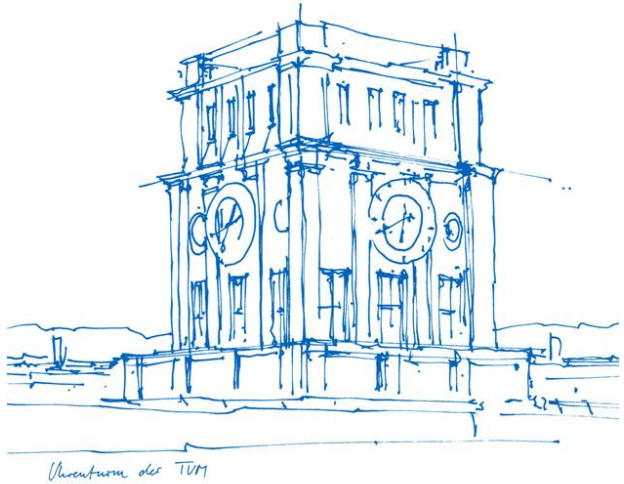
Sicherung der Bodenfruchtbarkeit – Stickstoff- und Kohlenstoffkreislauf in Einklang bringen



Tag der Agrarökologie, 28. Oktober 2025, Bernburg

Kurt-Jürgen Hülsbergen, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme

Gliederung

- Problemstellung
- Kohlenstoff- und Stickstoffdynamik in Böden
- Räumliche Variabilität der Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte
- Maßnahmen zur Optimierung der Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufe
- Digitales Humus- und Nährstoffmanagement
- Fazit und Schlussfolgerungen

Humus-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte von Böden

Definition des Begriffes „Humus“:

„Humus ist die in oder auf dem Boden befindliche abgestorbene organische Substanz, die einem stetigen Ab-, Um- und Aufbauprozess unterworfen ist.“

Bei 58 % C im Humus:

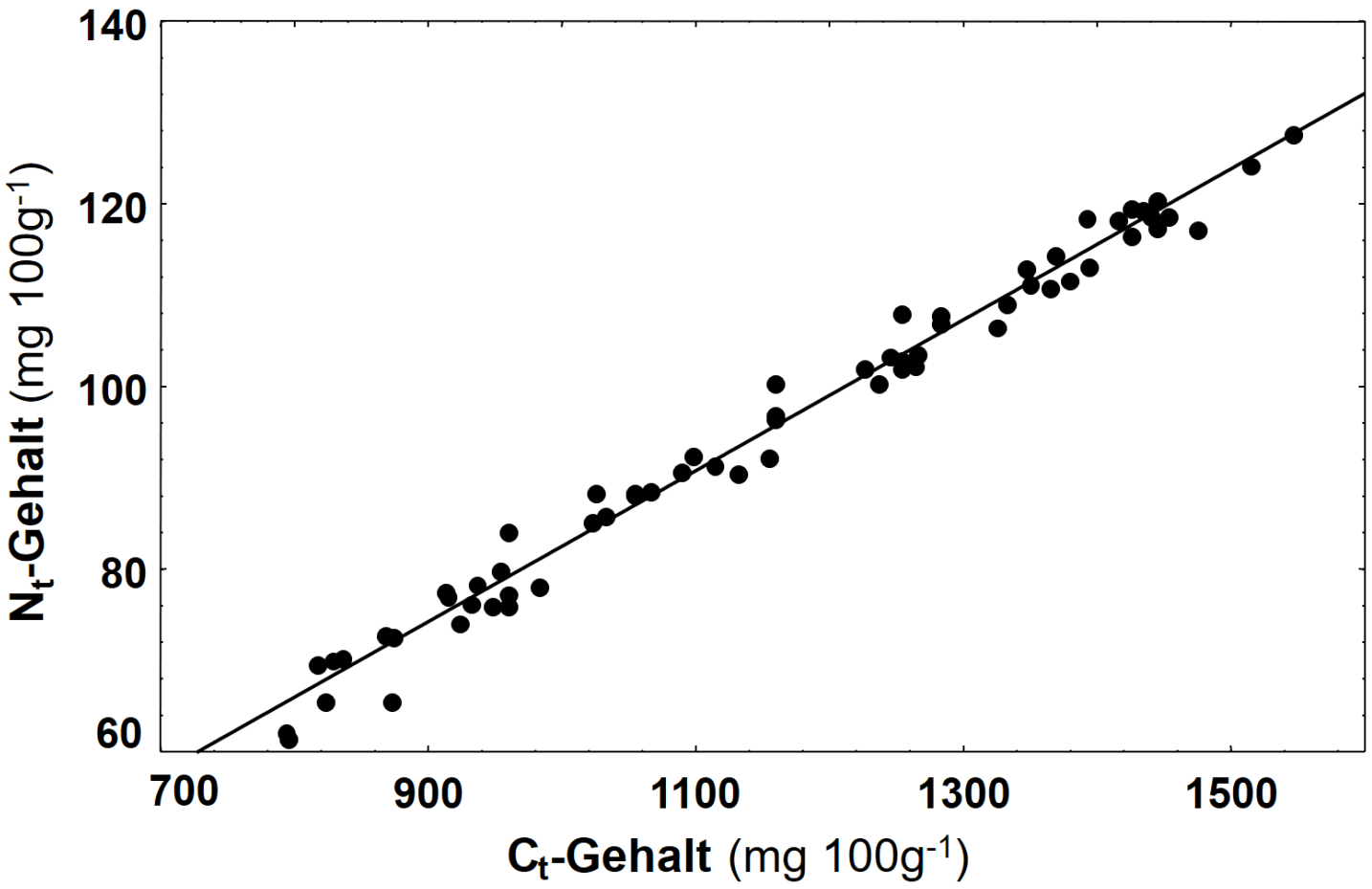
1 % C entspricht **1,72 % Humus**,

1 % C entspricht ≈ **45 t C ha^{-1}** = **78 t Humus ha^{-1}**

Bei einem **C : N -** Verhältnis **von 10 : 1** = **4500 kg N ha^{-1}**

Beziehung zwischen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalten

Dauerfeldexperiment Seehausen bei Leipzig

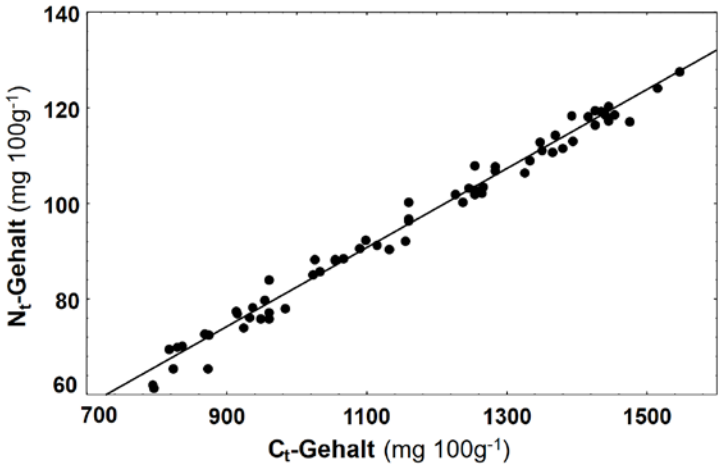


$y = -0{,}29 + 0{,}083\ x_1$ **B = 0,98⁺** **s_R= 2,3**

Humus-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte von Böden

Dauerfeldexperiment Seehausen bei Leipzig; Korrelationskoeffizienten, n = 64

	Bodenchemische Parameter					
	C_{hwl}	N_t	N_{hwl}	NO_3-N	NH_4-N	N_{min}
C_t	**0,93**	**0,98**	**0,91**	**0,72**	**n.s.**	**0,68**



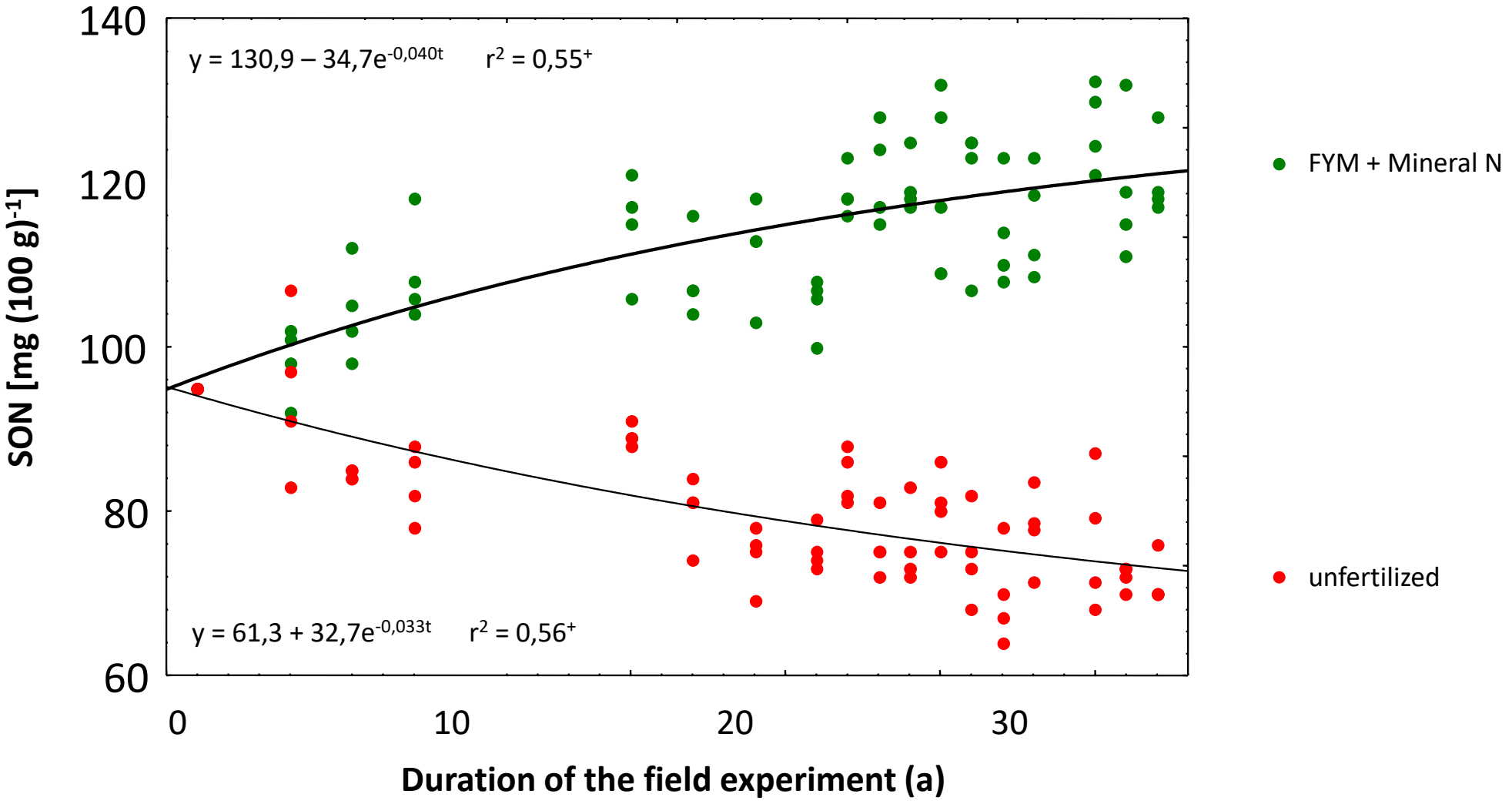
$y = -0{,}29 + 0{,}083\ x_1$ **B = 0,98⁺** **s_R= 2,3**

	Bodenbiologische Parameter			**Bodenphysikalische Parameter**		
	Katalase	C_{mik}	Regen-würmer	TRD	PV	Grob-Poren
C_t	**0,83**	**0,66**	**0,37**	**- 0,50**	**0,50**	**0,68**

Hülsbergen K-J (2003)

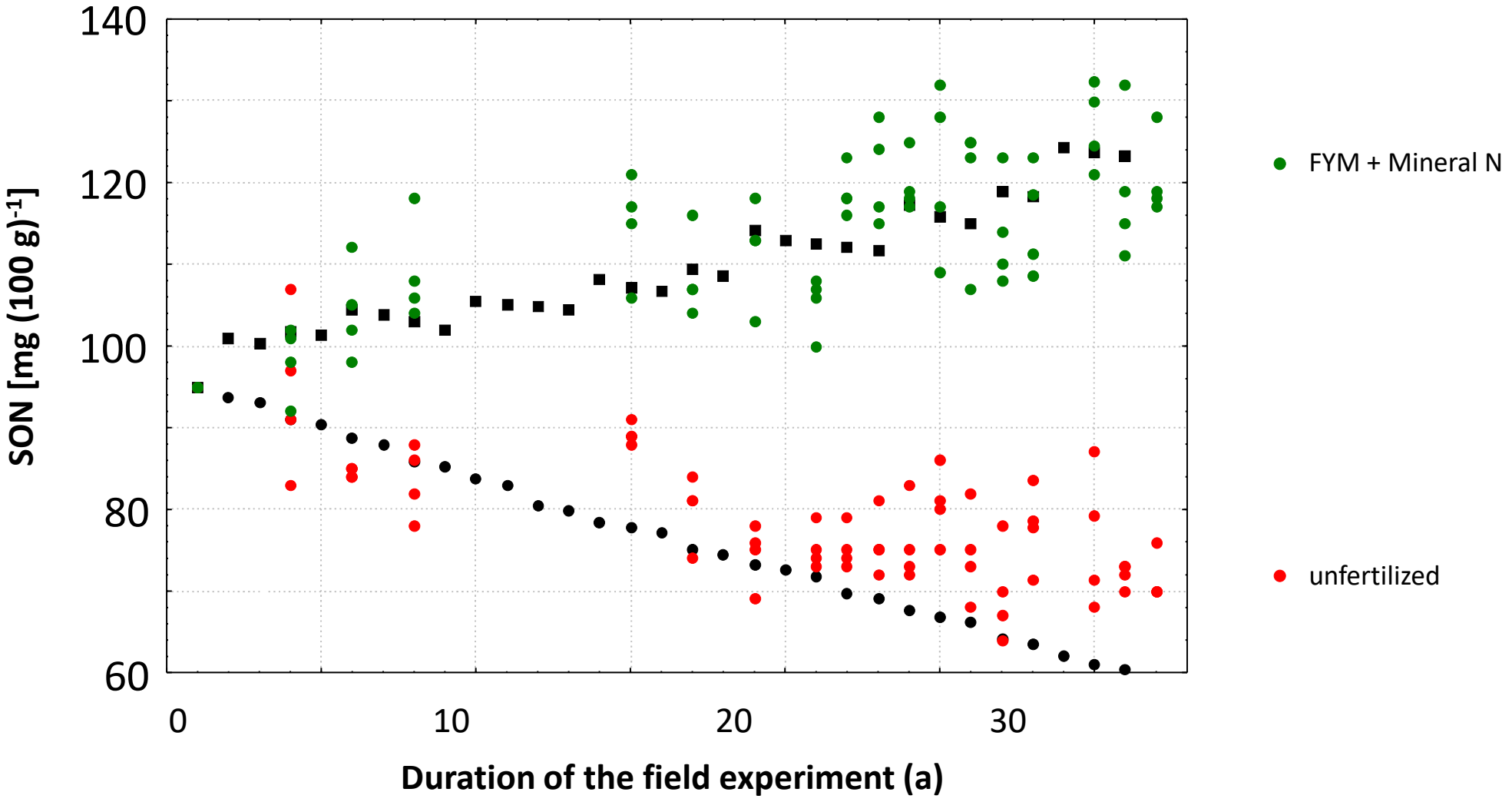
Entwicklung der N_{org}-Gehalte im Boden, Messwerte

Dauerfeldexperiment Seehausen bei Leipzig



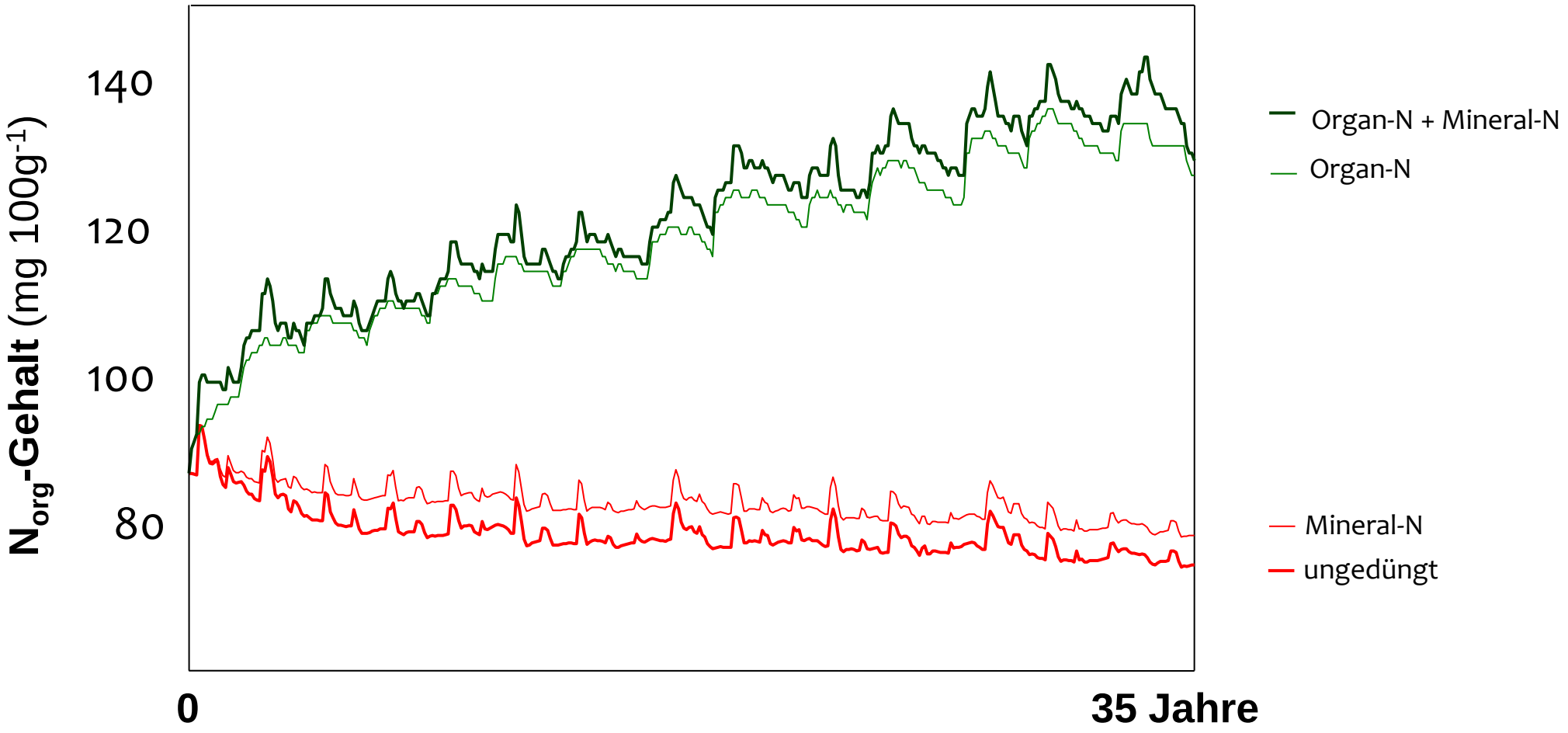
Entwicklung der N_{org}-Gehalte, Messwerte + Bilanzwerte (REPRO)

Dauerfeldexperiment Seehausen bei Leipzig

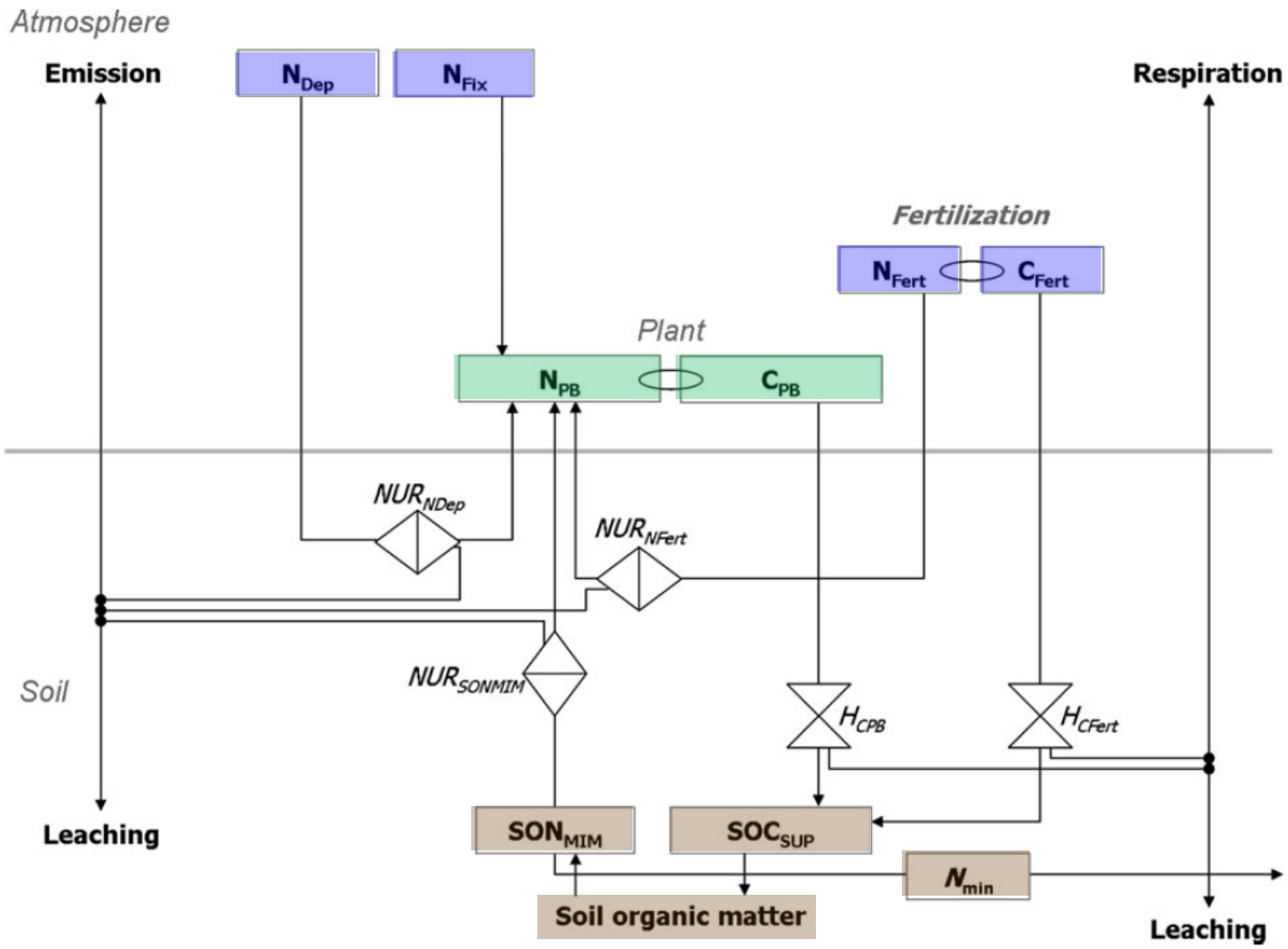


Entwicklung der N_{org}-Gehalte, Messwerte + Simulationswerte (CANDY)

Dauerfeldexperiment Seehausen bei Leipzig



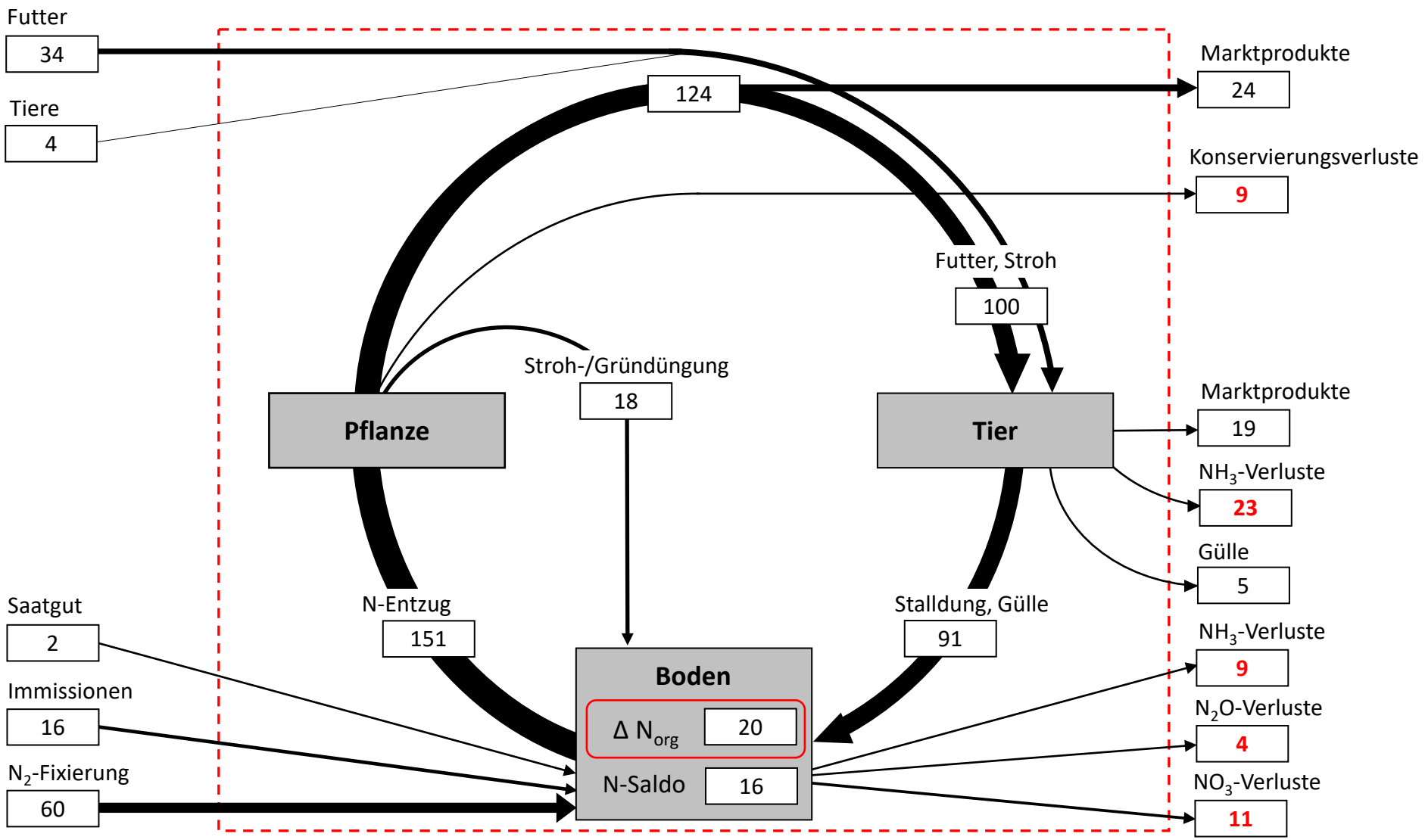
Modellierung der C_{org}- und N_{org}-Dynamik, Modell HUMOD



Brock C, Hoyer U, Leithold G, Hülsbergen K-J (2012) Nutr Cycl Agroecosystems 92, 239 – 254

Stickstoffkreislauf, Ökologischer Betrieb mit Rinderhaltung [kg N ha^{-1}]

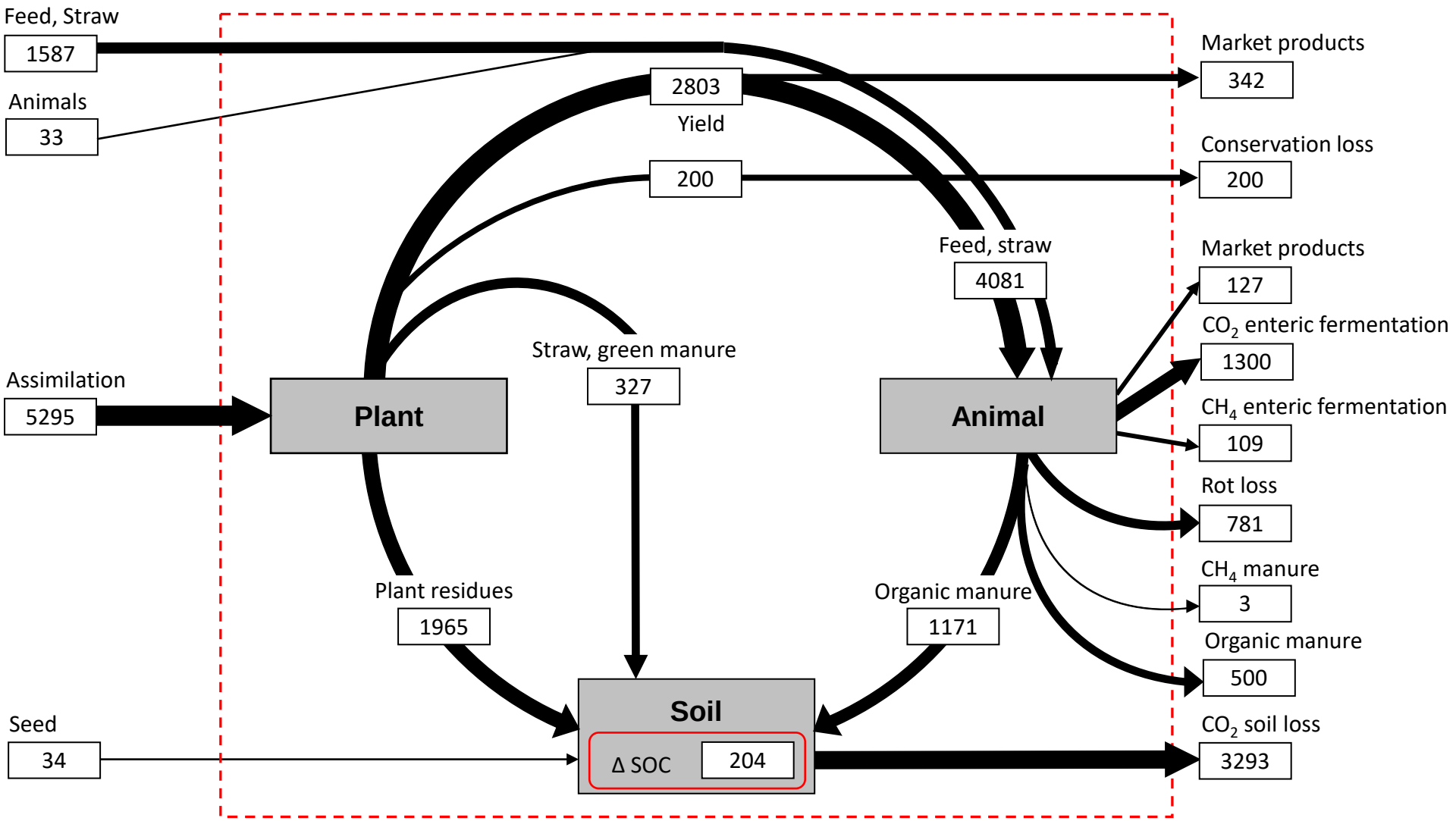
Versuchsbetrieb Scheyern bei Pfaffenhofen an der Ilm, ökologischer Betriebsteil



Küstermann, Christen & Hülsbergen (2010): Agric., Ecosys. & Environm. 135, 70-80.

Kohlenstoffkreislauf, Ökologischer Betrieb mit Rinderhaltung [kg N ha^{-1}]

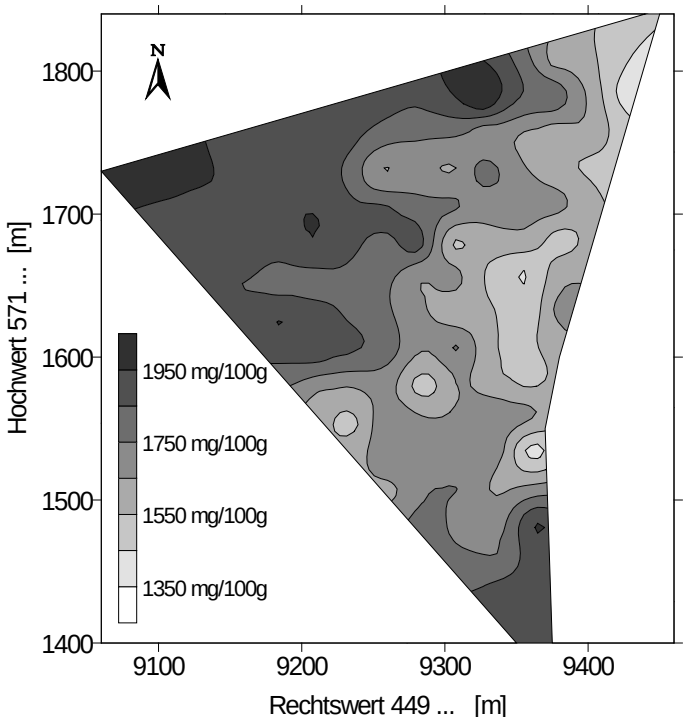
Versuchsbetrieb Scheyern bei Pfaffenhofen an der Ilm, ökologischer Betriebsteil



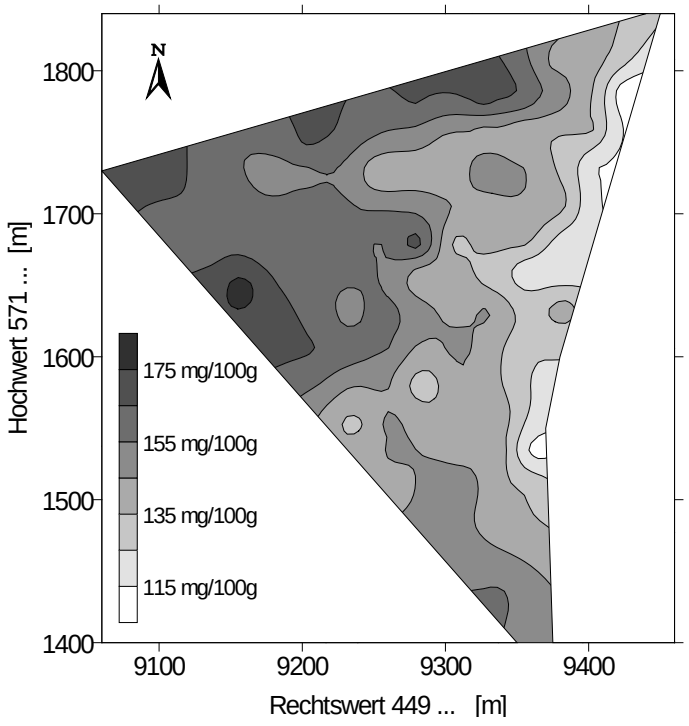
Küstermann, Kainz & Hülsbergen (2008): Renewable Agric. and Food Systems 23, 38-52.

Humus-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte von Böden

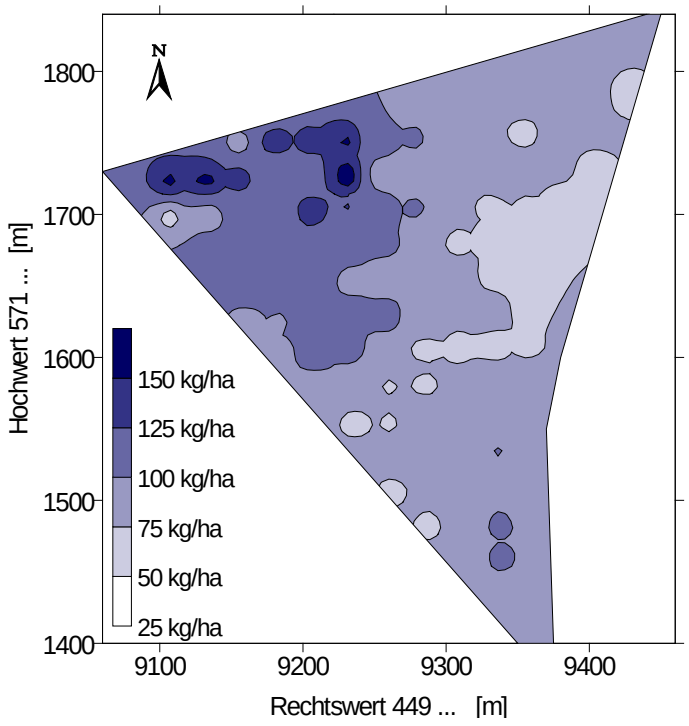
Ökohof Seeben, nördlich von Halle/Saale, Schlag Schafspitze, 7,5 ha



C_{org} [mg/100 g Boden]



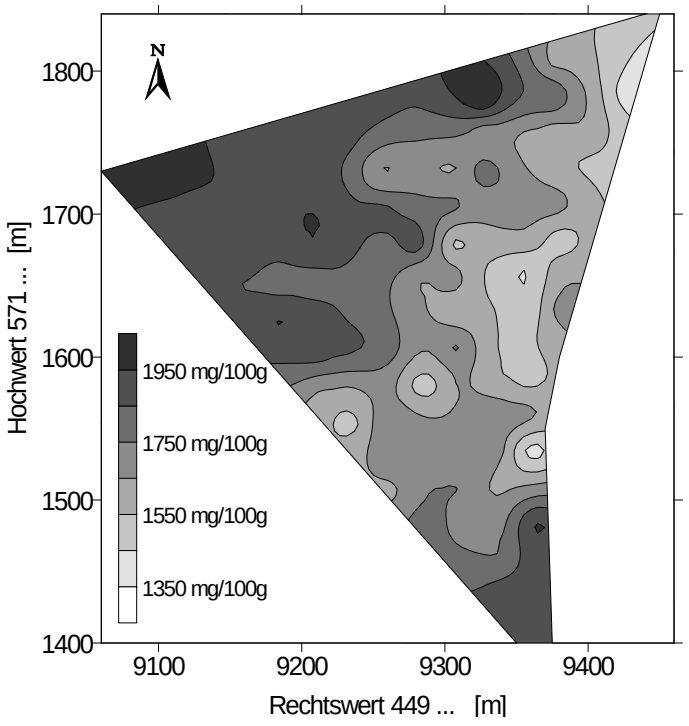
N_{org} [mg/100 g Boden]



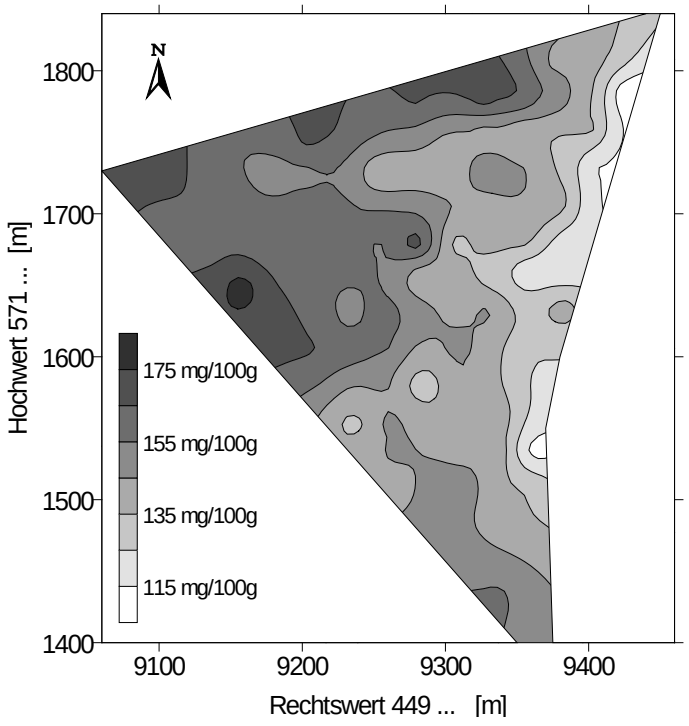
N_{min} [kg/ha]

Humus-, Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte von Böden

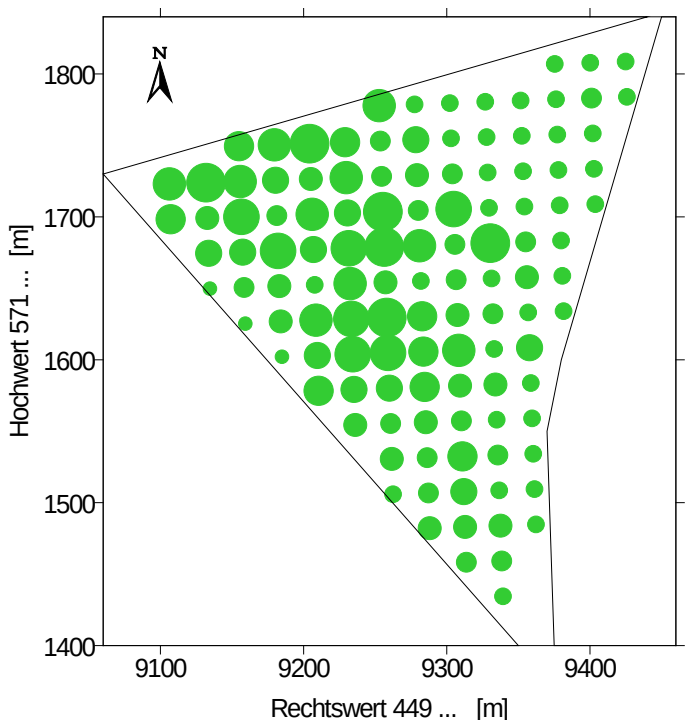
Ökohof Seeben, nördlich von Halle/Saale, Schlag Schafspitze, 7,5 ha



C_{org} [mg/100 g Boden]



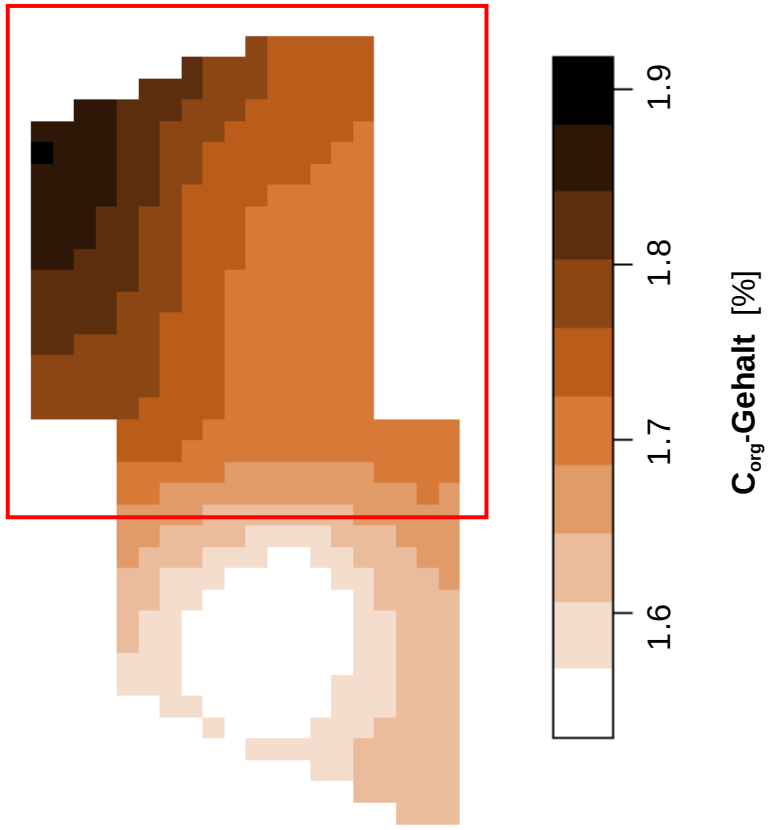
N_{org} [mg/100 g Boden]



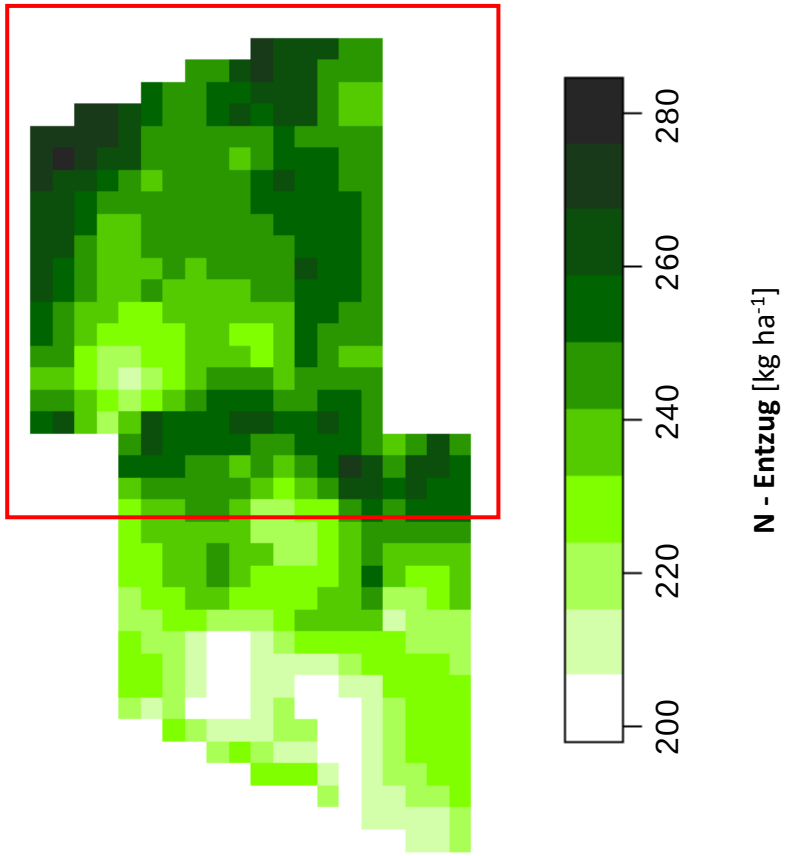
Unkrautdeckungsgrad [%]

Räumliche Variabilität der Kohlenstoffgehalte und Stickstoffentzüge

Schlag Poschnhoffeld, 5,0 ha, SL, 464 (460 – 469) über NN, Modellregion Burghausen/Burgkirchen



C_{org}-Gehalt, Ap-Horizont

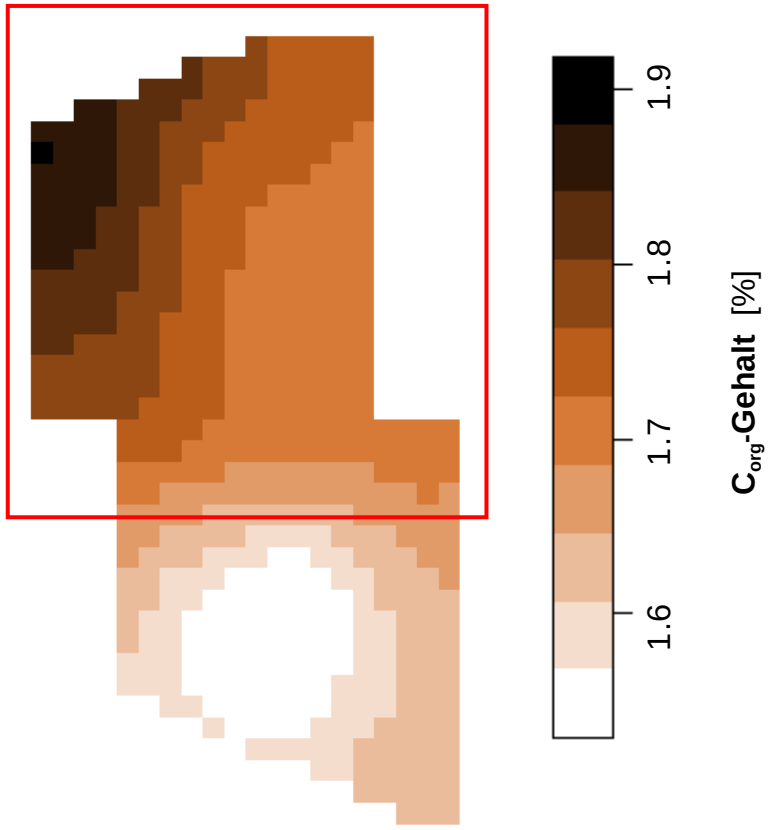


N-Entzug Winterweizen, Sensor

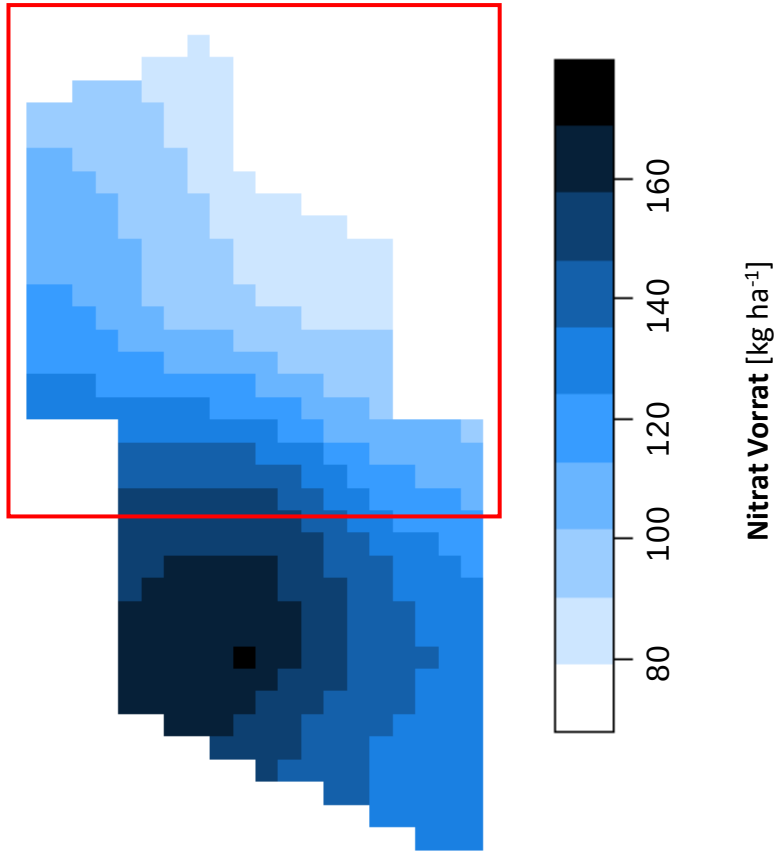
Schuster J, Mittermayer M, Maidl F-X, Nätscher L, Hülsbergen K-J (2022) Precision Agriculture 24 (2), pp. 647-676.

Räumliche Variabilität der Kohlenstoffgehalte und Nitratvorräte

Schlag Poschnhoffeld, 5,0 ha, SL, 464 (460 – 469) über NN, Modellregion Burghausen/Burgkirchen



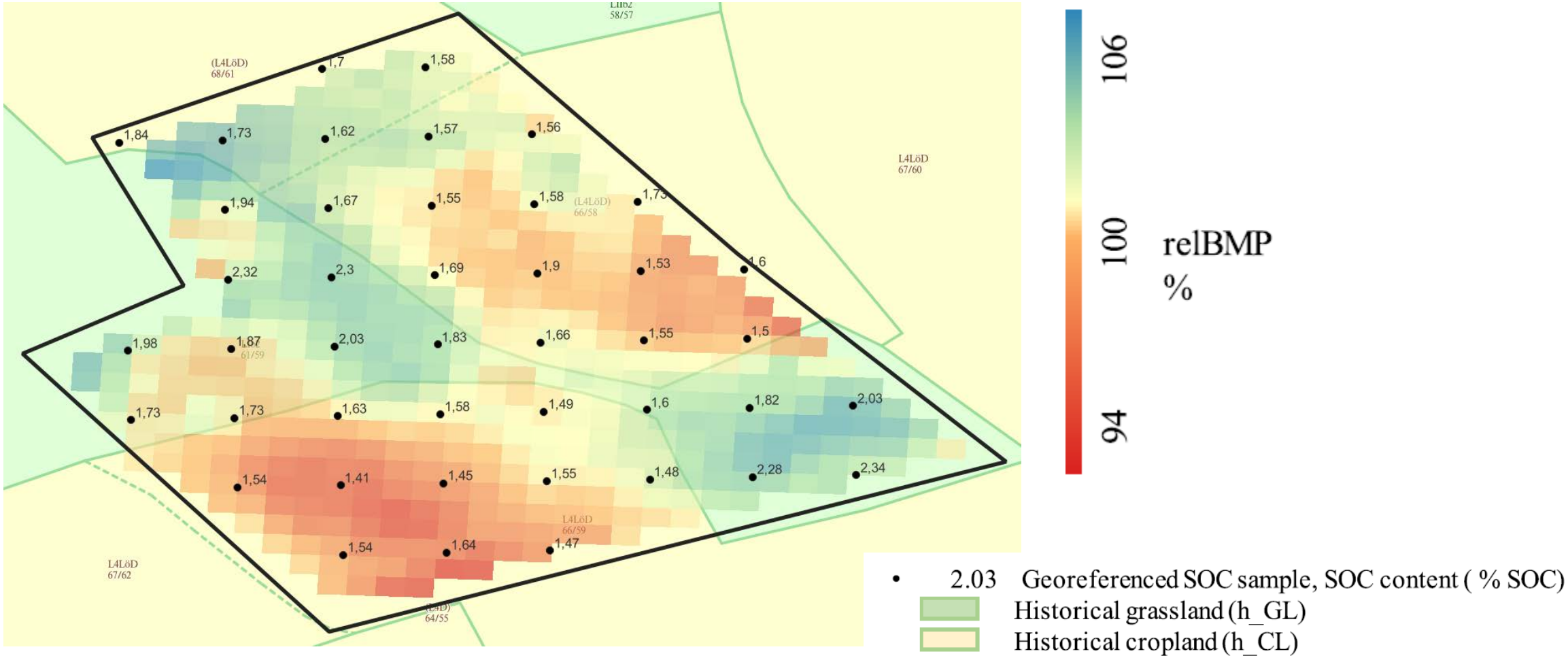
C_{org}-Gehalt, Ap-Horizont



Nitrat-Vorrat (0 – 2,5 m Tiefe)

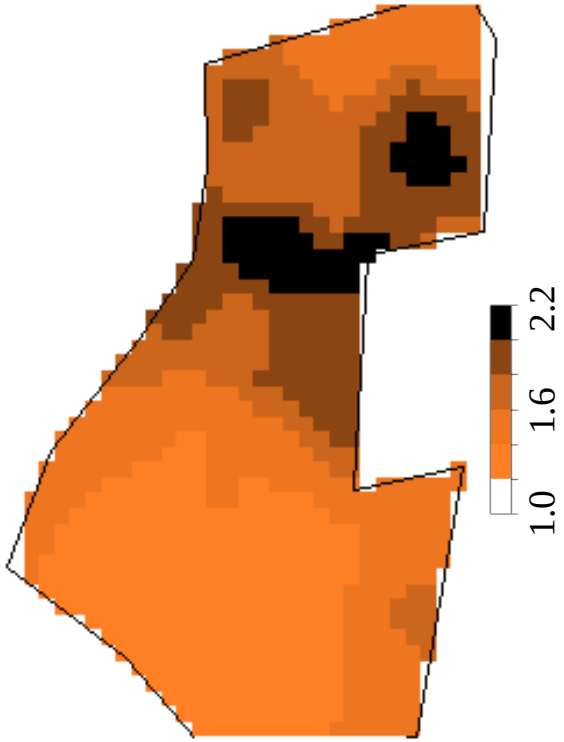
Schuster J, Mittermayer M, Maidl F-X, Nätscher L, Hülsbergen K-J (2022) Precision Agriculture 24 (2), pp. 647-676.

Langzeit- und Nachwirkungen der Grünlandnutzung

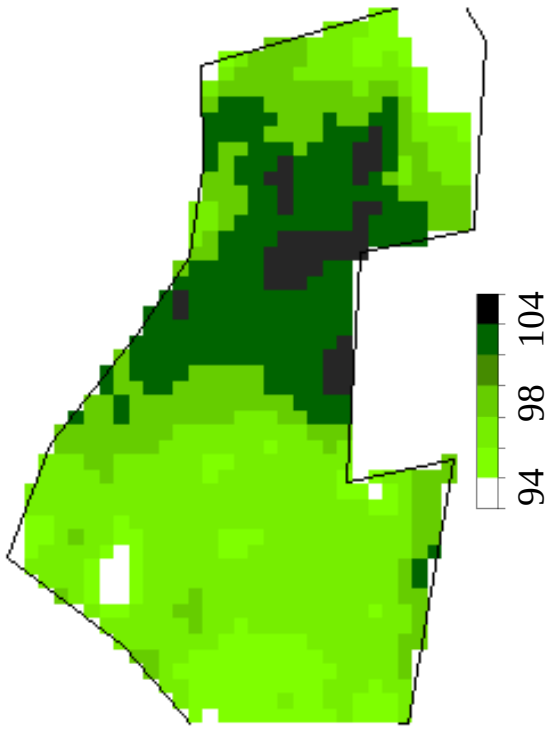


Historische Landnutzung als Einflussfaktor auf Humusgehalte und Erträge

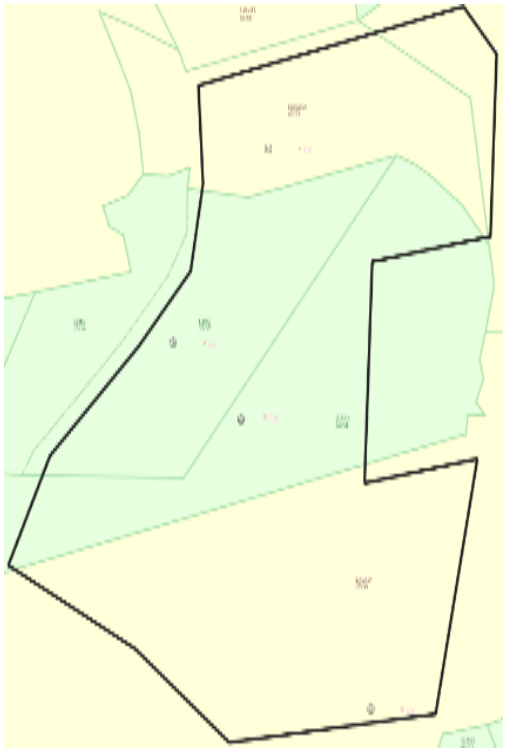
Modellregion Burghausen/Burgkirchen



Organischer Kohlenstoffgehalt im Boden [%]



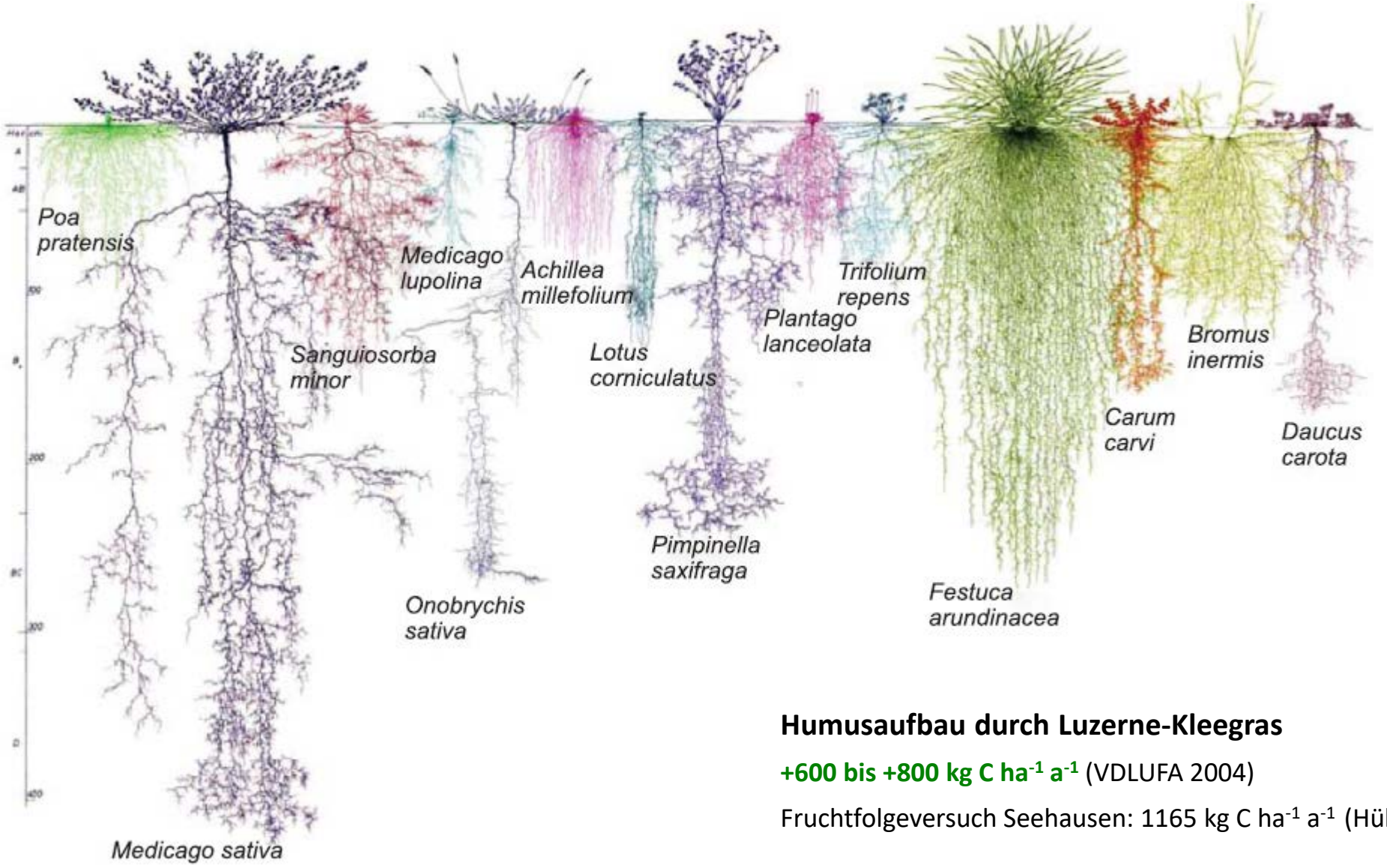
Relativer Biomasseertrag [%]



Bodenschätzung

Schuster J, Hagn L, Mittermayer M, Hülsbergen K-J (2024) Science of the Total Environment 947, 174507

Humusaufbau durch Kleegras



Humusaufbau durch Luzerne-Kleegras

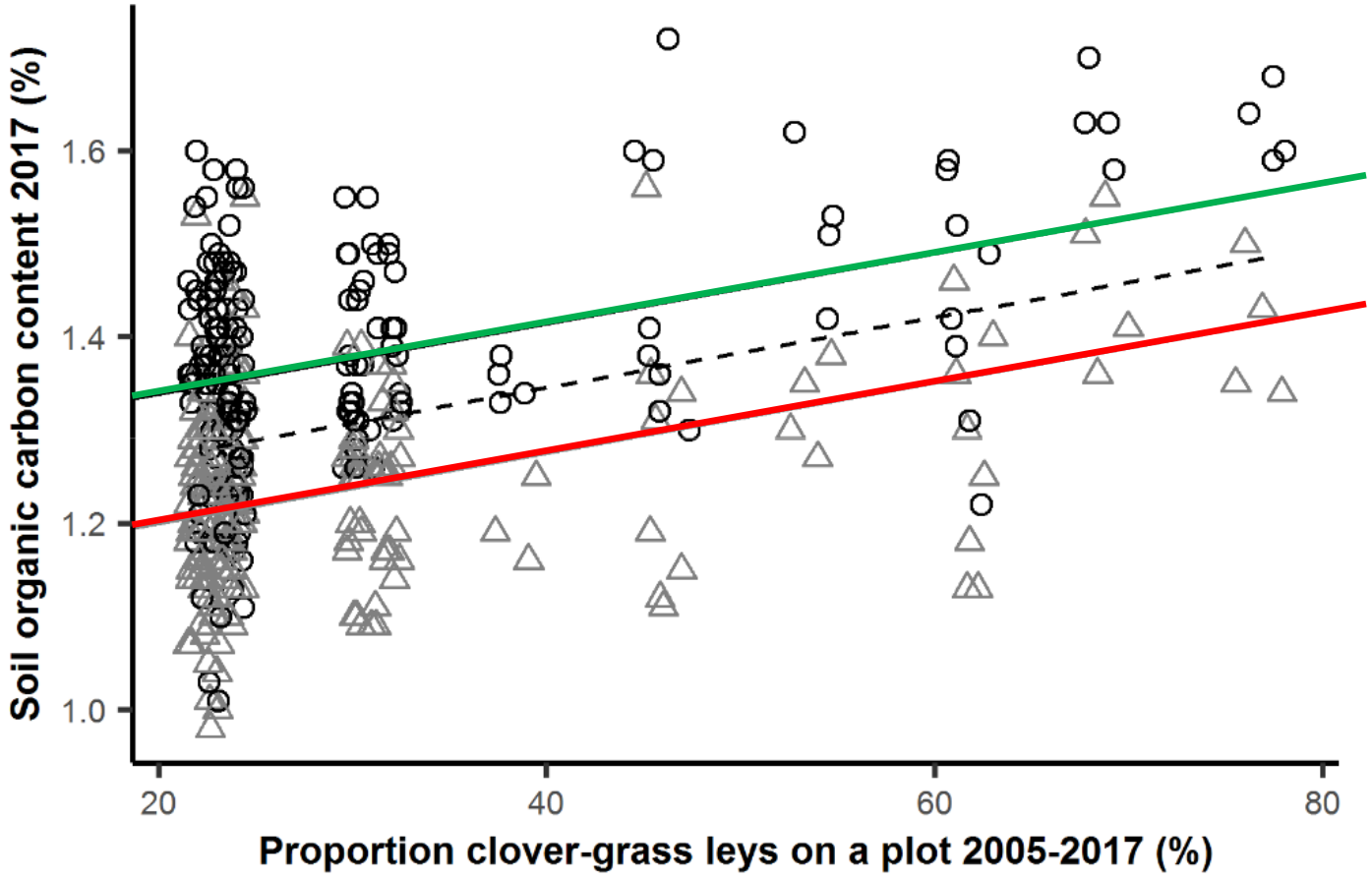
+600 bis +800 kg C ha^{-1} a^{-1} (VDLUFA 2004)

Fruchtfolgeversuch Seehausen: 1165 kg C ha^{-1} a^{-1} (Hülsbergen 2003)

Braun M, Schmid H, Grundler T, Hülsbergen K-J (2010) Plant Biosystems 144, 414-419

Bodenkohlenstoffbindung durch Kleegras

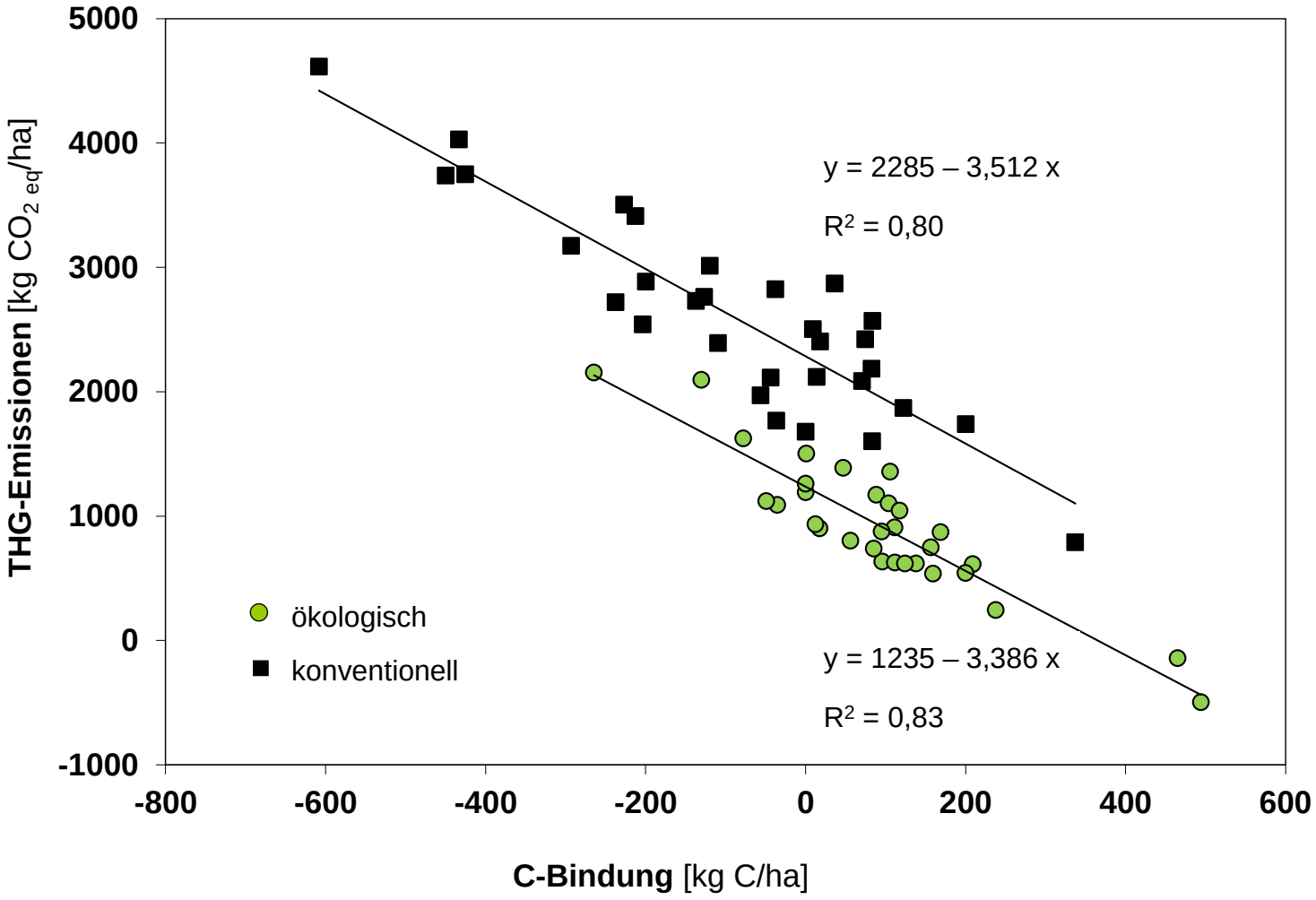
Ergebnisse eines Dauerfeldexperiments, TUM-Versuchsstation Viehhausen

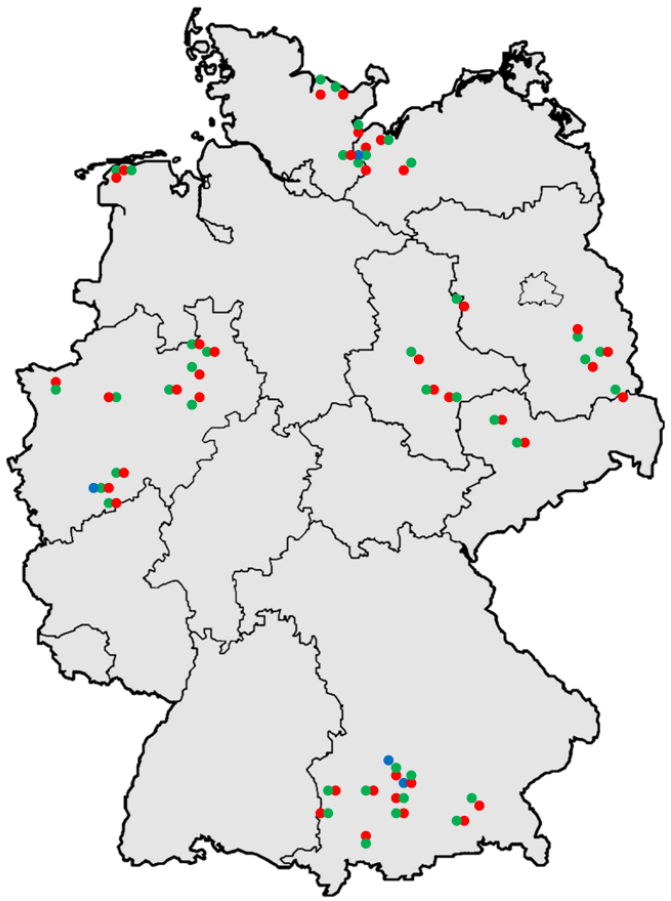


Dauerfeldversuche TUM-Versuchsstation Viehhausen

Levin K, Auerswald K, Reents H J, Hülsbergen K-J (2021) Agronomy 11, 1393, 1-18

Kohlenstoffbindung und flächenbezogene Treibhausgasemissionen





Schmid H, Braun M, Hülsbergen K-J (2014) Thünen Report 8, 259-294.

Forschungsprojekt TerraBayt

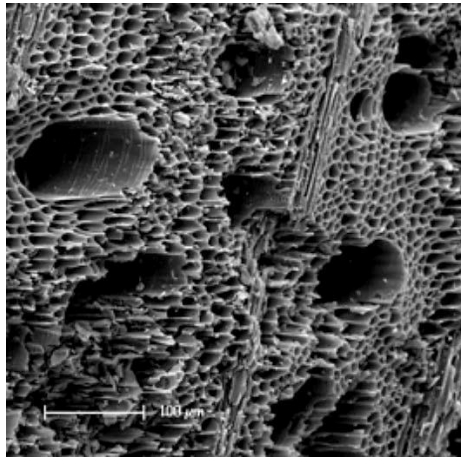
- **Analyse der Wirkungen von Pflanzenkohle in Kombination mit Kompost, Stallmist und Gülle auf Böden, Pflanzen und Umwelt in Feldexperimenten**

Versuchsstation Roggenstein

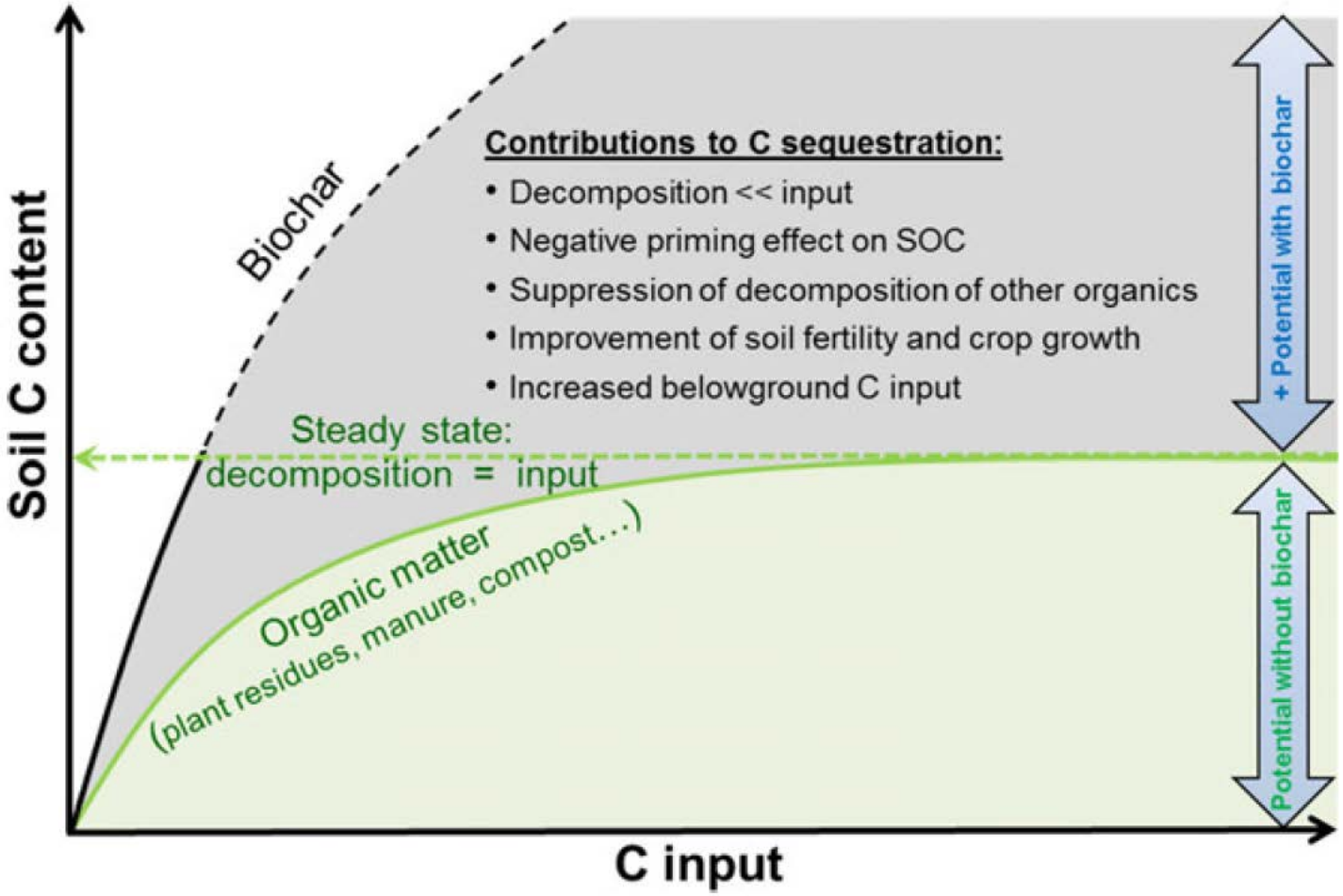
Pflanzenkohle in Kombination mit **Grüngut- und Stallmist-Kompost, ökologischer Landbau**

Baierlach (Grünland)

Pflanzenkohle in Kombination mit **Rindergülle und Stallmist-Kompost, ökologischer Landbau**

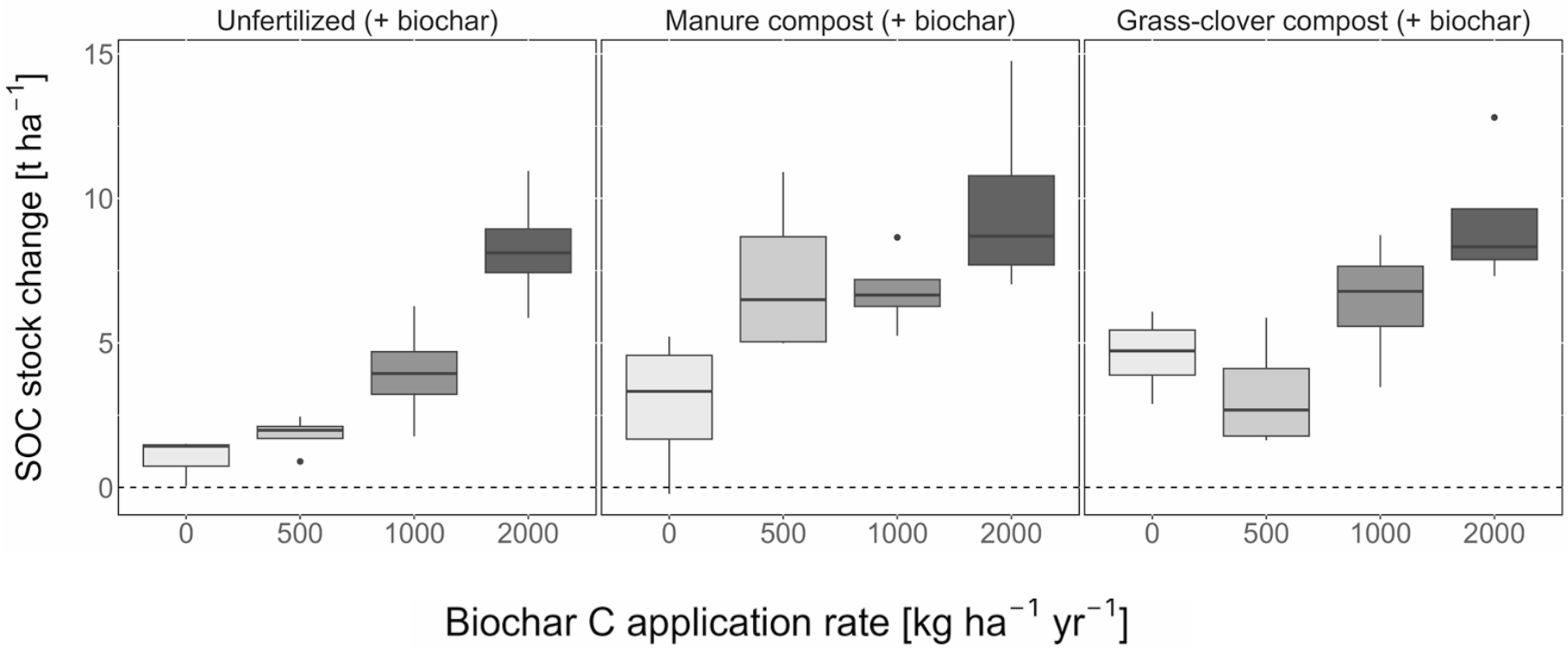


Wirkung von Pflanzenkohle auf den Bodenkohlenstoffgehalt



Wang et al. (2016)

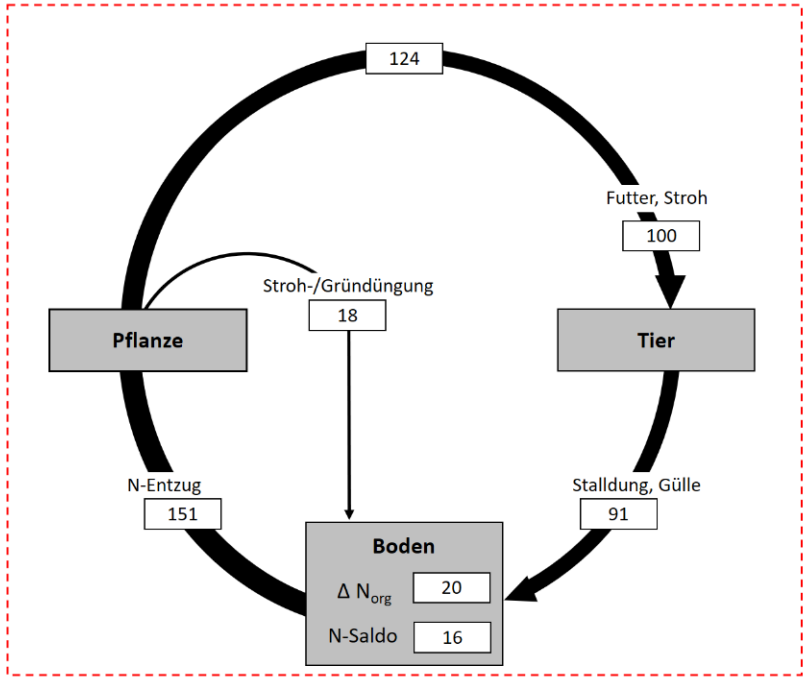
Wirkung von Pflanzenkohle auf den Bodenkohlenstoffgehalt



Jaufmann T, Schmid H, Hülsbergen K-J (2025): Nutr Cycl Agroecosyst 131, 213-235

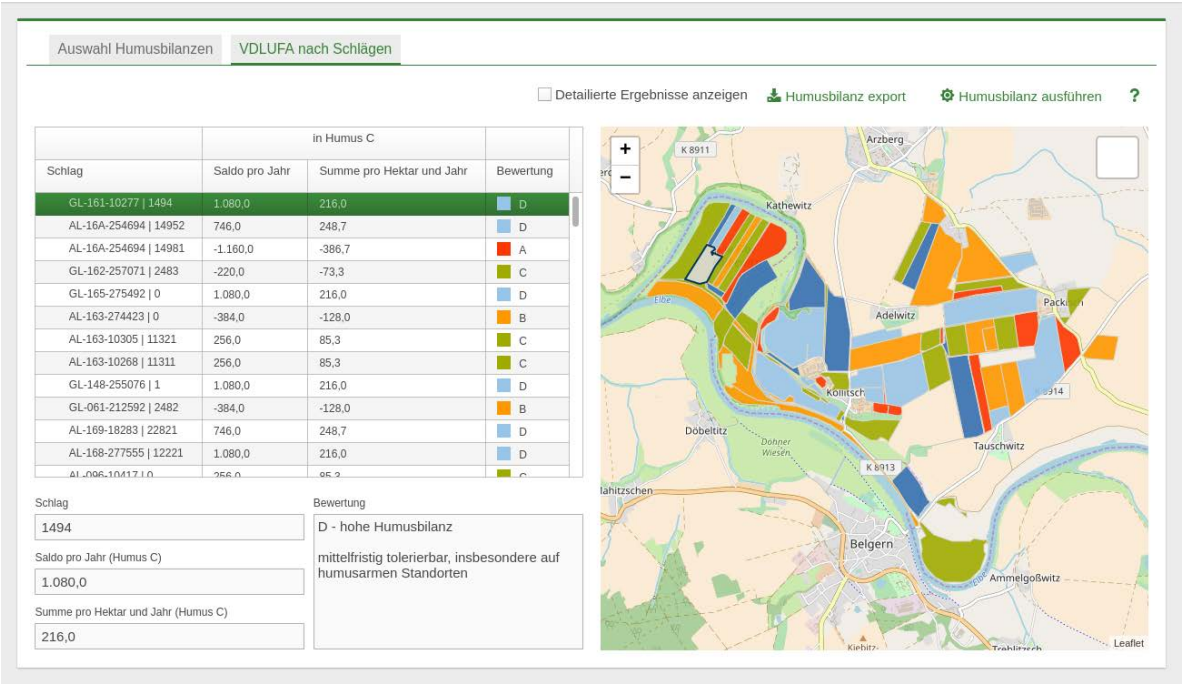
Entwicklung digitaler Umwelt- und Nährstoff-Managementsystemen

Modellvalidierung und Praxistransfer



Modell REPRO

Entwicklung seit 1996



Modell webBESyD / Web-Man

Entwicklung seit 2015

Modularer Aufbau – Fachmodule

Kernsystem (Betriebsmodell)

Pflanzenbau: Schläge, Fruchtarten, Anbauverfahren, **Tierhaltung**

Düngebedarfsermittlung

nach Düngeverordnung, fachlich erweitert, teilflächenspezifisch

Nährstoffbilanz und Nährstoffkreislauf

Flächenbezogene Bilanz, Stallbilanz, Hoftorbilanz (Stoffstrombilanz)

Humusbilanz und Bodenkohlenstoffbindung

Humusbilanz nach VDLUFA und dynamische Humuseinheitenbilanz

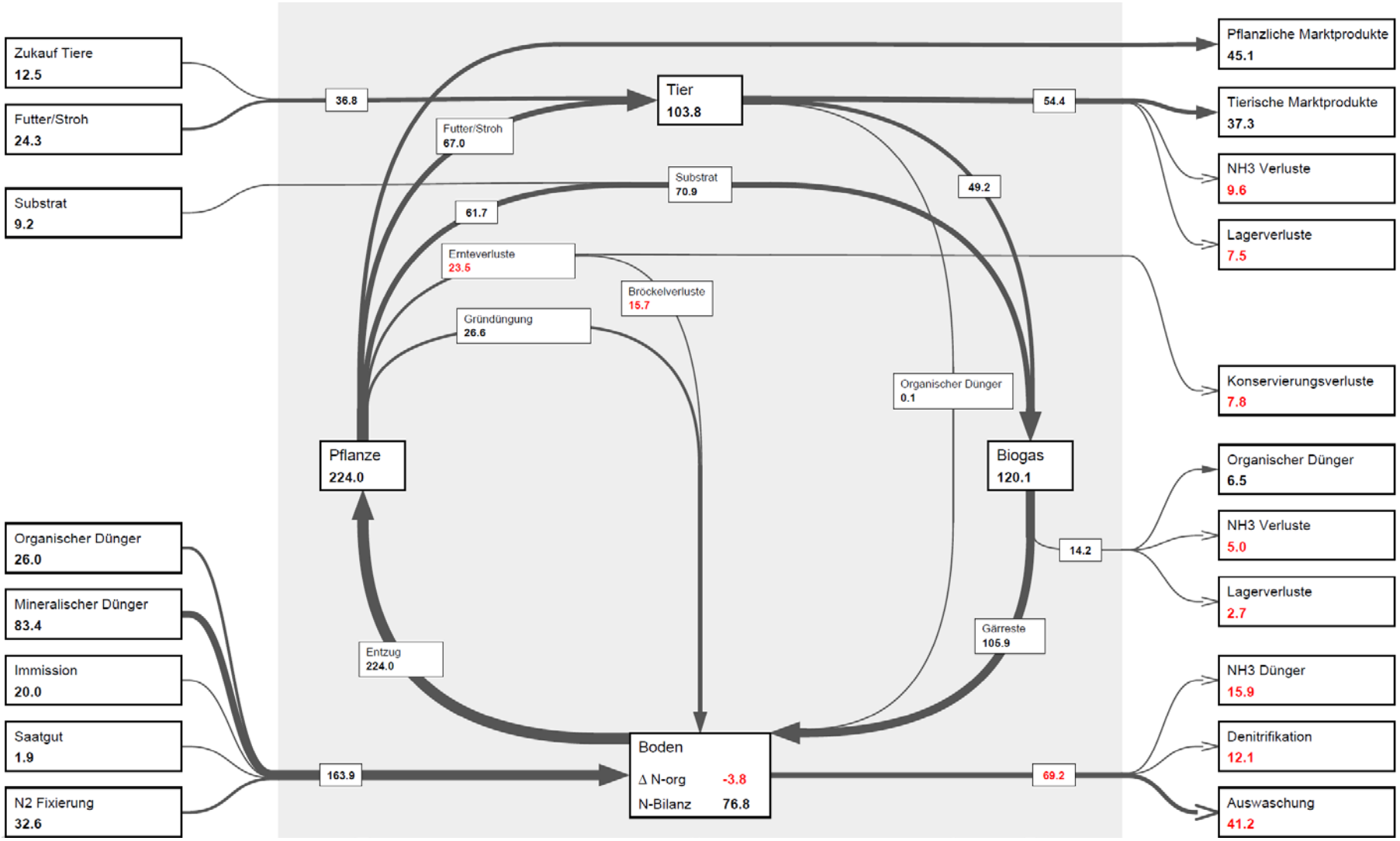
Stickstoffumsatz und Nitrataustrag

Boden-Stickstoffumsatz, Sickerwasserbildung, Nitratverluste

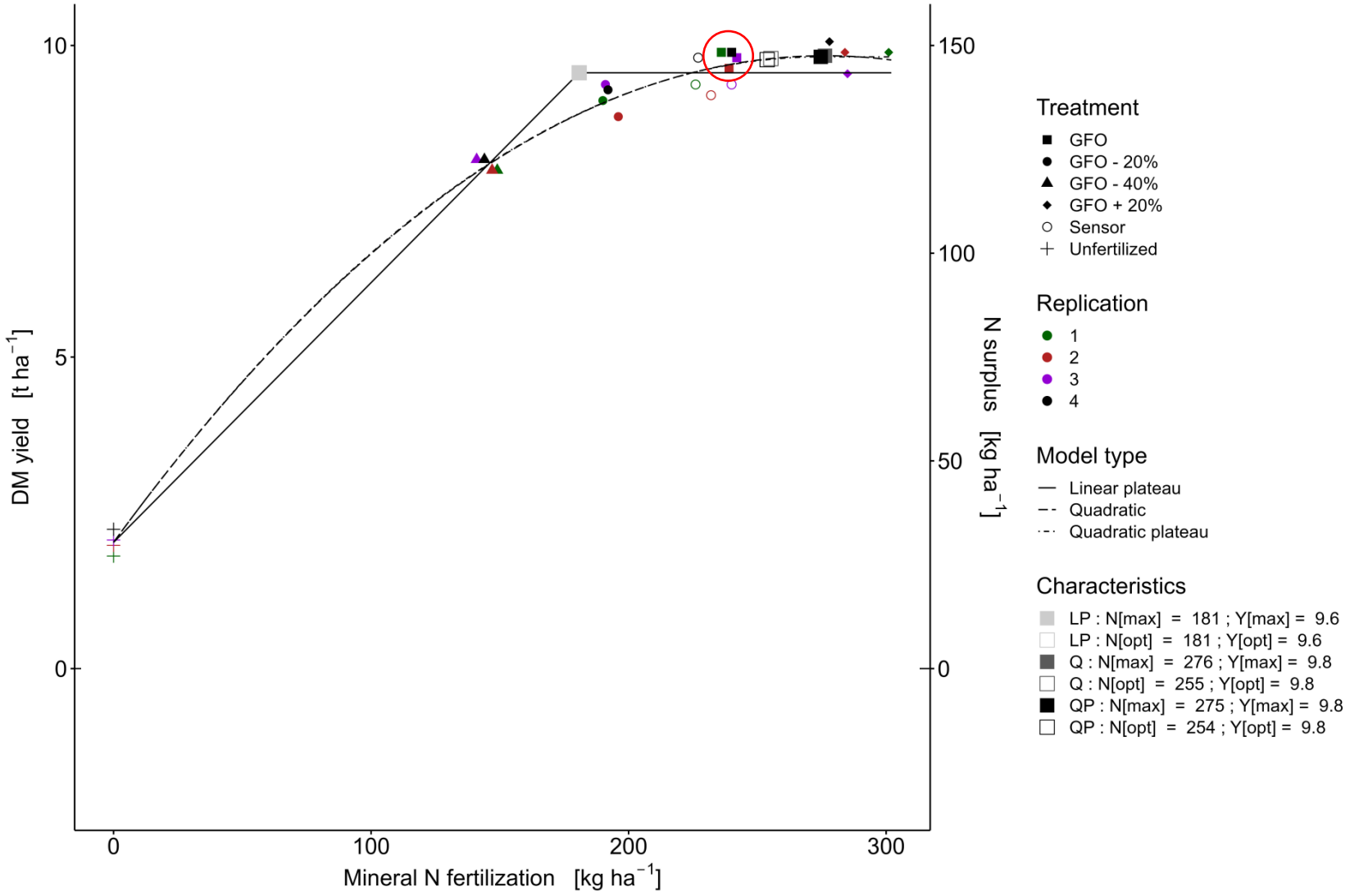
Entscheidungsunterstützungssystem

Kleegrasumbruch und Stickstoff-Transfer in der Fruchtfolge

Nährstoffkreislauf in Web-Man



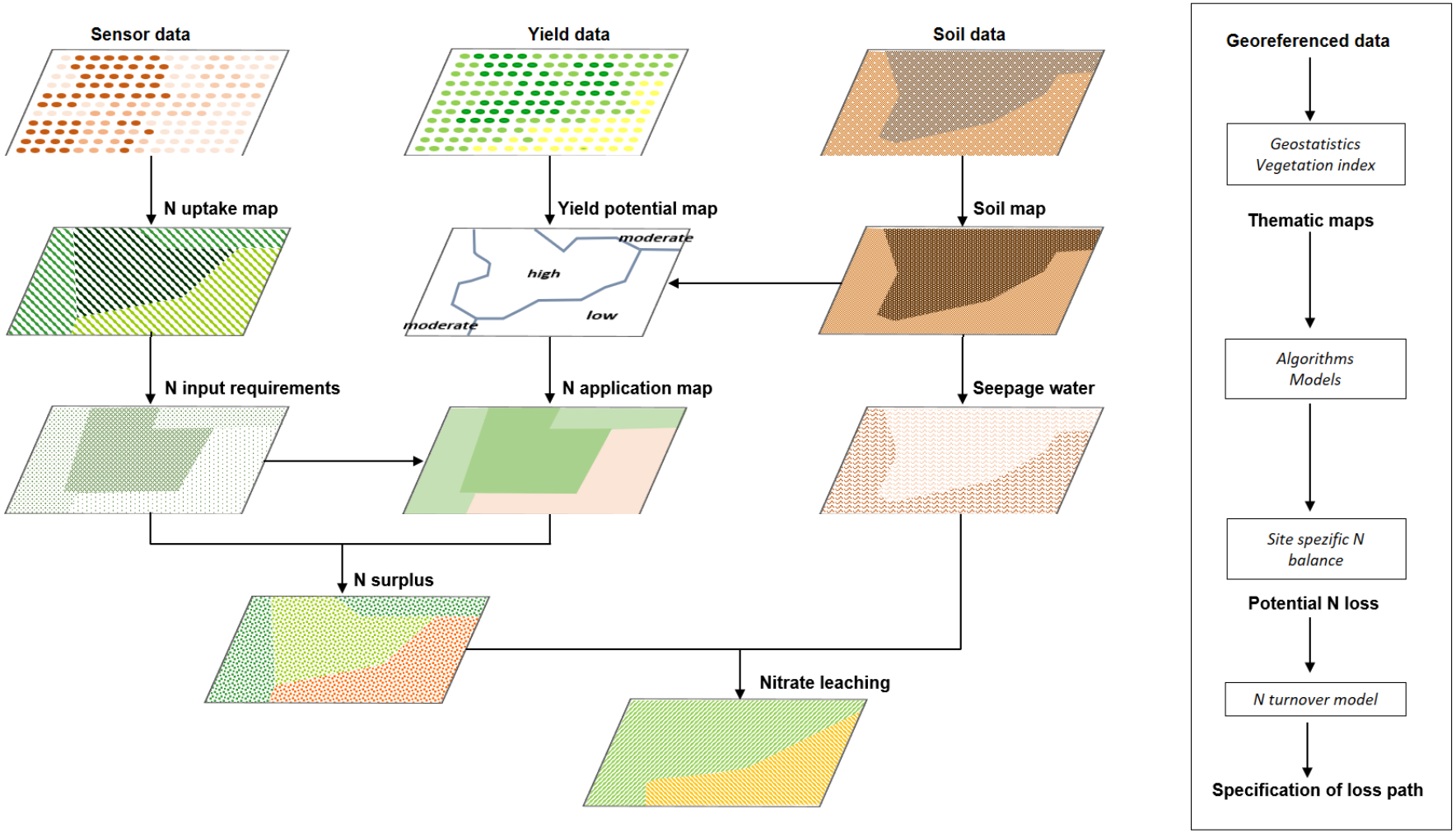
Wissenschaftliche Grundlagen und Modellvalidierung



Mittermayer M, Donauer J, Kimmelmann S, Maidl F-X, Hülsbergen K-J (2024) Heliyon 10, e28065.

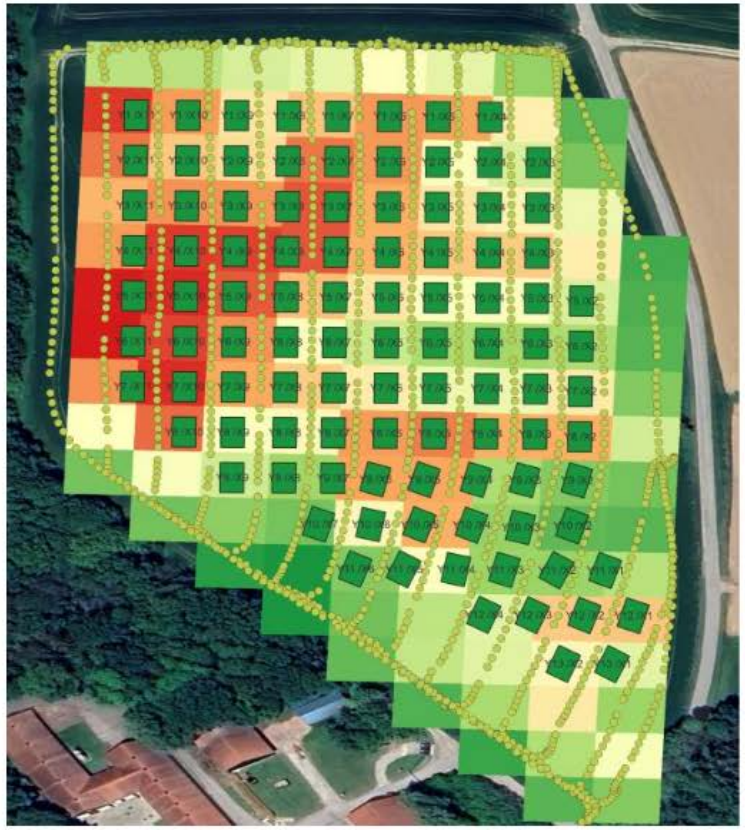
Teilflächenspezifische Nährstoffbilanzierung

Verknüpfung von räumlich variabler Pflanzen- und Bodenparameter



Weckesser F, Leßke F, Luthardt M, Hülsbergen K-J (2022): Agronomy 11, 2501, 1-25.

Ausblick: teilflächenspezifische Düngung und Bilanzierung



Satellitenraster + Ertragskarte + Druschparzellen

Parzellendrusch zur Validierung

Hagn L, Mittermayer M, Kern A, Kimmelmann S, Maidl F-X, Hülsbergen K-J (2025) Sensors 25, 795

Berücksichtigung von ΔN_{org} in der N-Bilanz

- **In den meisten flächenbezogenen N-Bilanzen bleibt ΔN_{org} unberücksichtigt!**

  Es wird davon ausgegangen, dass sich der Boden-N-Vorrat nicht verändert ($\Delta N_{org} = 0$); dies entspricht aber nicht der Realität.

- **Ist ΔN_{org} positiv**, bedeutet dies, dass organisch gebundener N im Boden akkumuliert wird (N-Immobilisierung), z.B. nach organischer Düngung.

- **Ist ΔN_{org} negativ**, bedeutet dies, dass organisch gebundener N im Boden abgebaut wird (N-Mineralisierung), z.B. nach Kleegras- oder Grünlandumbruch.

- Durch die **Berücksichtigung von ΔN_{org}** sollen die tatsächlichen N-Verluste genauer quantifiziert werden.