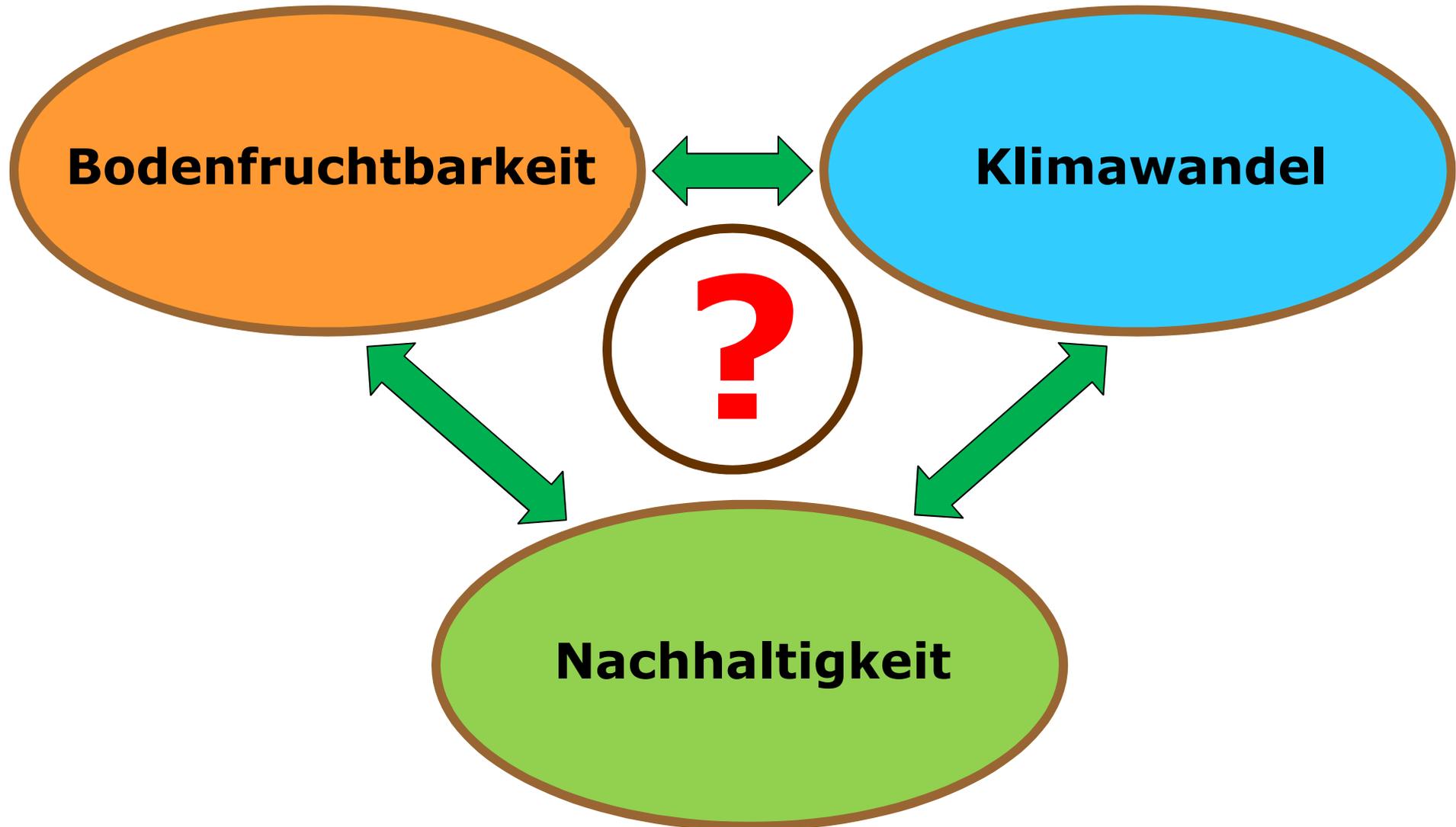




F. Ellmer

**Nachhaltige Sicherung
der Bodenfruchtbarkeit
unter Beachtung des Klimawandels**

Gliederung





Bodenfruchtbarkeit

**Definitorische Annäherung
mit historischem Exkurs**



Grundsätze
der
rationalen Landwirthschaft.

Von
A. Thun

§. 70.

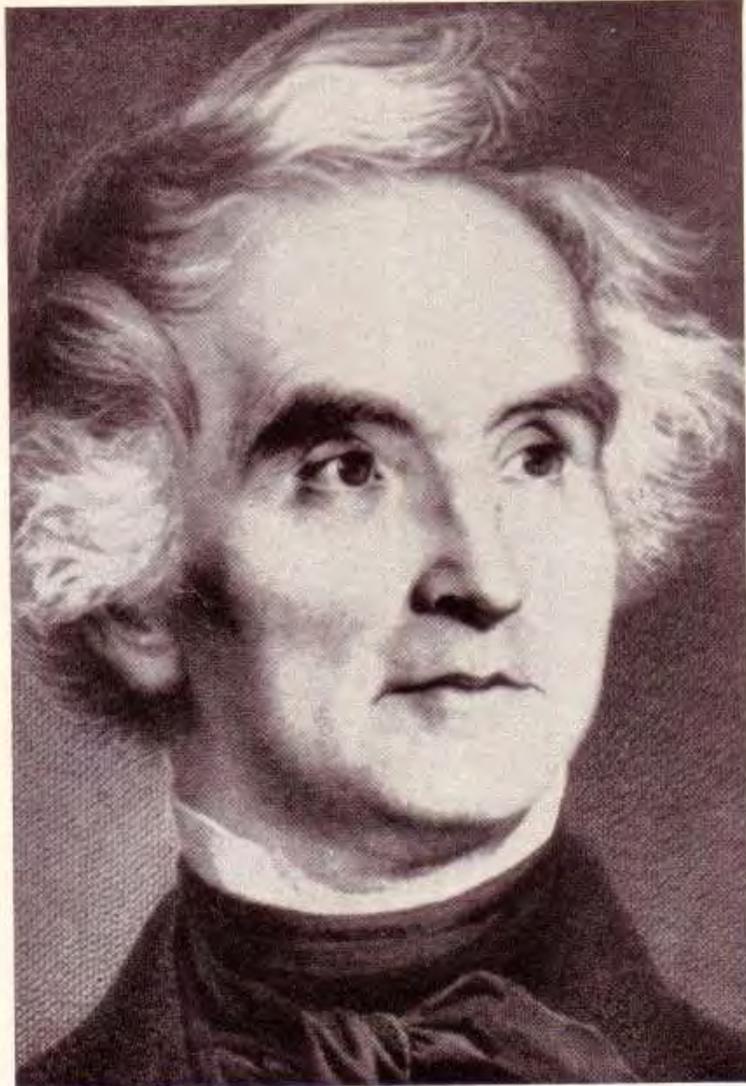
Die Güte des Bodens nach seinen chemischen und physischen Eigenschaften gründlich zu beurtheilen und seinen Werth und Ertrag zu bestimmen, ist eine der wichtigsten Aufgaben der Landwirthschaftslehre, die wir in dem Hauptstücke von der Agronomie zu lösen versuchen werden. Hier, wo wir nur von dem reden, was beim Ankaufen des Guts — wo keine so genaue Untersuchung Statt findet —

Beurtheilung
der Güte des
Bodens.

Albrecht Daniel Thaer:
Grundsätze der rationellen Landwirtschaft, Bd. 2, § 126

*„Der **Humus** ist diejenige Substanz, welche im Erdboden den Pflanzen Nahrung giebt.*

Die Kraft oder der Reichthum des Bodens ... hängt lediglich von ihm und seinem Verhältnisse ab.“



Dr. Justus Liebig

Justus von Liebig 1803 - 1873

„Die Pflanzen enthalten verbrennliche und unverbrennliche Bestandteile. Die Letzteren sind Bestandteile der Asche; ... die wesentlichsten in unseren Kulturpflanzen sind Phosphorsäure, Kali, Kieselsäure, Schwefelsäure, Kalk, Bittererde, Eisen und Kochsalz.“

Chemische Briefe. Heidelberg 1859, 38. Brief

Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit

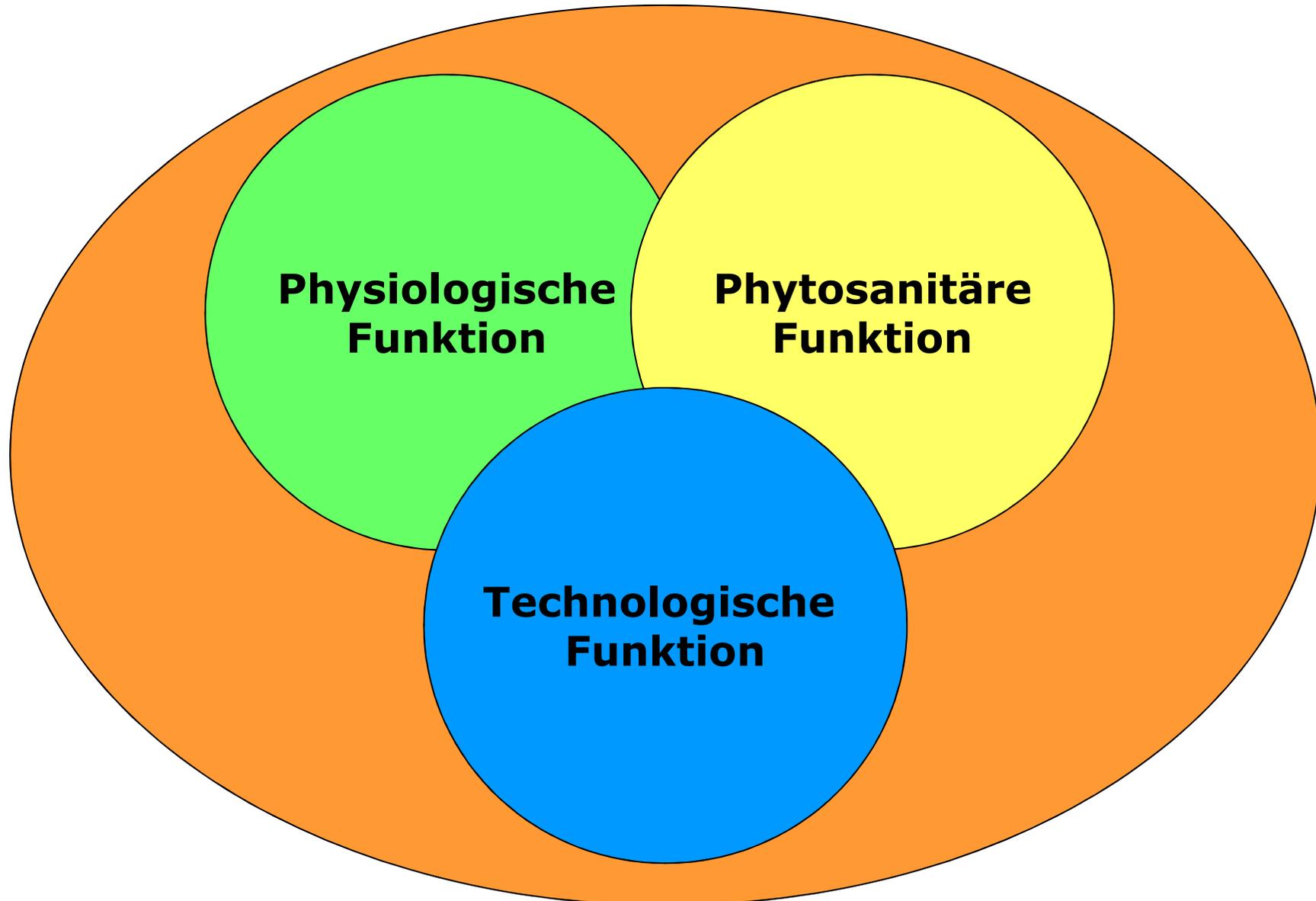


Kundler

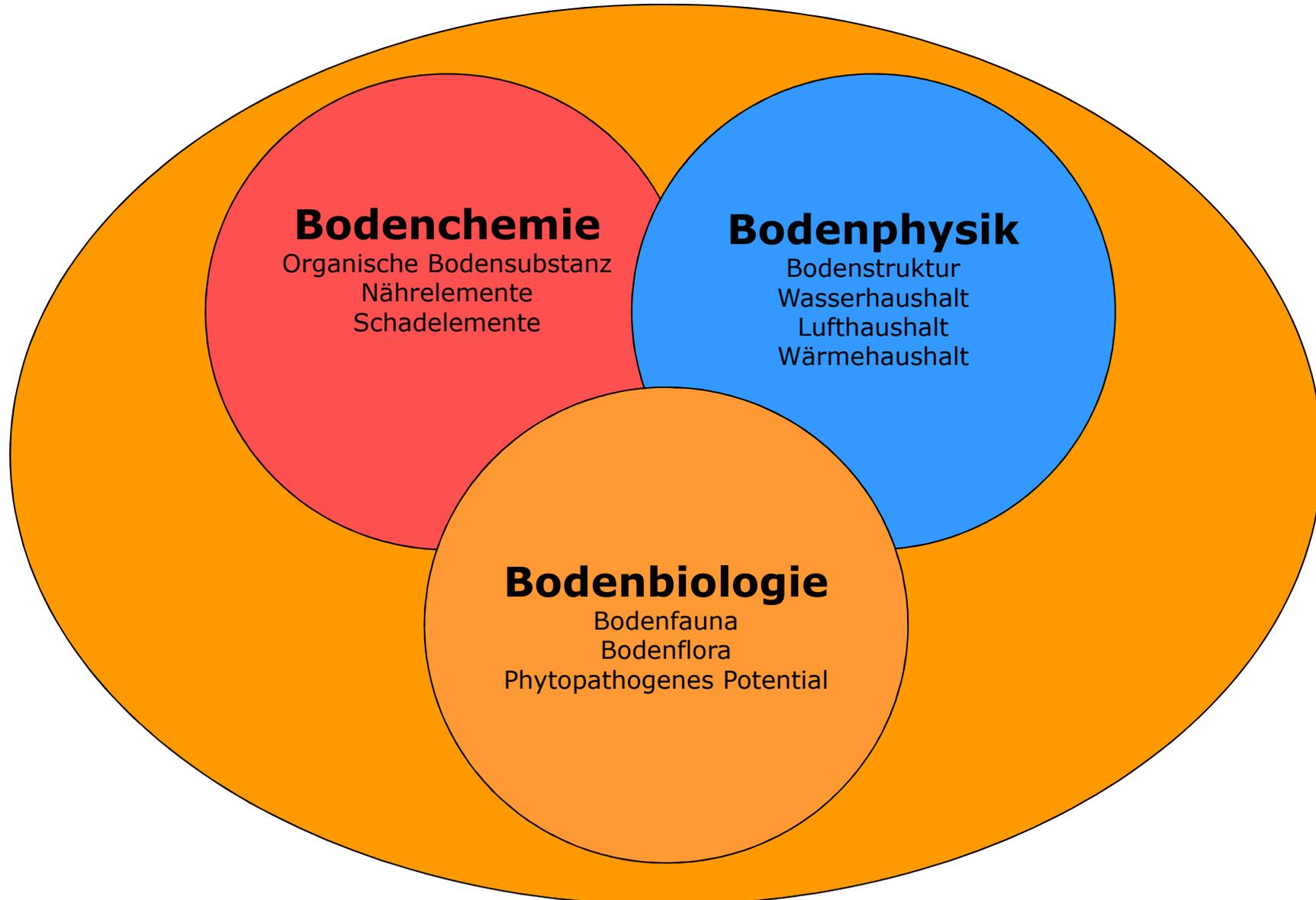
Kundler, P. et al:
Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit
Landwirtschaftsverlag Berlin, 1989

Bodenfruchtbarkeit ist der Wirkungsanteil des Bodens an der Produktivität und Effektivität der Pflanzenproduktion. Sie wird als Gebrauchswert des Bodens für die Pflanzenproduktion definiert. Die **Bodenfruchtbarkeit** beruht auf **physiologischen, phytosanitären** und **technologischen Funktionen** des Bodens.

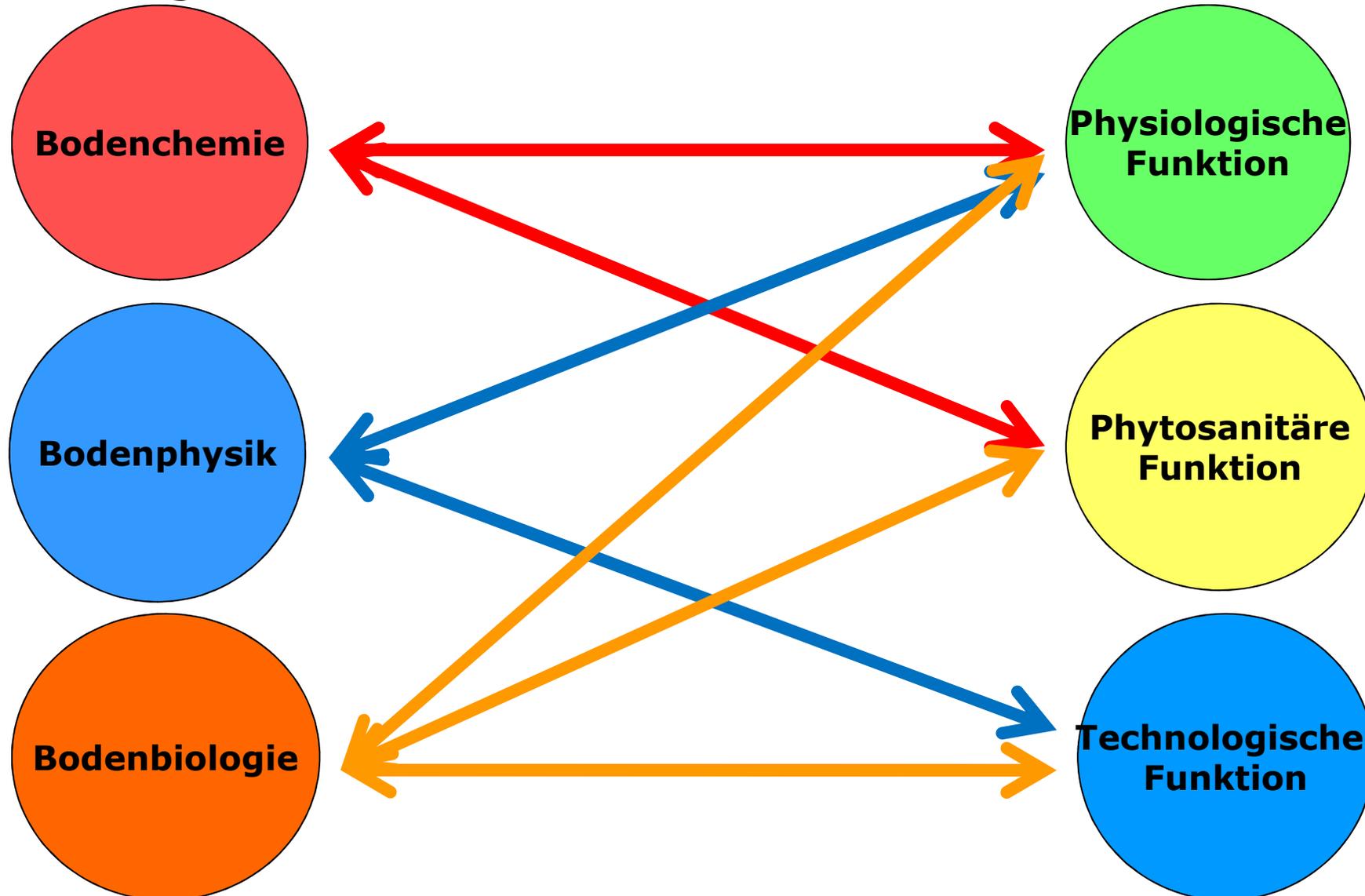
Bodenfruchtbarkeit als System von Funktionen



Bodenfruchtbarkeit als System von Bodeneigenschaften



Beziehungen zwischen
Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen

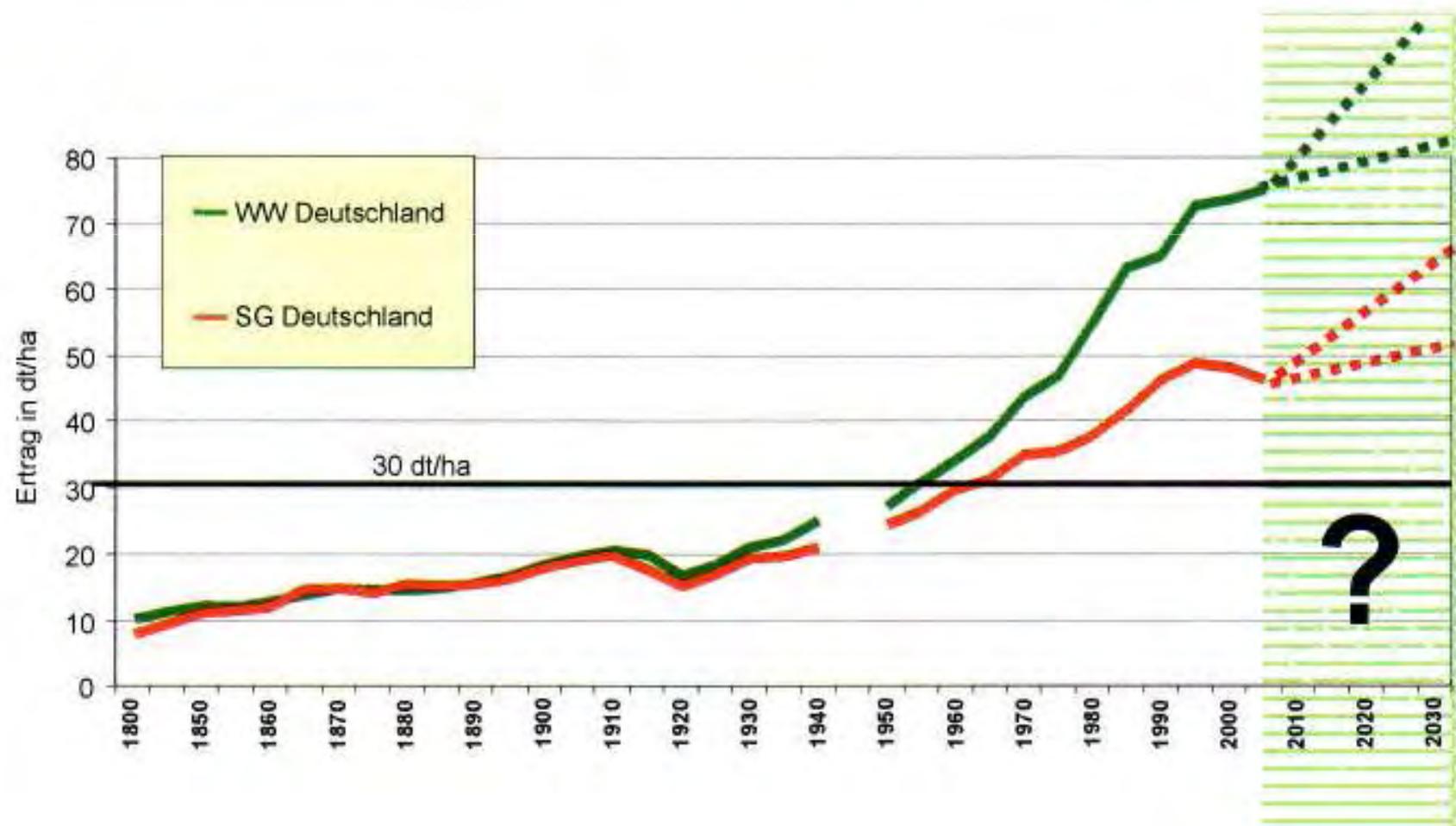


Beziehungen zwischen
Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen



Entwicklung der Erträge (dt/ha) von Winterweizen und Sommergerste in Deutschland von 1800 bis 2005

Quellen: 1800- 2003: nach Bittermann 1956 und BML; Schuster, 1997; TLS



Quelle: Farack, 2005

Energieverbrauch in Deutschland

14000 Petajoule a⁻¹

14000 000 000 000 000 000 000 Joule a⁻¹

3900 TWh a⁻¹

3900 000 000 000 kWh a⁻¹

CO₂-Emissionen: 832 Mio. t a⁻¹





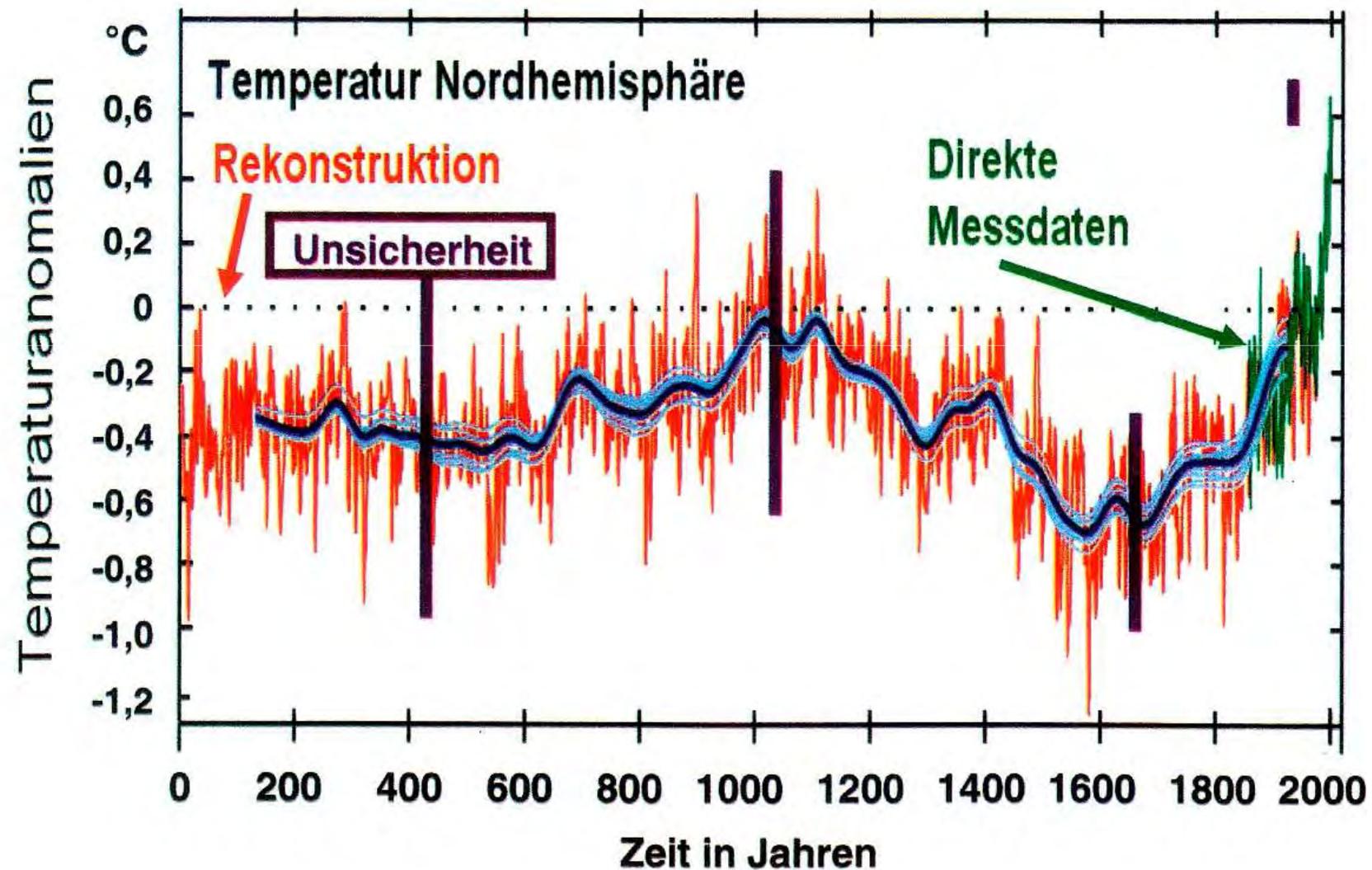
Klimawandel

Kenntnisstand

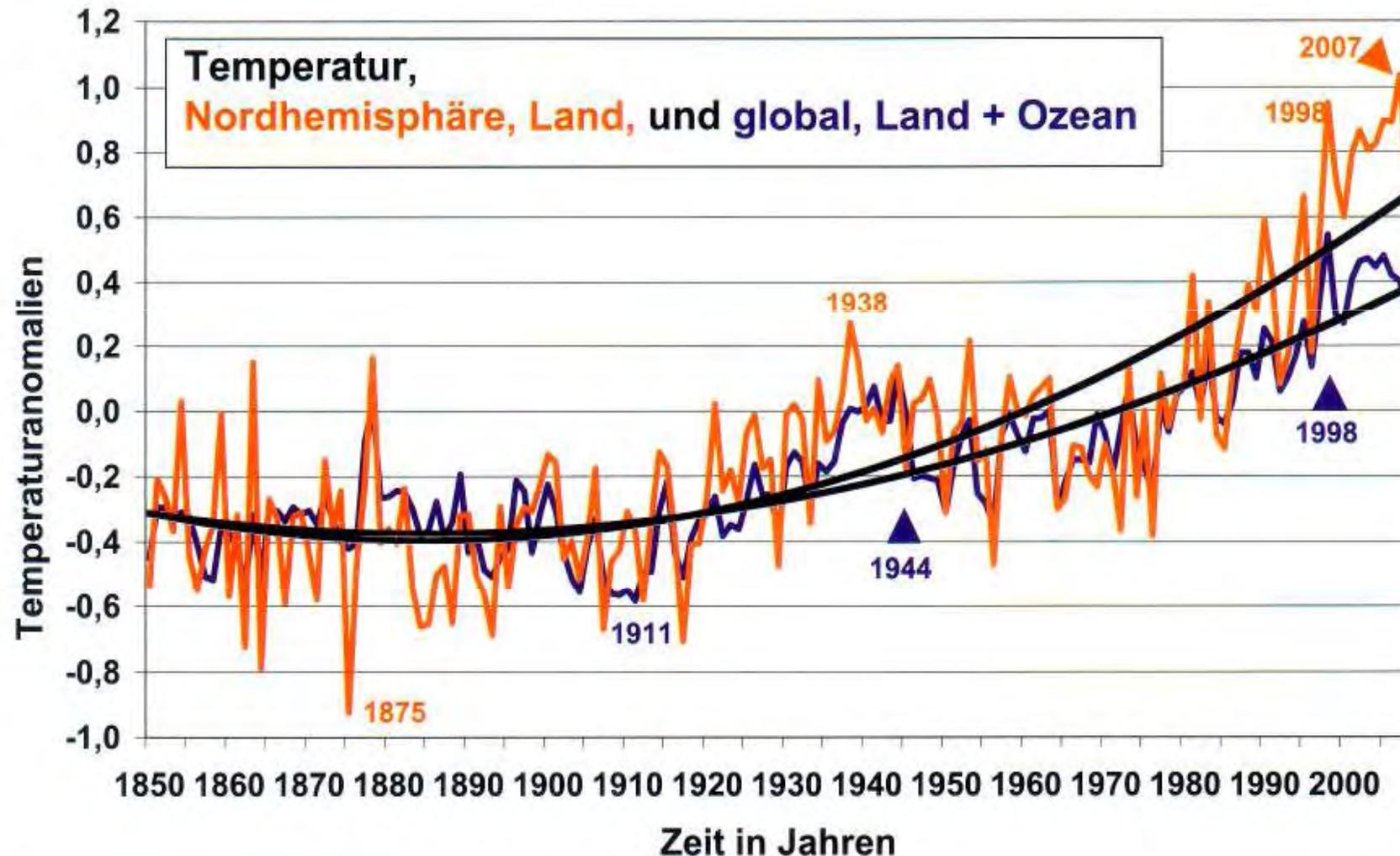
und

Erwartungen

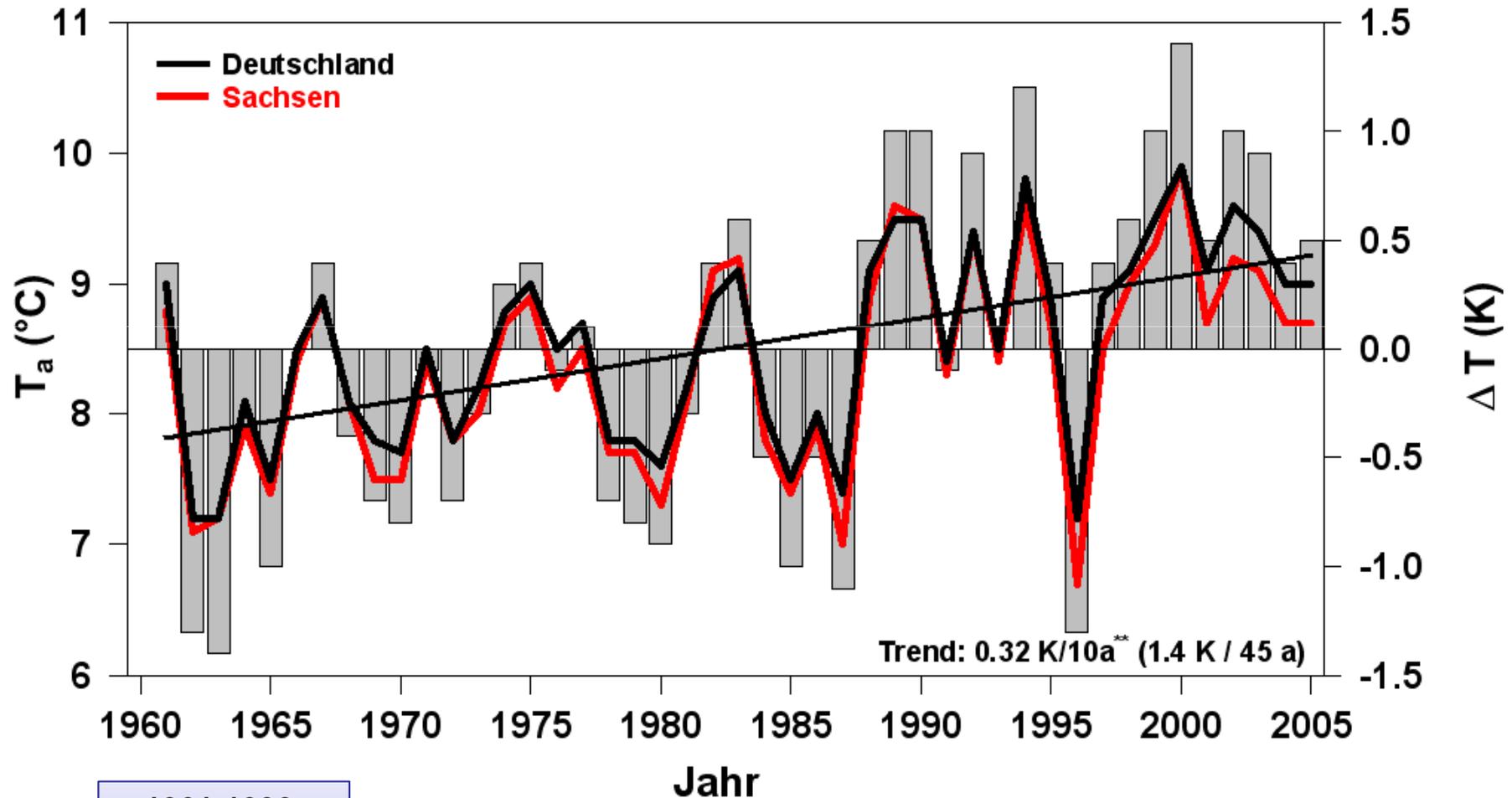
Jahresanomalien der bodennahen Lufttemperaturen - Nordhemisphäre (Vergleich zu 1961-1990)



Jahresanomalien 1850 -2008 der Lufttemperaturen – Nordhemisphäre (Vergleich zu 1961-1990)



Trends der Jahresmitteltemperatur in Deutschland / Sachsen, 1961-2005



1961-1990:
 $T_a(D) = 8.3 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_a(SN) = 8.2 \text{ }^\circ\text{C}$

Quelle: Projekt KliO: Chmielewski, Blümel, Henniges, Müller, 2009

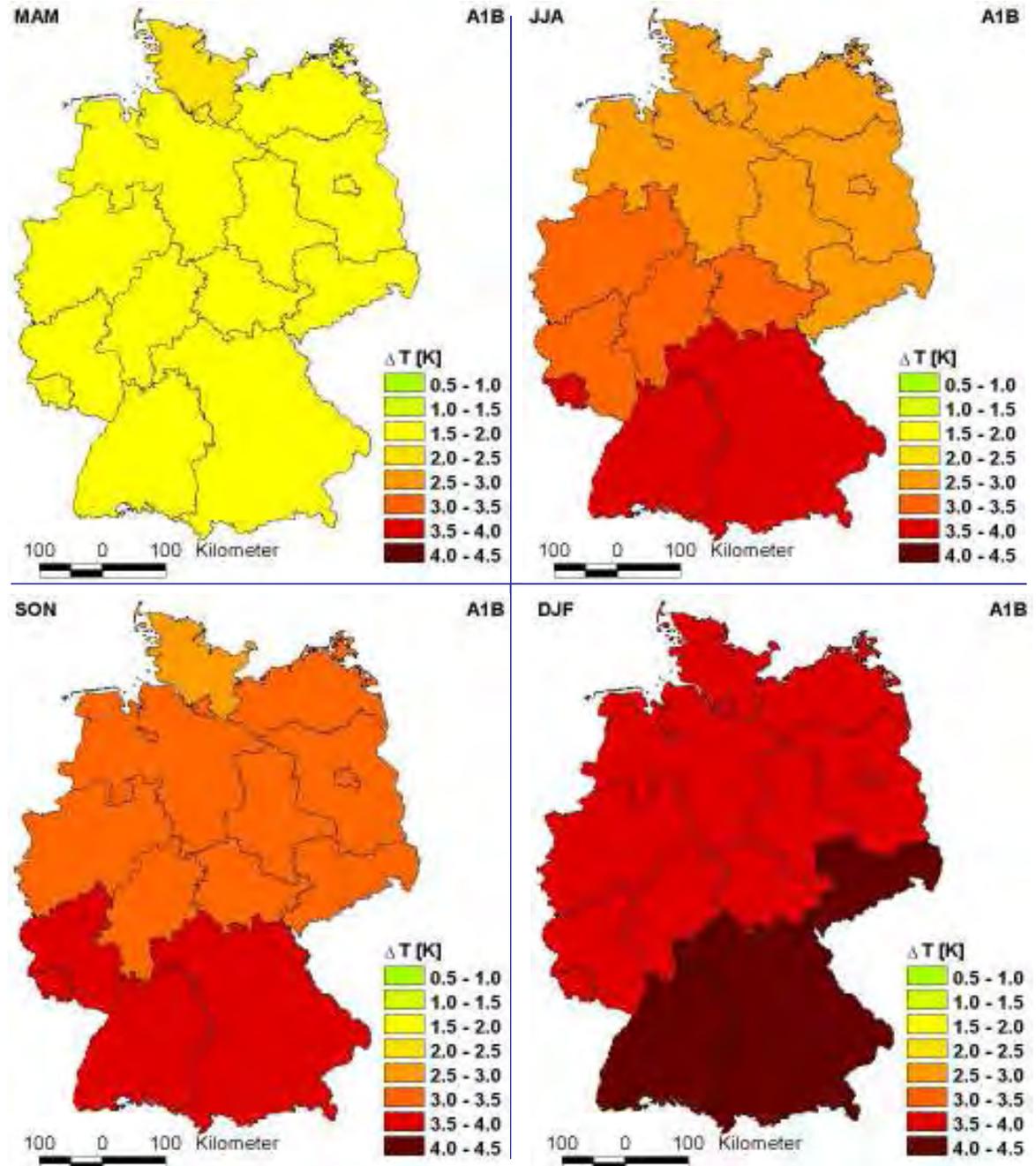
Szenarien

Saisonale Änderungen der Lufttemperatur

REMO/UBA-A1B

| DT (K) | D | SN |
|------------|--------------------|--------------------|
| MAM | <u>+1.8</u> | <u>+1.7</u> |
| JJA | <u>+3.2</u> | <u>+3.0</u> |
| SON | <u>+3.5</u> | <u>+3.5</u> |
| DJF | <u>+3.9</u> | <u>+4.1</u> |

A1B (2071-2100) zum Kontrolllauf (1961-1990)





Wie sicher sind die Ergebnisse zum regionalen Klimawandel?

- Die Klimaprojektionen basieren auf **Szenarien der Treibhausgas-Emissionen**.
- Die **Klimamodelle** (GCMs) liefern leicht unterschiedliche Aussagen zum potentiellen Klimawandel.
- Die Ergebnisse der **Regionalisierung** differieren ebenfalls in Abhängigkeit vom Ansatz / Modell.
- Mit **zunehmender Auflösung** der Ergebnisse nimmt die Unsicherheit der Resultate zu.

Mit einiger Sicherheit können folgende Veränderungen für Deutschland/Sachsen angenommen werden:

- höhere CO₂-Konzentration der Luft
- höhere Temperaturen in allen Jahreszeiten
- vor allem deutlich wärmere Winter
- verlängerte thermische Vegetationszeit
- mehr Sommertage, weniger Frosttage
- Umlagerung des Jahresniederschlages (mehr im Winter, weniger im Sommer)
- vermutlich eine Zunahme von Wetterextremen

Acker- und pflanzenbauliche Anpassungsstrategien

Überprüfen der gesamten Agrotechnik
im Blick auf klimatische Effekte:

Allgemein ackerbaulich:

- Fruchtfolgen
- Bodenbearbeitung
- Saattechnik
- Unkrautkontrolle
- Organische Düngung
- Kalkung
- Mineralische Grunddüngung

Speziell pflanzenbaulich:

- Sortenwahl
- Mineralische N-Düngung
- Mikronährstoffdüngung
- Krankheitskontrolle
- Schädlingskontrolle
- Wachstumsregler
- Zusatzbewässerung

**Gesamtheit aller agrotechnischen Eingriffe
zum Zweck der Pflanzenproduktion**

**Boden-
Nutzungs-
Systeme**

**Ziel:
Erhöhung der Stabilität und Pufferfähigkeit
des Systems Boden-Pflanze gegenüber externen Einflüssen**



Nachhaltige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit

Agrarlandschaft und Versuchsstation Thyrow Kreis Teltow-Fläming, Brandenburg



**Langjährige Dauerfeldversuche
seit 1938**

| Prüfglied | Düngung |
|-----------|--|
| 1 | Ungedüngte Kontrolle |
| 2 | Stallmist; 30 t ha ⁻¹ jedes 2. Jahr |
| 3 | Stallmist + NPK (60/25/90 kg ha ⁻¹) + Kalk |
| 4 | NPK + Kalk |
| 5 | NPK |
| 6 | NP + Kalk |
| 7 | NK + Kalk |
| 8 | PK + Kalk |



Statischer Nährstoffmangelversuch (1938)

Auswirkungen von Mangeldüngung auf den Bodenzustand Statischer Nährstoffmangelversuch Thyrow Status 2002-2007

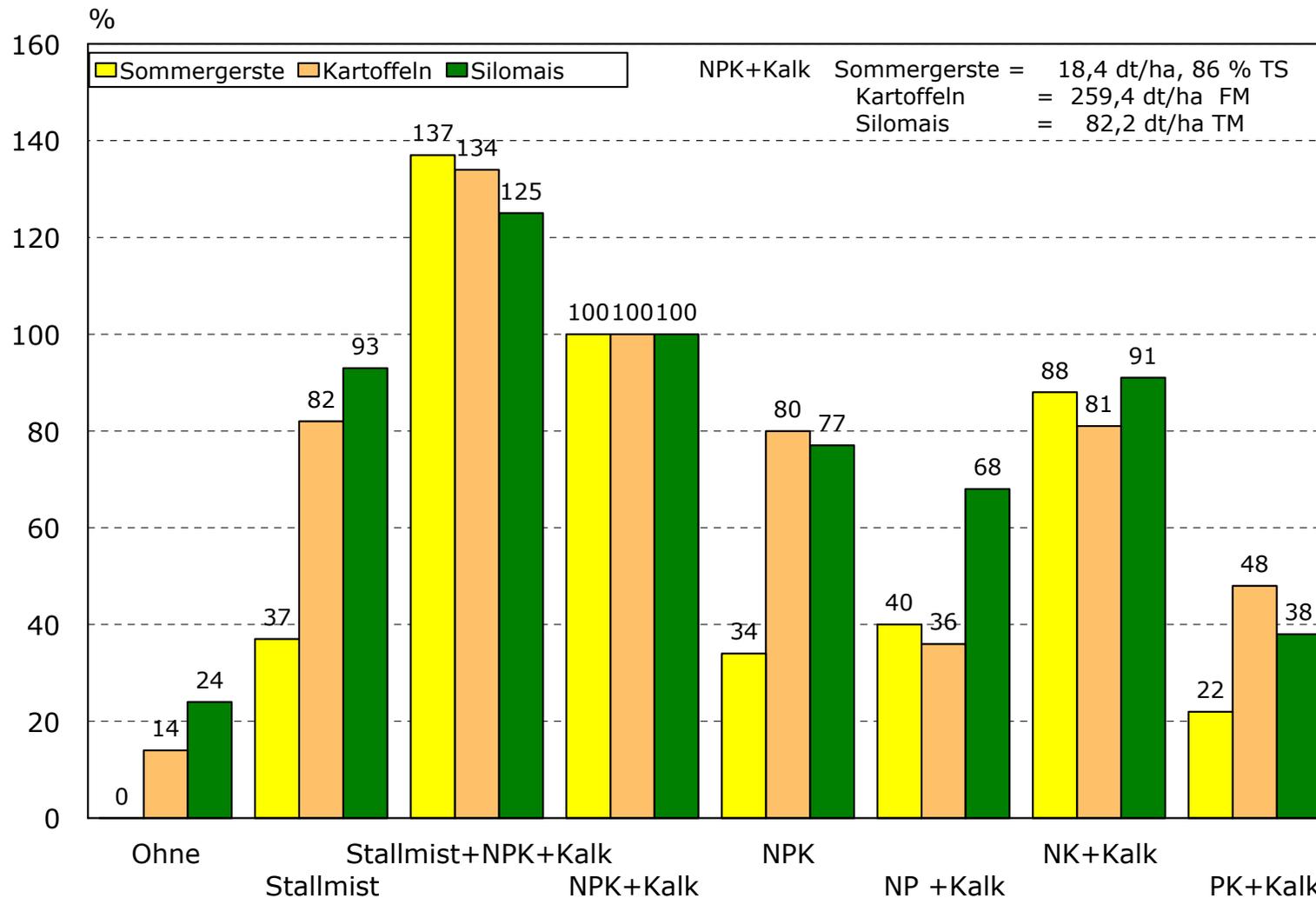
| Bodenparameter | Optimale Düngung | Mangel | Differenz |
|---|-----------------------------|---------------|------------------|
| OBS-Gehalt (%) | 1,08 | 0,69 | -36 % |
| P _{DL} -Gehalt (mg 100 g ⁻¹) | 13,4 | 4,4 | -67 % |
| K _{DL} -Gehalt (mg 100 g ⁻¹) | 17,3 | 2,1 | -88 % |
| pH-Wert | 5,8 | 4,3 | -26 % |

Das Minimum-Gesetz von J. v. Liebig

„Die Höhe des Ertrages eines Feldes (von gegebener Beschaffenheit und Zusammensetzung) steht im Verhältnis zu demjenigen zur völligen Entwicklung der Pflanze unentbehrlichen Nahrungsstoff, welcher im Boden (in geeigneter Form und Beschaffenheit) in kleinster Menge (im Minimo) vorhanden ist.“

Liebig, J. v.: Die Grundsätze der Agrikultur-Chemie mit Rücksicht auf die in England angestellten Untersuchungen. 2., durch einen Nachtrag vermehrte Auflage. Braunschweig 1855, S. 121 f.

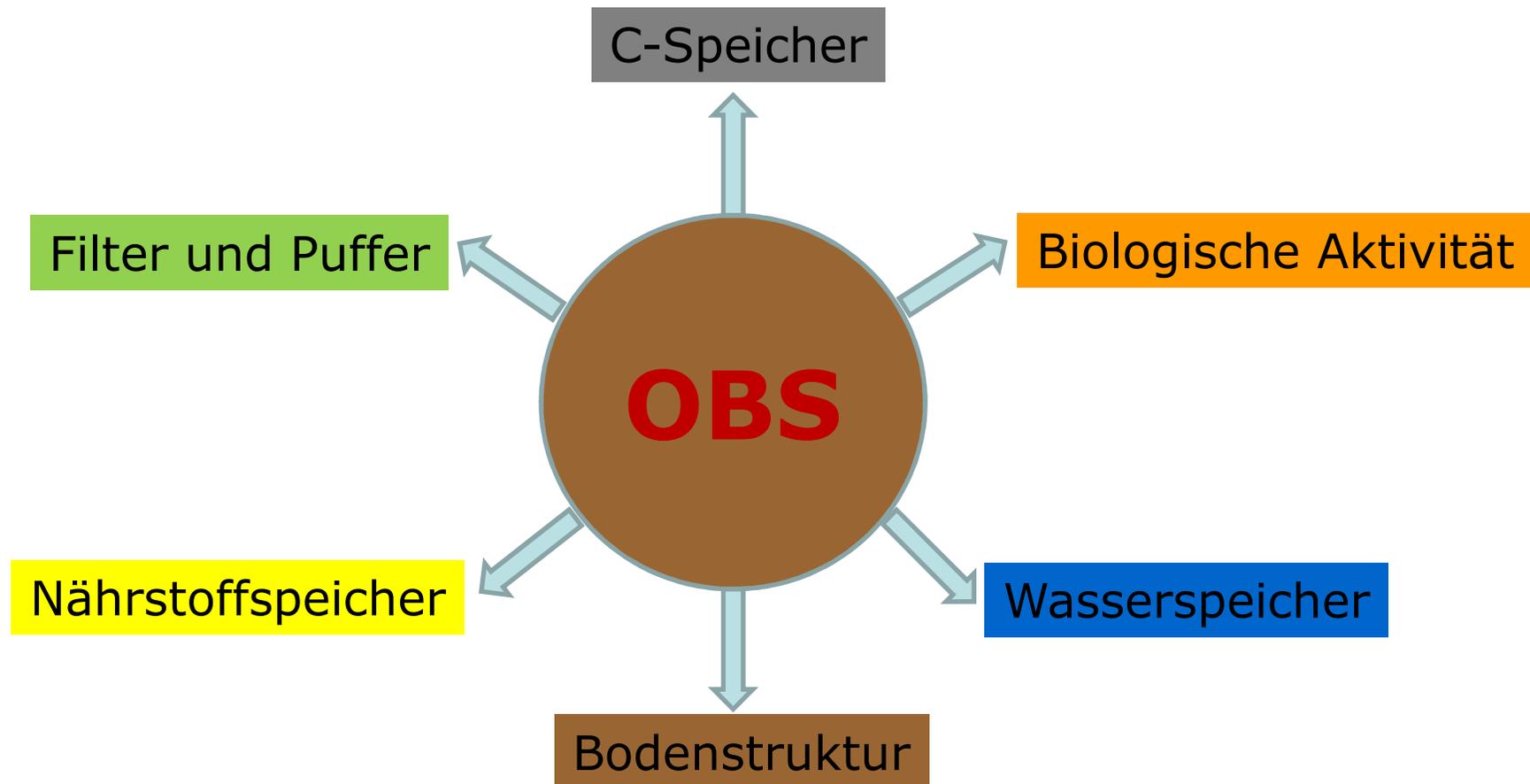
Relativerträge im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow 20jähriges Mittel





Organische Bodensubstanz als wesentlicher Träger der Bodenfruchtbarkeit

Funktionen der organischen Bodensubstanz



A photograph of a soil profile with a yellow measuring tape on the left side. The soil is dark brown and appears to be a humus-rich layer. The text 'Humus als Kohlenstoffspeicher' is overlaid on the image.

Humus als Kohlenstoffspeicher

Zahlen & Fakten

CO₂-Emissionen in Deutschland:

832 Mio. t pro Jahr

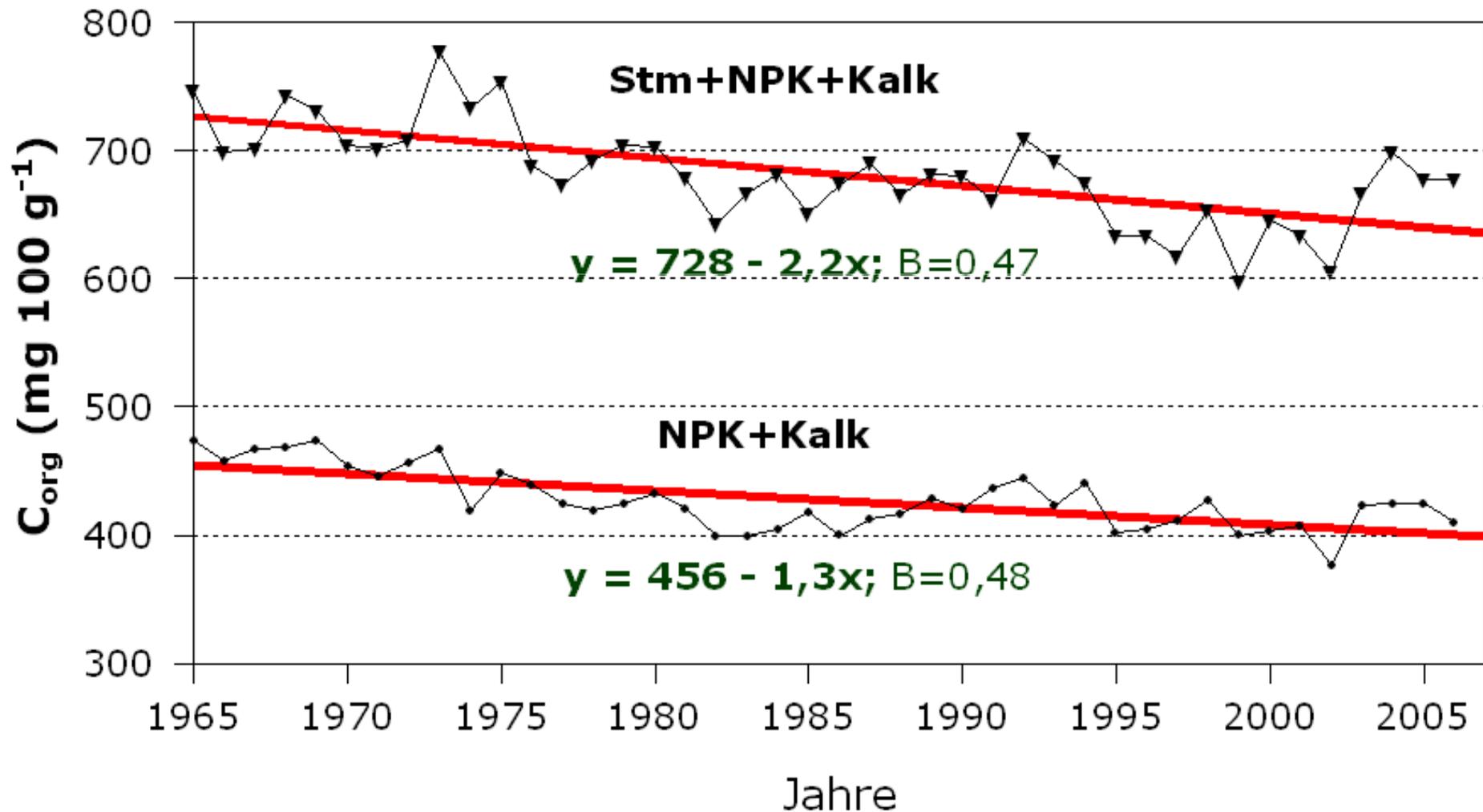
C-Speicher in 11,9 Mio ha Ackerland:

ca. 500 Mio. t C; ca. 1800 Mio. t CO₂

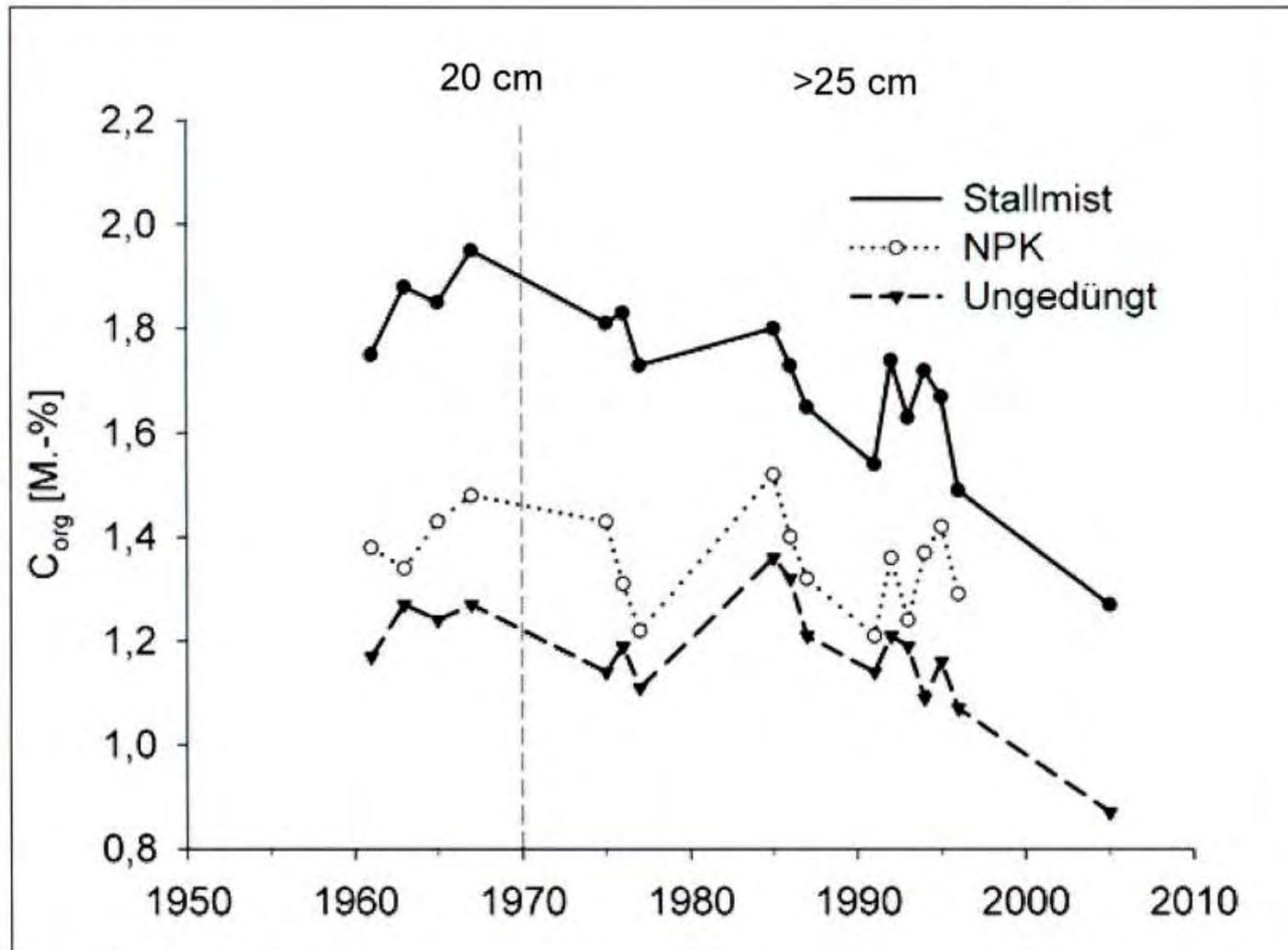
Humus-C in Ackerböden Deutschlands:

ca. 2,2faches der jährlichen CO₂-Emissionen

Entwicklung des C_{org} -Gehaltes im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow



Entwicklung der C_{org}-Gehalte im Dauerfeldversuch „Ewiger Roggenbau“, Halle/Saale (Christen 2009)



(SCHMITT, 2004; ULRICH, 2007)

Humus als Nährstoffspeicher

Kationenaustauschkapazität verschiedener Bodenbestandteile

| Bodenbestandteile | KAK (mval 100 g ⁻¹) |
|-------------------|---------------------------------|
| Kaolinit | 5 - 15 |
| Illite | 20 - 50 |
| Vermiculite | 100 - 150 |
| Huminstoffe | 200 - 500 |

Humus als Wasserspeicher

**Parameter eines leicht schluffigen Sandbodens
nach langjährig differenzierter Düngung ¹⁾**

Statischer Nährstoffmangelversuch Thyrow (1937)

| Prüfglied | C_{org} (%) | GPV (%) | MP (%) | FÄ (Vol.-%) | nFÄ (Vol.-%) |
|------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|
| Ungedüngt | 0,42 a | 48,2 a | 3,9 a | 21,6 a | 17,8 a |
| NPKCa | 0,48 b | 47,6 a | 4,5 a | 22,6 a | 18,8 a |
| Stallmist | 0,57 b | 49,8 a | 5,4 a | 23,5 a | 19,3 a |
| Stallmist+NPKCa | 0,72 b | 49,1 a | 6,9 b | 25,5 b | 20,5 b |

¹⁾ Untersuchung im Frühjahr 1992

FÄ = Feuchteäquivalent; Labormessung bei pF 1,8; nFÄ = nutzbares Feuchteäquivalent; Labormessung, FÄ-PWP



Humusproduktion

vs.

Bioenergieerzeugung

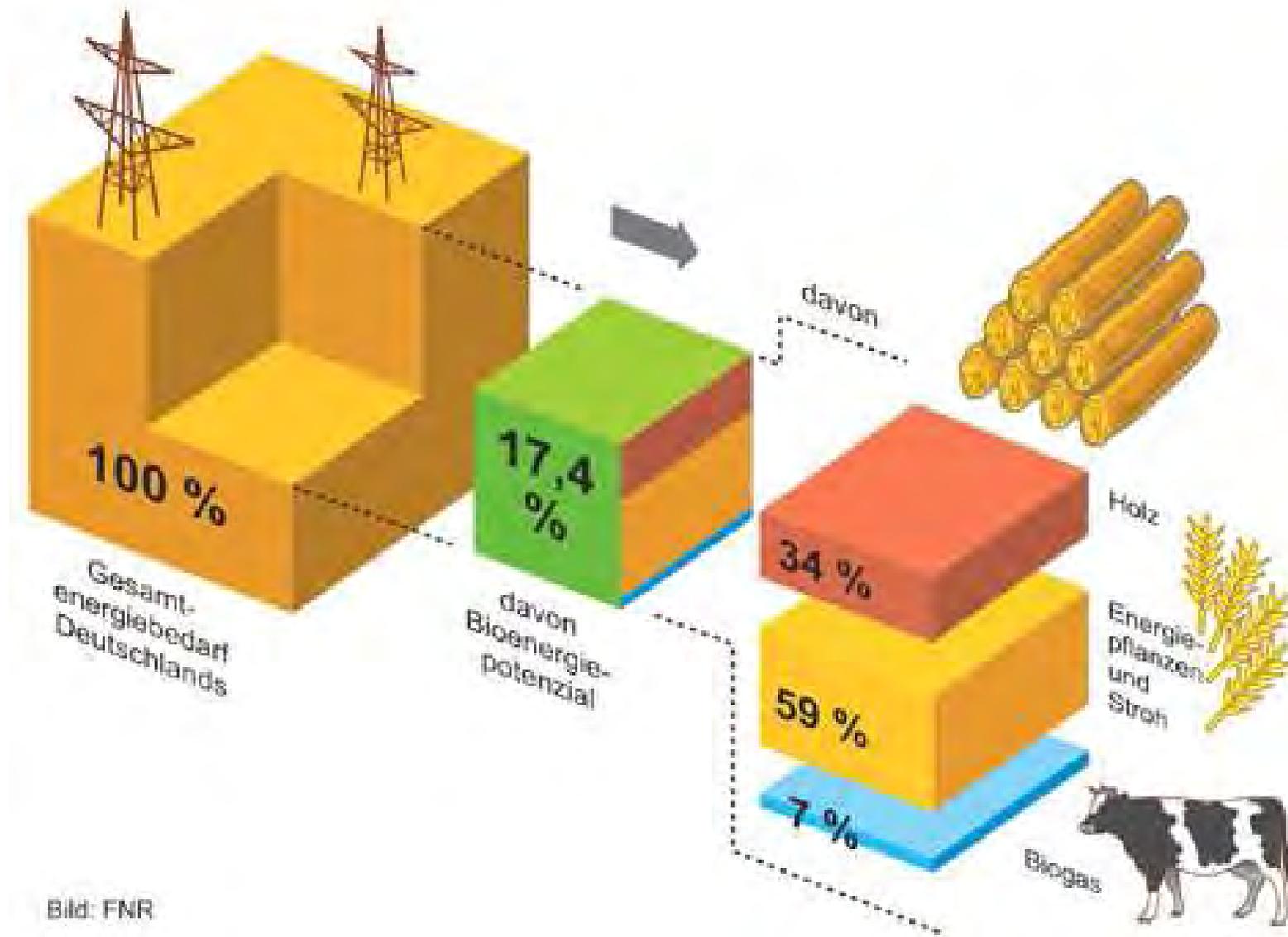


Bild: FNR

Wandel der Bodennutzungssysteme:

Biomasse-Fruchtfolgen

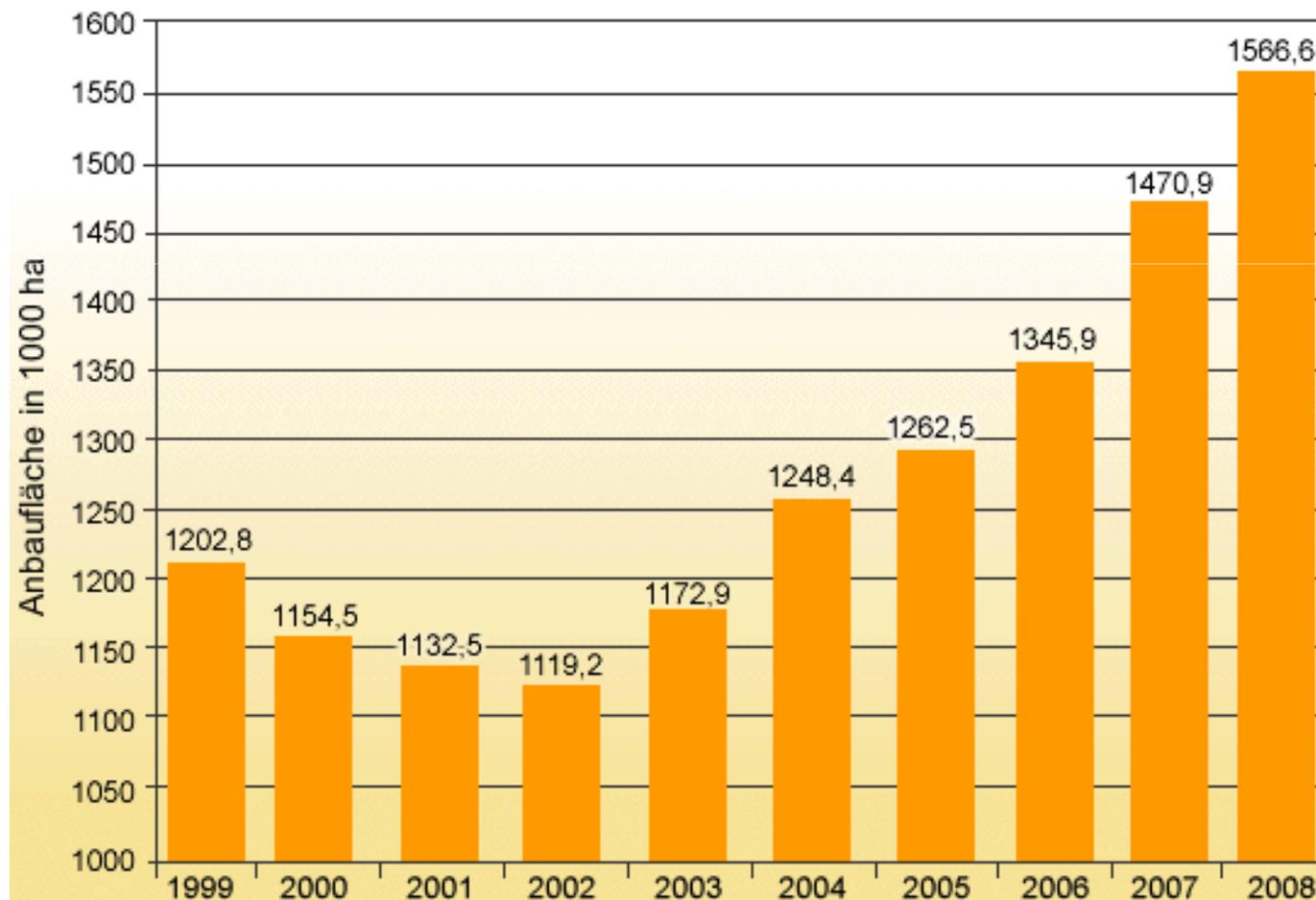


Anbausysteme, die ausschließlich oder überwiegend zum Erzeugen biogener Energieträger oder Rohstoffe dienen.

Entwicklung des Silomaisanbaus in Deutschland 1999 - 2008



Silomaisanbaufläche in Deutschland im
mehrjährigen Vergleich



Stand: Mai 2009

Lehr- und Forschungsstation Thyrow



Foto: M. Baumecker, 31.05.2008

Modellbetrachtung

Marktfrucht-Folge

Winterraps
Winterweizen
Futtererbsen
Winterroggen

Biomasse-Fruchtfolge

Silomais
Wintertriticale
Winterroggen

Statischer Feldversuch in der Lehr- und Forschungsstation der LGF/HU
am Standort Thyrow; begründet 2005

Humusbilanz bei Anbau von Silomais und Rückführung der Gärprodukte

(kg ha⁻¹ Humus-C)

| Abbau | Zufuhr mit 25 t ha ⁻¹ Gärrückstand | Bilanz |
|--------------|---|---------------|
| -560 | +250 | -310 |

Nach VDLUFA-Standpunkt „Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland“:

Gärrückstand mit 8 % TS = 10 kg ha⁻¹ Humus-C je t Substrat

Humusbilanzen der Modellfruchtfolgen am Standort Thyrow

a) Biomasse-Fruchtfolge

| Fruchtfolge | Bedarf / Zufuhr kg ha ⁻¹ Humus-C | Organische Düngung | | | Bilanz kg ha ⁻¹ Humus-C |
|--|--|----------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| | | Gärrest t ha ⁻¹ FM | Faktor kg Humus-C je t Substrat | Zufuhr kg ha ⁻¹ Humus-C | |
| Silomais (35 t FM ha ⁻¹) | -560 | 25 | 10 | +250 | -310 |
| Triticale-GPS (22 t FM ha ⁻¹) | -280 | 17 | 10 | +170 | -110 |
| Roggen-GPS (22 t FM ha ⁻¹) | -280 | 17 | 10 | +170 | -110 |
| Bilanz FF | -1120 | | | +590 | -530 |
| Bilanz je ha | -373 | | | +196 | -177 |

Gesamte Biomasse nach Silierung vollständig in Biogasanlage; Gärrestmenge vollständig in Ackerbau zurück;
Silierverluste: 12%; Vergärungsgrad: 80%

Humusbilanzen der Modellfruchtfolgen am Standort Thyrow

b) Marktfruchtfolge

| Fruchtfolge | Bedarf / Zufuhr kg ha ⁻¹ Humus-C | Organische Düngung | | | Bilanz kg ha ⁻¹ Humus-C |
|---|---|---------------------------------|--|--|--|
| | | Art/Menge t ha ⁻¹ | Faktor kg Humus-C je t Substrat | Zufuhr kg ha ⁻¹ Humus-C | |
| Winterraps (29,5 dt ha ⁻¹) | -280 | Stroh / 5 | 80 | +400 | +120 |
| Winterweizen (38,0 dt ha ⁻¹) | -280 | Stroh / 3 | 80 | +240 | -40 |
| Futtererbsen | +160 | - | - | - | +160 |
| Winterroggen (44,0 dt ha ⁻¹) | -280 | Stroh / 4 | 80 | +320 | +40 |
| Bilanz FF | -680 | | | +960 | +280 |
| Bilanz je ha | - 170 | | | + 240 | + 70 |

Humusbilanzen der Modellfruchtfolgen am Standort Thyrow

c) Marktfrucht-Biomassefolge

| Fruchtfolge | Bedarf / Zufuhr kg ha ⁻¹ Humus-C | Organische Düngung | | | Bilanz kg ha ⁻¹ Humus-C |
|---|---|---------------------------------|--|--|--|
| | | Art/Menge t ha ⁻¹ | Faktor kg Humus-C je t Substrat | Zufuhr kg ha ⁻¹ Humus-C | |
| Winterraps (29,5 dt ha ⁻¹) | -280 | Stroh / 5 | 80 | +400 | +120 |
| Winterweizen (38,0 dt ha ⁻¹) | -280 | Stroh / 3 | 80 | +240 | -40 |
| Silomais (350 dt ha ⁻¹) | -560 | GRS / 25 | 10 | +250 | -310 |
| Winterroggen (44,0 dt ha ⁻¹) | -280 | Stroh / 4 | 80 | +320 | +40 |
| Bilanz FF | -1400 | | | +1230 | -190 |
| Bilanz je ha | - 350 | | | + 310 | - 48 |

Fazit

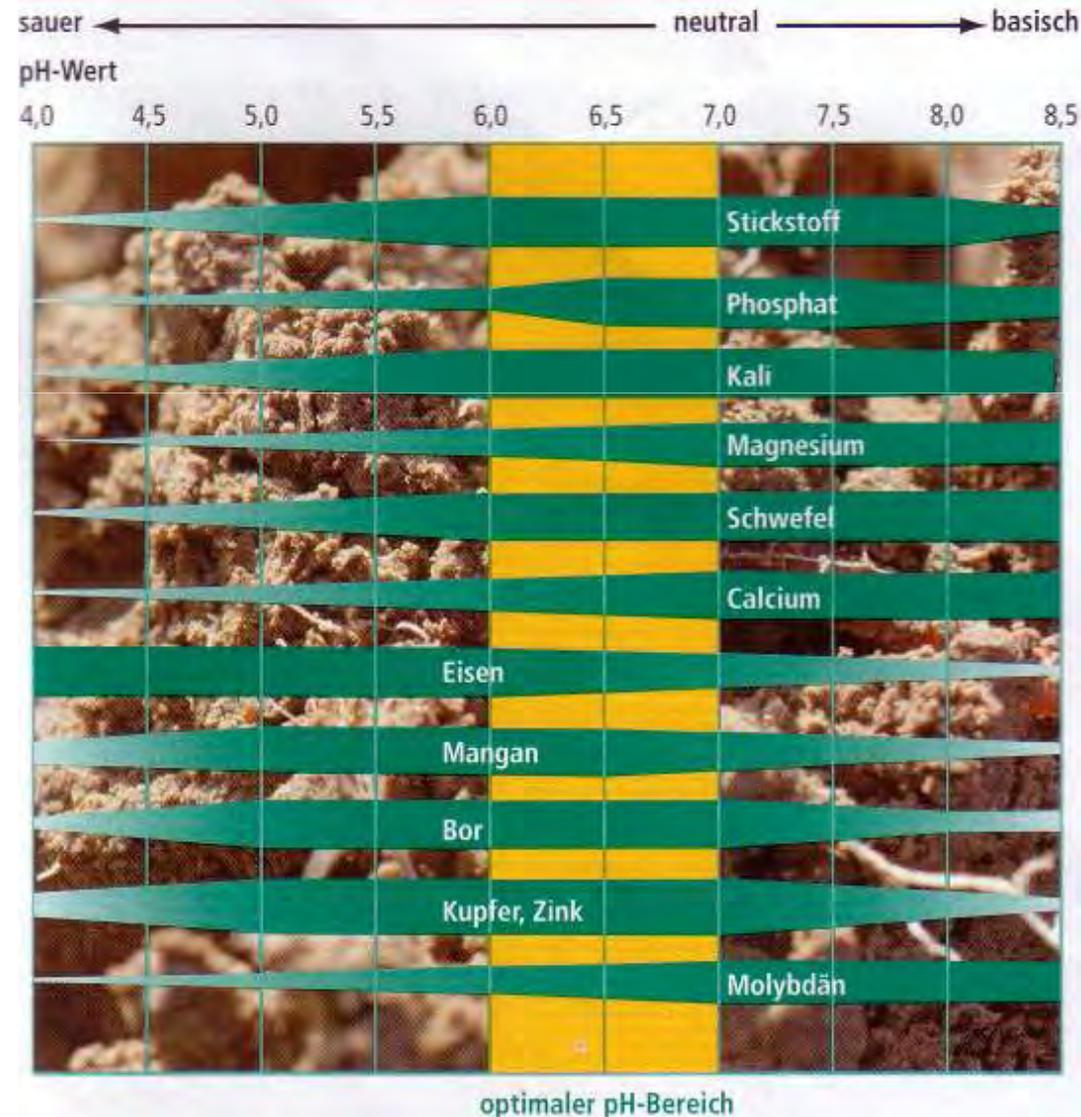
Bei Fermentation der gesamten Biomasse aus Energiepflanzen-Fruchtfolgen und unmittelbarer Rückführung der Gärrückstände in den Ackerbau ist die Humusreproduktion nach VDLUFA-Bilanzmethode nicht gewährleistet.

Dazu sind ausgewogene Fruchtfolgen unverzichtbar.

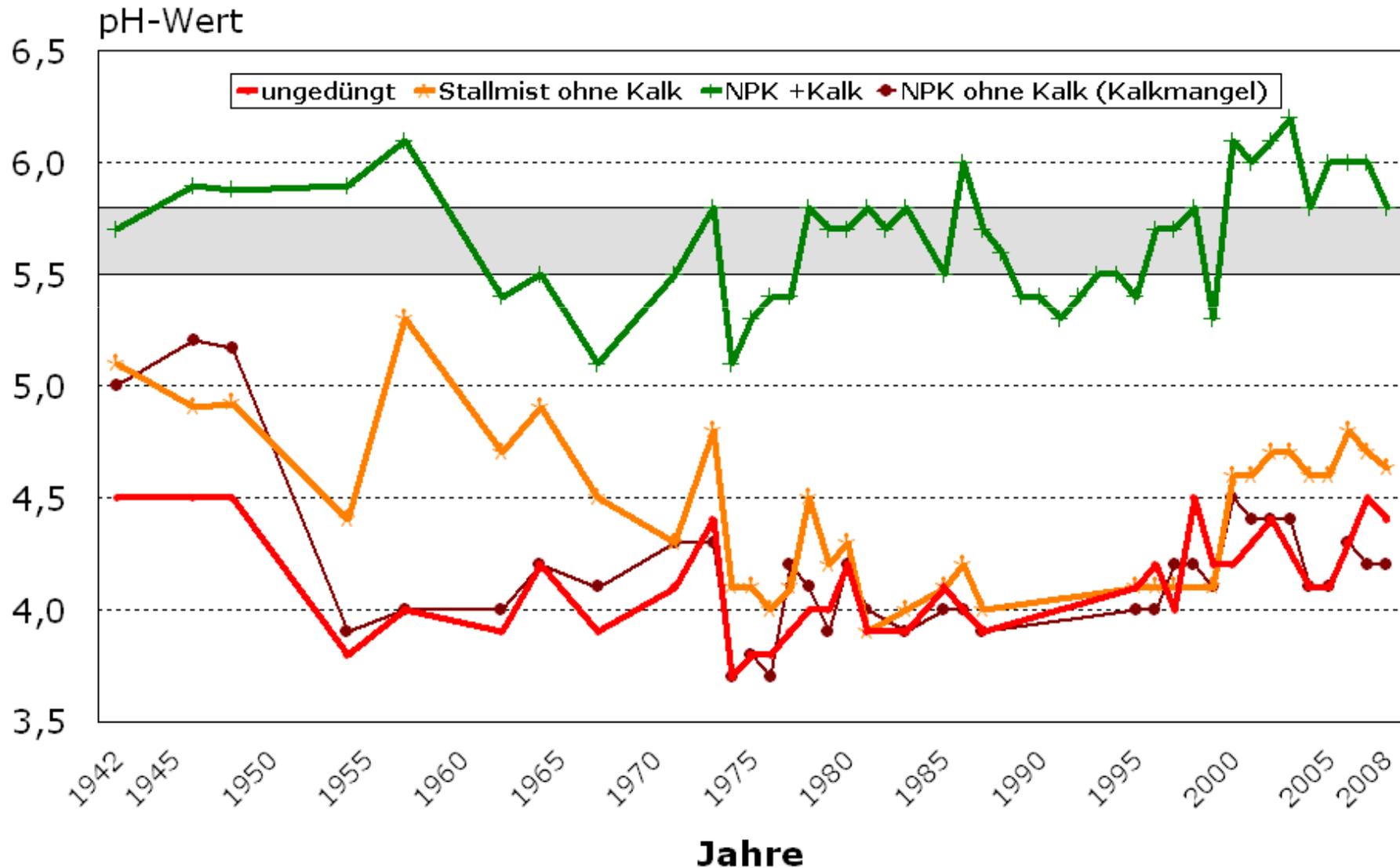


Bodenazidität

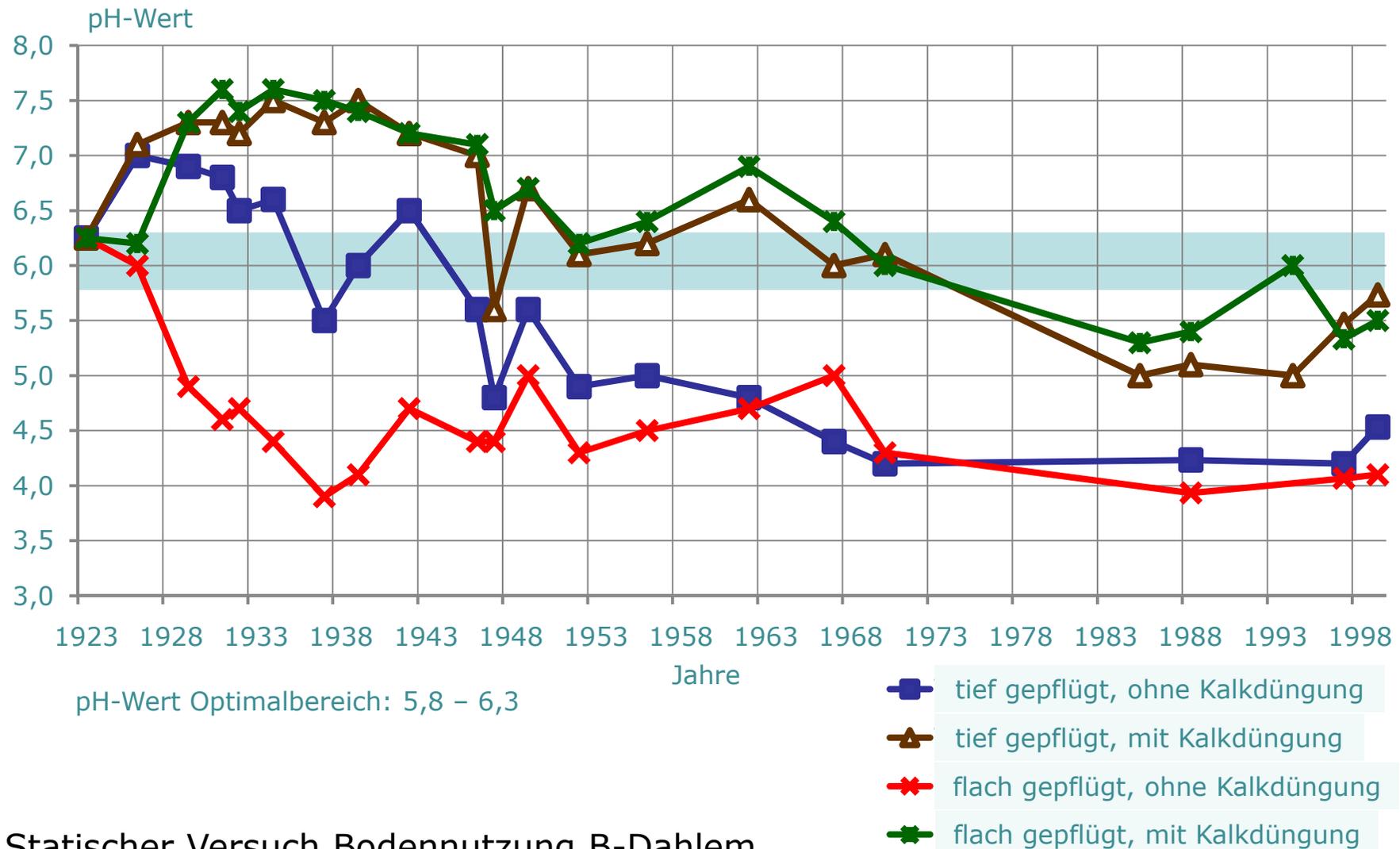
Beziehung zwischen Boden-pH-Wert und Verfügbarkeit von Nährstoffen



Entwicklung des pH-Wertes auf einem schwach schluffigen Sandboden in Abhängigkeit von der Düngung



Entwicklung des pH-Wertes eines mittel schluffigen Sandbodens bei langjährig differenzierter Kalk-Düngung und Bodenbearbeitung



Statischer Versuch Bodennutzung B-Dahlem



Bodenbiologische Aktivität

Makrofauna

Lumbricus terrestris



Aporrectodea icterica

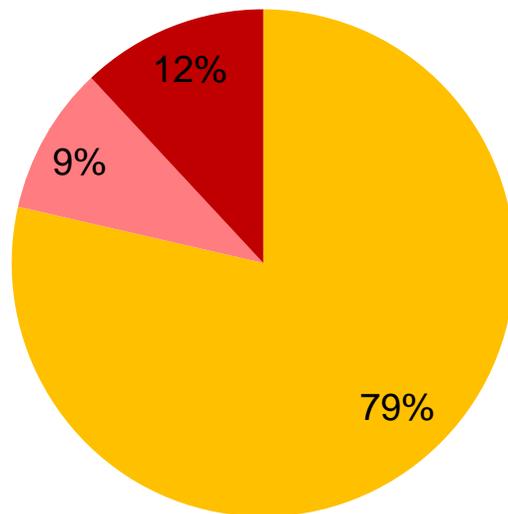


Einfluss differenzierter Bodenbearbeitung auf die Artenverteilung von Lumbriciden

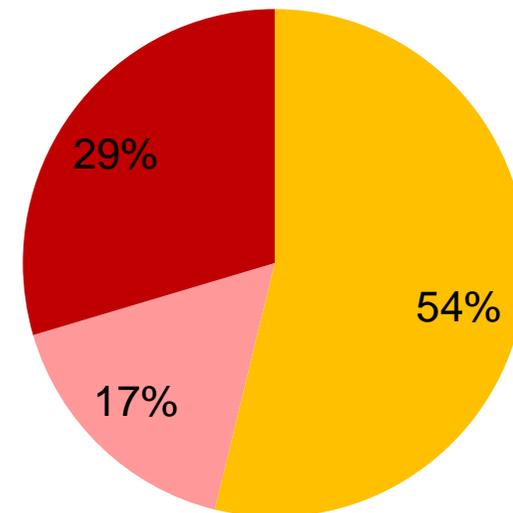
Endogäische Arten: *A. caliginosa* und *A. rosea*

Anektische Art: *L. terrestris*

Konventionelle Bodenbearbeitung



Pfluglose Bodenbearbeitung

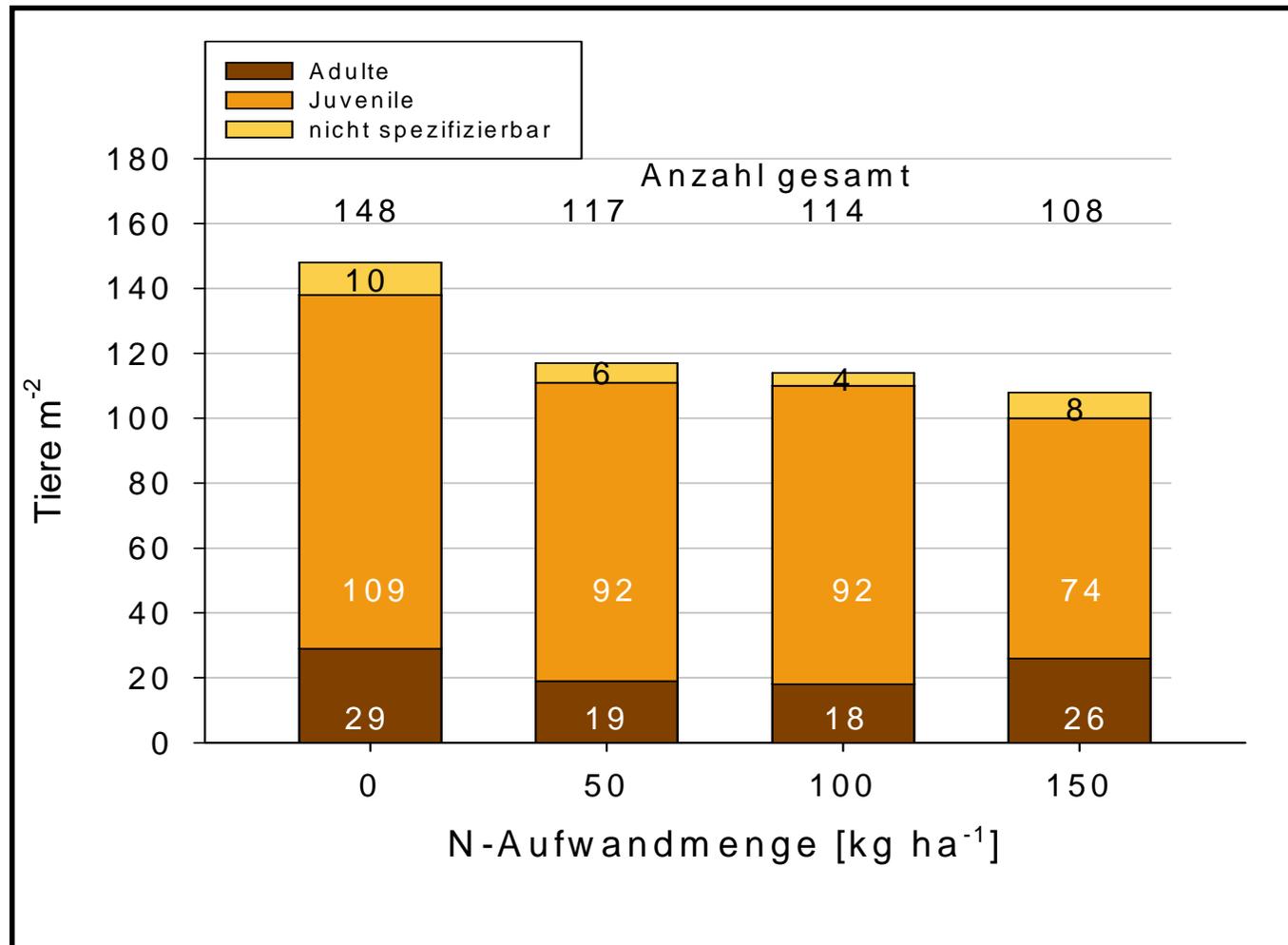


■ *A. caliginosa*

■ *A. rosea*

■ *L. terrestris*

Einfluss steigender Mengen an Gärprodukt aus der Biogaserzeugung auf die Abundanz von *Aporrectodea spec.* Feldversuch Berlin-Dahlem, April 2007



Mesofauna

Collembole
Orchesella villosa



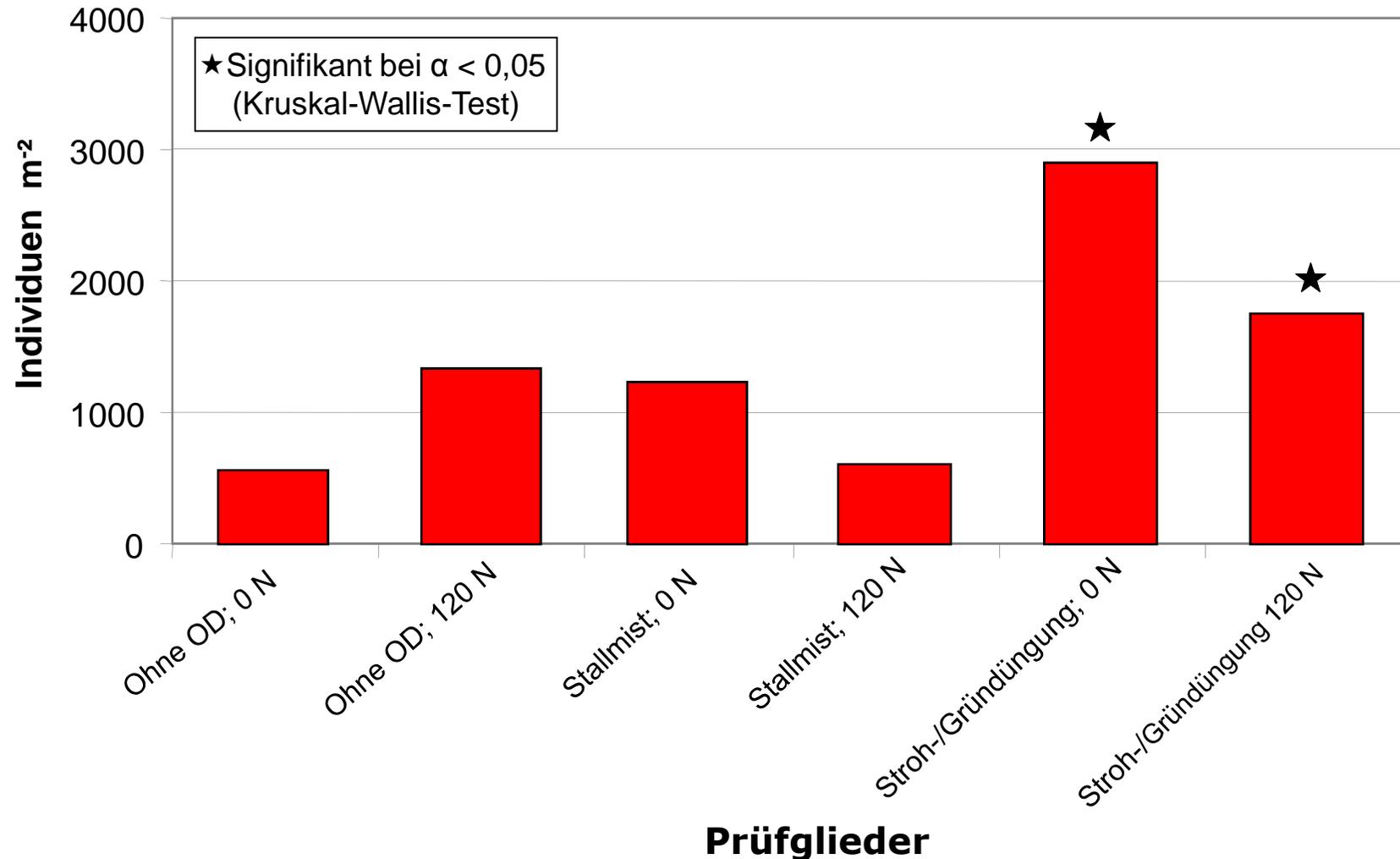
Raubmilbe
Dendrolaelaps rectus





Gelbsenbestand zur Gründüngung; 29.09.2006

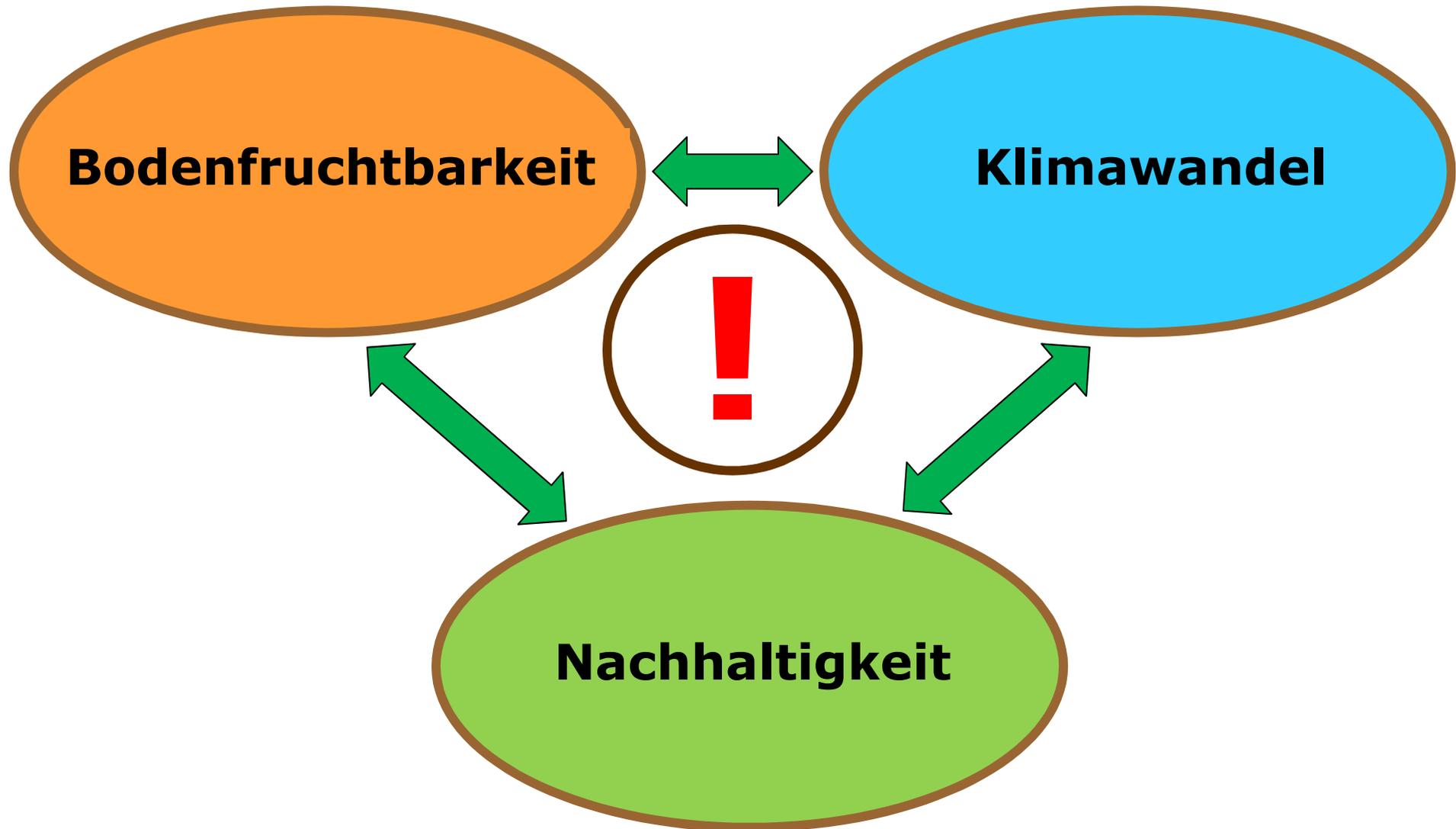
Abundanz von Bodenmikroarthropoden bei differenzierter organisch-mineralischer Düngung



Mittel von 4 Beprobungen 2000 und 2001 auf mittel schluffigem Sandboden; Berlin-Dahlem

Zum Schluss:

- Bodenfruchtbarkeit, Klimawandel und nachhaltige Bodennutzung stehen in wechselseitigem Zusammenhang.
- Anpassung an sich ändernde klimatische Bedingungen erfordert, das System Boden-Pflanze pufferfähiger gegenüber externen Einflüssen zu machen.
- Um die Funktionalität des Bodens zu erhalten und zu verbessern, müssen chemische, physikalische und biologische Faktoren als Einheit betrachtet werden. Damit kann die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig gesichert werden.





Danke für's Zuhören...

**...und ein erfolgreiches
Ackerbau-Jahr 2010**