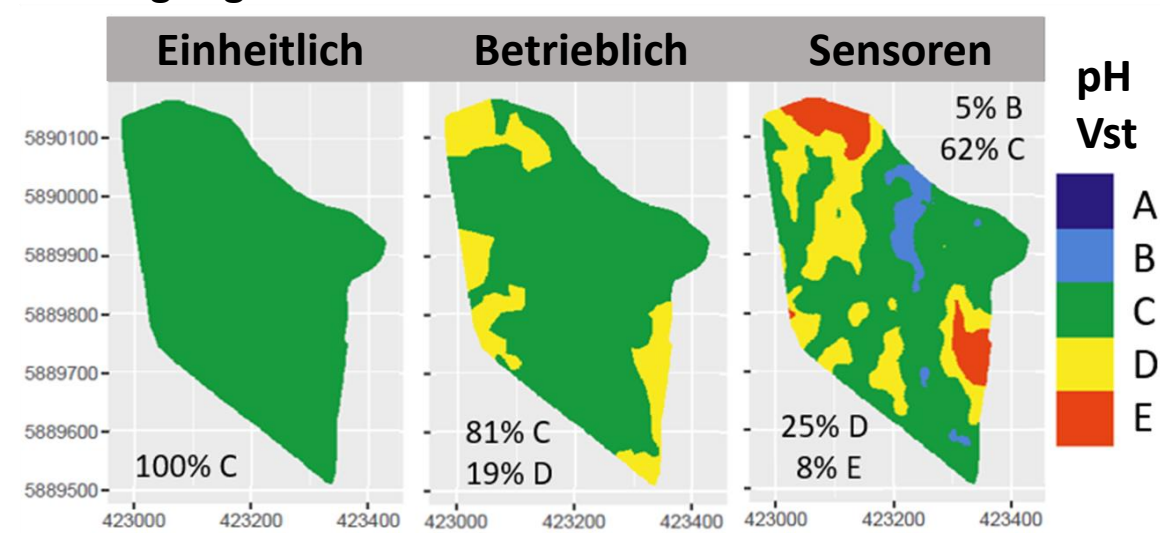


Resolution (m)	Min	Max	Mean	Median	SD	CV%	Cumulative (t)
2 x 2 (a)	0	7.4	1.03	0.8	1.17	113.9	28.4
18 x 18 (b)	0	6.97	1.06	0.8	1.21	113.9	31.5
36 x 36 (c)	0	6.51	1.11	0.8	1.27	114.2	35.4



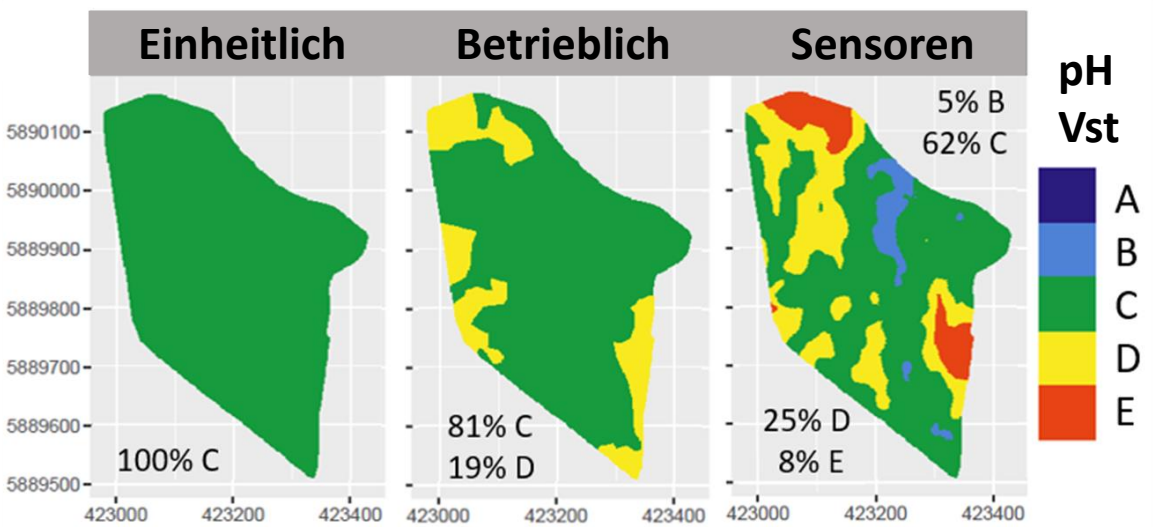
Fehldüngung durch Falscheinschätzung

Versorgungsstufen

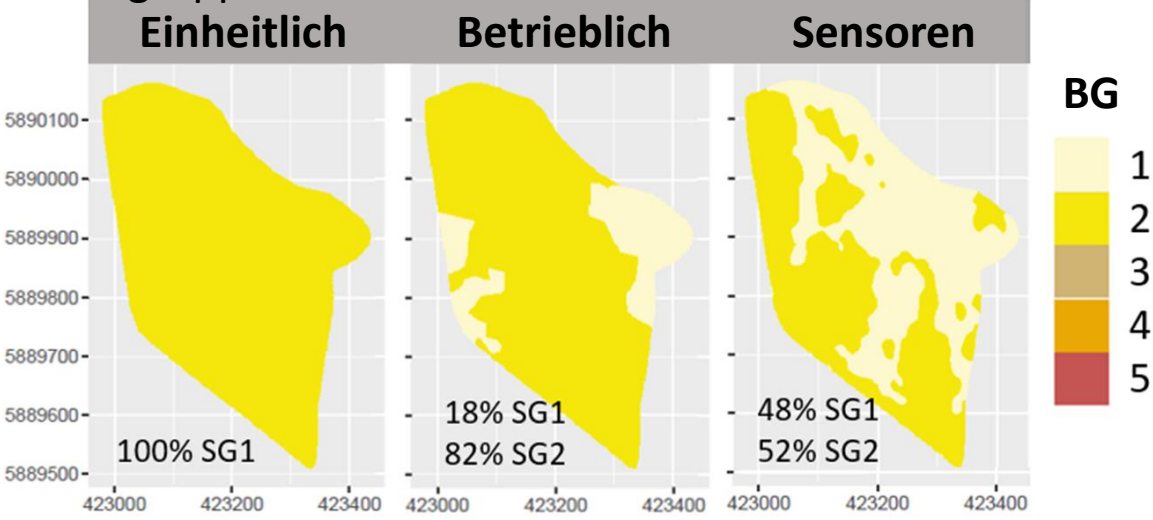


Fehldüngung durch Falscheinschätzung

Versorgungsstufen

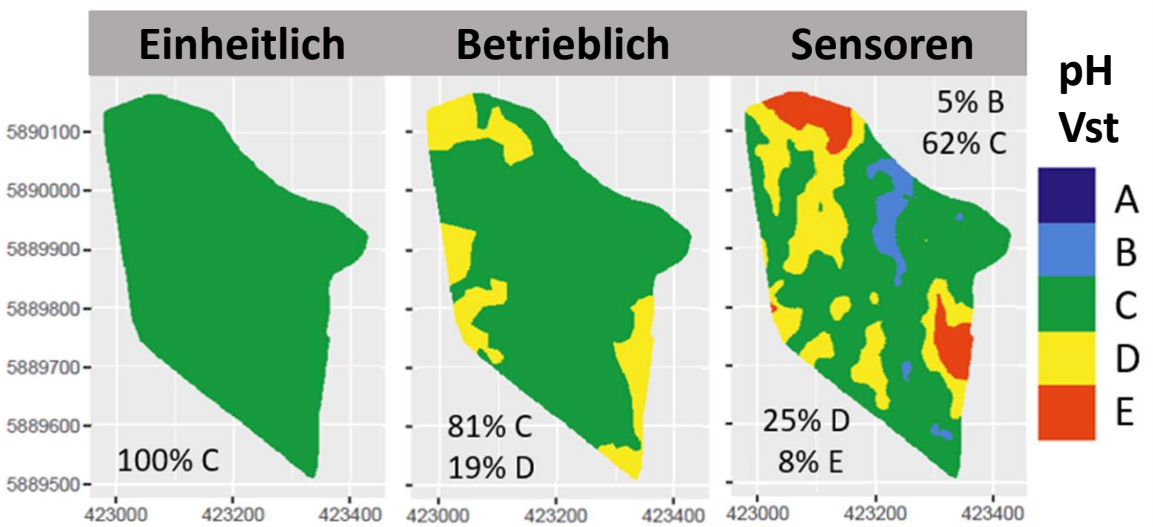


Bodengruppen

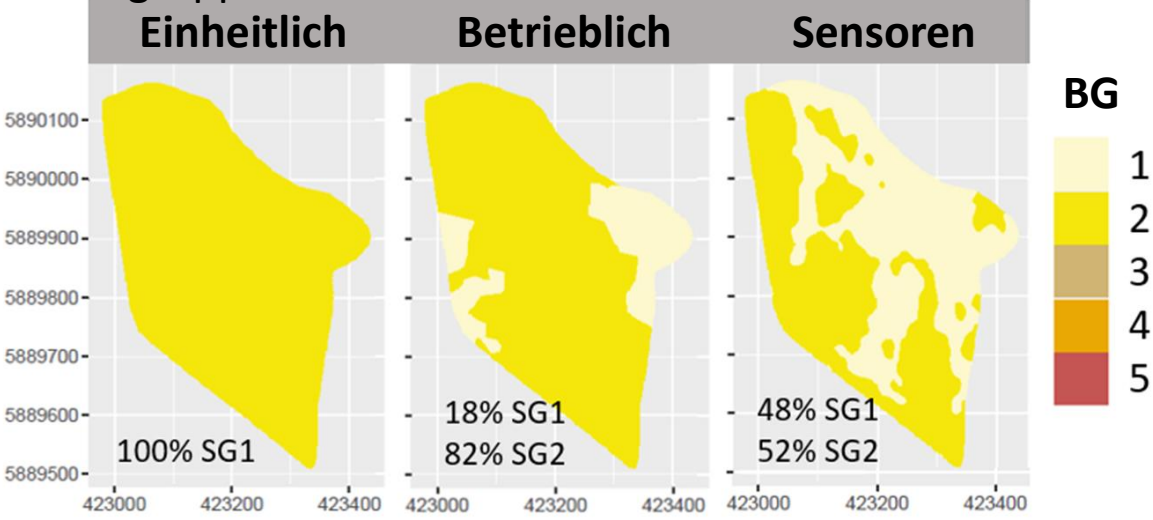


Fehldüngung durch Falscheinschätzung

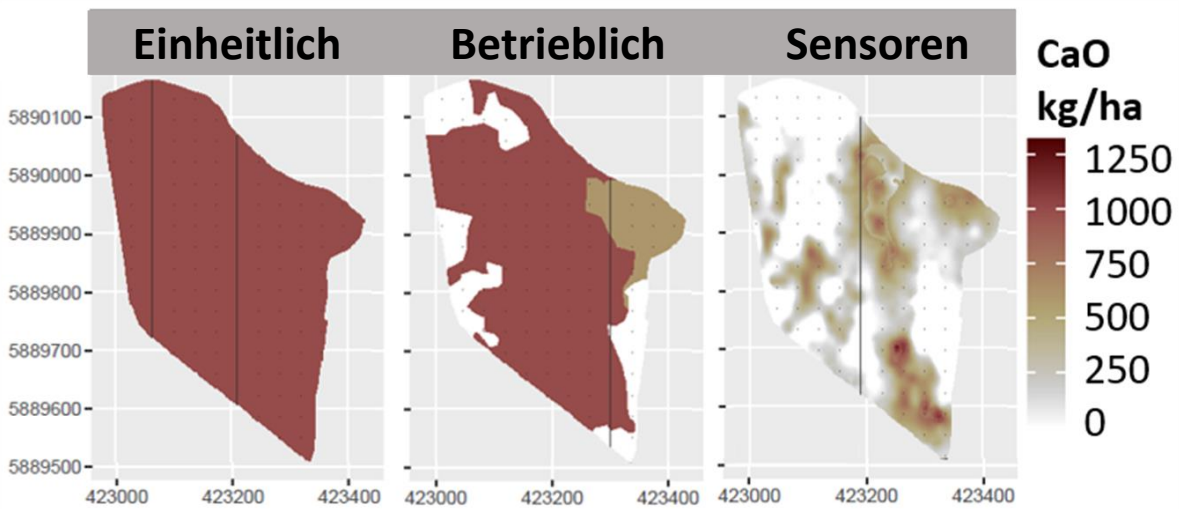
Versorgungsstufen



Bodengruppen

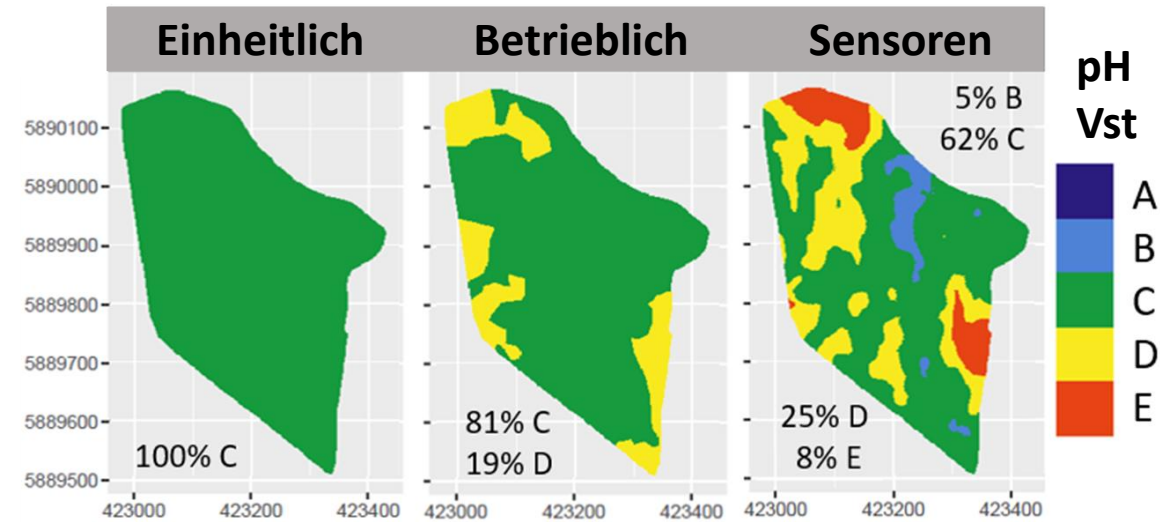


Kalkempfehlung

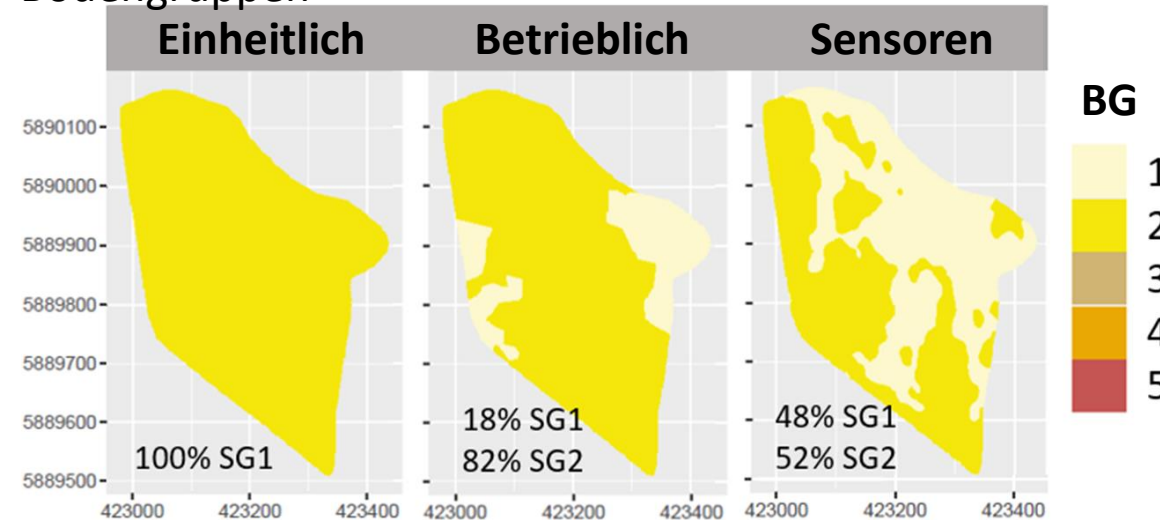


Fehldüngung durch Falscheinschätzung

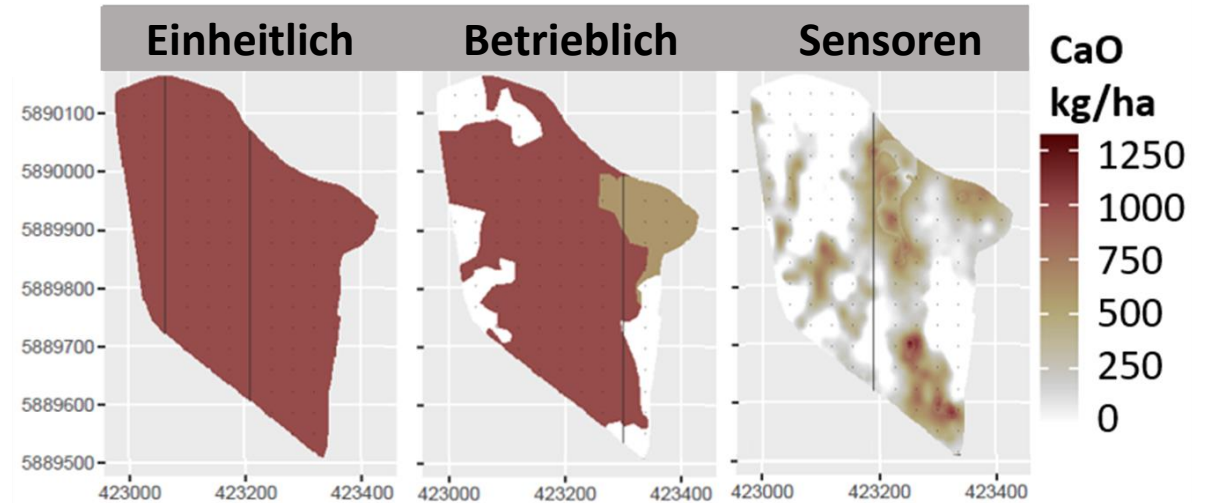
Versorgungsstufen



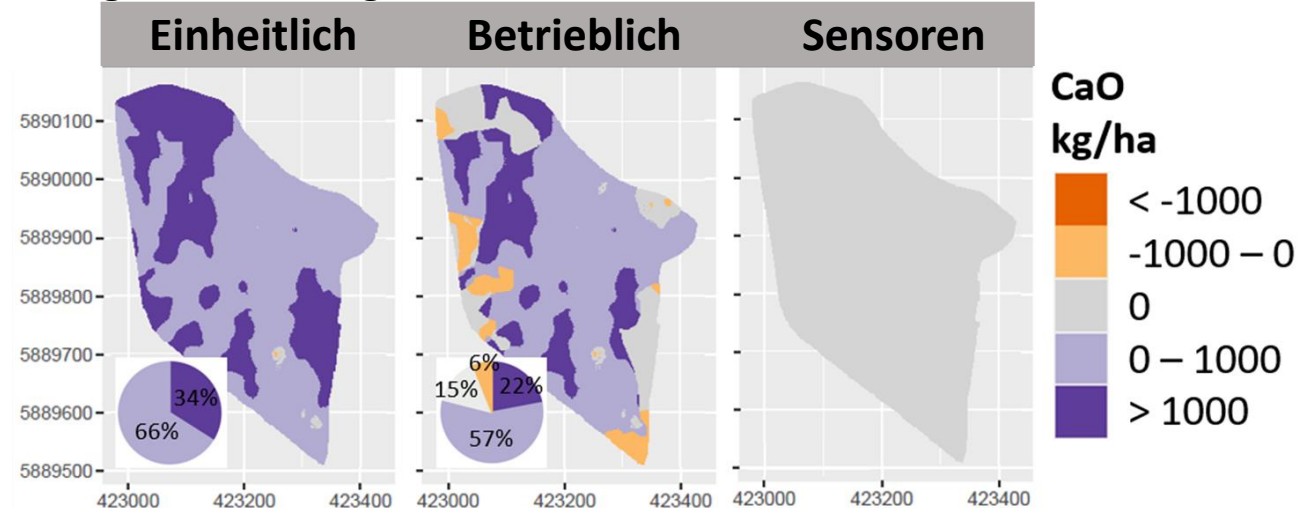
Bodengruppen



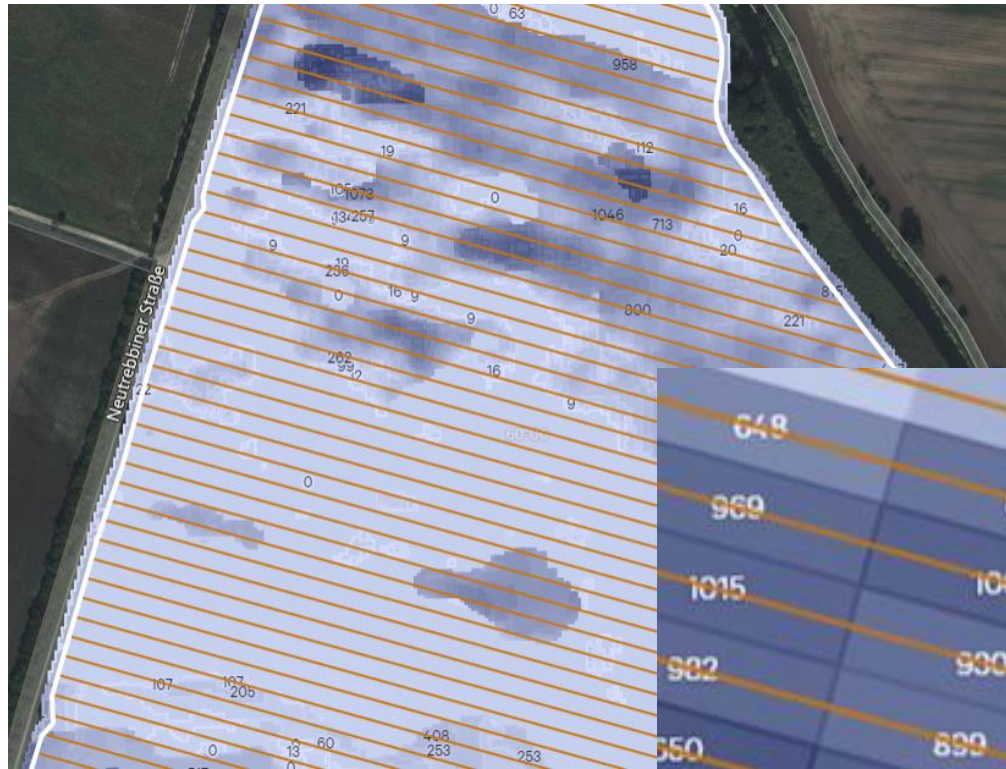
Kalkempfehlung



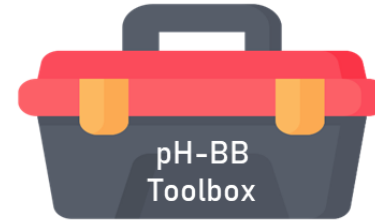
Düngeabweichung



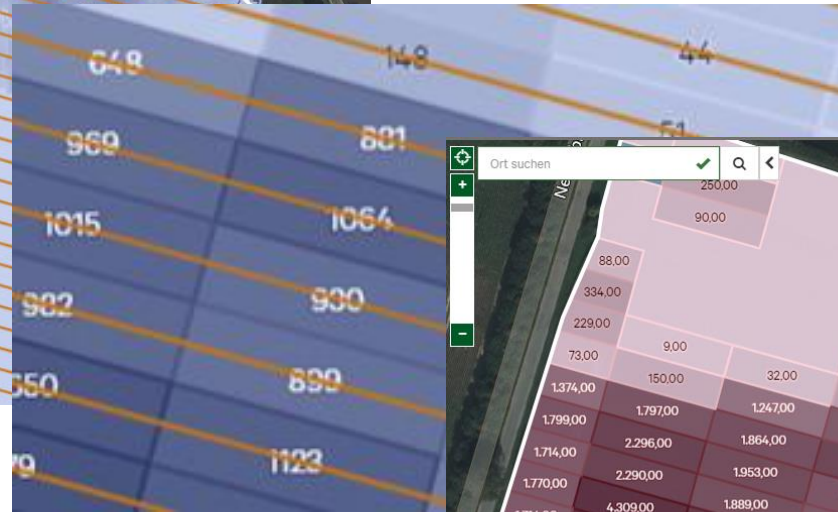
Erstellung variabilitätsgenauer Kalkstreukarten



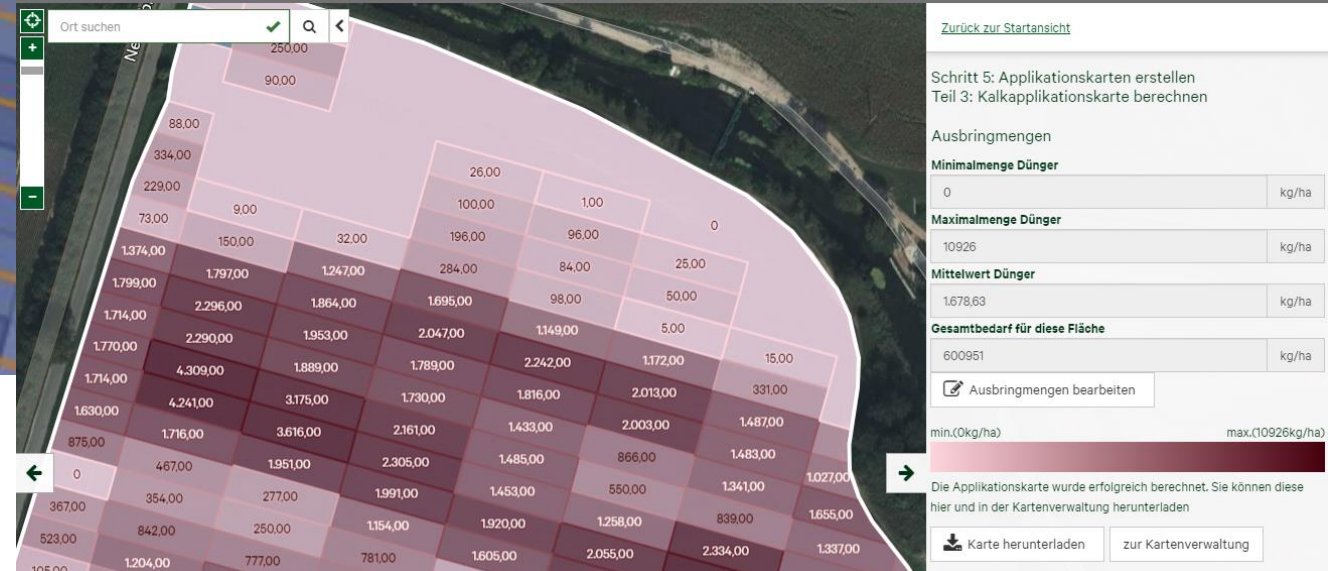
A



B



C



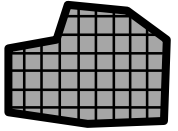
A

Fahrspurausrichtung



B

Bearbeitungsbreite

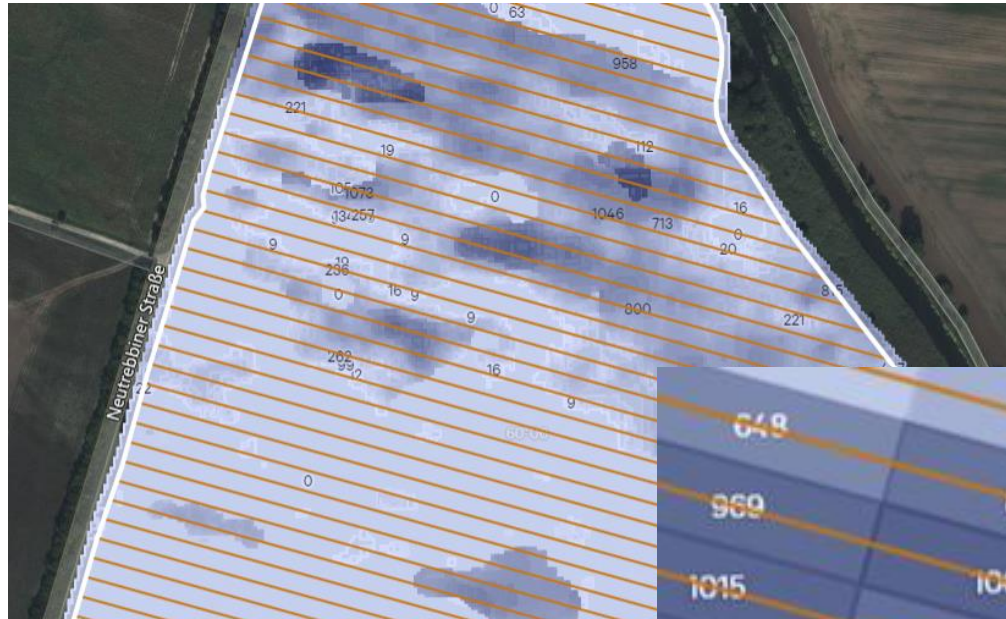


C

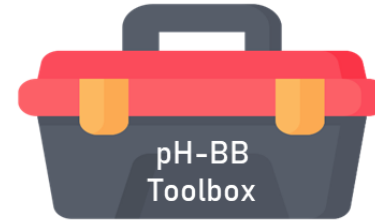
Neutralisationsgrad



Erstellung variabilitätsgenauer Kalkstreuakarten



A

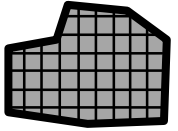


B

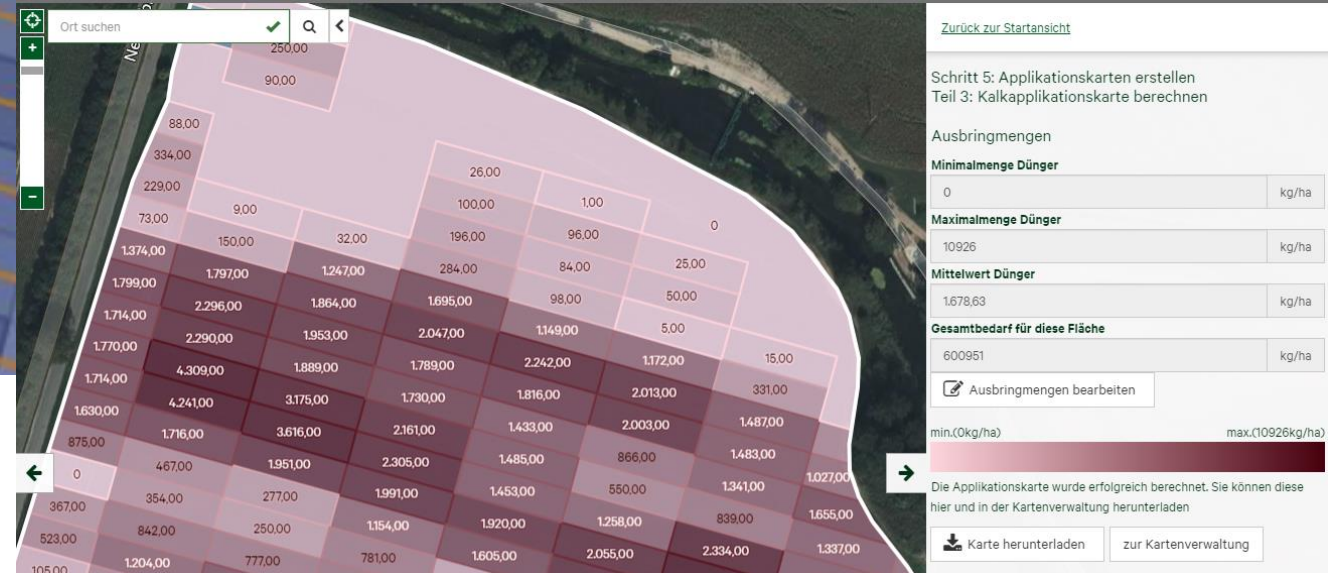
A Fahrspurausrichtung



B Bearbeitungsbreite

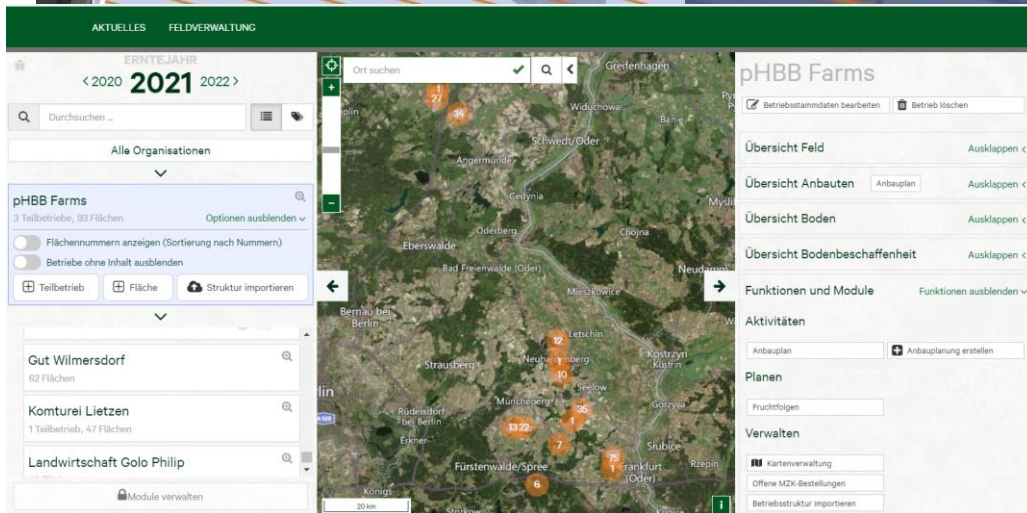


C Neutralisationsgrad



C

<https://phbb.ixmap.eu>



- **Hochauflösende Bodenkartierung** der kalkungsrelevanten Bodenparameter pH, Textur und Humus durch Naherkundungssensoren
- **Stufenlose Kalkbedarfsbestimmung** zur Schließung von Lücken des empirischen VDLUFA Ansatzes
- **Entscheidungsunterstützung der Kalkempfehlung** durch Kombination hochauflösender Karten und kontinuierlicher Bedarfsberechnung und Bereitstellung einer Softwarelösung

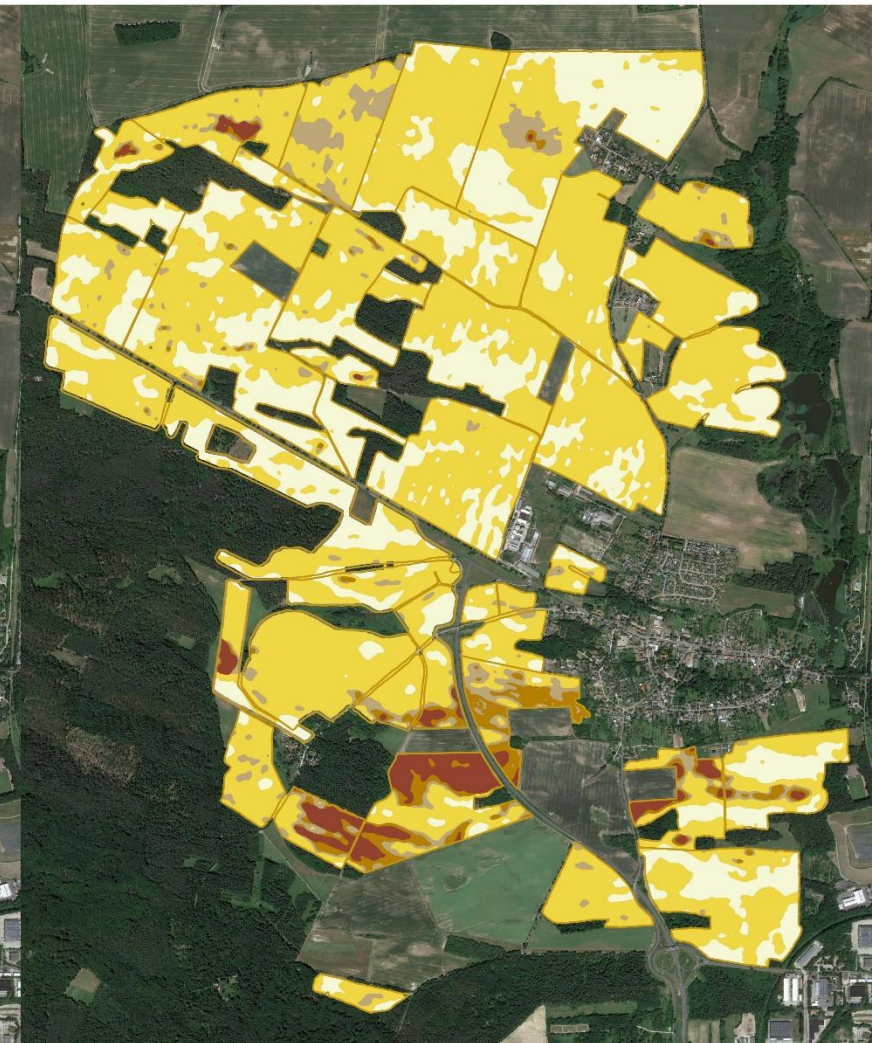
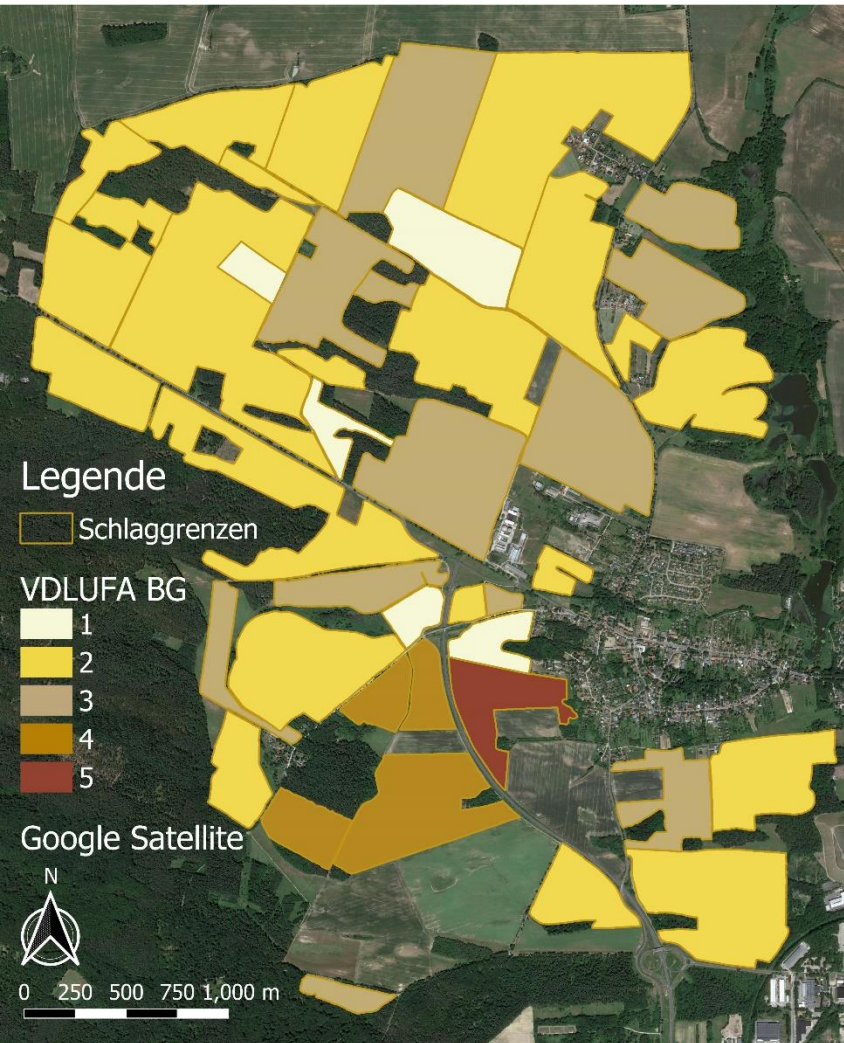
- **Hochauflösende Bodenkartierung** der kalkungsrelevanten Bodenparameter pH, Textur und Humus durch Naherkundungssensoren
- **Stufenlose Kalkbedarfsbestimmung** zur Schließung von Lücken des empirischen VDLUFA Ansatzes
- **Entscheidungsunterstützung der Kalkempfehlung** durch Kombination hochauflösender Karten und kontinuierlicher Bedarfsberechnung und Bereitstellung einer Softwarelösung
- Kartierte Leistung im Projekt: ~2000-3000 ha
- Probenumfang:
 - ✓ Textur: ~1100
 - ✓ Corg: ~1300
 - ✓ pH: ~1600
 - ✓ P/K/Mg: ~1300



Flächeneinheitlich

Betrieblich

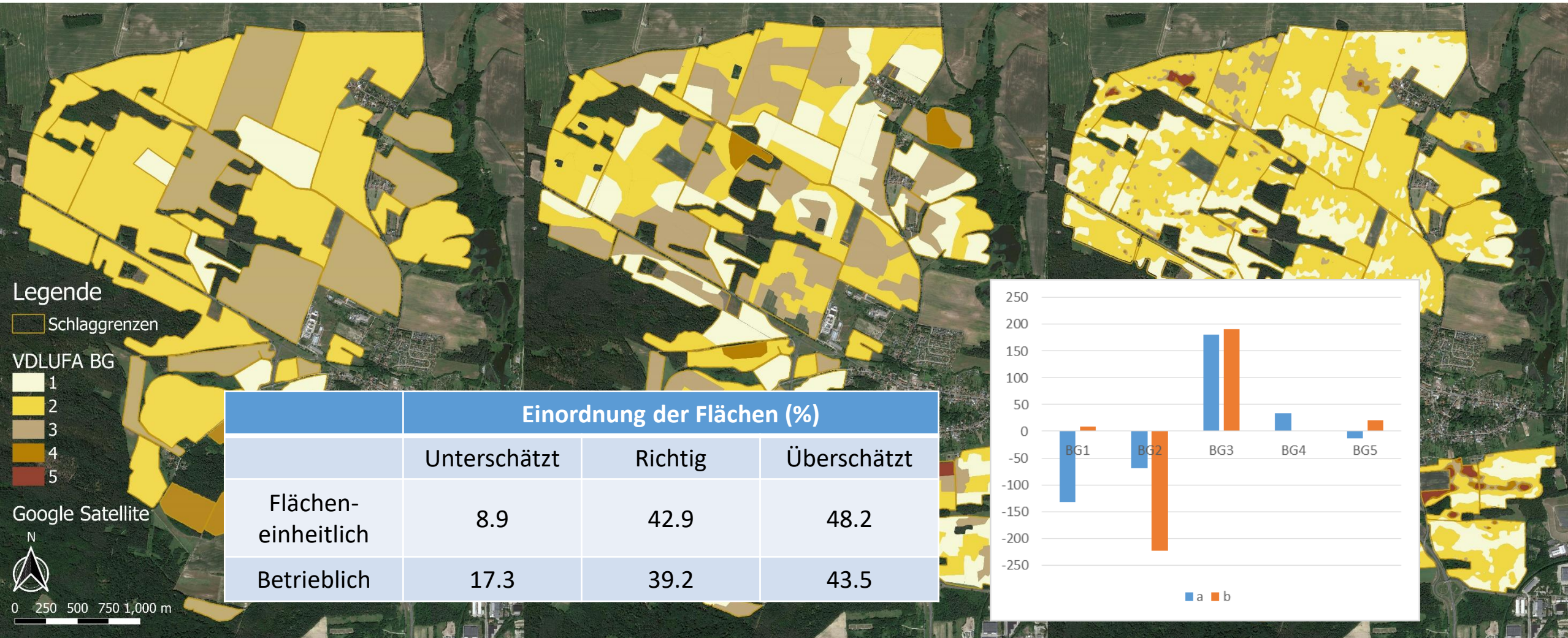
Sensoren

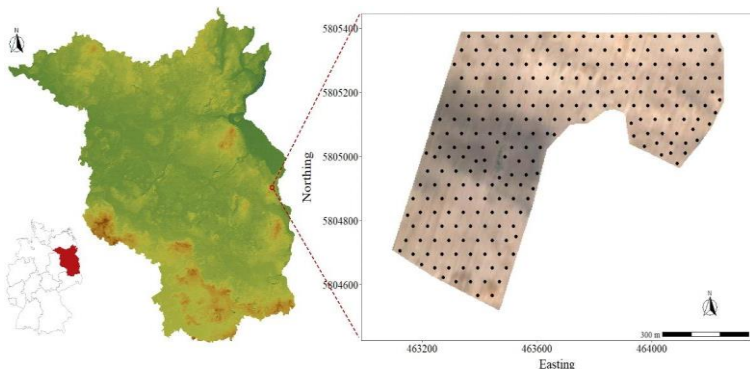


Flächeneinheitlich

Betrieblich

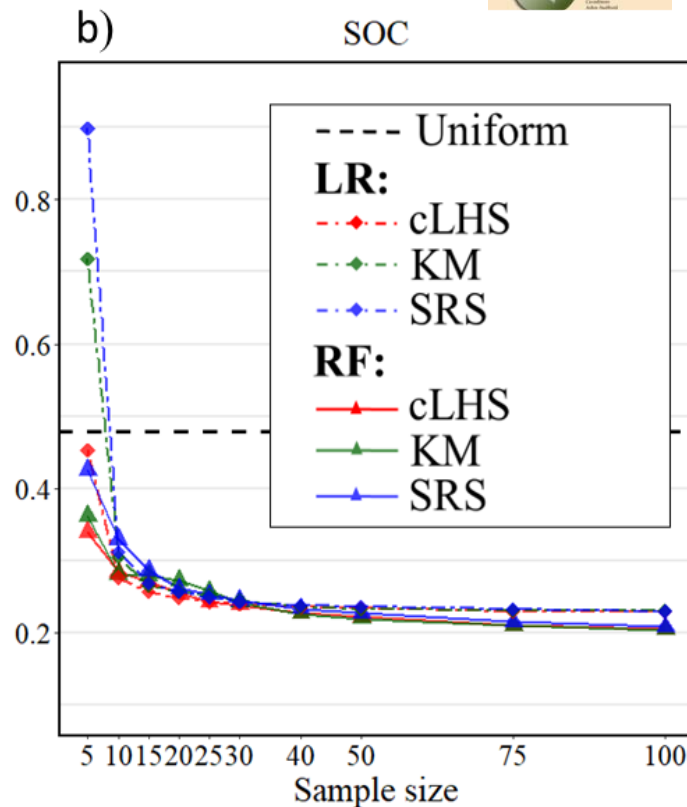
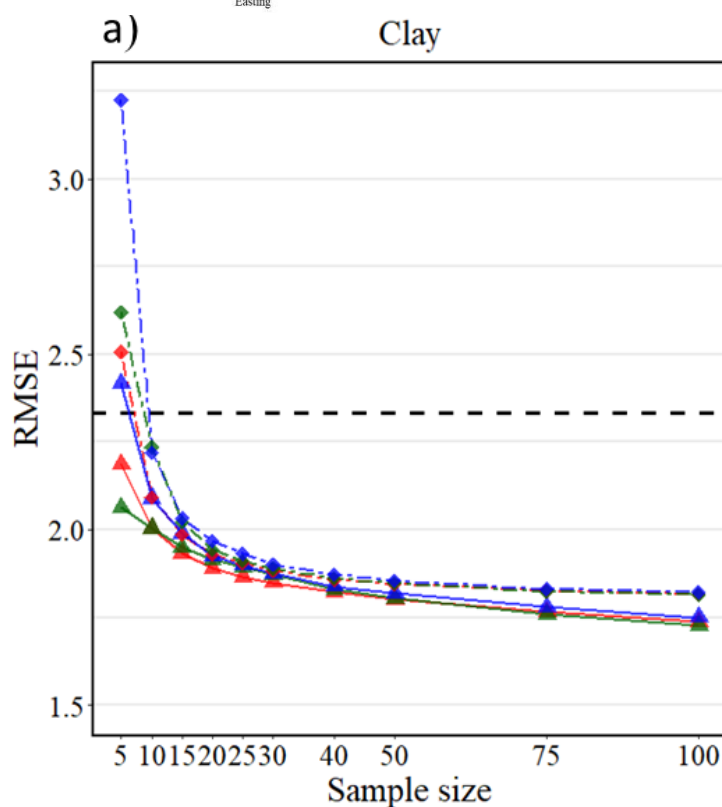
Sensoren





Effect of sample size, sampling design and prediction model on soil mapping with proximal sensing data for precision liming

Jonas Schmidinger¹, Ingmar Schröter², Eric Bönecke³, Robin Gebbers⁴, Joerg Ruehlmann³, Eckart Kramer², Vera L Mulder⁵, Gerard B.M. Heuvelink^{5,6}, Sebastian Vogel^{1,*}

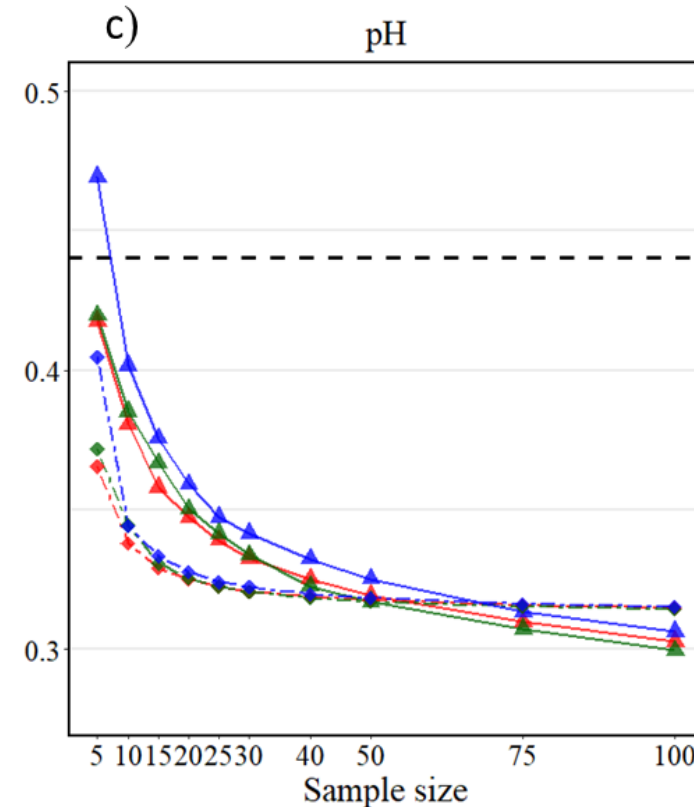


Models:

- LR = Linear Regression
- RF = Random Forest

Beprobung:

- cLHS = conditioned Latin Hyper Cube
- KM = K-Mean
- SRS = Einfache Zufallsbeprobung



- **Hochauflösende Bodenkartierung** der kalkungsrelevanten Bodenparameter pH, Textur und Humus durch Naherkundungssensoren
- **Stufenlose Kalkbedarfsbestimmung** zur Schließung von Lücken des empirischen VDLUFA Ansatzes
- **Entscheidungsunterstützung der Kalkempfehlung** durch Kombination hochauflösender Karten und kontinuierlicher Bedarfsberechnung und Bereitstellung einer Softwarelösung
- **Ökonomische Bewertung** der Präzisen Kalkung gegenüber der betrieblichen und flächeneinheitlichen Düngestrategie
- Bestimmung des **optimalen Probenumfangs** zur Kalibrierung der Sensordaten und **Nutzung von Fernerkundungssensoren**
- Erweiterung des Ansatzes auf **andere Grundnährstoffe**

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit



Wissenschaftliche Düngekalktagung – Fulda 27.-28.03.2023

➤ Covariate collinearity assessments

➤ Additive-Log-Ratio (ALR) transformation

- Particle size fractions summing up to 100%
- must be non-negative
- should be unbiased

$$X = [x_1; x_2; x_3]$$

$$\text{alr}(X) = [\mathcal{Y}_1; \mathcal{Y}_2] = \left[\ln\left(\frac{x_1}{x_2}\right) \right]$$

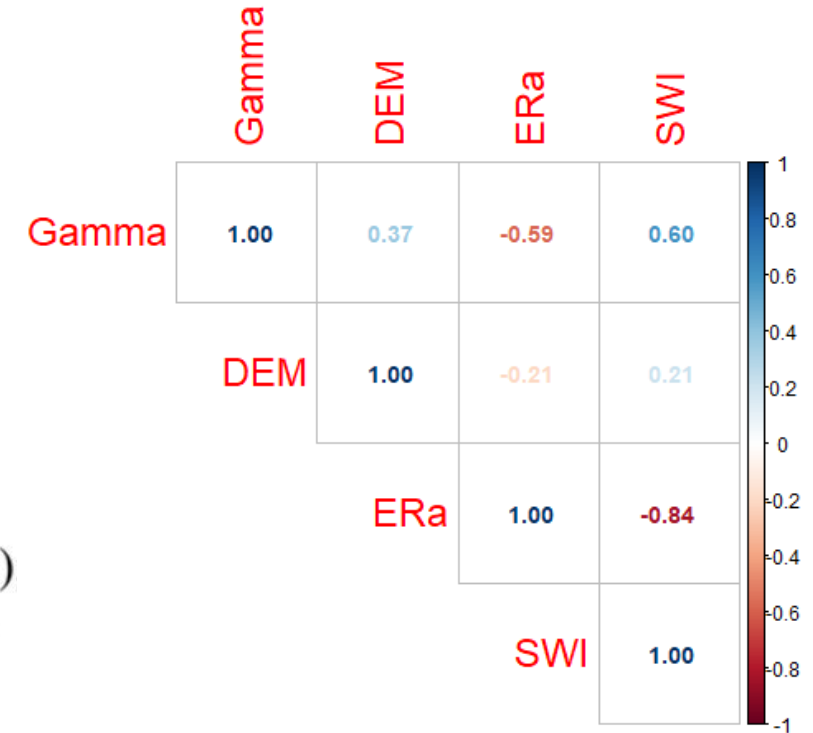
➤ Model building

- Multiple linear regression (MLR)
- Multivariate stepwise regression (MSR)
- Non-linear regression (NLR)

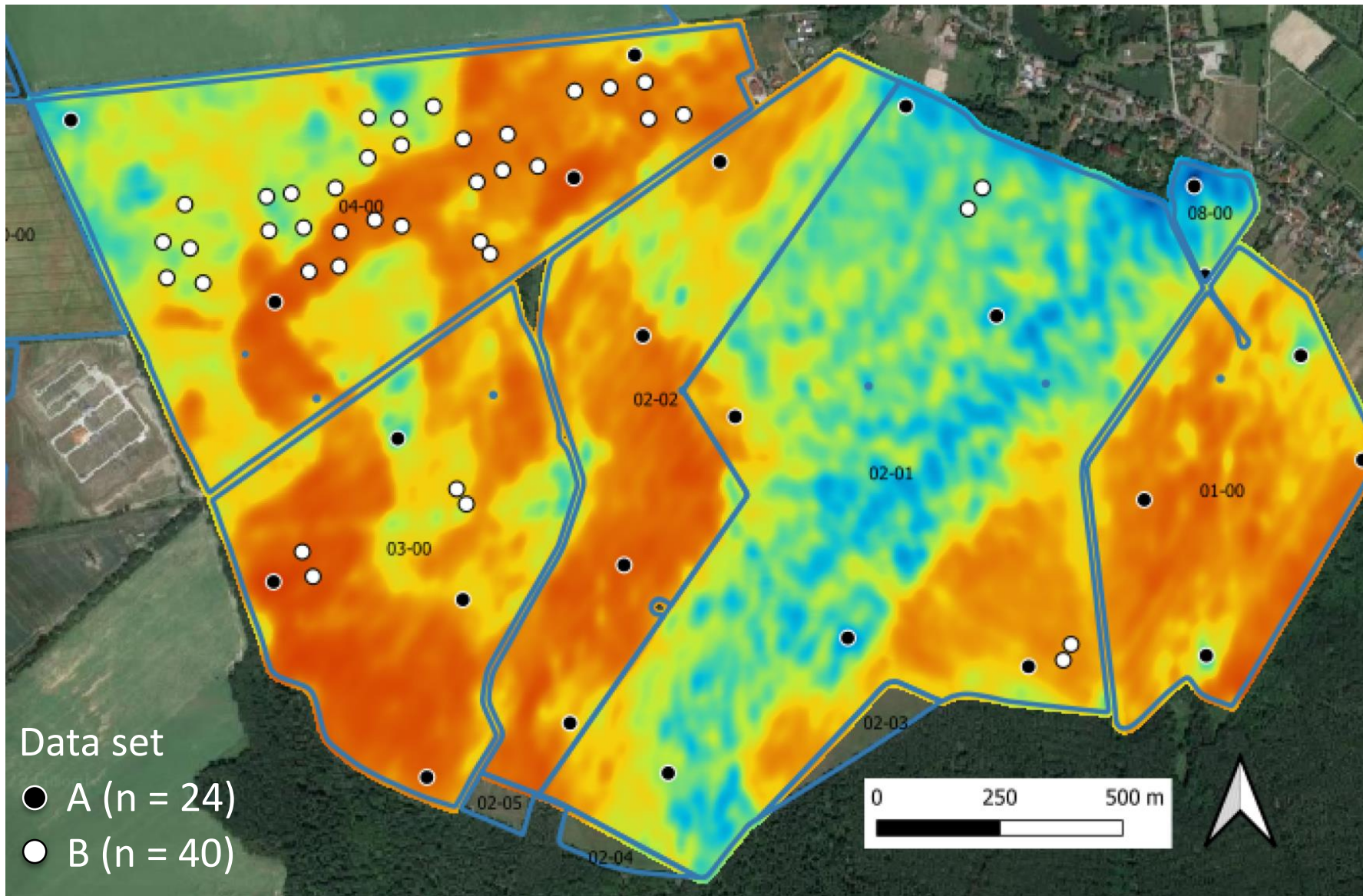
➤ Assessing model performance

- Mean squared error (MSE)
- Root mean square error (RMSE)
- Repeated (k-fold) cross validation or
- Leave-one-out cross-validation (LOOCV)

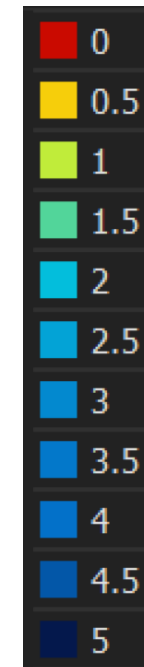
$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$



Soil texture calibration



Soil Wetness Index
SWI (γ /ERa)

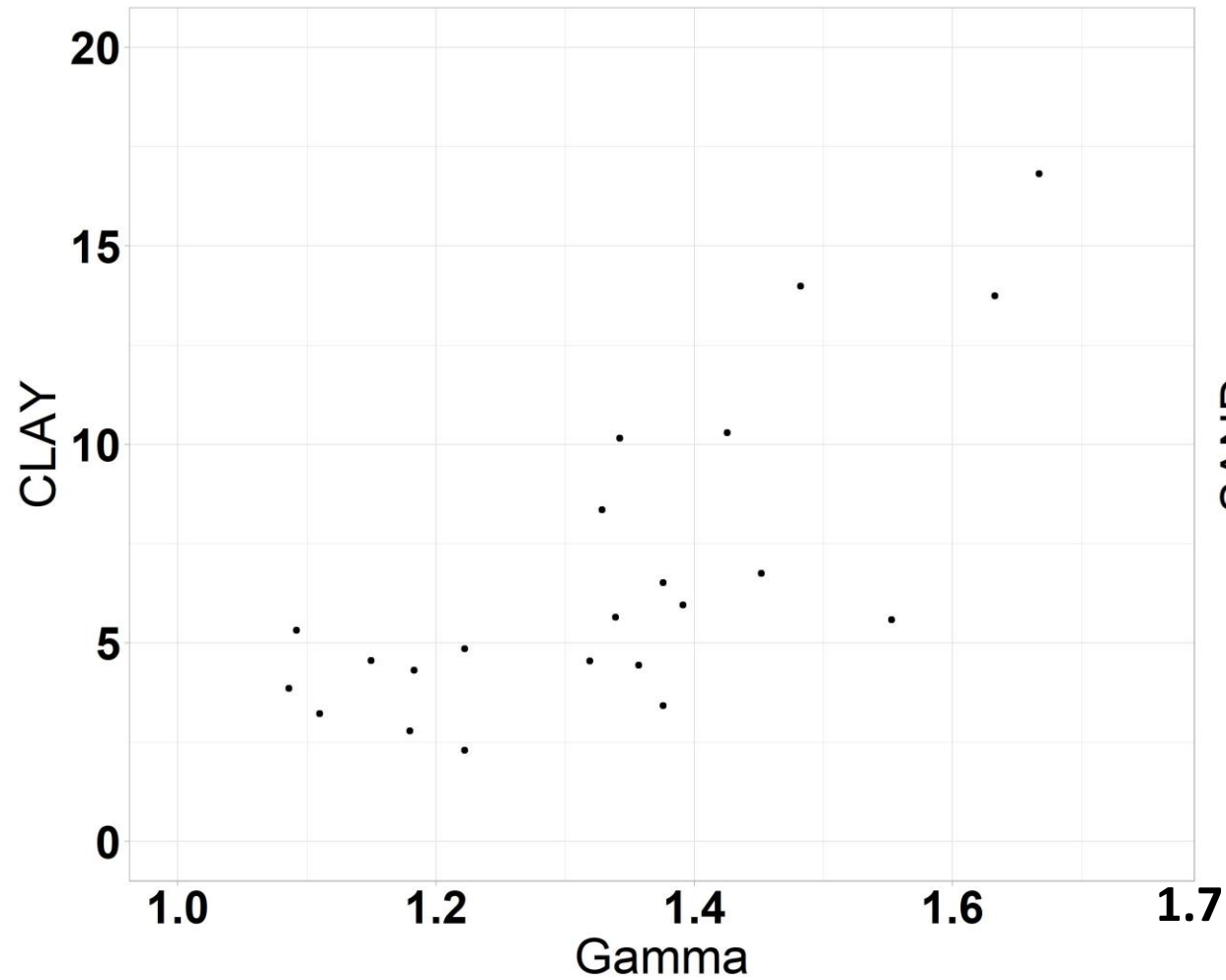


Area: ~311 ha

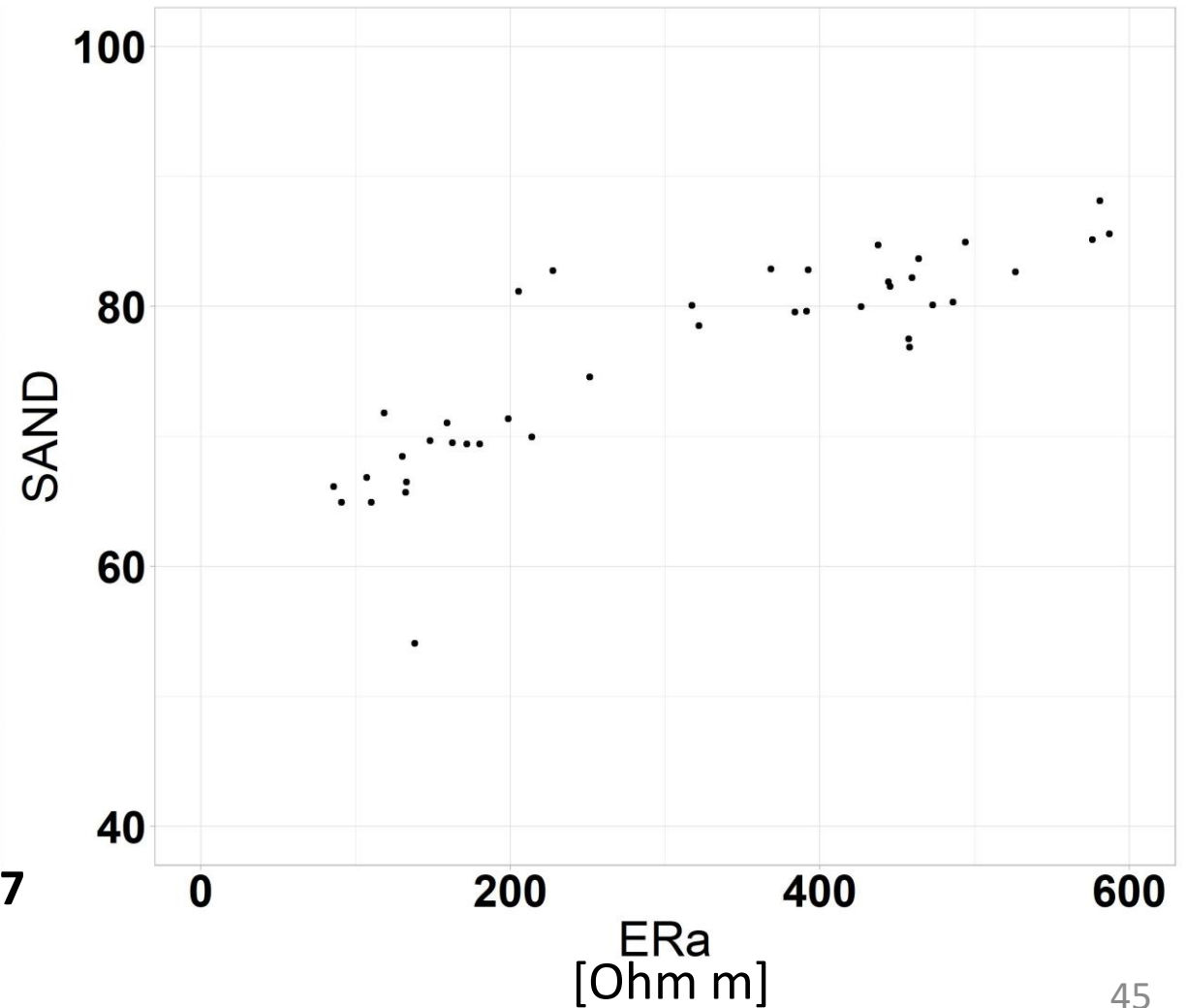
Mapping date: 16./17.10.2019

Soil texture calibration

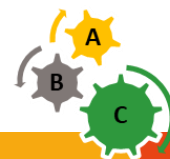
Data set A



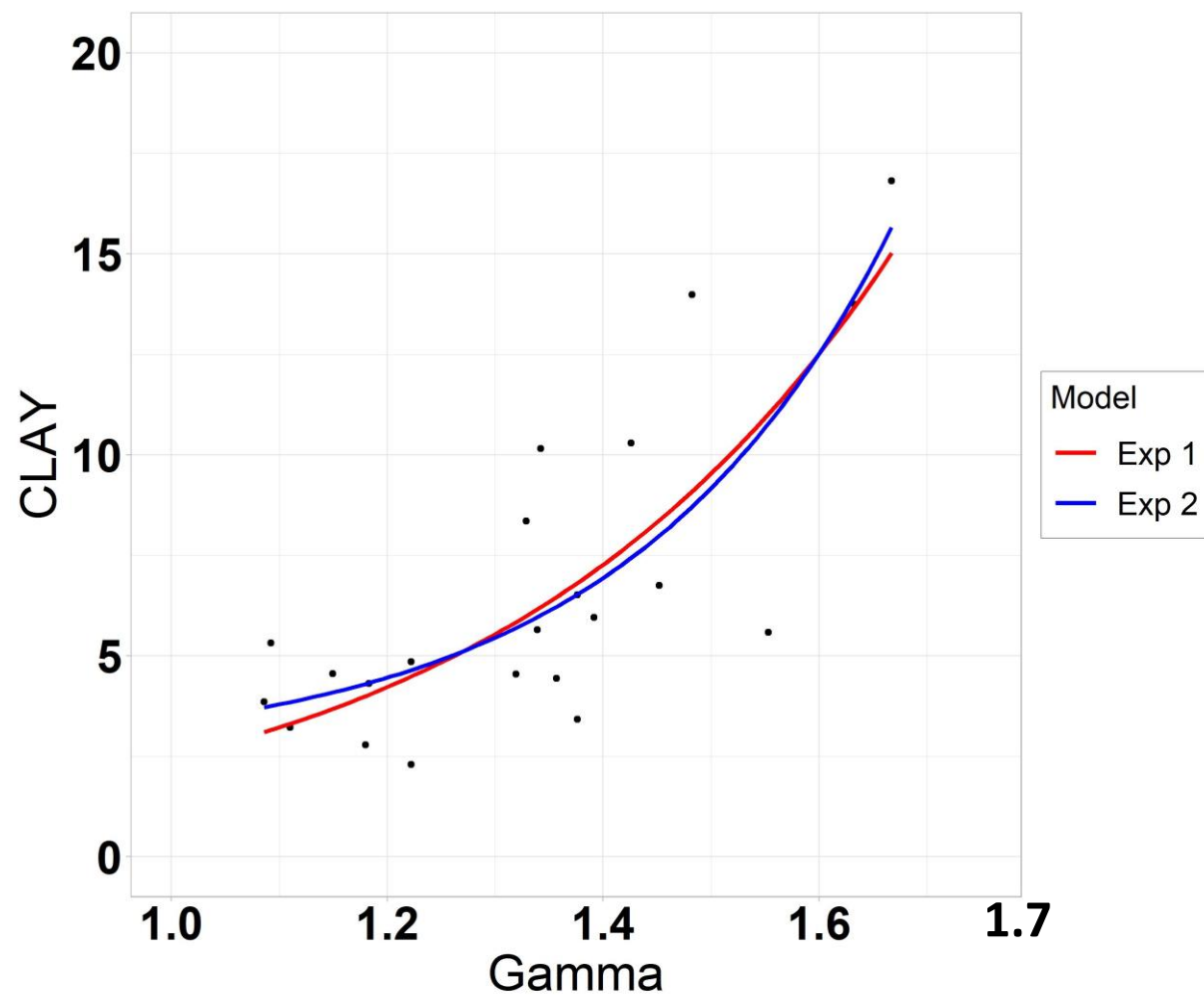
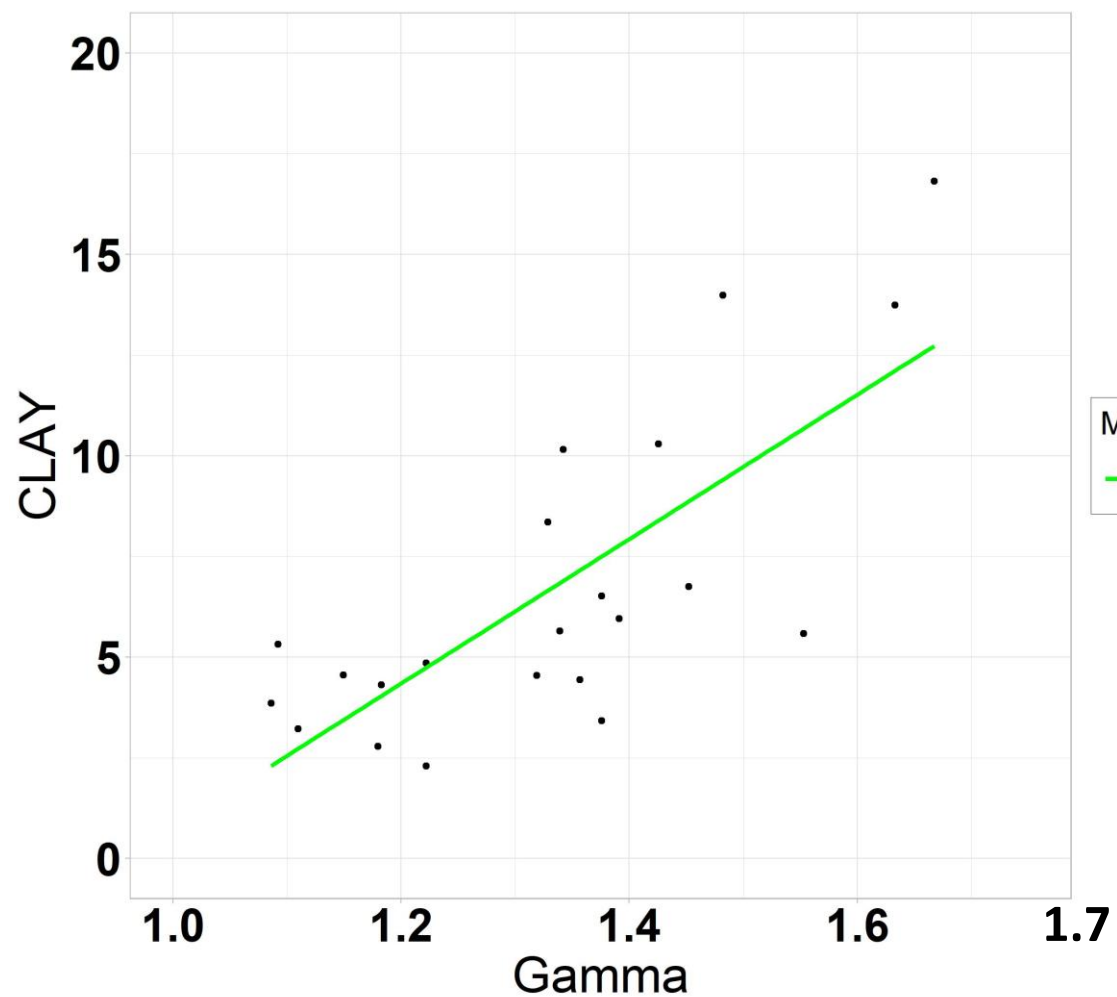
Data set B



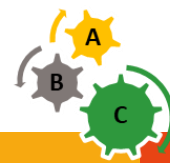
Soil texture calibration



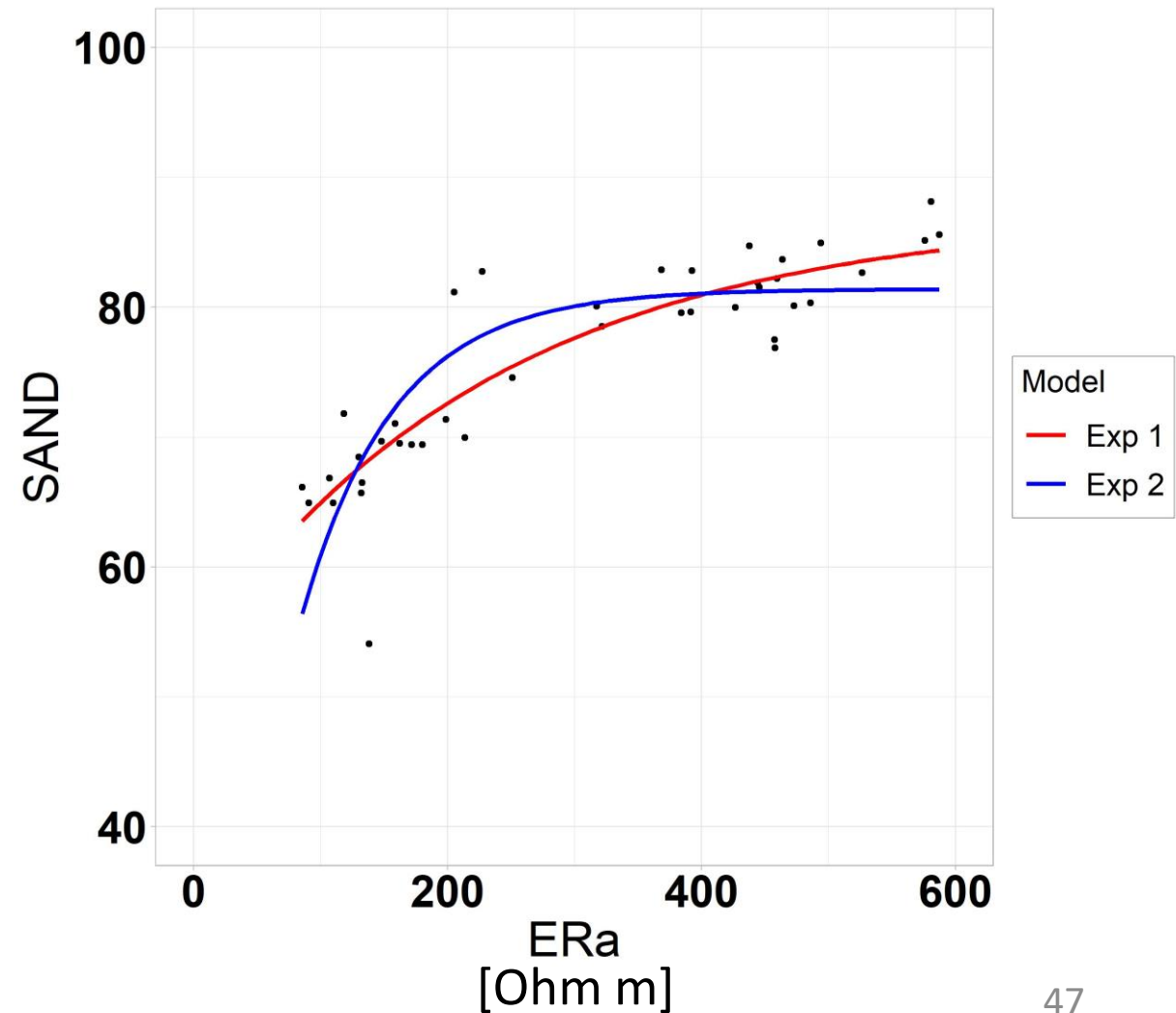
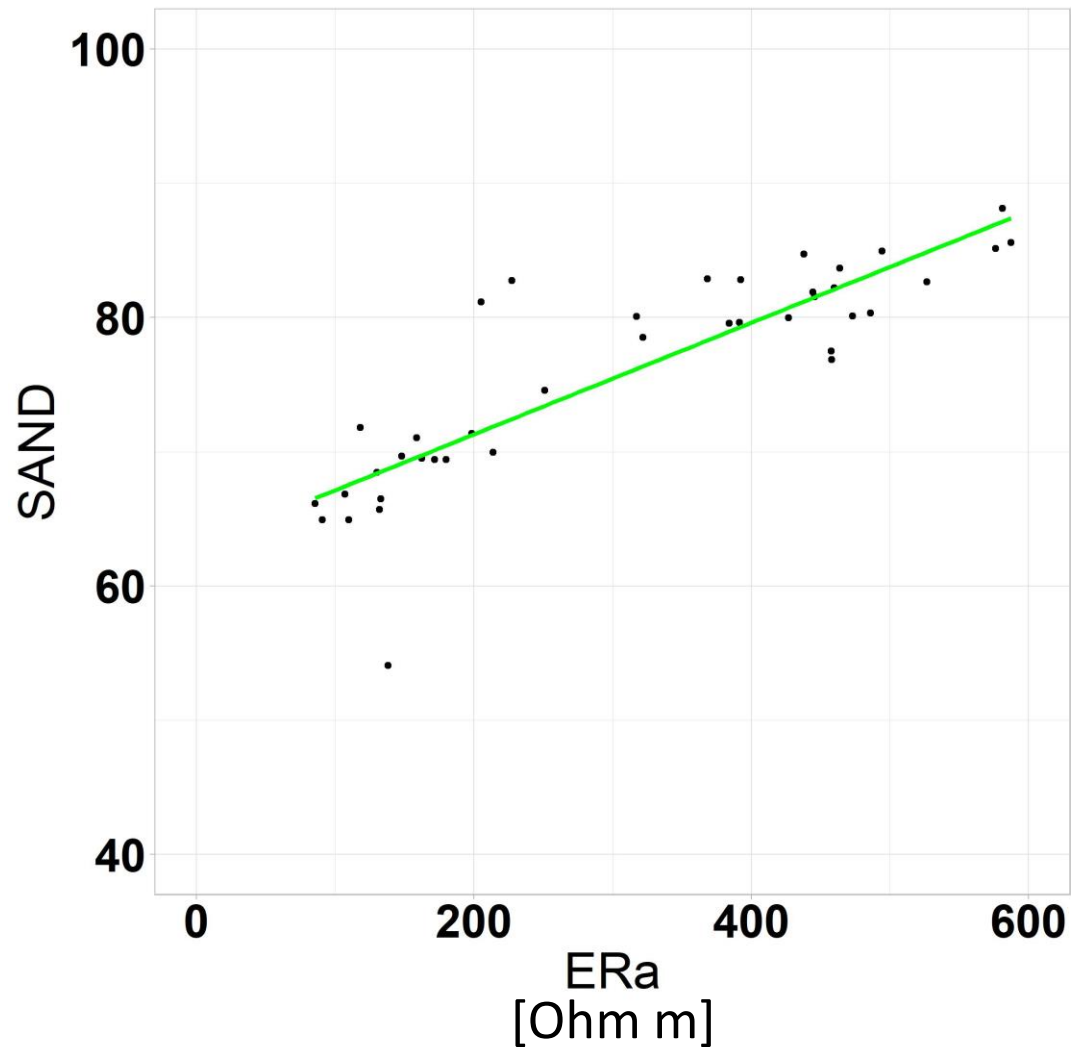
Data set A



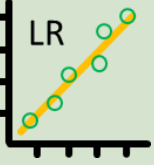
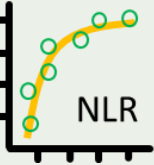
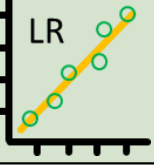
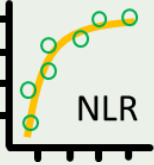
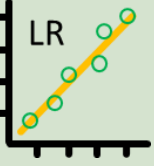
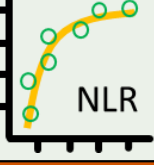
Soil texture calibration



Data set B



Soil texture calibration

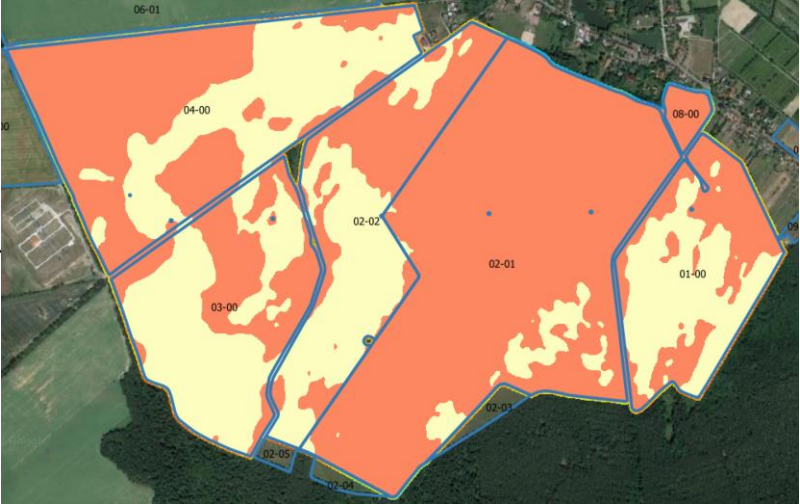
Data set	n	Model	Fraction	Covar	RMSE M%
A	24	 LR	Clay	γ	2.4
			Silt	-	4.5
			Sand	ERa	5.8
		 NLR	Clay	γ	<u>1.8</u>
			Silt	-	4.6
			Sand	ERa	<u>5.7</u>
B	40	 LR	Clay	-	2.3
			Silt	SWI	4.1
			Sand	ERa	4.1
		 NLR	Clay	-	2.1
			Silt	SWI	<u>3.7</u>
			Sand	ERa	<u>3.8</u>
A + B	64	 LR	Clay	-	2.6
			Silt	γ /ERa/DEM	<u>4.1</u>
			Sand	γ /ERa/DEM	<u>4.9</u>
		 NLR	Clay	-	2.8
			Silt	ERa	5.6
			Sand	ERa	6.8

Validation settings: 100 x 4-fold CV

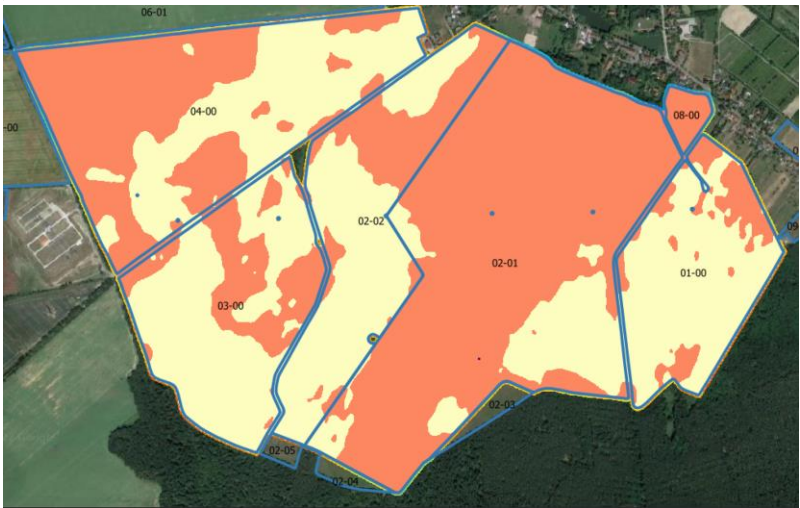
Soil texture maps



Data set	n	Model	KA5	Area ha	Area %	VDLUFA	Area ha	Area %
A	24	MSR/MLR	Ss	1	0.3	1	108.5	34.8
			Su2	107.5	34.5			
			Sl2	161.7	51.9			
			Sl3	40.9	13.2	2	202.9	65.2
			Su4	0.3	0.1			
		EXP	Su2	139.7	44.8	1	139.7	44.8
			Sl2	152.7	49			
			Su3	0.3	0.1			
			Sl3	17.9	5.8	2	171.8	55.2
			Su4	0.9	0.4			



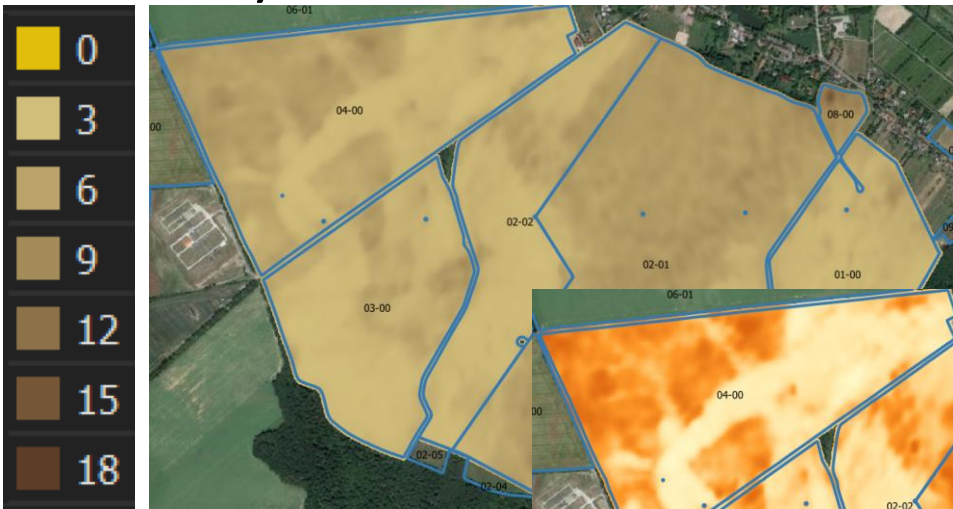
SG



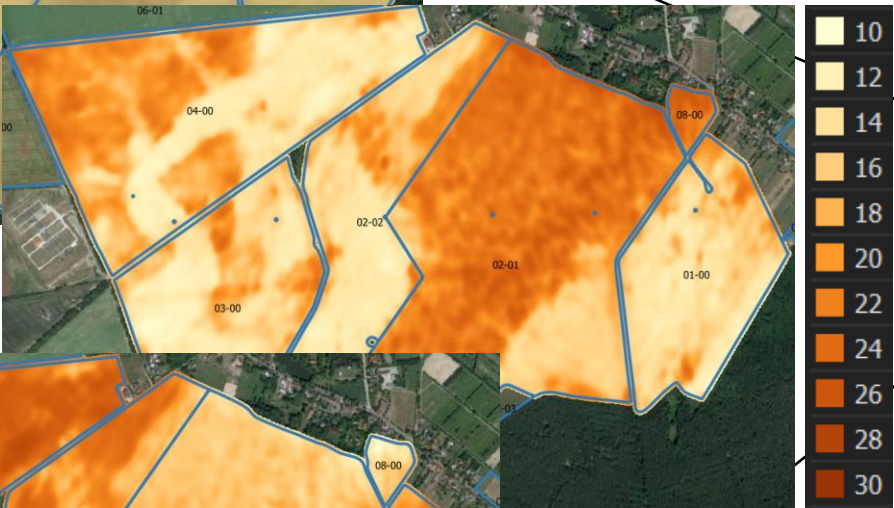
Soil texture maps



M% Clay



Silt M%



M% Sand



**agronomy**



Article

Predicting the Lime Demand of Arable Soils from pH Value, Soil Texture and Soil Organic Matter Content

Joerg Ruehlmann *, Eric Bönecke  and Swen Meyer 

Mean particle diameter (MPD) mm



The MPD serves as a proxy variable to assess soil texture dependent management

- e.g., the application of “stepless-algorithm” instead of class-based fertilizer assessment

Fehldüngung durch Falscheinschätzung

Boden- gruppe	VDLUFA CaO Zielmenge	Gesamt CaO Menge		Optimal gedüngte Flächen		Überdüngte Flächen		Unterdüngte Flächen	
		Flächen- einheitlich	Variable approach						
	t ha ⁻¹	t	t	%	t	%	t	%	t
1	0.6	17.8	31.5	53.4	-7.4	34.2	4.6	12.3	-11.1
2	1.1	32.7	31.5	31.1	-4.5	61.5	12.3	7.4	-7.2
3	2.9	86.2	31.5	8.7	-3.3	91.1	57.9	0.2	-0.2

■ Überdüngt
■ Optimal gedüngt
■ Unterdüngt

