



SACHSEN-ANHALT

Landesanstalt für
Landwirtschaft und
Gartenbau



Stickstoff- und Kohlenstoff-Monitoring in einem mit Nitrat belasteten Grundwasserkörper in der Modellregion Querfurter Platte

Nadine Tauchnitz
Michael Steininger
Frank Reinicke
Matthias Schrödter

Fachgespräch Landwirtschaftlicher Gewässerschutz
10. November 2022 in Altmittweida



Hintergrund

- 2018 Vertragsverletzungsverfahren der EU gegen Deutschland wegen unzureichender Umsetzung der Nitratrichtlinie
- Anpassung der Düngeverordnung (DüV) im Mai 2020 → §13a Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (AVV GeA, 2022)
- Einrichtung Monitoringprogramm zur Wirkung der DüV, Feinkonzept durch Bund-Länder Arbeitsgruppen erarbeitet
- bisher meist nur Betrachtung der Stickstoff (N)-Überschüsse im Zusammenhang mit der Nitrataustragsgefährdung
- wichtig auch Berücksichtigung der standortspezifischen Gegebenheiten: Sickerwasserraten, Verweilzeiten des Sickerwassers, Humusversorgung, N-Nachlieferung, enge Kopplung zwischen Kohlenstoff- und N-Haushalt





Zielstellung



Kohlenstoff- und Stickstoffmonitoring in einem mit Nitrat belasteten Grundwasserkörper (GWK SAL GW014) in der Modellregion Querfurter Platte

- ✓ Wirkungszusammenhänge zwischen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und der Nitrataustragsgefährdung besser zu verstehen
- ✓ Maßnahmen für eine Verbesserung der Grundwasserqualität umzusetzen und deren Wirksamkeit abzuschätzen
- ✓ das durch die EU geforderte Wirkungsmonitoring der DüV unter besonderen Bedingungen des mitteldeutschen Trockengebietes zu prüfen



Foto: INL



Zielstellung



Kohlenstoff- und Stickstoffmonitoring in einem mit Nitrat belasteten Grundwasserkörper (GWK SAL GW014) in der Modellregion Querfurter Platte

- Projektlaufzeit: 2016 bis 2019
- Kooperationspartner:
 - Privates Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH (INL)
 - Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz (MISB)
 - 12 ausgewählte Testbetriebe



Foto: INL



Modellregion Querfurter Platte

- eine von deutschlandweit insgesamt 5 Modellregionen im Demonstrationsvorhaben des JKI „Indikatoren zur Früherkennung von Nitratfrachten im Ackerbau“ (Mielenz et al., 2021)
- Zuordnung zum Grundwasserkörper (GWK) SAL GW 014
= GWK im schlechten chemischen Zustand aufgrund zu hoher Nitratgehalte (> 50 mg/l)
- Fläche: 1.236 km², 73 % landwirtschaftliche Nutzung



Legende

 Testgebiet Querfurter Platte/ Grundwasserkörper SAL 14

Datengrundlagen:

Geobasisdaten © GeoBasis-DE / LVermGeo LSA (2019 / 010312)

Hydrologie © Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW) [2021]



0 25 50 75 100 km

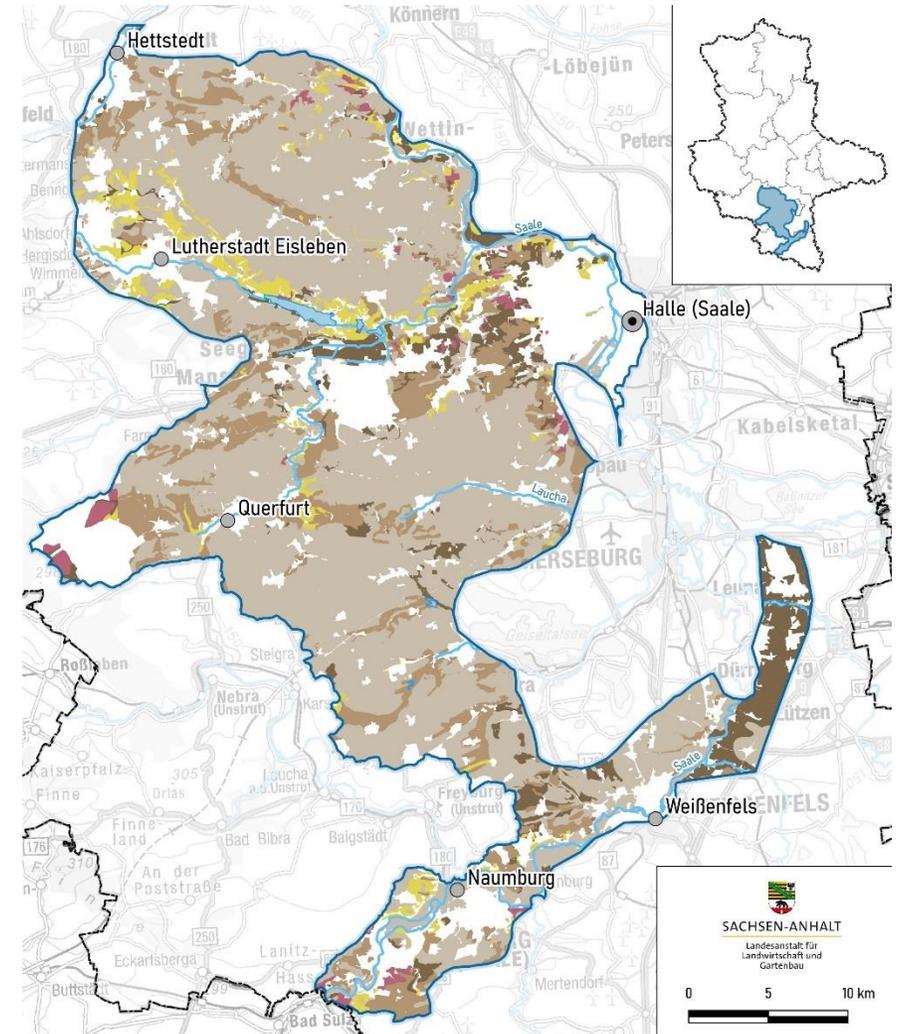


Modellregion Querfurter Platte

→ Bodensubstrate

- überwiegend sehr fruchtbare Lößböden
- Tschernoseme
- Braunerde-Tschernoseme
- Pararendzinen

➔ **hohe Wasserspeicherkapazität**



Bodensubstrate

- | | |
|------------------|--------------------------------------|
| ■ Löss | ■ skelettreiche Lehme oder Lehmsande |
| ■ Löss über Lehm | ■ Lehm über Ton |
| ■ Lehm | ■ Niedermoor |
| ■ Lehmsande | ■ anthropogene Flächen |

- | |
|----------------------------|
| ■ Grundwasserkörper SAL 14 |
| ■ Bundeslandgrenze |



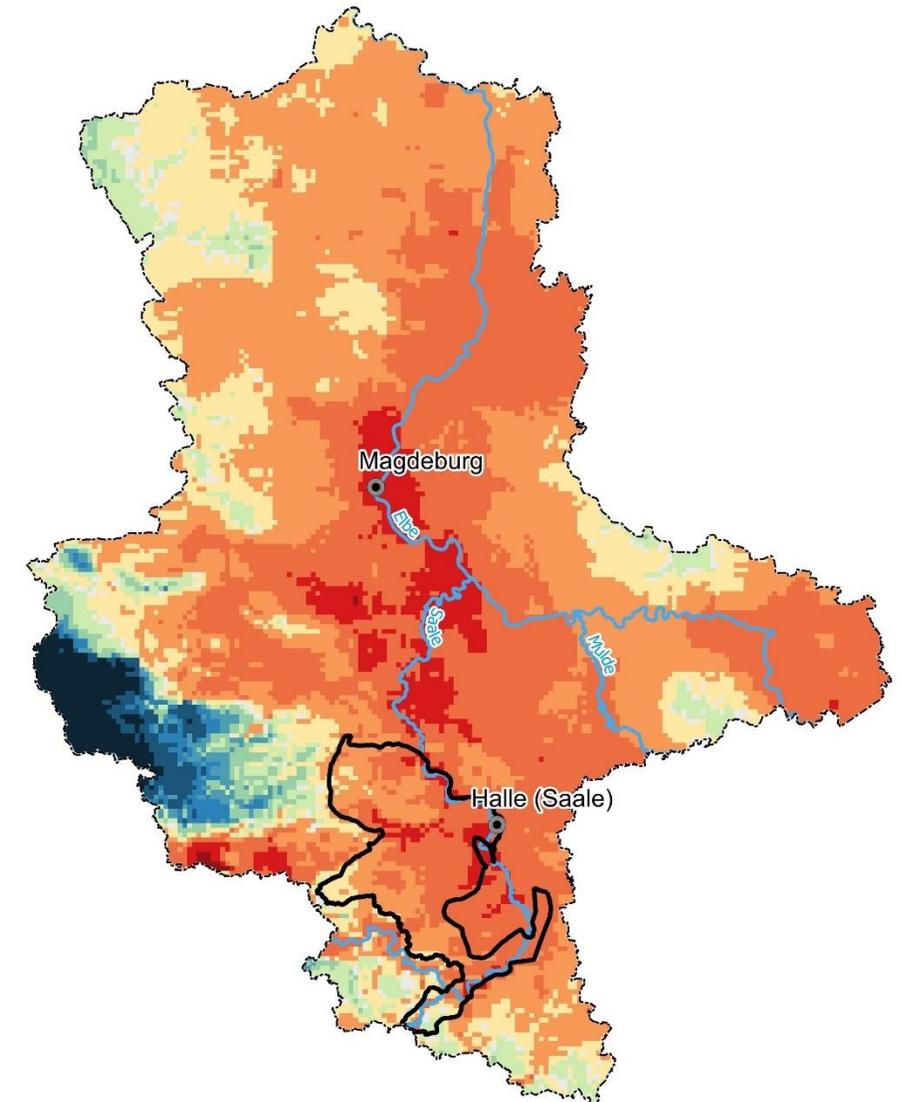
Modellregion Querfurter Platte

→ Klima

- charakterisiert durch sehr geringe Niederschläge (langjährig 532 mm/Jahr)

→ mitteldeutsches Trockengebiet

- negative klimatische Wasserbilanz
- geringe Sickerwasserrate, d.h. lange Fließzeiten des Sickerwassers bis zum Erreichen des Grundwassers



Klimatische Wasserbilanz [mm]





Modellregion Querfurter Platte

→ Untersuchungsprogramm

- **Bewirtschaftung (2013-2019)**
- ✓ Fruchtarten, Düngung
- ✓ N-Bilanzen (schlagbezogen)
- ✓ N- und Humusbilanzen (REPRO)



- **Bodenuntersuchungen (2016-2019)**
- ✓ N_{\min} -Gehalte (Frühjahr, Nachernte, Herbst)
- ✓ Humusgehalte
- ✓ leicht umsetzbare organische Bodensubstanz (N_{hwl} , C_{hwl}) – Labor der TLLLR
- ✓ Mineralisationspotential
- ✓ Tiefenprofile (Nitratabbau, Verweilzeiten)





Modellregion Querfurter Platte

→ Testbetriebe

Test- Betriebe	Größe		Hauptkulturen	Tierproduktion
	AL (ha)	GL (ha)		
1	460	2	WW, WRa, WG, Durum	keine
2	2800	27	WW, WRa, Mais, WG, Luz, ZR	Rinder
3	5000	90	WW, Mais, WG, WRa, ZR	Rinder, Schweine
4	1165	2,5	WW, Durum, WG, ZR, Kart, Mais	Rinder
5	220	2	WW, Durum, WRa, WG, Mais, ZR	keine
6	2500	40	WW, WRa, Mais, WG, ZR, AB	Rinder, Schweine
7	740	0	WW, WRa, WG, ZR, Kart., Mais	keine
8	3000	100	WW, WRa, WG, Mais, ZR	Rinder, Pferde, Schweine
9	3900	30	WW, Mais, WG, WRa, ZR	keine
10	620	2	WW, WRa, WG, ZR, Erbs	keine
11	680	5	WW, WRa, WG, ZR	keine
12	2300	68	WW, WRa, WG, Mais, Triticale, ZR, Luz, AB	Rinder, Schweine

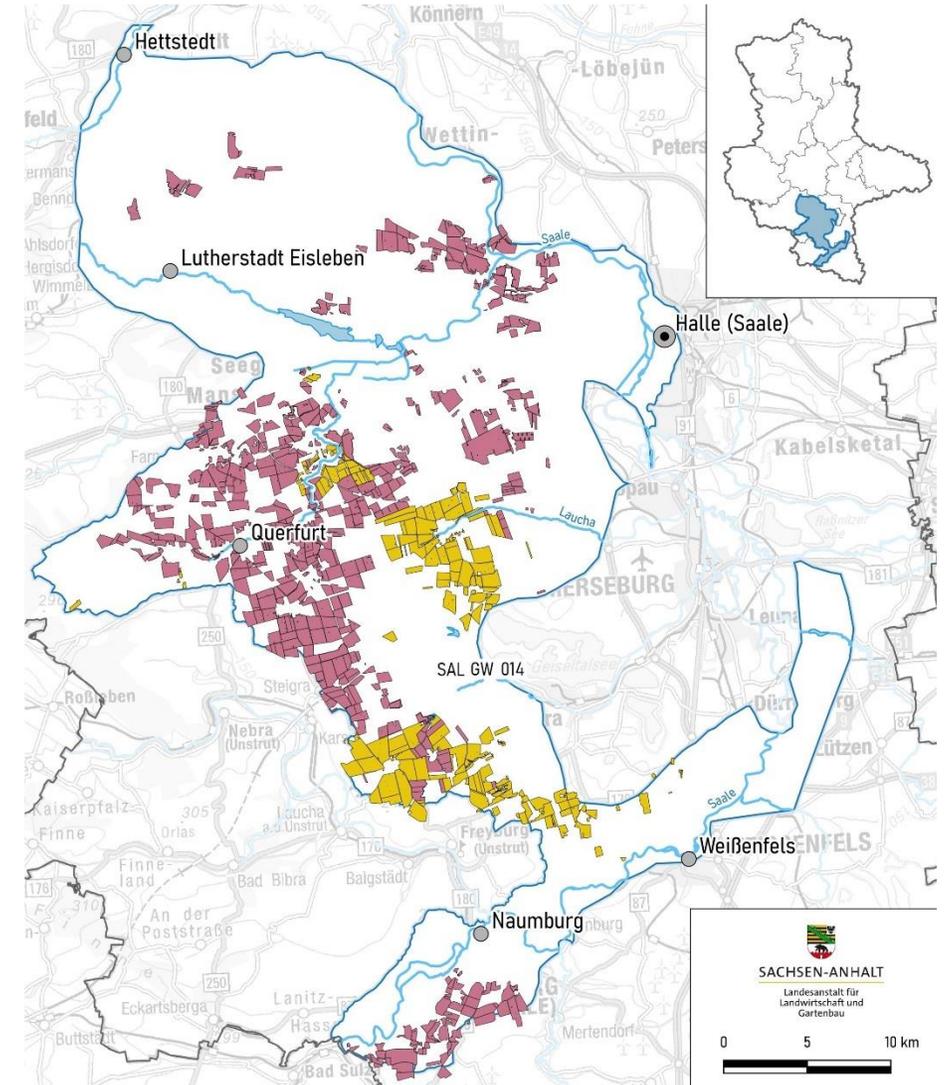
AL: Ackerland, GL: Grünland, WW: Winterweizen, WRa: Winterraps, WG: Wintergerste, ZR: Zuckerrüben, Kart.: Kartoffeln, AB: Ackerbohnen, Erbs: Erbsen, Luz: Luzerne



Modellregion Querfurter Platte

→ Testschläge (Bewirtschaftung)

- Berücksichtigung einer Fläche von 20.800 ha für die Auswertung der Bewirtschaftungsdaten
- rückwirkend ab 2013
- REPRO-Analyse für 9 ausgewählte Testbetriebe



Legende

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| REPRO-Testbetriebsflächen | Grundwasserkörper SAL GW 014 |
| Testbetriebsflächen | Bundeslandgrenze |



Modellregion Querfurter Platte

→ Stickstoff- und Humusbilanzierung (REPRO)



- entwickelt von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Hülsbergen, 2003)
- dynamischer Ansatz, auch Berücksichtigung der Änderungen im Boden-N-Vorrat (Nettomineralisation bzw. Immobilisation)

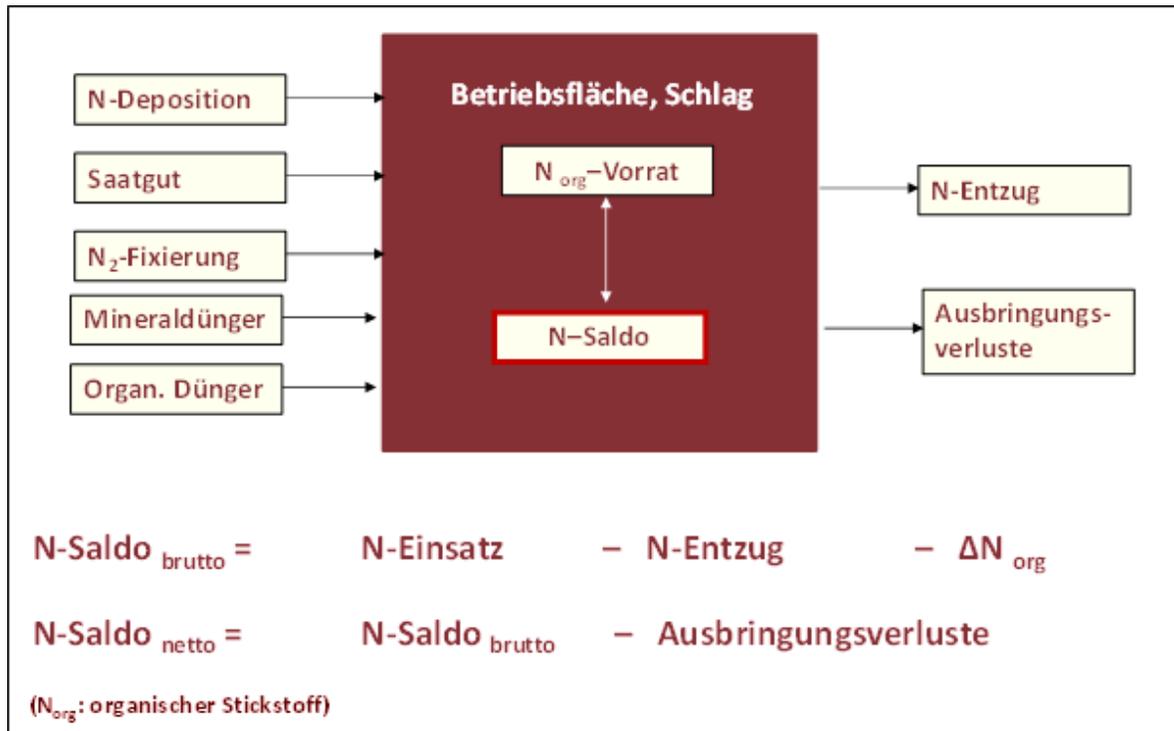


Tabelle: Begründung der Zielwertbereiche N-Saldo nach Hülsbergen (2003)

Bereich	kg N ha ⁻¹	Begründung
N-Mangel	-50 - 0	Abnahme Boden-N und Ertragspotential
Optimalbereich	0-50	unvermeidbare N-Verluste
N-Überschuss	50 – 125 > 125	erhöhte N-Verluste überhöhte N-Verluste
Ausschlusskriterium	> 150	nicht tolerierbare N-Verluste

Abbildung: Schematische Darstellung der Bilanzglieder für die Stickstoff-Bilanzierung nach REPRO



Modellregion Querfurter Platte

→ Stickstoff- und Humusbilanzierung (REPRO)



- entwickelt von der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (Hülsbergen, 2003)
- dynamischer Ansatz, auch Berücksichtigung der Änderungen im Boden-N-Vorrat (Nettomineralisation bzw. Immobilisation)

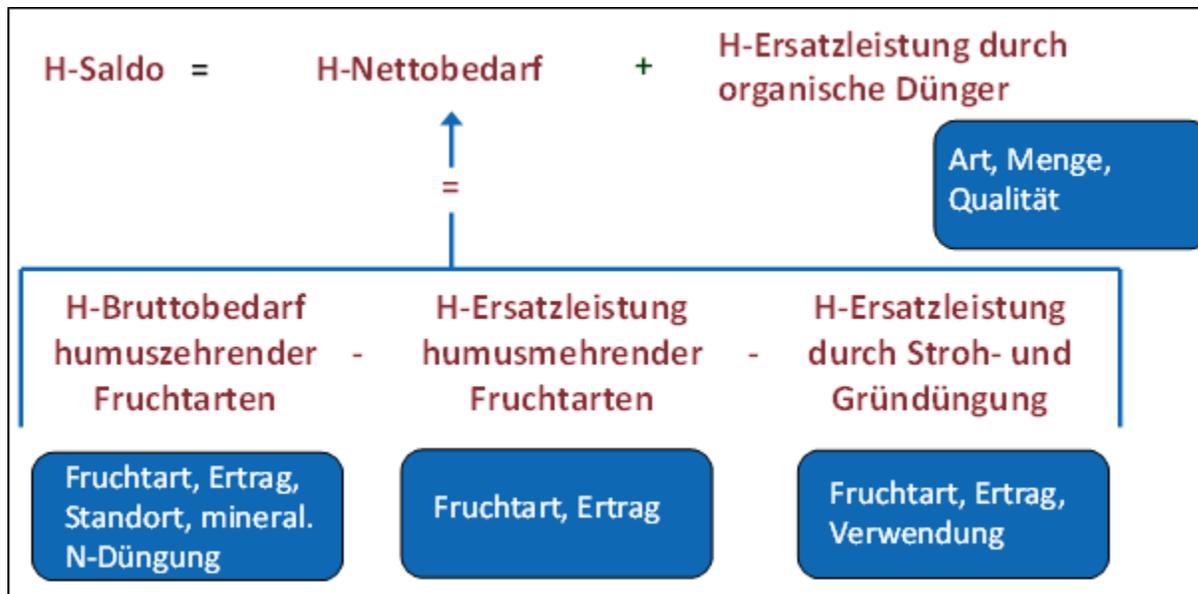


Tabelle: Begründung der Zielwertbereiche Humus-Saldo

Bereich	%	Begründung, Problembereich
extreme Unterversorgung	0-50	Humusabbau, Bodengefüge, Erosion
Unterversorgung	50-90	
Optimalbereich	90-110	Optimale Humusversorgung
Übersorgung	110-150	
Luxusversorgung	>150	Aufbau eines überhöhten Mineralisationspotentials

Abbildung: Schematische Darstellung der Bilanzglieder für die Humus-Bilanzierung nach REPRO

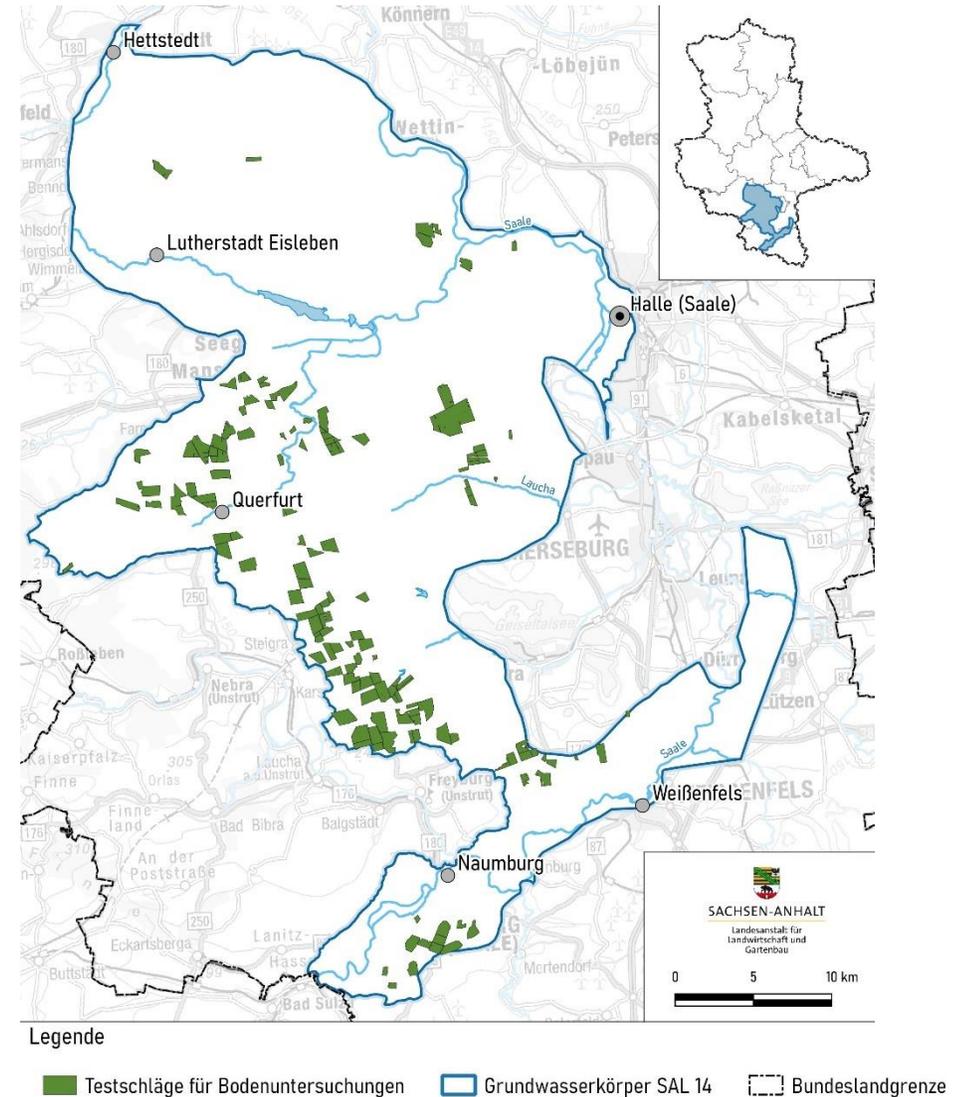


Modellregion Querfurter Platte

→ Bodenuntersuchungen

- 12 Testschläge pro Testbetrieb
= insgesamt 144 Schläge
- Ermittlung der Mineralisation:
 - innerhalb der Vegetationsperiode (apparente Nettomineralisation):

$$=(N\text{-Entzug} + \text{Nachernte-}N_{\min}\text{-Gehalt}) - (N\text{-Düngung} + \text{Frühjahrs-}N_{\min}\text{-Gehalt})$$
 - nach Ernte bis Vegetationsende: N_{\min} -Zeitreihen

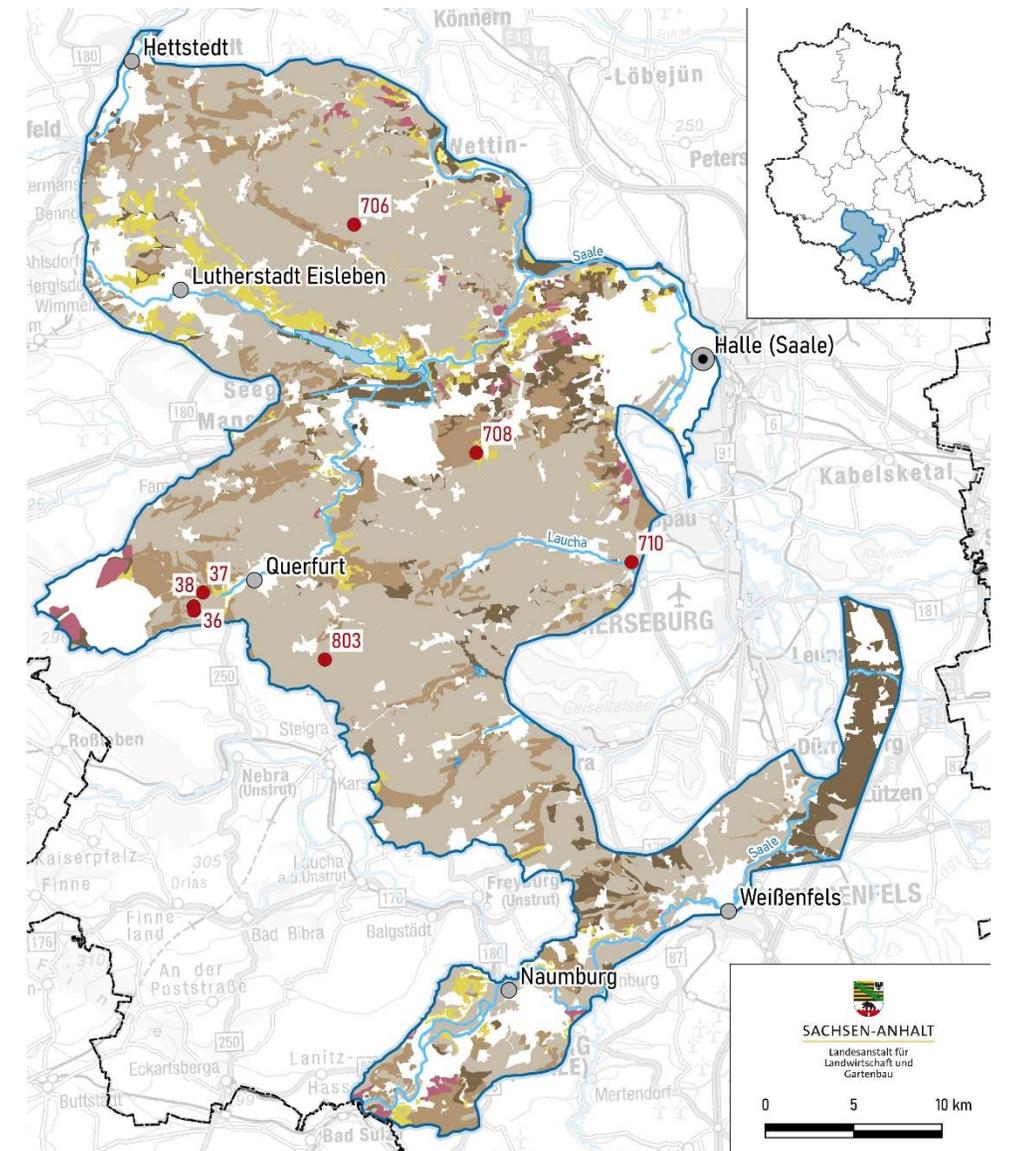




Modellregion Querfurter Platte

→ Tiefenprofile

- 7 Tiefenprofilstandorte auf Bodendauerbeobachtungsflächen
- Nitratverlagerung
- Verweilzeiten des Sickerwassers
- Potential des Nitratabbaus

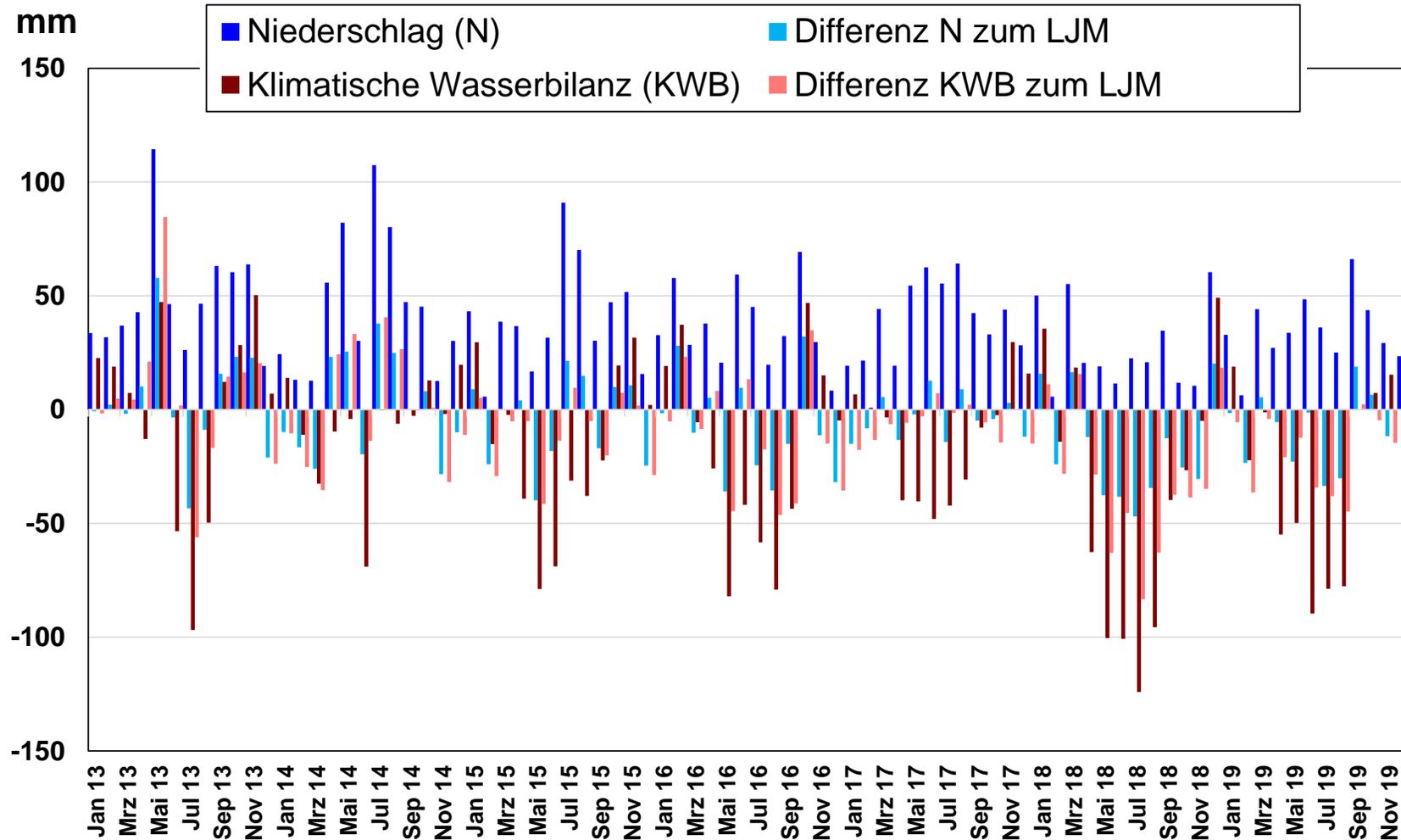


● Tiefenprofile mit Profil-Nr. □ Grundwasserkörper SAL 14 □ Bundeslandgrenze



Ergebnisse

→ Witterungsbedingungen im Untersuchungszeitraum





Ergebnisse

→ Witterungsbedingungen im Untersuchungszeitraum

Tabelle: Niederschlag (N), Temperatur (T) und Klimatische Wasserbilanz (KWB) im Untersuchungszeitraum und im Vergleich zum Langjährigen Mittel (LJM) (1991-2020) an der Station Querfurt-Lodersleben (Daten des DWD)

Jahr	N (mm)	Differenz N zum LJM	KWB (mm)	Differenz KWB zum LJM (mm)	T (°C)	Differenz T zum LJM (°C)
2013	585,0	52,7	-18,9	69,6	8,4	-0,9
2014	541,2	8,9	-91,2	-2,7	10,1	0,8
2015	478,5	-53,8	-213,2	-124,7	9,9	0,6
2016	441,2	-91,1	-222,7	-134,2	9,7	0,4
2017	488,5	-43,8	-161,8	-73,3	9,6	0,3
2018	322,8	-209,5	-465,5	-377,0	10,4	1,1
2019	416,4	-115,9	-322,7	-234,2	10,4	1,1



Ergebnisse

→ Erträge und N-Salden

Fruchtarten	Erträge	Erträge	N-Zufuhren	N-Zufuhren	N-Salden	N-Salden
	2013-2015	2016-2018	2013-2015	2016-2018	2013-2015	2016-2018
Winterweizen	86,7	77,4	218,6	216,3	21,0	26,2
Wintergerste	81,4	81,7	203,9	198,5	43,6	38,7
Winterraps	43,5	35,5	262,0	242,4	61,7	87,1
Silomais	428,3	363,5	177,5	200,7	-4,2	51,4
Körnermais	118,7	84,2	251,1	275,4	22,8	82,8
Zuckerrüben	761,2	683,7	296,3	270,5	-30,0	-18,1
Kartoffeln	386,3	390,0	106,2	102,5	4,5	25,1
Sommergerste	58,2	60,2	95,7	90,8	-4,1	-13,1
Sommerweizen	62,0	54,5	188,5	196,5	65,2	57,2
Ackerbohnen	43,8	26,6	267,4	147,0	49,9	25,5
Erbsen	37,5	37,6	116,3	188,5	42,2	25,5
Luzerne	116,0	135,8	274,9	324,3	23,7	77,8
Mittelwert N-Salden: 2013-2018: 32 kg N/ha					<u>24,7</u>	<u>38,8</u>

→ **tolerierbarer Zielwert Gewässerschutz¹: 40 kg N/ha**

¹Peter, M.; Beisecker, R.; Pecoroni, D.; Miller, R., 2018: Nährstoffbilanzierungen zur Erfolgskontrolle der Gewässerschutzberatung. Korrespondenz Wasserwirtschaft 6, 332-337.



Ergebnisse

→ N-Bilanzglieder nach REPRO (2013-2018)

	Testbetriebe (TB)								
	TB 1	TB 2	TB 3	TB 4	TB 5	TB 6	TB 7	TB 8	TB 9
N-Entzug (Gesamt)	215,1	188,1	189,0	179,9	186,6	187,0	213,4	188,1	178,6
Hauptprodukt	165,1	153,3	145,3	146,5	145,8	148,0	160,3	150,0	146,2
Nebenprodukt	50,0	34,8	43,7	33,4	40,8	39,1	53,1	38,1	32,4
N-Abfuhr (Ernteertrag)	162,7	153,5	149,6	142,0	137,6	142,8	157,2	144,3	140,1
N-Zufuhr	260,5	237,0	253,6	230,8	241,5	238,8	228,8	226,5	246,6
Immission	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Saatgut	2,6	2,3	2,2	3,0	2,0	2,4	2,7	2,4	1,8
Symbiotische N-Fix.	2,3	15,2	2,0	18,2	3,6	6,0	0,0	8,0	2,0
Mineraldünger	189,6	122,8	113,6	102,5	122,4	132,6	140,0	127,1	112,5
Organischer Dünger	55,0	85,6	124,9	96,1	102,5	86,8	75,1	78,0	119,4
Strohdüngung	36,8	23,4	20,0	12,6	27,5	24,9	28,2	25,2	26,0
Grümdüngung	15,6	11,1	19,4	25,3	21,5	19,3	28,1	18,5	12,5
Stallmist	1,9	0,0	31,9	8,5	0,0	11,8	0,0	10,5	0,0
Gülle, Jauche	0,0	42,3	48,1	49,6	41,4	28,6	18,4	23,7	9,4
Sonst. Org. Dünger	0,7	8,8	5,5	0,1	12,1	2,2	0,5	0,0	71,4
Δ N Bodenvorrat	-9,3	-8,0	-6,5	-9,2	-9,3	-12,4	-24,3	-15,6	-2,5
N-Saldo (brutto)	54,8	57,0	71,1	60,1	64,2	64,1	39,7	54,1	70,5
NH₃-Verluste	10,4	7,4	16,9	8,3	8,1	8,5	8,1	11,7	10,5
N-Saldo (netto)	44,4	49,6	54,2	51,8	56,1	55,6	31,6	42,4	60,0



Ergebnisse

→ Humus-Bilanzglieder nach REPRO (2013-2018)

	Testbetriebe (TB)								
	TB 1	TB 2	TB 3	TB 4	TB 5	TB 6	TB 7	TB 8	TB 9
Humusbedarf	-622	-572	-624	-589	-661	-592	-736	-661	-623
Humusmehrerleistung	5	31	5	66	14	16	12	21	7
Zufuhr org. Dünger	518	457	550	426	548	446	468	476	589
Strohdüngung	476	293	219	193	348	297	368	341	331
Gründüngung	32	26	46	61	53	45	67	40	31
Stallmist	9	0	172	46	0	64	0	57	0
Gülle	0	76	80	126	51	34	28	38	13
Sonstige org. Dünger	2	61	32	1	97	5	4	0	213
Humusersatzleistung	524	487	555	492	562	461	480	497	596
Humussaldo	-98	-85	-69	-97	-98	-130	-256	-164	-27

Humusreproduktionsleistung

Gründüngung < Stroh < Schweinegülle < Rindergülle < Frischmist < Gärprodukte < Rottemist < Kompost

(Kolbe und Zimmer, 2015)



Ergebnisse

→ Kohlenstoff- und Humusgehalte Oberboden (0-30 cm)

	Mittelwert	Min	Max	Literatur für Lößböden	Quelle
TC (%)	1,8	1,1	2,9	1,3 - 2,1	Körschens und Mahn, 1995
OC (%)	1,5	1,1	2,0	1,5 (ohne Düngung) 2,3 (Stallmist + NPK)	Klimanek, 2001
Humus (%)	2,6	1,8	3,5	Sollwerte Untergrenze: 2,5 - 2,7 Sollwerte Obergrenze: 3,3 - 3,5	Körschens und Schulz, 1999 Körschens und Schulz, 1999
C/N	10,0	4,0	12,0	11,1 - 13,0	Körschens und Mahn, 1995
TOC _{hwl} (mg/100 g)	67,0	36,4	104,5	>40 Gehaltsklasse E: sehr hoch	Körschens und Schulz, 1999

TC: Gesamtkohlenstoff, OC: organischer Kohlenstoff, TOC_{hwl}: heißwasserlöslicher organischer Kohlenstoff



Ergebnisse

→ Herbst-N_{min}-Gehalte

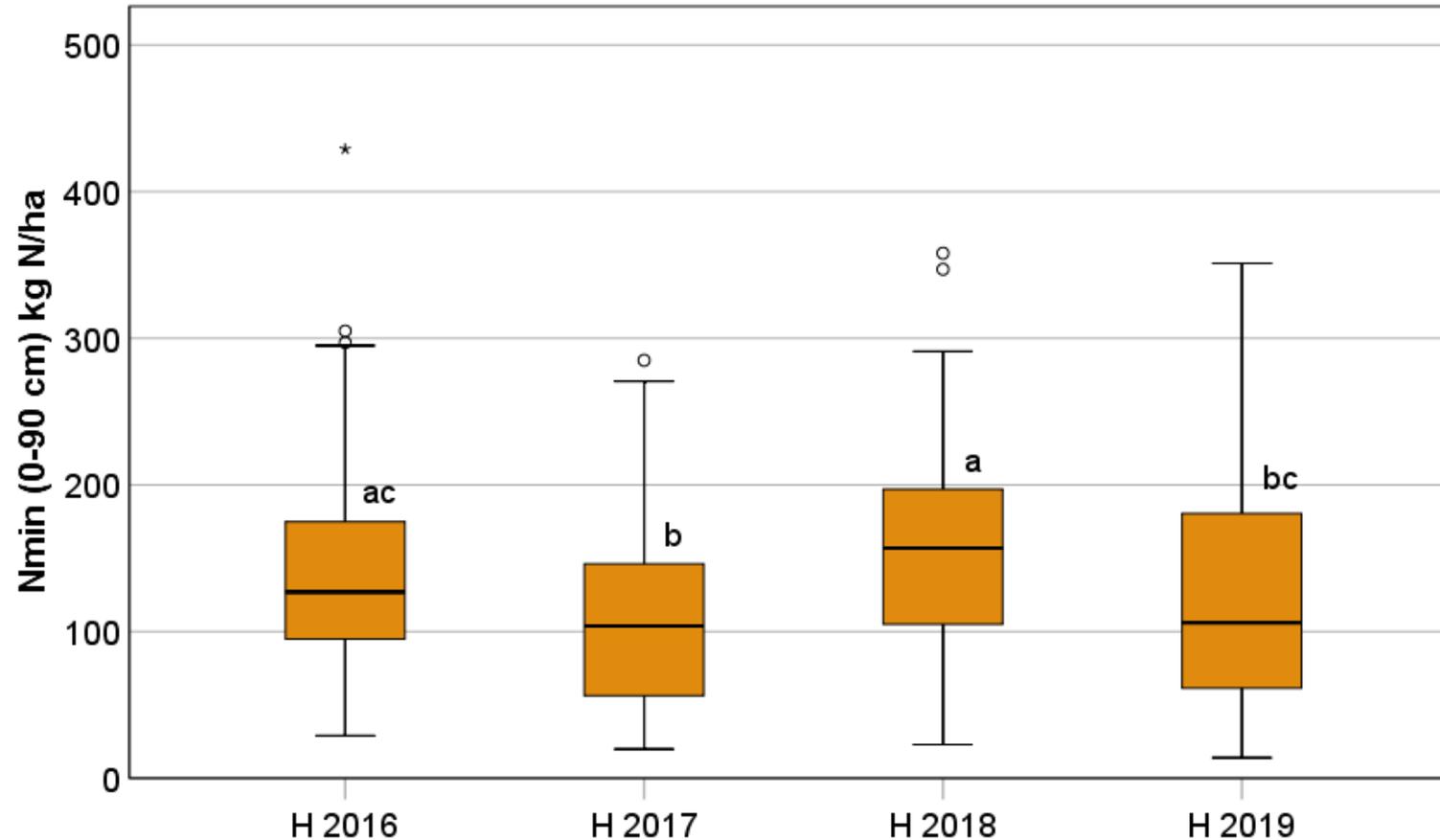


Abb.: Herbst (H)-Nmin-Gehalte in 0-90 cm Tiefe. Box-Plot-Darstellung mit Median, 25- und 75-%Quartil, Minimum, Maximum und Ausreißer. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren (Kruskall Wallis-Test, $p < 0,05$, $n = 125$).



Ergebnisse

→ Einflussfaktoren auf die Herbst-N_{min}-Gehalte

Tab.: Korrelationsfaktoren zwischen Bewirtschaftungsfaktoren und Bodeneigenschaften. Signifikante Korrelationen (p<0,001) mit (**) gekennzeichnet.

Faktoren		Boden				
		Herbst-N _{min} (2016-2018)	OC	TOC _{hwI} (2018)	N _{hwI} (2018)	C/N
Herbst-N _{min} (2016-2018)			,582(**)	,565(**)	,675(**)	-0,133
Bewirtschaftung/Düngung	N-Saldo (2016-2018)	0,118	0,091	,254(**)	,254(**)	0,034
	N-Saldo (2013-2018)	0,094	0,079	0,174	,207(*)	-0,005
	Anteil organische Düngung (2016-2018)	,247(**)	0,068	0,112	,233(**)	-,398(**)
	Anteil organische Düngung (2013-2018)	0,105	0,043	0,139	,237(**)	-,319(**)
	organische N-Zufuhr (2016-2018)	0,101	-0,048	-0,065	0,026	-,308(**)
	organische N-Zufuhr (2013-2018)	-0,032	-0,136	0,006	0,096	-,352(**)
	Humus-Saldo (2013-2018)	,359(**)	,421 (**)	,278(**)	,415(**)	-0,111

OC: Organischer Kohlenstoff, TOC_{hwI}: heißwasserlöslicher organischer Kohlenstoff, N_{hwI}: heißwasserlöslicher Stickstoff



Ergebnisse

→ Clusteranalyse

Tab.: Herbst-N_{min}-Gehalte, mineralisationsrelevante Bodeneigenschaften (Oberboden) sowie Stickstoff(N)-Saldo und organische Düngung der Cluster 1 und 2.

	Cluster 1				Cluster 2			
	Median	Min	Max	n	Median	Min	Max	n
Herbst-N_{min} (0-90 cm) (kgN/ha) (2016-2018)	101,6	43,4	128,4	66	168,3	136,2	246,9	36
C_{hwI} (mg/100 g)	64,0	36,4	82,3	66	73,0	59,1	89,0	36
N_{hwI} (mg/100 g)	8,5	4,6	10,9	66	10,8	7,8	13,4	36
TOC (M.-%)	1,5	1,1	1,8	66	1,6	1,4	2,0	36
Anteil organische Düngung (%) (2016-2018)	12,2	0,0	60,4	66	22,4	0,0	55,9	36
Anteil organische Düngung (%) (2013-2018)	14,6	0,0	44,6	66	15,7	0,0	49,0	36
N Saldo (kg N/ha) (2016-2018)	35,3	-67,0	110,4	66	47,0	-23,0	110,3	36
N Saldo (kg N/ha) (2013-2018)	22,1	-22,2	122,6	66	34,3	-15,4	85,3	36
organische N-Zufuhr (2016-2018)	21,3	0,0	117,3	65	28,5	0,0	89,0	36
organische N-Zufuhr (2013-2018)	27,2	0,0	95,0	65	25,3	0,0	96,5	36

TOC: Organischer Kohlenstoff, TOC_{hwI}: heißwasserlöslicher organischer Kohlenstoff, N_{hwI}: heißwasserlöslicher Stickstoff



Ergebnisse

→ Netto-N-Mineralisierung innerhalb der Vegetationsperiode

Negative Werte weisen auf eine temporäre N-Immobilisierung hin, d.h. Einbau von überschüssigem N in die mikrobielle Biomasse im Boden → kann remineralisiert werden

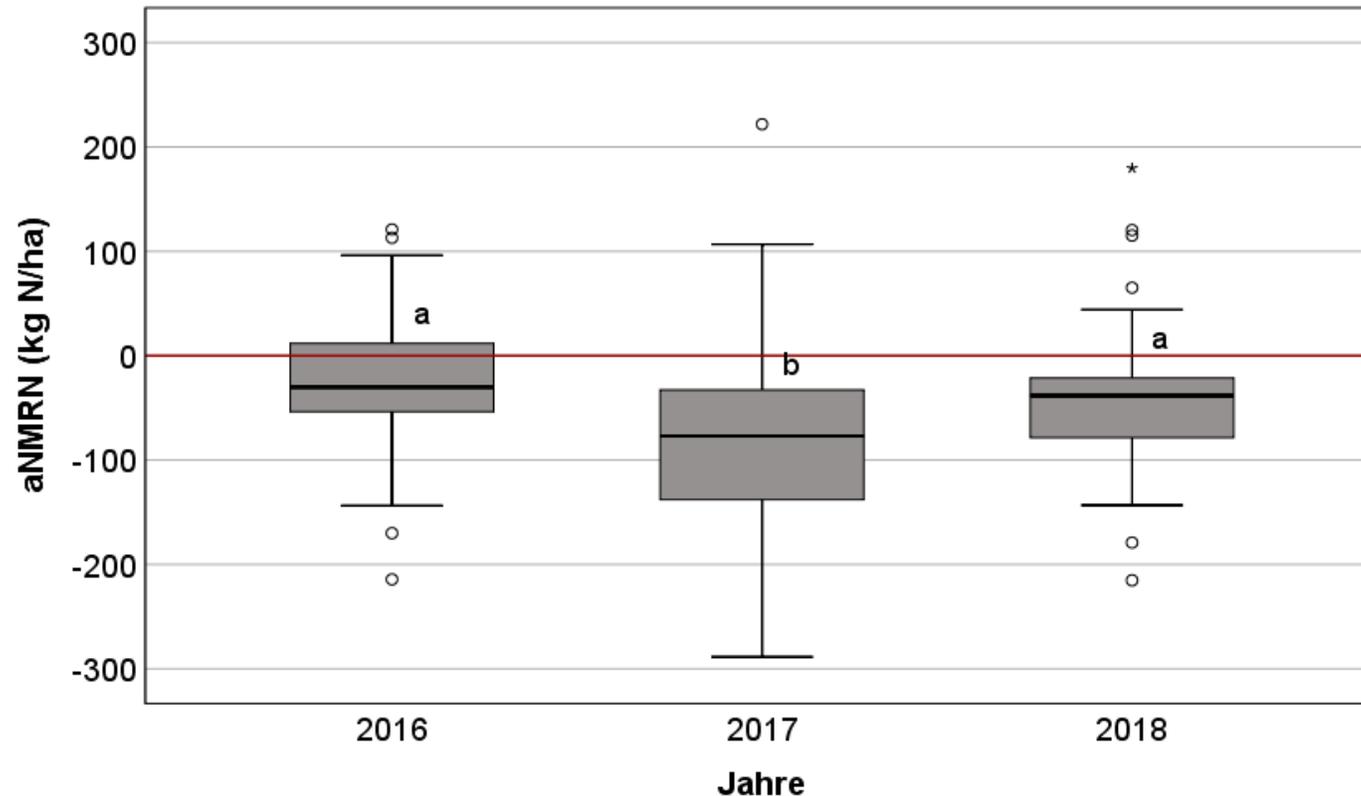
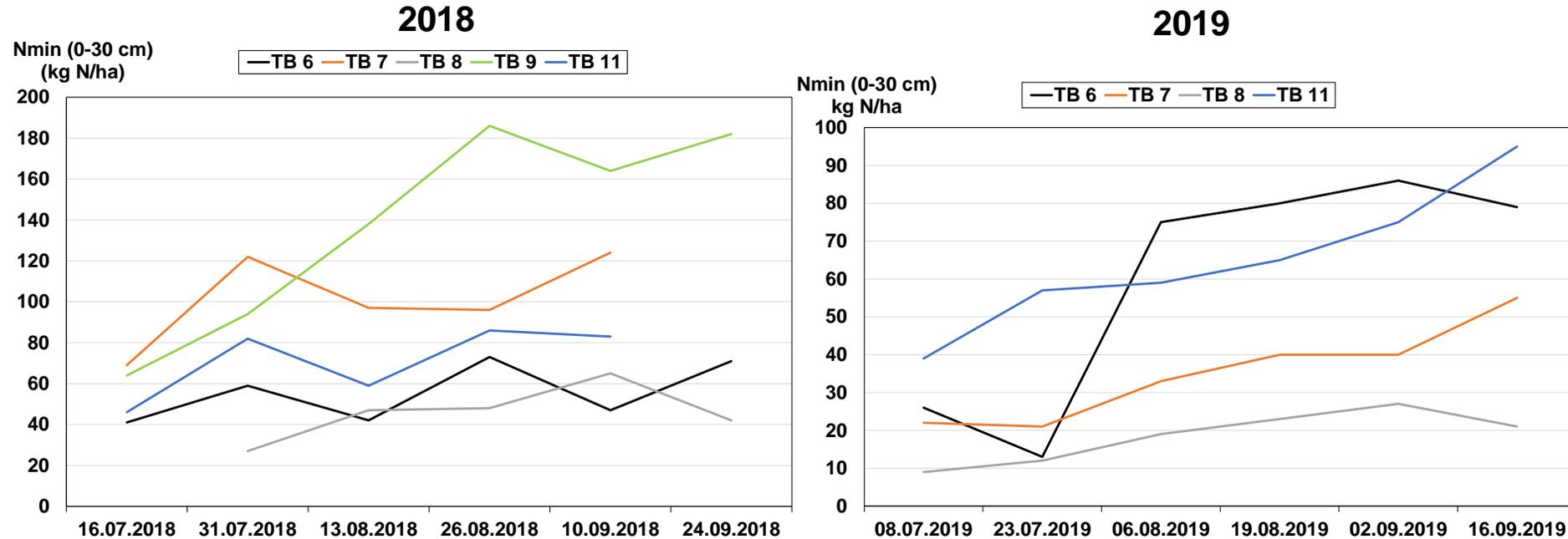


Abb.: Apparente Netto-N-Mineralisation ($aNMR_N$) innerhalb der Vegetationsperiode. Box-Plot-Darstellung mit Median, 25- und 75-%Quartil, Minimum, Maximum und Ausreißer. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Jahren (Kruskall-Wallis-Test, $p < 0,05$, $n=86$ (2016), $n=77$ (2017), $n=89$ (2018)).



Ergebnisse

→ Netto-N-Mineralisierung nach der Ernte bis Aussaat Folgekultur



Test- betriebe (TB)	Berechnete Mineralisationsrate NO ₃ -N/d (kg/ha)	
	2018	2019
TB 6	0,51	0,79
TB 7	1,54	0,37
TB 8	0,89	0,28
TB 9	2,22	-
TB 11	1,13	0,80



Ergebnisse

→ Unterschiede der N_{\min} -Gehalte zwischen den Probenahme-terminen

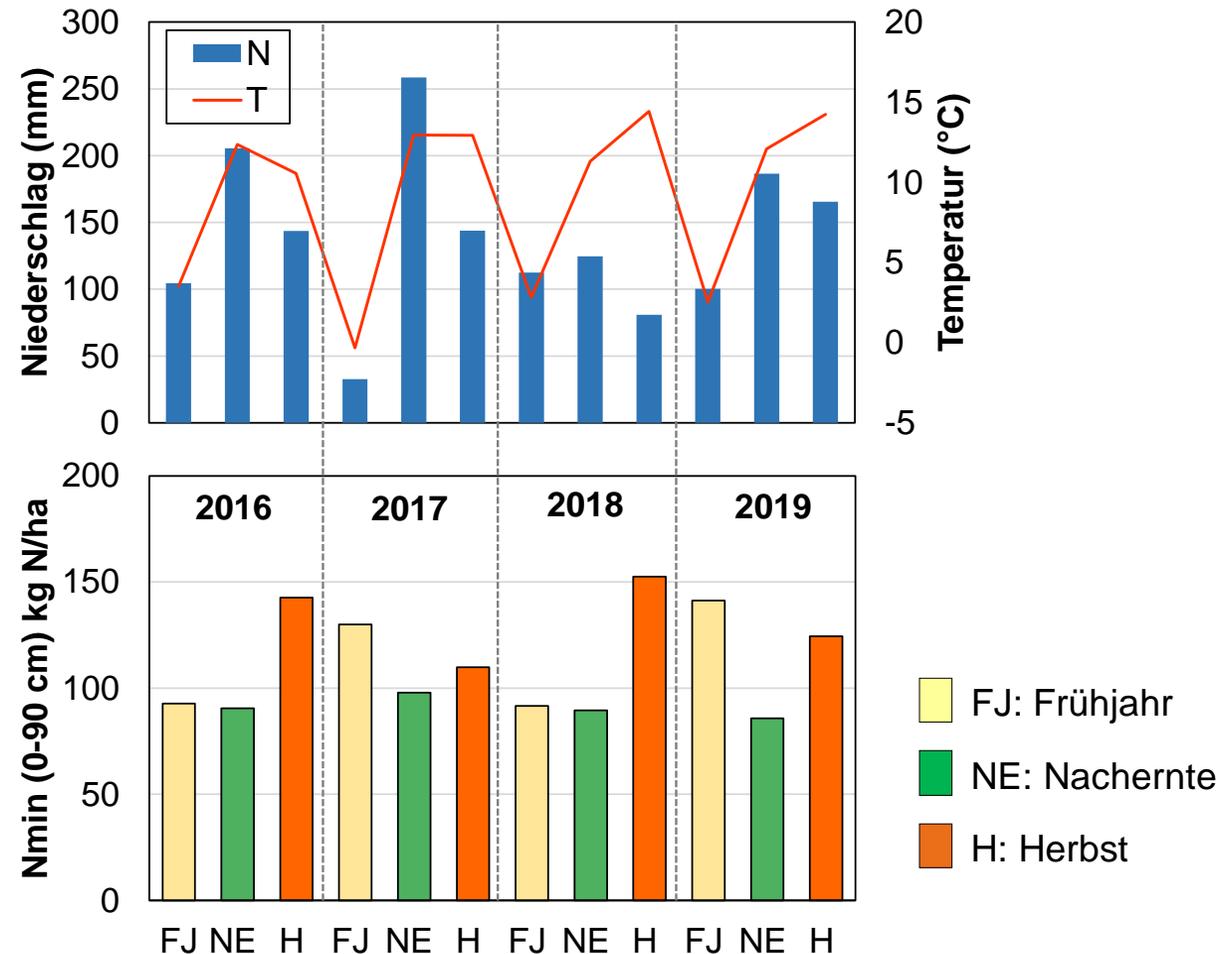


Abb.: Niederschlagssummen (N) und Durchschnittstemperaturen (T) zwischen den N_{\min} -Probenahmeterminen sowie Mittelwerte der Frühjahrs(FJ)-, Nachernte(NE)- und Herbst(H)- N_{\min} -Gehalte in 0-90 cm Tiefe.



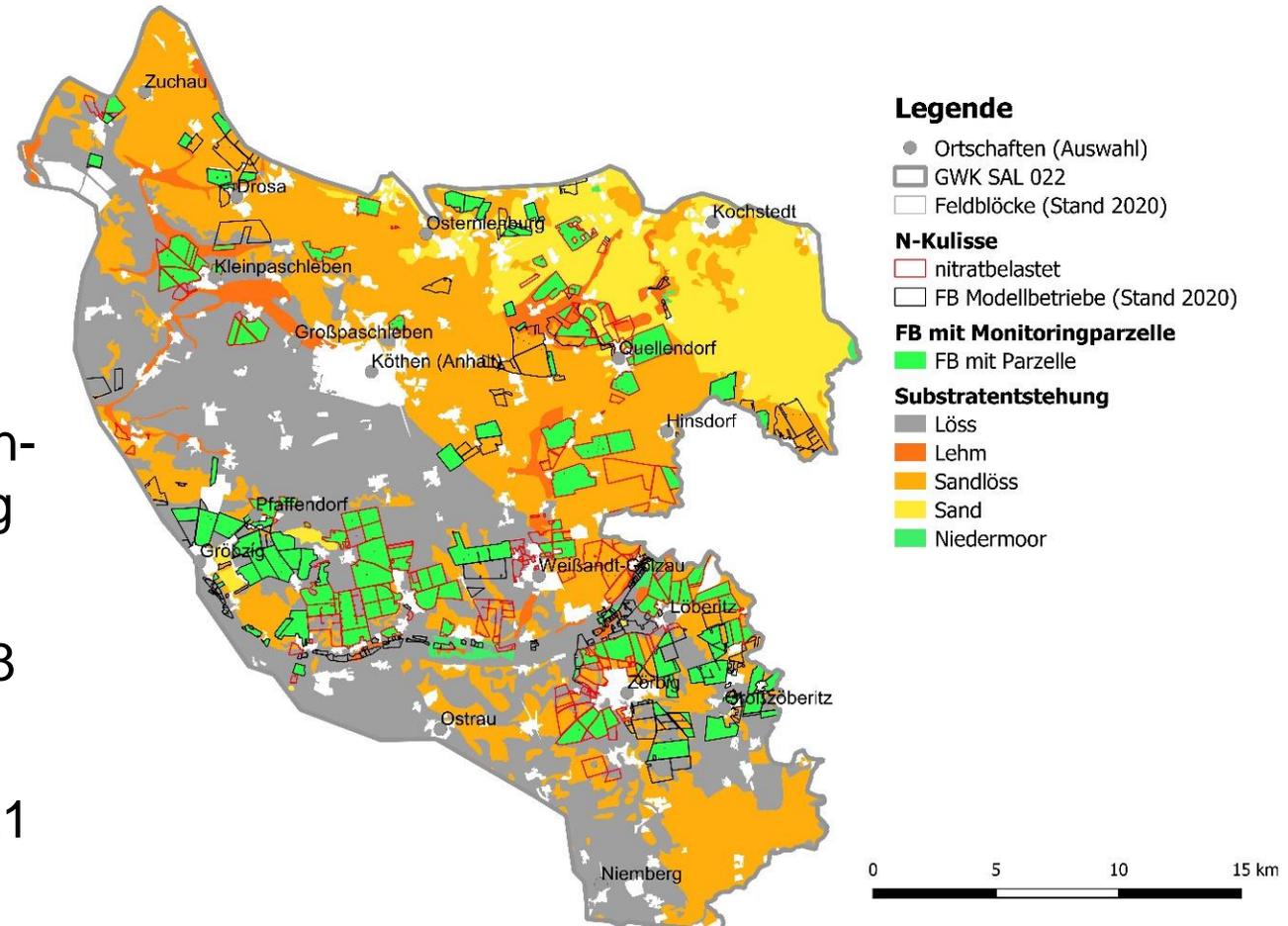
Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- Herbst- N_{\min} -Gehalte auf sehr hohem Niveau: nicht auf zu hohe N-Überschüsse aus der Düngung zurückzuführen sondern auf die standorttypische hohe N-Nachlieferung
- Einfluss mineralisationsrelevante Bodeneigenschaften (leicht umsetzbare organische Bodensubstanz), Bewirtschaftung (Art und Höhe des zugeführten organischen Düngers), Nacherntemanagement
- Überwiegend Zufuhr organischer Dünger mit hohem N-Verlustpotential und geringem Beitrag zum Humusaufbau (Gülle, Gärreste)
- Maßnahmen zur Reduzierung der Nitrataustragsgefährdung:
 - ✓ Gestaltung Nacherntemanagement (Erntetermin, Bodenbearbeitung, Aussattermin, etc.)
 - ✓ N-Freisetzung in Zeiträumen ohne Pflanzenbewuchs so gering wie möglich halten
 - ✓ Zufuhr organische Dünger mit weitem C/N (z.B. Stroh) und einer höheren Humuswirkung (z.B. Stallmist, Kompost)
 - ✓ reduzierte Bodenbearbeitung
 - ✓ Vermeidung von Brachen (Zwischenfrüchte, Fruchtfolge, etc.)



Ausblick

- Einrichtung neue Modellregion im Köthener Ackerland als assoziierte Modellregion für Monitoring der Düngeverordnung (GWK SAL GW022)
- Kooperation LLG mit 12 Testbetrieben, Maschinenring Dienstleistungs GmbH Sachsen-Anhalt Süd, Landwirtschaftlicher Beratungsring Roßlau e.V., INL, MISB
- Bodenuntersuchungen auf 144 Testschlägen, 8 N_{min}-Intensivflächen, 4 Tiefenprofilstandorte
- Beginn der Untersuchungen im November 2021 (Herbst-N_{min}-Probenahme)





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Ergebnisse veröffentlicht unter:

Tauchnitz et al., 2022: Schriftenreihe der LLG, Heft 1/2022

www.llg.sachsen-anhalt.de