

Module für die Durchführung von Theorieveranstaltungen zur Bodenzustandserfassung und -bewertung



Referentenmodul

Vorbereitung einer Theorieveranstaltung

Modul 1

Bodenfruchtbarkeit und Bodenproduktivität

Modul 2

Bodendichte und Bodenverdichtung

Modul 3

Bodenbildung und Bodenverbreitung

Modul 4

Bodenphysik und Bodenfruchtbarkeit

Modul 5

Bodenchemie und Bodenfruchtbarkeit

Modul 6

Bodenbiologie und Bodenfruchtbarkeit

Modul 7

Bodenschonende Bewirtschaftung

Referentenmodul

Vorbereitung einer Theorieveranstaltung

- Zielgruppenbeschreibung
- Festlegung der Veranstaltungsart, -dauer und -inhalte

Leitfrage	Erläuterung
Ist die Zielgruppe von dem vorliegenden Thema direkt berührt?	Es handelt sich um Landwirte, Berater, Auszubildende oder andere. Die Teilnehmer bzw. die Referenten sind direkt von dem Thema berührt, z. B. auf dem eigenen Betrieb oder während der Beratungsarbeit. Es kann sich um ein bestehendes Problem handeln oder ein erhöhtes Interesse an den Themen Bodenfruchtbarkeit und Bodenschadverdichtung vorliegen.
Welcher Wissensstand zu den Themen Bodenfruchtbarkeit und Bodenverdichtung besteht bei den Teilnehmern?	Bei den meisten Teilnehmern besteht bereits Vorwissen aus praktischen Erfahrungen und/oder theoretischen Kenntnissen durch Aus- und Weiterbildung. Die Modulauswahl und die Inhalte sind an die Vorkenntnisse der Teilnehmer auszurichten.
Welche Gruppengröße ist zu erwarten?	Im Rahmen von Theorieveranstaltungen wird eine Gruppengröße von 10 bis 20 Teilnehmern empfohlen. Vortragsveranstaltungen können mit größeren Gruppen abgehalten werden.

Leitkriterium	Erläuterung
Auswahl der Veranstaltungsart und -dauer	Vortragsveranstaltungen: 1 bis 2 Stunden Seminare: halb- bis ganztägig Workshops: ein- bis dreitägig
Zielsetzung der Veranstaltung	Der Referent legt den inhaltlichen Umfang und die Lernziele der Veranstaltung fest.
Auswahl fachlicher Inhalte	Die Inhalte werden nach den Erwartungen der Teilnehmer und dem zeitlichen Rahmen ausgewählt. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Vorkenntnisse, dem Arbeitsumfeld sowie den Handlungsmöglichkeiten der Teilnehmer.
Kommunikative Gestaltung	Auswahl der Veranstaltungsmaterialien (z. B. Präsentation, Poster und Tutorials) und der kommunikativen Elemente (Einbindung der Teilnehmer) zur Wissensvermittlung (z. B. Anwenderhandbuch und BASIS TERRA BOX).

Zur Vorbereitung und inhaltlichen Ergänzung von Theorieveranstaltungen können folgende Materialien verwendet werden:

Anwenderhandbuch zum BASIS TERRA TEST und BASIS TERRA BOX:
Praktische Methoden zur Bodenzustandserfassung und -bewertung von Acker- und Grünland

Tutorials zum BASIS TERRA TEST:
Videos zu praktischen Methoden zur Bodenzustandserfassung und -bewertung von Acker- und Grünland

Praxisleitfaden Bodenverdichtung:
Maßnahmen zur Vermeidung und Behebung von Bodenschadverdichtung auf Acker- und Grünland

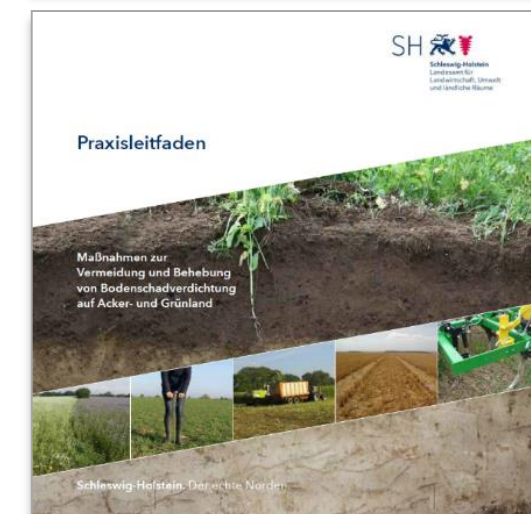
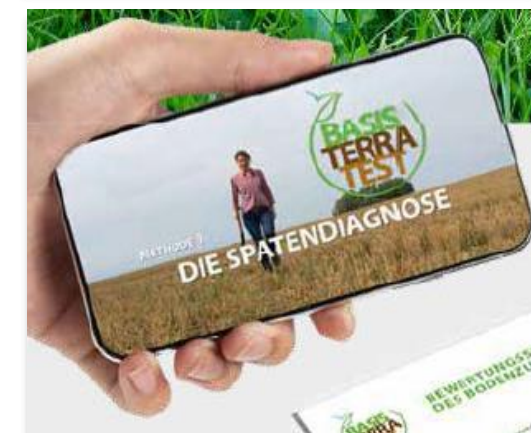
Module für die Durchführung von Praxisveranstaltungen zur Bodenzustandserfassung und -bewertung

Verfügbar über folgenden QR-Code:



oder unter:

www.schleswig-holstein.de/Bodenzustandserfassung



Weiterführend kann folgende Literatur hinzugezogen werden:

LLUR SH (Hrsg.): Die Böden Schleswig-Holsteins. Schriftenreihe LLUR SH - Geologie und Boden, 23, 2019. ISBN: 978-3-937937-94-6.

LLUR SH (Hrsg.): Quer durch Schleswig-Holstein. Unseren Boden begreifen. Schriftenreihe LLUR SH - Geologie und Boden, 13, 2011. ISBN: 978-3-937937-37-3.

LfL (Hrsg.): Bodenstruktur erkennen und beurteilen - Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten. 8. Aufl. LfL-Information, 2017.

aid infodienst (Hrsg.): Gute fachliche Praxis - Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. 2. Aufl., 2015. ISBN: 978-3-8308-1166-4.

Schmidtke, K.-D.: Die Entstehung Schleswig-Holsteins. 4. Aufl. Wachholtz Verlag, Neumünster, 2004. ISBN: 3-529-05316-3.

UBA (Hrsg.): Entwicklung eines Prüfkonzepthes zur Erfassung der tatsächlichen Verdichtungsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Böden, 2010. <http://www.uba.de/uba-info-medien/4027.html>.

UBA (Hrsg.): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/Regelungen zur Gefahrenabwehr, 2004. <http://www.umweltbundesamt.de>.

Vertiefende Literatur:

Scheffer, F., Schachtschabel, P.: Lehrbuch der Bodenkunde. 17. Aufl., Spektrum, Heidelberg, 2018. ISBN: 978-3-662-55870-6.

Blume, H.-P. (Hrsg.): Handbuch des Bodenschutzes - Bodenökologie und -belastung. Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. 3. Aufl. ecomed, Landsberg, 2004. ISBN: 978-3609658537.

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten (Hrsg.): Bodenkundliche Kartieranleitung KA5, Hannover, 2005. ISBN 978-3-510-95920-4.

Sauerbeck, D.: Funktion, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrarchemischer Sicht. Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart und Mainz, 1985, 259 S.

Modul 1

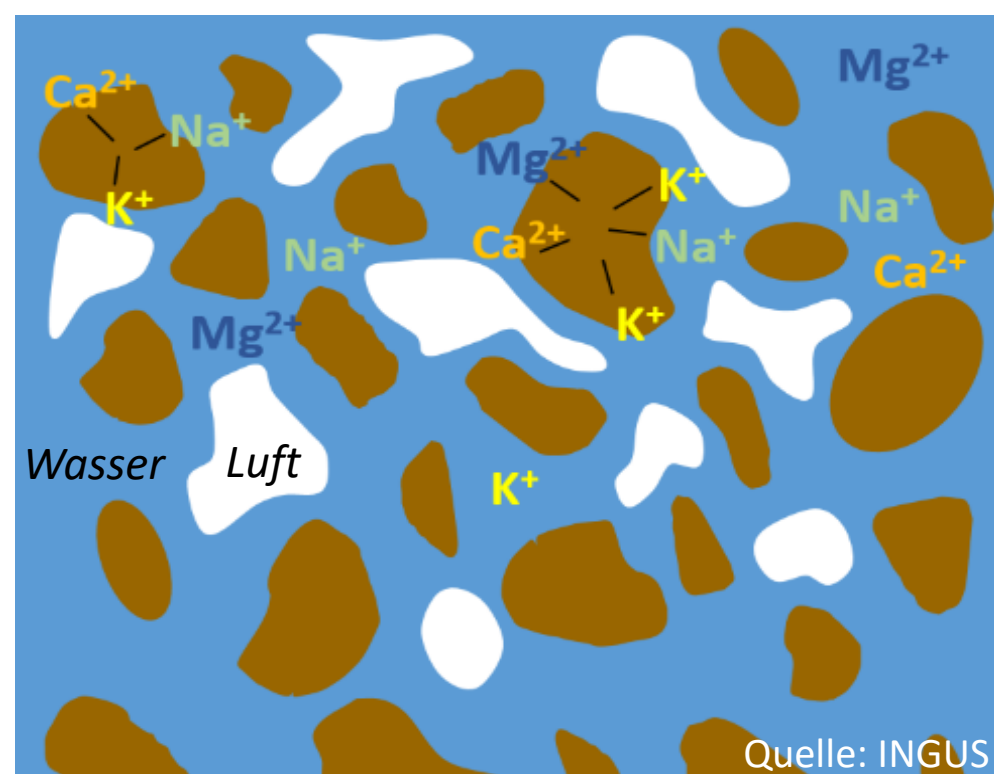
Bodenfruchtbarkeit und Bodenproduktivität



Bodenfruchtbarkeit ist die natürliche Fähigkeit des Bodens, Pflanzen als Standort zu dienen und ihnen ein gesundes Wachstum zu ermöglichen (Sauerbeck, 1985).

Funktionen eines fruchtbaren Bodens als nachhaltiger Standort für Kulturpflanzen:

- hohe Gefügestabilität
- ausreichende Speicherung und Bereitstellung von Wasser und Luft
- ausgeglichener Wärmehaushalt
- ausreichendes Nährstoffangebot
- hohe biologische Aktivität
- ausgeglichener Humusvorrat
- tiefgründige Durchwurzelbarkeit



Wasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt



Hohe Regenwurmdichte



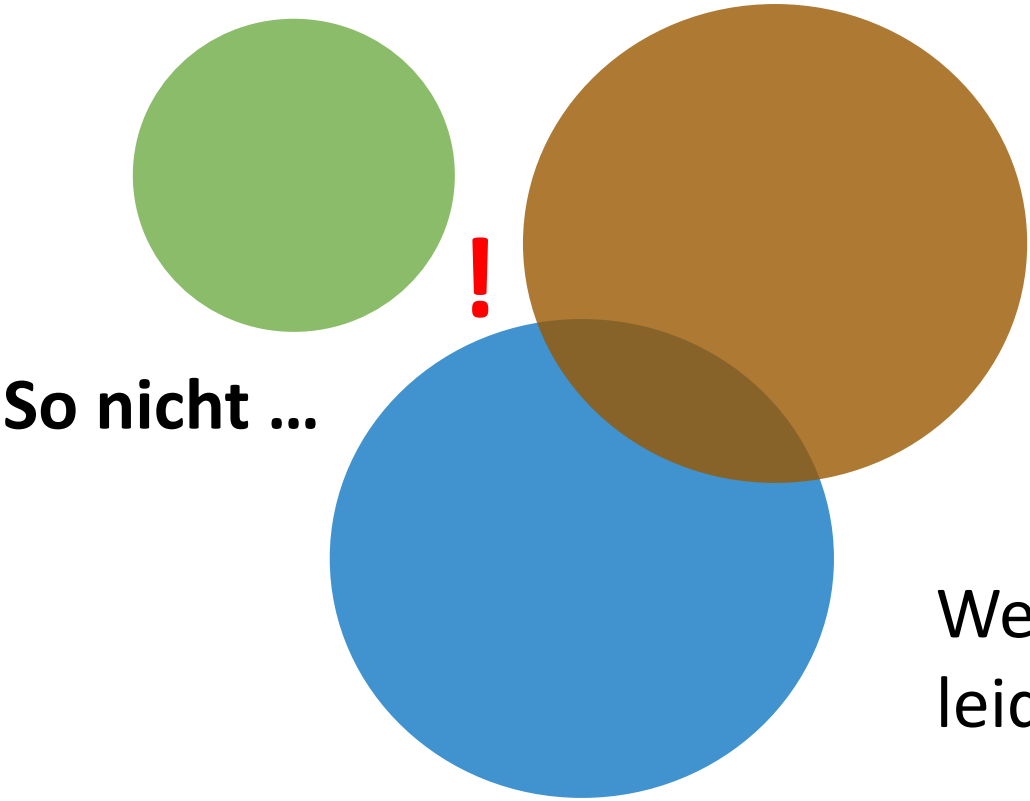
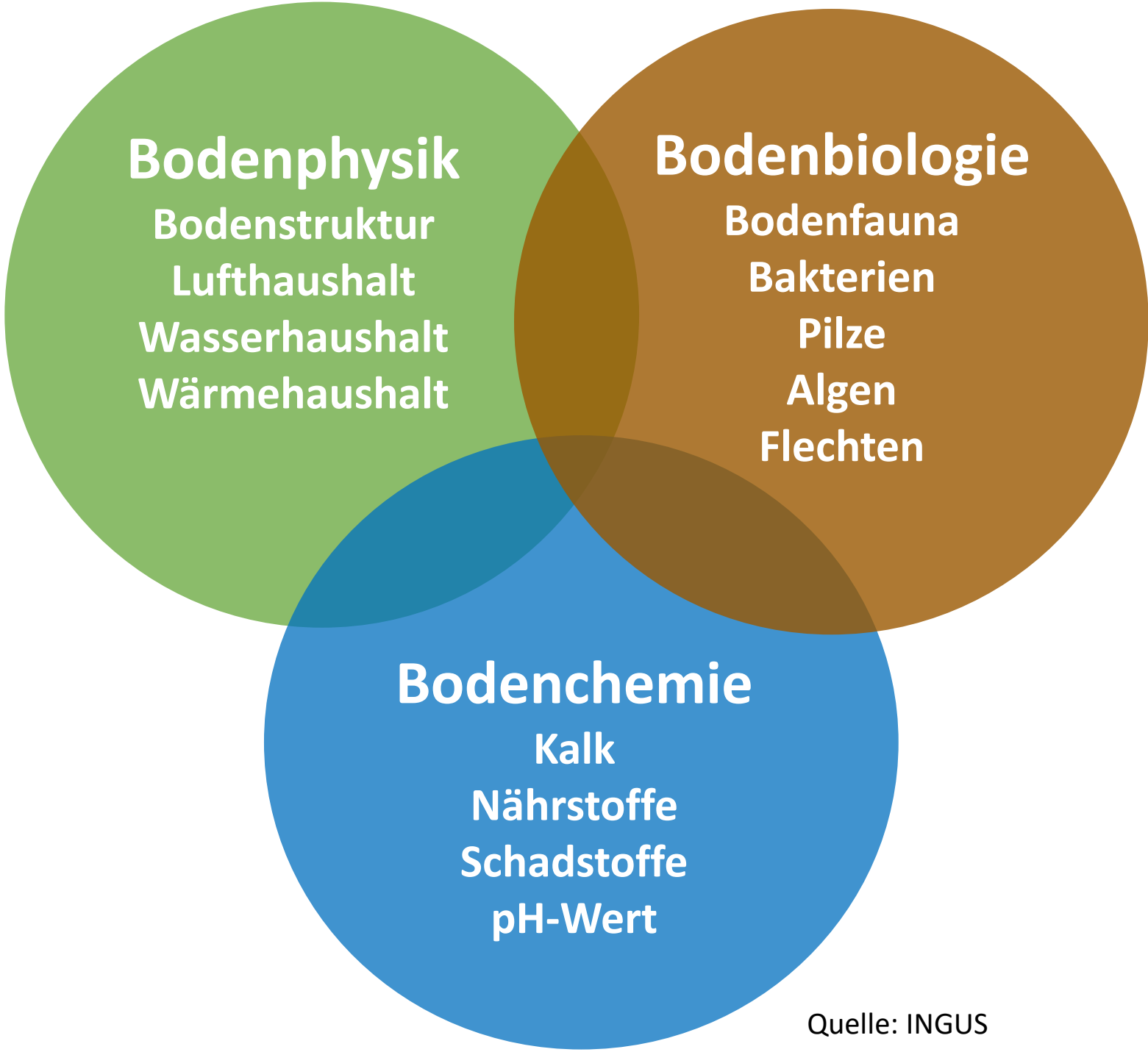
Tiefgründige Durchwurzelbarkeit



Bodenphysikalische, bodenbiologische und bodenchemische Faktoren

... stehen in wechselseitigem Zusammenhang und müssen ganzheitlich betrachtet werden.

Nur wenn jeder Faktor optimal ist, wird die maximale Bodenfruchtbarkeit erreicht.



Wenn bereits ein Faktor nicht stimmt, leidet die Bodenfruchtbarkeit erheblich!



Bodenproduktivität ist die aus der Bodenfruchtbarkeit resultierende standörtliche Ertragsleistung pro Flächeneinheit und gewährleistet...

- die Ausschöpfung des natürlichen Ertragspotentials sowie
- die Sicherung der Ertragsstabilität

Ertrag Wintergerste:
70 bis 80 dt/ha



Foto: Dr. Filipinski, LLUR

Sandboden

mäßig	←	Gefüge	→	gut
gering	←	Wasserspeicherung	→	hoch
sehr gut	←	Durchlüftung	→	gut
gering	←	Nährstoffangebot	→	hoch
gut	←	Durchwurzelbarkeit	→	sehr gut

Ertrag Wintergerste:
90 bis 100 dt/ha



Foto: Dr. Filipinski, LLUR

Lehmboden

Die standörtliche Bodenfruchtbarkeit und Bodenproduktivität werden durch bewirtschaftungsbedingte Bodenverdichtung geschädigt.

Modul 2

Bodendichte und Bodenverdichtung

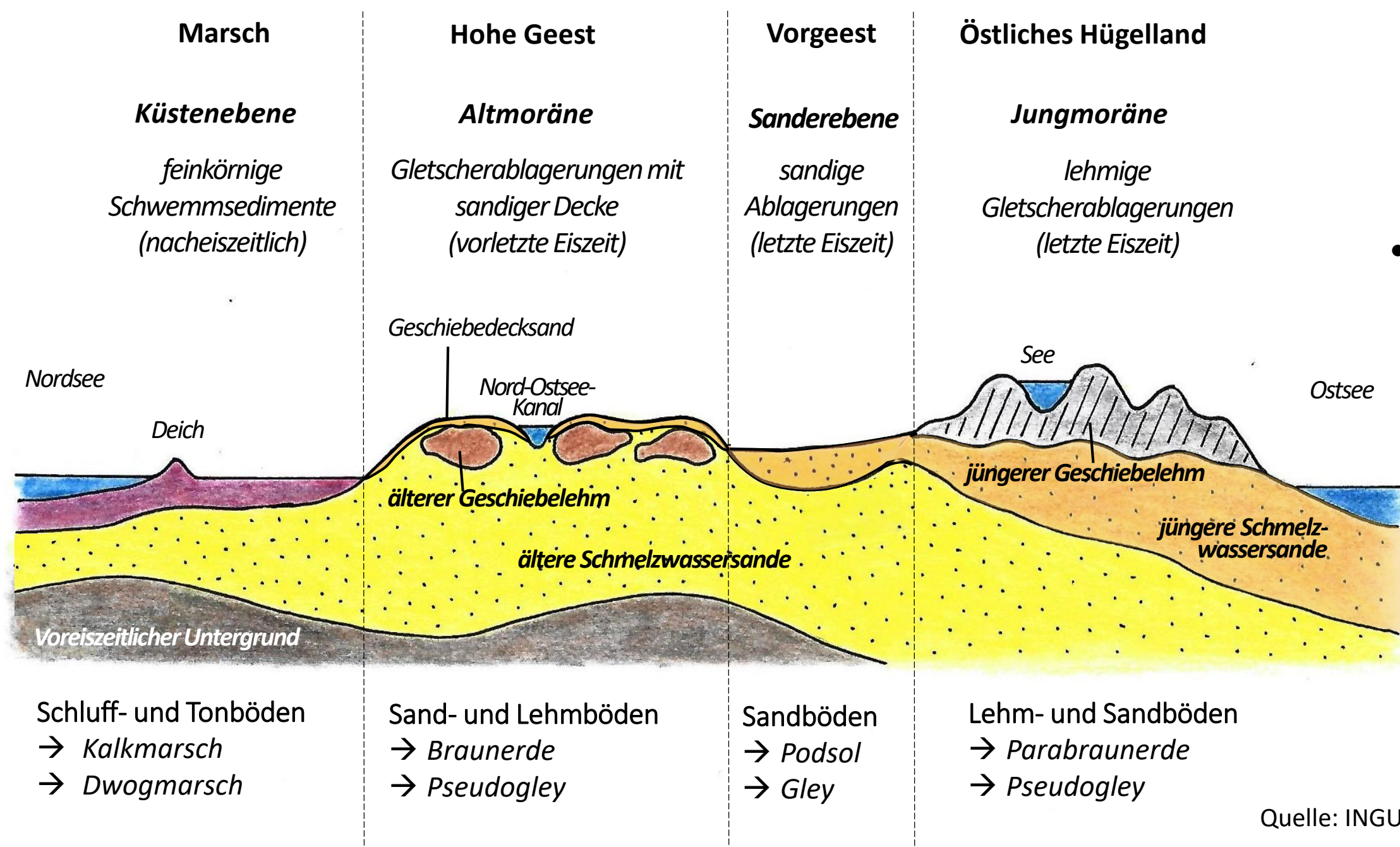




Jedes Ausgangsgestein, aus dem in den letzten 10.000 Jahren in Norddeutschland ein Boden entstanden ist, bringt seine eigene Dichte mit. Die **Gesteinsdichte** wird wesentlich von der **Entstehungsgeschichte** eines Ausgangsgesteins bestimmt.

Fast alle bodenbildenden Ausgangsgesteine in Schleswig-Holstein sind durch die letzten beiden **Eiszeiten** entstanden, oder, wie die noch jüngeren Marschen sowie Torfe und Kolluvien, sogar erst in der Nacheiszeit.

Es sind sog. **Lockergesteine**, aber je nachdem wie sie entstanden sind, unterschiedlich dicht gelagert:



- Eiszeitliche Sande in der Vorgeest sind von Natur aus lockerer gelagert.
- Dagegen ist der unter dem Eis entstandene Geschiebelehm/-mergel in Ostholstein aufgrund der ehemaligen Eisaufgabe von Natur aus dichter gelagert.

Natürliche Arten der Bodenverdichtung

- Sackungsverdichtung durch Eigengewicht des Bodens (einschließlich Wasser)

Nasse Böden sind schwerer als trockene Böden und verdichten stärker...

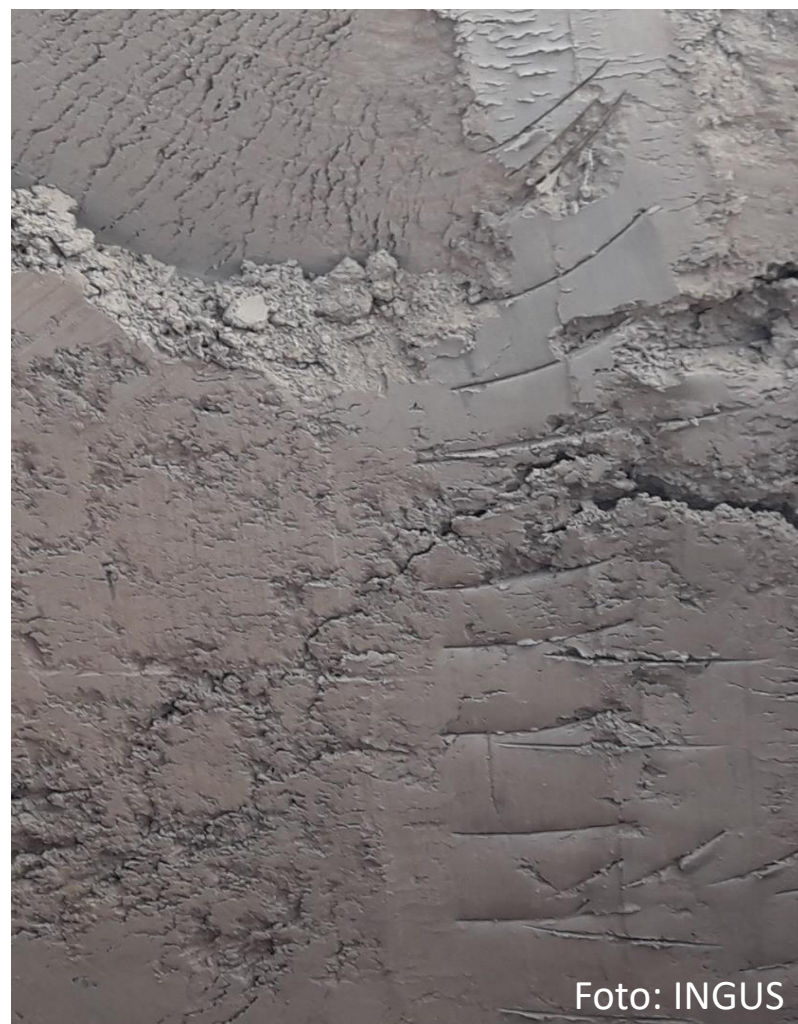


Foto: INGUS

Sackungsverdichtung eines wassergesättigten Schluffbodens

- Einlagerungsverdichtung durch Einschlammung von Feinboden

Regen kann feine Bodenteilchen in grobe Poren eintragen, diese verschließen und den Boden so verdichten...



Foto: INGUS

Schluff-Einwaschung in Sekundärporen, z. B. Bodenrisse

- Einlagerungsverdichtung durch Freisetzung und Verlagerung von Feinboden oder Eisen- und Aluminiumoxiden

Feine Verwitterungsrückstände waschen im Unterboden ein und verdichten diesen...



Foto: Dr. Filipinski, LLUR

Parabraunerde mit Ton-Einwaschung in den Unterboden (Bt-Horizont)

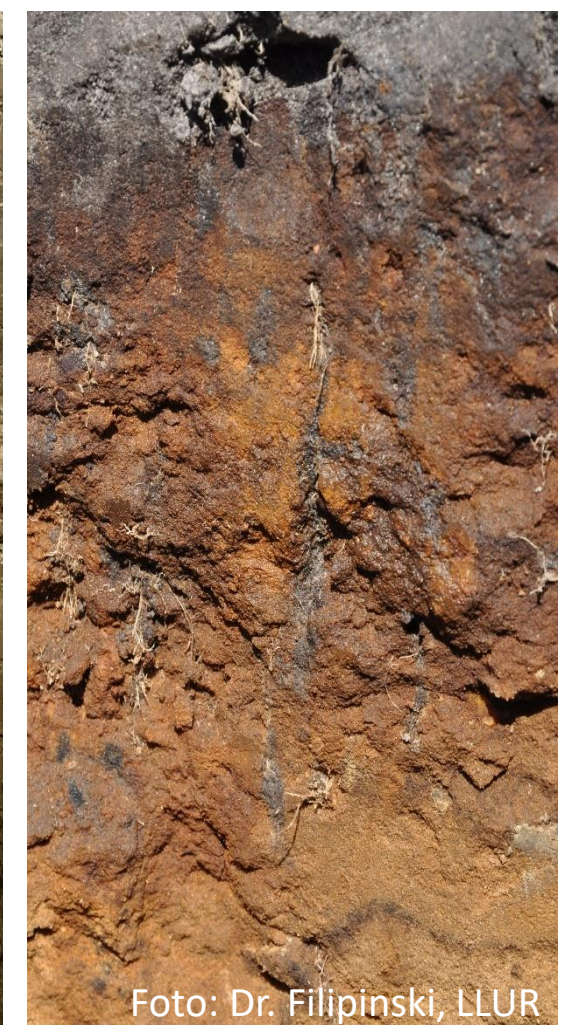


Foto: Dr. Filipinski, LLUR

Ortstein entstanden durch Verlagerung von Eisen- und Aluminiumoxiden



Bewirtschaftungsbedingte Bodenverdichtung...

- ist nur in sehr wenigen Fällen erwünscht, z. B. als Rückverdichtung zur Herstellung von Bodenschluss bei der Saatbettbereitung
- wirkt sich in den meisten aber nachteilig auf die Bodenproduktivität aus:



Foto: Dr. Gernandt

Schadbild

Verdichtungskraft

Klumpenbildung

Zug und Schub

0 cm



80 cm

Foto: INGUS

Schadverdichteter Sandboden

5 cm

Druckrollenverdichtung

Druck

10 cm

Grubbersohlenverdichtung

Zug

35 cm

Pflugsohlenverdichtung

Zug

50 cm

Unterbodenverdichtung

Druck und Vibration

Bodenschadverdichtung bedeutet...

das Porensystem ist bewirtschaftungsbedingt soweit reduziert, dass Bodeneigenschaften bzw. -funktionen zweitweise oder dauerhaft gestört sind.

Bodeninnere Verdichtungsursachen

- hohe Bodenfeuchte
- Kalkmangel
- Humusverlust
- gestörtes Bodenleben
- schlechte Durchwurzelung



Foto: INGUS
Wassergesättigter Boden



Foto: Dr. Filipinski, LLUR
Bodenverlust durch Winderosion

Bodenäußere Verdichtungsursachen

- Hohes Maschinengesamtgewicht
- hohe Radlast
- hohe Überrollhäufigkeit
- hoher Reifenschlupf
- hoher Reifeninnendruck
- geringe Reifenkontaktfläche



Foto: INGUS
Tiefe Fahrspur durch zu hohe Radlast und Reifenschlupf

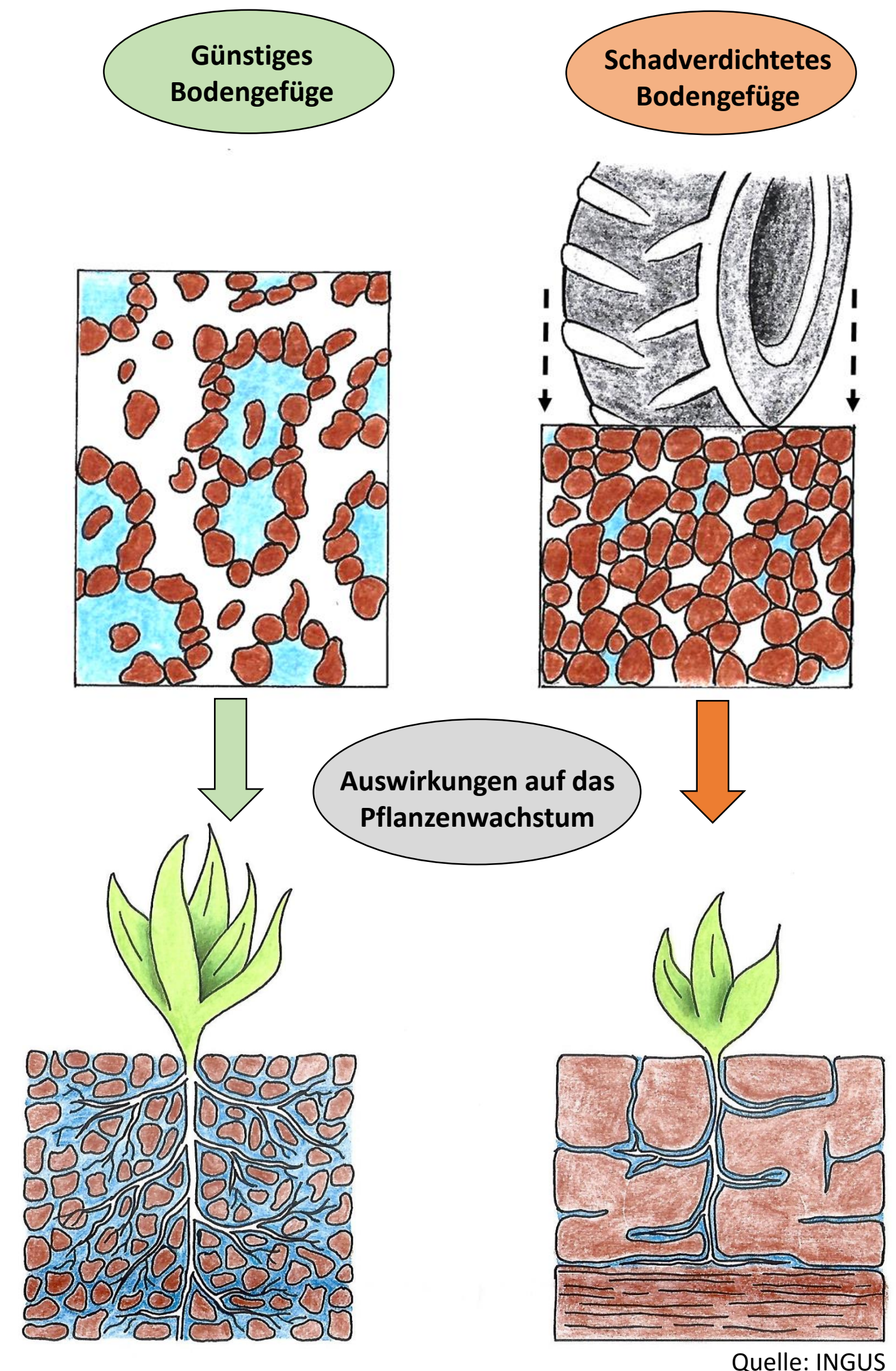
... für die Bodeneigenschaften

- Verlust an Bodengefüge
- Abnahme des Gesamt-Porenvolumens
- Abnahme durchwurzelbarer Grobporen
- Abnahme der Porendurchgängigkeit
- Abnahme luft- und wasserleitender Poren
- Zunahme der Totwasserporen
- Schädigung des Bodenlebens



Großflächig gehemmte Regeninfiltration infolge von bewirtschaftungsbedingten Bodenschadverdichtungen

Foto: INGUS



Quelle: INGUS

... für die Bodenfunktionen

- Einschränkung des Wurzelraums
- Verschlechterung des Lufthaushaltes
- Verringerung des nutzbaren Wasserangebotes
- Verringerung der Nährstoffverfügbarkeit



Foto: INGUS

Nassstellen durch gehemmte Regeninfiltration infolge bewirtschaftungsbedingter Bodenschadverdichtungen

- geringere Regenverdaulichkeit, erhöhter Oberflächenabfluss und Erosion



Foto: INGUS

Gestörter Gasaustausch durch Bodenverkrustungen infolge bewirtschaftungsbedingter Bodenschadverdichtungen

- verzögerte Bodenerwärmung
- erhöhte Stauwassergefahr



Foto: INGUS

Großflächige Wassererosion infolge bewirtschaftungsbedingter Bodenschadverdichtungen



... auf landwirtschaftliche Erträge

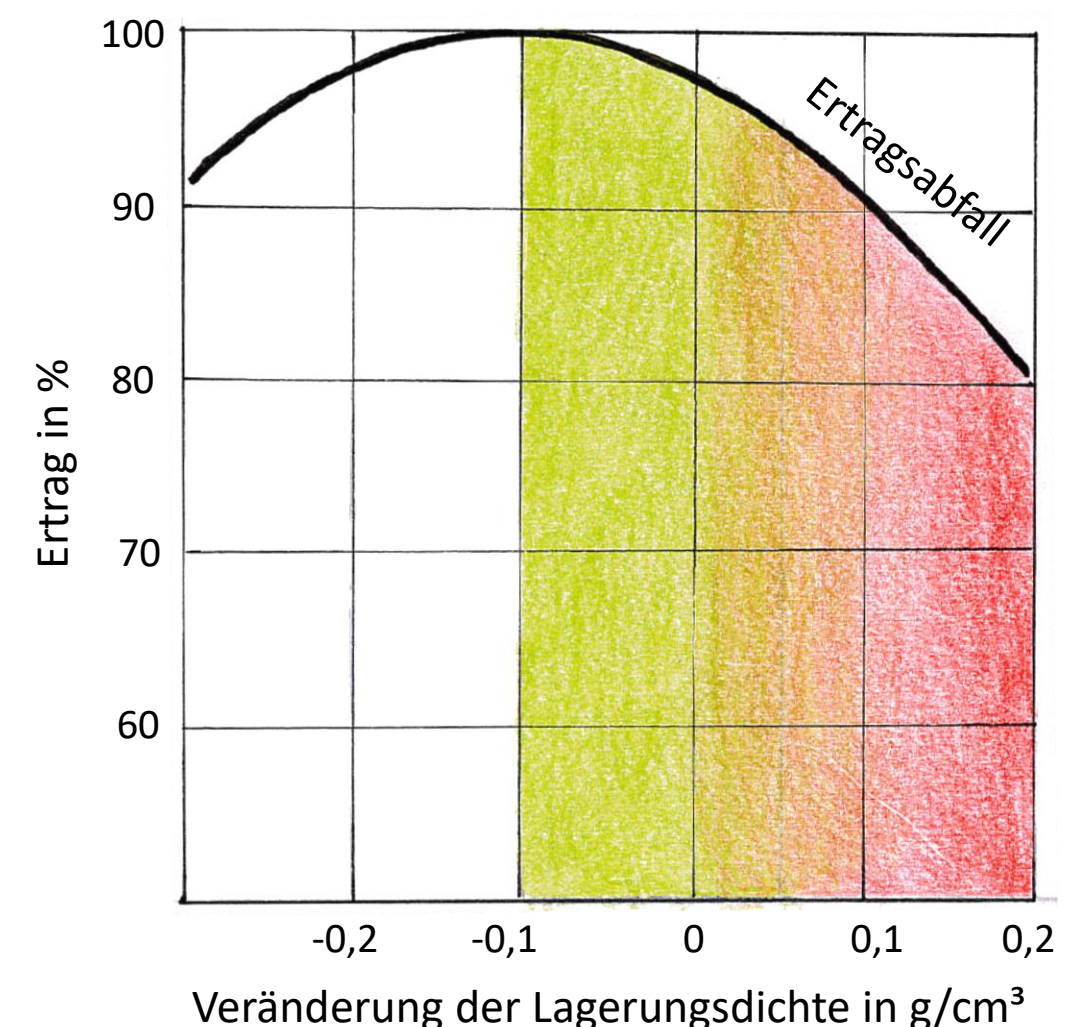
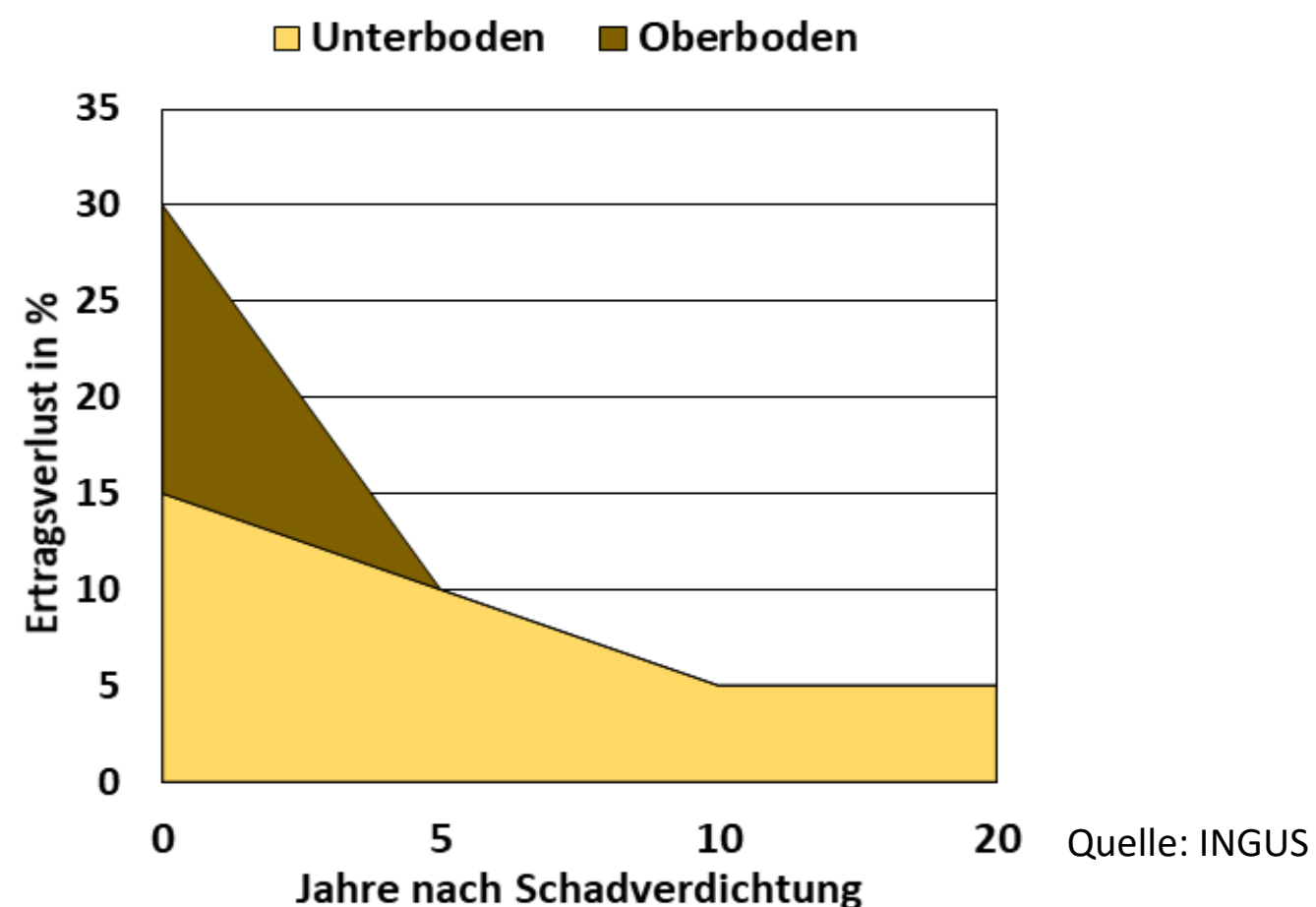
Bodenschadverdichtungen wirken sich negativ auf die Bodenfruchtbarkeit und damit auf die Produktivität eines Standortes aus.

Bereits eine verdichtungsbedingte geringe Erhöhung der Lagerungsdichte führt i. d. R. zu merklichen Ertragseinbußen.

Die Stärke der Bodenschadverdichtung und der Schadbereich im Boden haben einen großen Einfluss auf die Höhe des Ertragsabfalls und auf die Wirkungskdauer.

Starke Hemmung des Pflanzenwachstums im Oberboden, Lockerung durch Bodenlebewesen und Wurzelwachstum in Folgejahren → kurzfristige Ertragseinbußen

Geringere Beeinflussung des Pflanzenwachstums im Unterboden, aber Verdichtung bleibt häufig bestehen → langfristige Ertragseinbußen



Modul 3

Bodenbildung und Bodenverbreitung



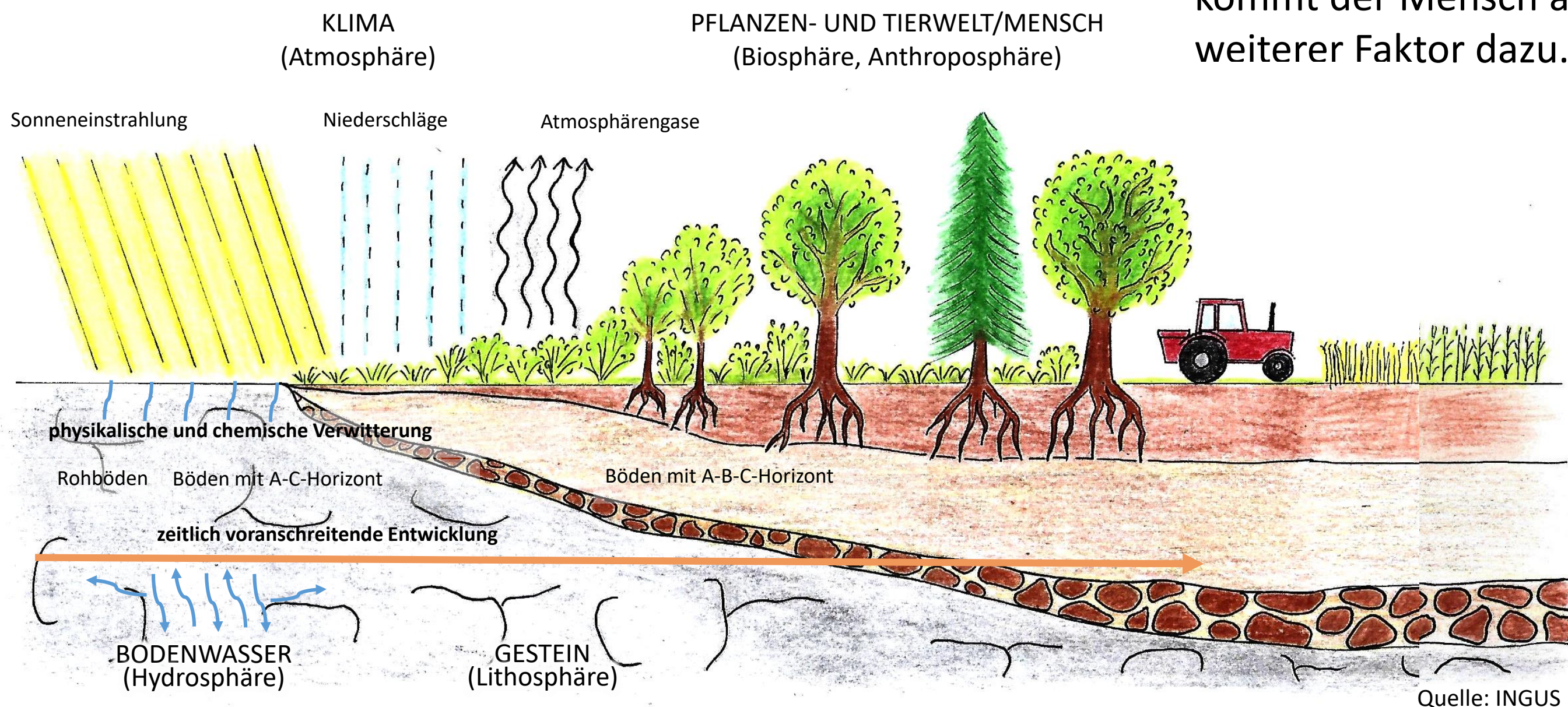
Wie aus Gesteinen Böden wurden

Erdgeschichtlich sind unsere heutigen Böden sehr jung, von unserem aktuellen Blick in die Vergangenheit aber schon recht alt.

Die wesentlichen Faktoren der Bodenentwicklung sind:

- das Ausgangsgestein
- das Klima, mit Temperaturschwankungen und hier insbesondere die abwärts gerichtete Wasserbewegung im Boden (Grund: mehr Regen als Verdunstung)
- die Pflanzen und Tiere

... und nicht unwesentlich kommt der Mensch als weiterer Faktor dazu.



Quelle: INGUS



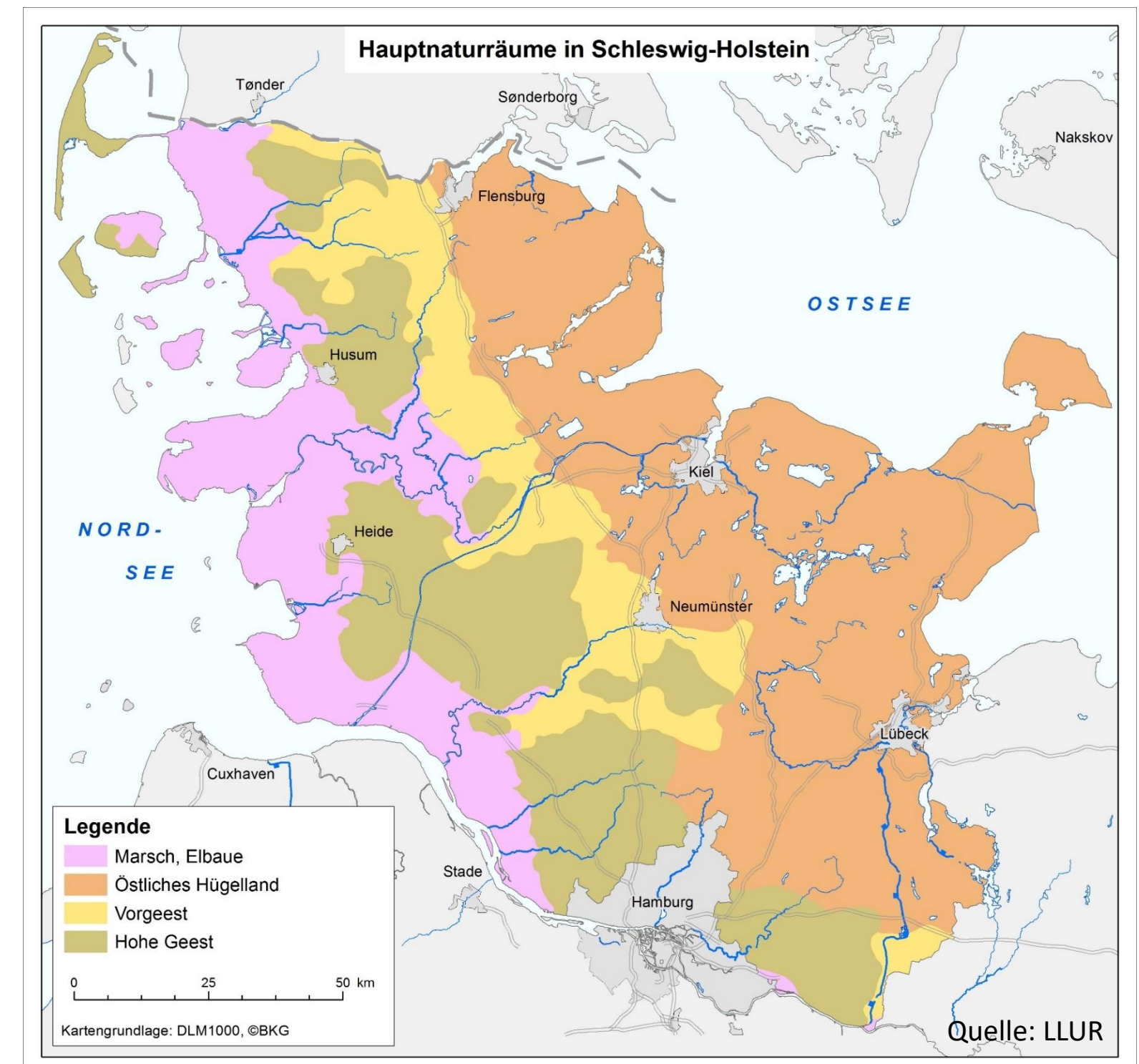
Naturräume prägen die Böden

Hauptnaturräume in Schleswig-Holstein

Nahezu alle Böden in Schleswig-Holstein haben sich seit dem Ende der letzten Eiszeit, also in den letzten 10.000 Jahren entwickelt.

Die Ausprägung der verschiedenen Böden hängt stark von der ursprünglichen Zusammensetzung der eiszeitlichen bzw. nacheiszeitlichen Ablagerungen ab. Es liegt daher auf der Hand, dass...

- aus den eiszeitlichen Sanden der Vorgeest **SANDBÖDEN** entstanden sind,
- aus den sandigen bzw. leicht lehmigen Ablagerungen der Hohen Geest **SAND-** und **LEHMBÖDEN**,
- aus den lehmigen, zum Teil leicht sandigen Ablagerungen des Östlichen Hügellandes **LEHM-** und **SANDBÖDEN** sowie
- aus dem Schwemmland der Marschen **SCHLUFF-** und **TONBÖDEN**.



In Schleswig-Holstein verbreitete Böden

„Typen, wie sie das Land hervorbringt...“

Die wichtigsten mineralischen Bodentypen...

- der **SANDBÖDEN** der Vorgeest sind die **BRAUNERDEN**, **PODSOLE** und **GLEYE**,
- der **LEHMBÖDEN** der Hohen Geest und des östlichen Hügellandes sind die **PSEUDOGLEYE** und **PARABRAUNERDEN**
- der **SCHLUFF-** und **TONBÖDEN** der Marschen sind die **KALK-** und **DWOGMARSCHEN**.



Foto: Dr. Filipinski, LLUR

Braunerde



Foto: B. Burbaum, LLUR

Podsol



Foto: Dr. Filipinski, LLUR

Gley



Foto: Dr. Filipinski, LLUR

Pseudogley



Foto: Dr. Filipinski, LLUR

Parabraunerde



Foto: Dr. Filipinski, LLUR

Kalkmarsch

Modul 4

Bodenphysik und Bodenfruchtbarkeit





Die Bodenphysik beschreibt die Korngrößenzusammensetzung, Lagerung und Aggregatbildung von Böden sowie den sich daraus ergebenden Porenraum. Dieser wiederum bestimmt wesentlich die Transportvorgänge von Luft, Wasser, Wärme und Nährstoffen im Boden.

Wichtige bodenphysikalische Kenngrößen:

- Korngröße und Kornmischungen
- Lagerungsdichte
- Porenvolumen und Porenform
- Porengrößenverteilung
- Porenkontinuität (Durchgängigkeit)

Die festen Bodenteilchen bilden verschiedene BODENGEFÜGE, die mit bloßem Auge zu sehen sind.

Günstige Bodengefüge verbessern:

- die Bodenstabilität
- die Speicher- und Transportfähigkeit von Luft, Wasser, Wärme und Nährstoffen

Gute Aggregatgefüge im Ober- und Unterboden sichern eine hohe Bodenproduktivität.



Das Bodengefüge, insbesondere die mit dem bloßen Auge erkennbare Gefügestruktur (Makrogefüge), sagt viel über einen eher günstigen oder ungünstigen Bodenzustand aus.

Beispiele für günstige Gefüge

Sandboden
Biologisch verklebtes Einzelkorngefüge



Foto: Dr. Gernandt

Lehmboden
Krümelgefüge



Foto: INGUS

Tonboden
Subpolyedergefüge



Foto: Dr. Gernandt

Beispiele für ungünstige Gefüge

Sandboden
Nicht verklebtes Einzelkorngefüge



Foto: INGUS

Lehmboden
Klumpengefüge



Foto: Dr. Gernandt

Tonboden
Plattengefüge

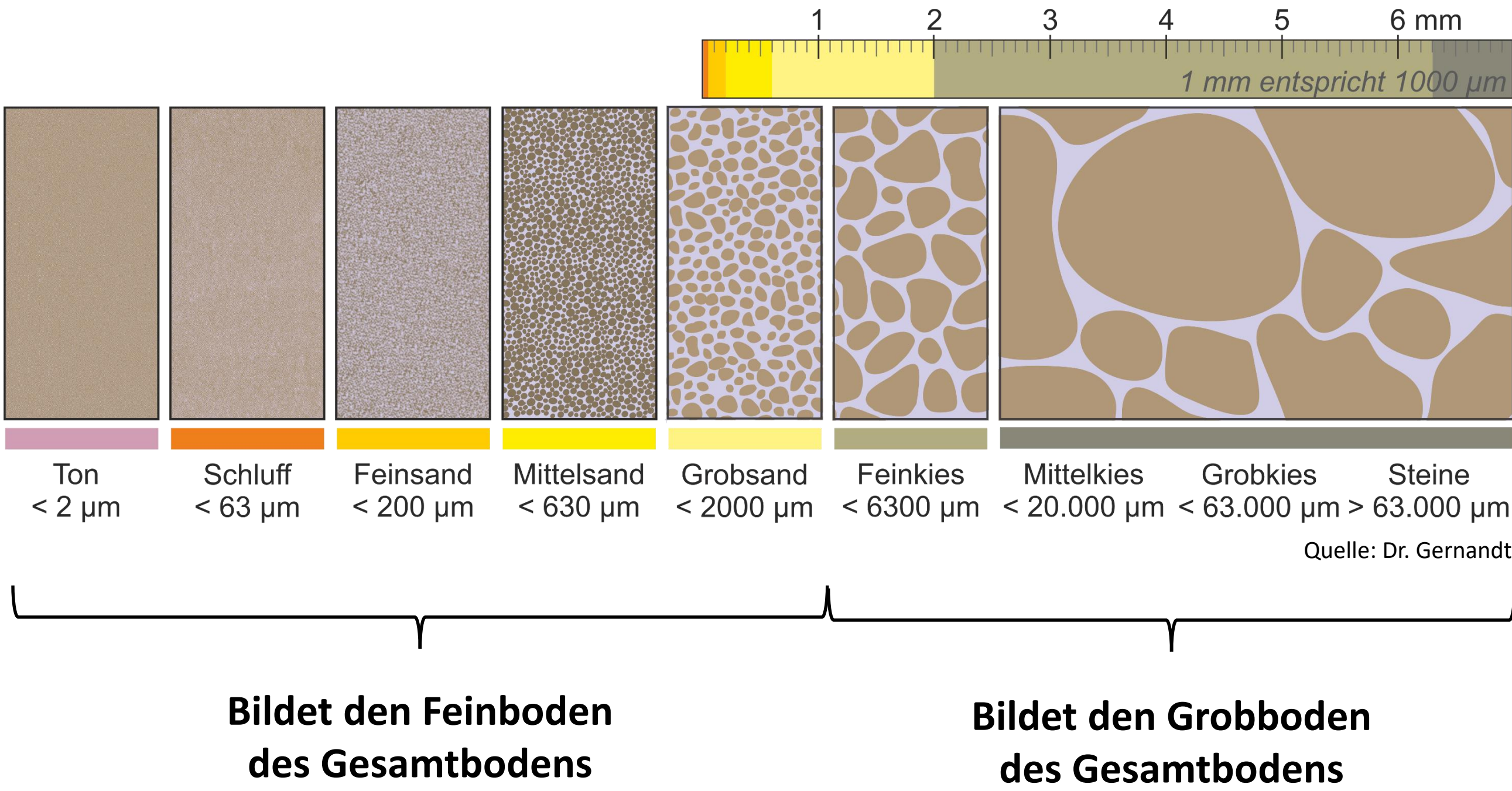


Foto: INGUS



Korngrößen

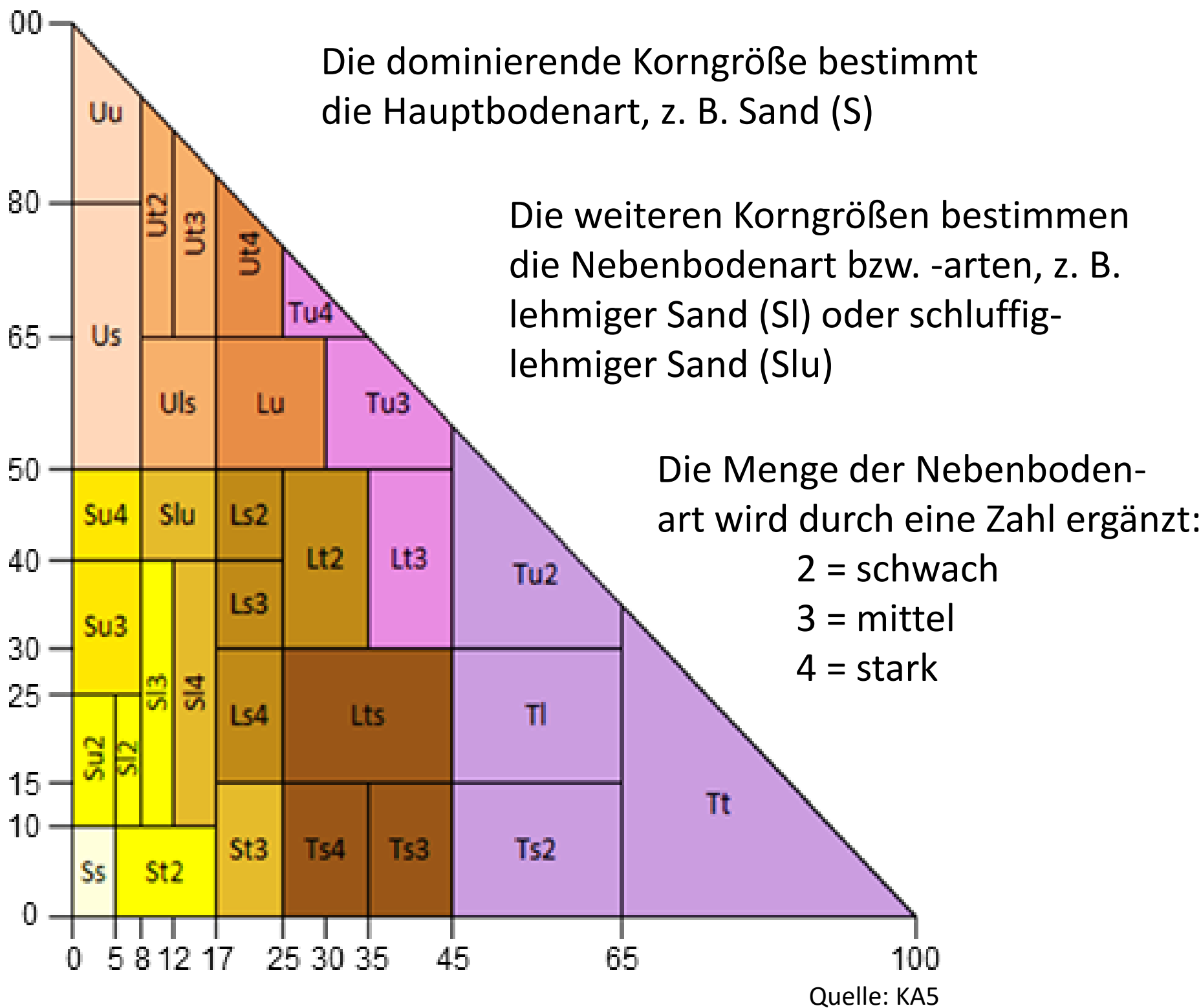
Böden sind keine feste Masse, sondern sie bestehen aus **Mineralteilchen (Körner)**, die nach ihrer Form und Größe unterschieden werden.





Bodenart (Körnung)

Das Gemisch, also die %-Anteile der unterschiedlichen Korngrößen eines Bodens, ist die **Bodenart oder Körnung**. Die Bodenart ist ein festes Kriterium der Bodenbewertung, wobei hier die Zusammensetzung des **Feinbodens** (bis 2 mm) ganz entscheidend ist. Die meisten landwirtschaftlichen Böden sind **Zwei- oder Dreikorngemenge** aus Sand, Schluff und Ton.



Bodenarten-Hauptgruppen	Bodenarten
Sande	Ss
	St2, Su2, Sl2, Sl3
	Su3, Su4
Lehme	Slu, Sl4, St3
	Lt2, Ls2, Ls3, Ls4
	Lts, Ts3, Ts4
Schluffe	Us, Uu
	Ut2, Ut3, Uls
	Ut4, Lu
Tone	Tu3, Tu4, Lt3
	Tt, Tu2, Tl, Ts2

Quelle: KA5



Korngrößen und Bodenart bestimmen Bodeneigenschaften

Die Korngrößen, deren Gemisch (Bodenart) und Lagerung bestimmen maßgeblich die Eigenschaften eines Bodens.

Eigenschaften	Sandböden	Schluff-/Lehmböden	Tonböden
Wasserhaltevermögen	-		+
Durchlässigkeit	+		-
Durchlüftung	+		-
Durchwurzelbarkeit	+		-
Nährstoffgehalt	-		+
Pufferungsvermögen	-		+
Bearbeitbarkeit	+		-
Erwärmung	+		-

Quelle: INGUS

Die Korngrößen-Zusammensetzung bestimmt auch sehr stark die Art möglicher Bodenschadverdichtungen:

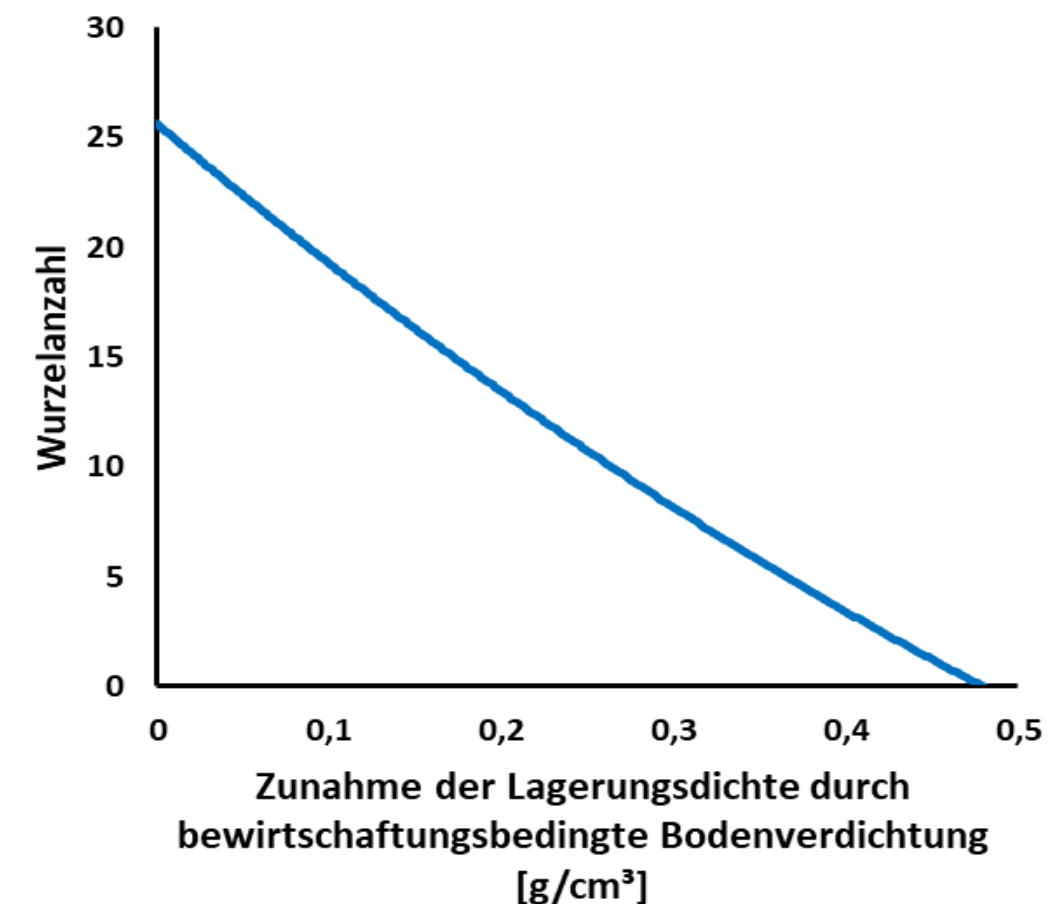
- Bei **Schluff-, Lehm- und Tonböden** steigt mit **zunehmendem Wassergehalt** die **Druck- und Schmierverdichtung**
- Bei **Sandböden** besteht dagegen die größte Verdichtungsgefahr durch **Rüttel- und Vibrationsverdichtung** insbesondere im **trockenen Zustand**



Die **Effektive Lagerungsdichte** bezeichnet das Verhältnis von festen Bodenteilen zum gesamten Bodenvolumen.

Die **Lagerungsdichte** beeinflusst:

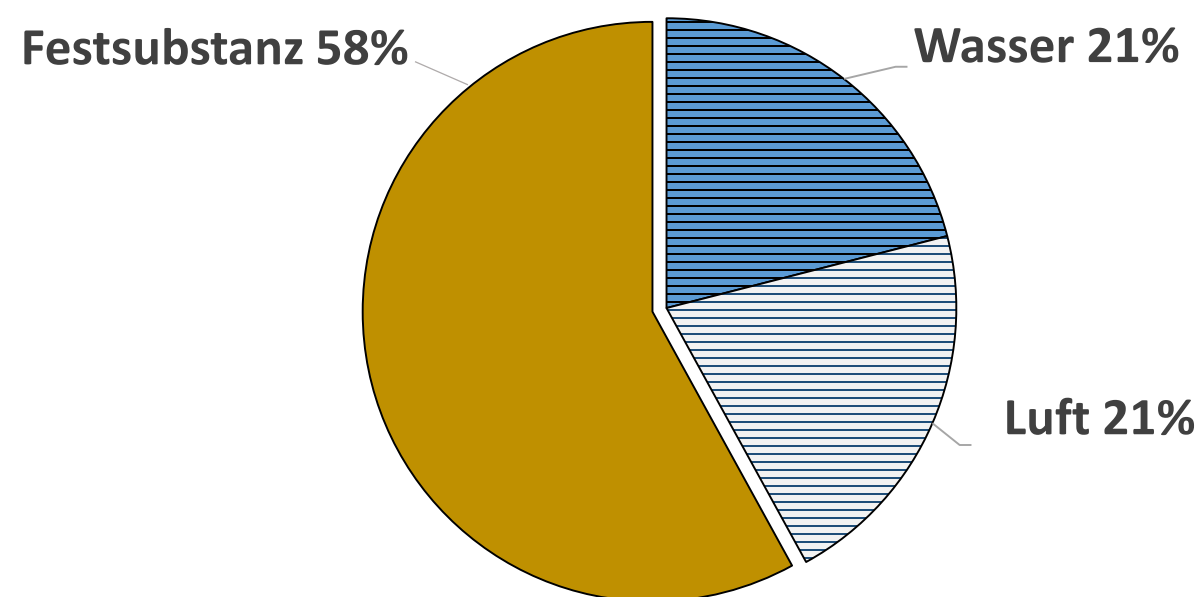
- die Durchwurzelbarkeit des Bodens
- die Leitfähigkeit von Wasser, Luft und Nährstoffen
- die mögliche Bodenbearbeitung



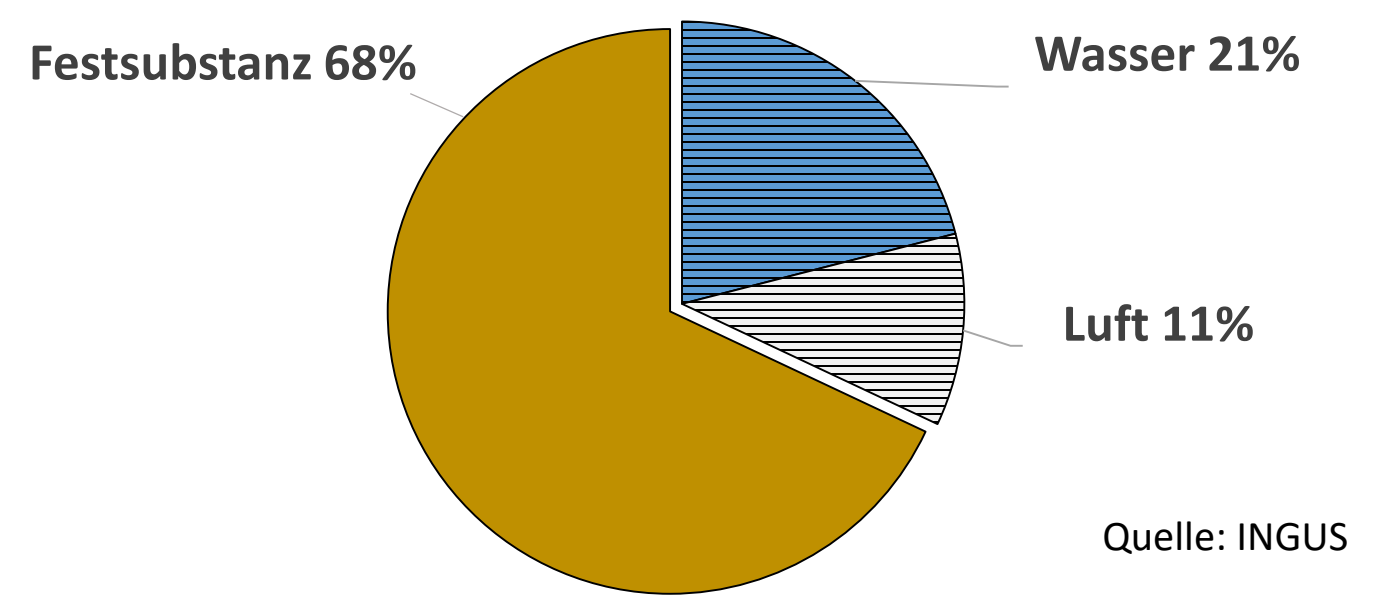
Quelle: INGUS

Bodenschadverdichtungen verändern die Lage der festen Bodenteilchen zueinander und erhöhen so die Lagerungsdichte von Böden:

Je höher die Lagerungsdichte, um so geringer sind das Porenvolumen, der Luftaustausch, der Anteil des nutzbaren Bodenwassers und die Durchwurzelbarkeit eines Bodens.



Porenraumverteilung im gesunden Boden



Quelle: INGUS

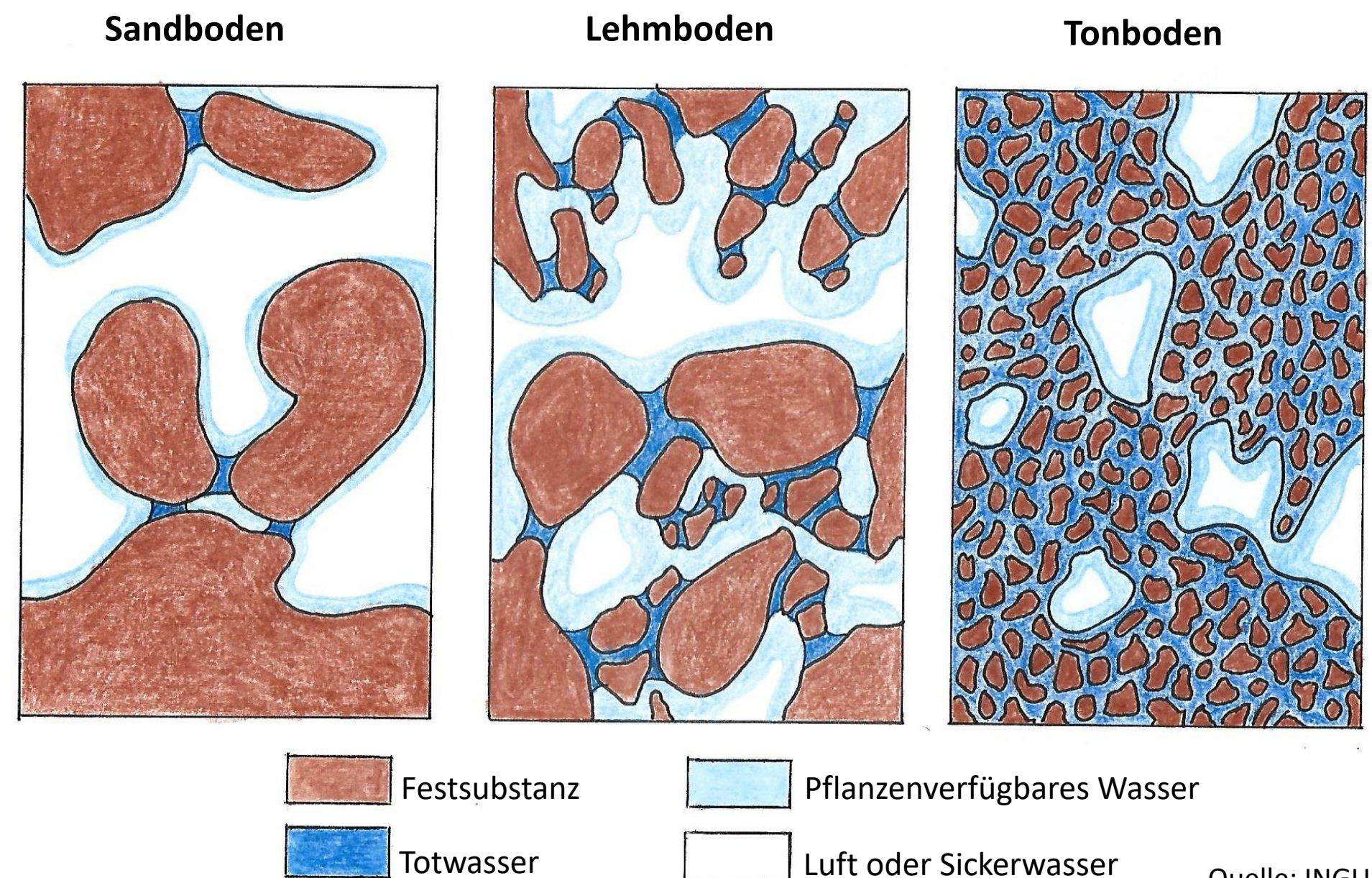
Porenraumverteilung im schadverdichteten Boden



Die **Bodenporen** bilden den Hohlraumanteile eines Bodens. Sie bestimmen den Lufthaushalt, die Wasserspeicherung und den Bodenwasserfluss sowie die Durchwurzelbarkeit und den Platz für das Bodenleben.

Das **Porenvolumen** ist abhängig von:

- der Bodenart (Körnung)
- der Lagerungsdichte
- dem Anteil organischer Bodensubstanz
- der Bodennutzung



Quelle: INGUS

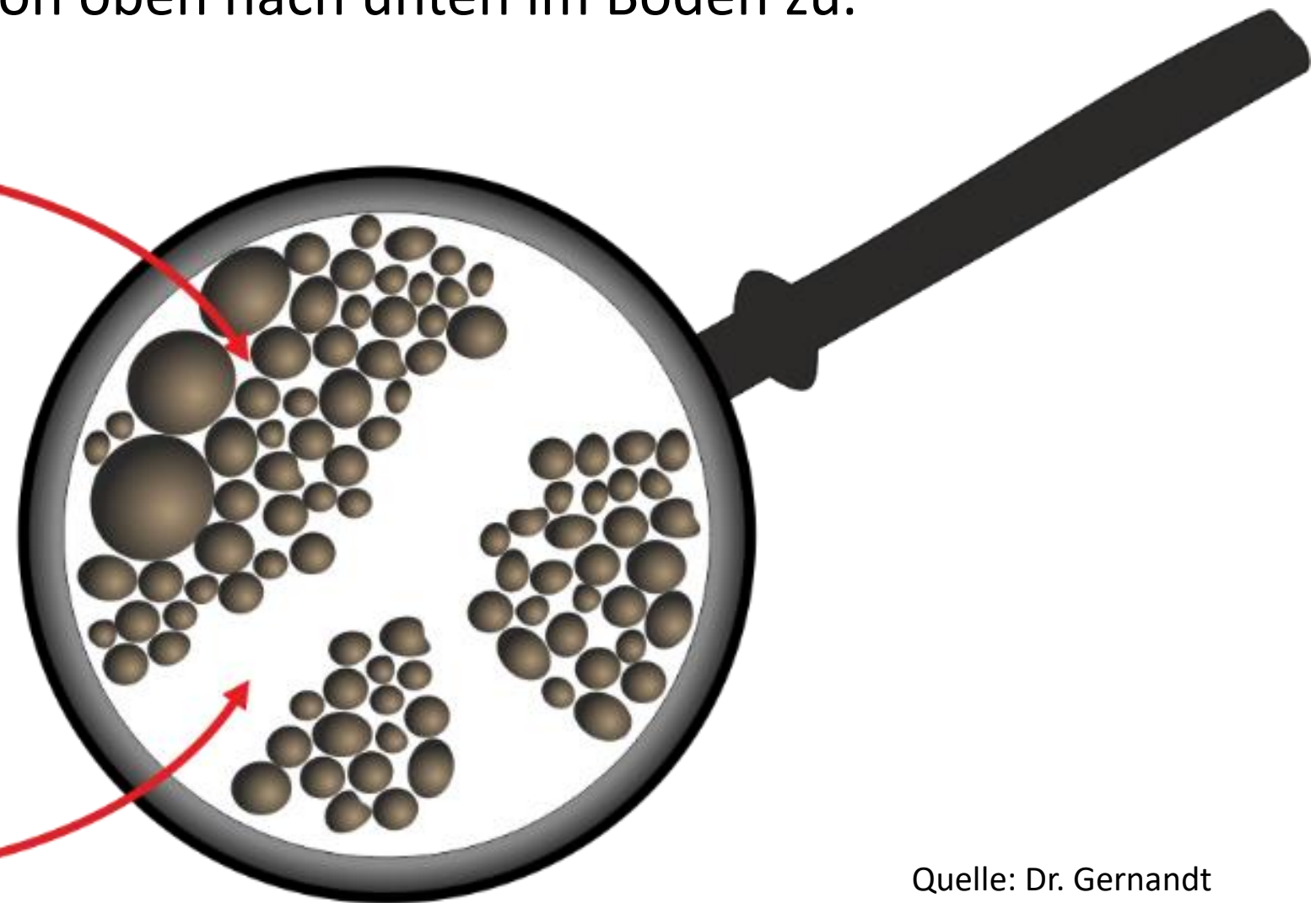


Auf die **Porenformen** kommt es an:

- **Primärporen** sind durch die Bodenart bestimmte Hohlräume zwischen den Bodenteilchen. Sie nehmen von oben nach unten im Boden zu.

Primärpore
(Intergranular-Pore)

Sekundärpore
(Interaggregat-Pore)



Quelle: Dr. Gernandt

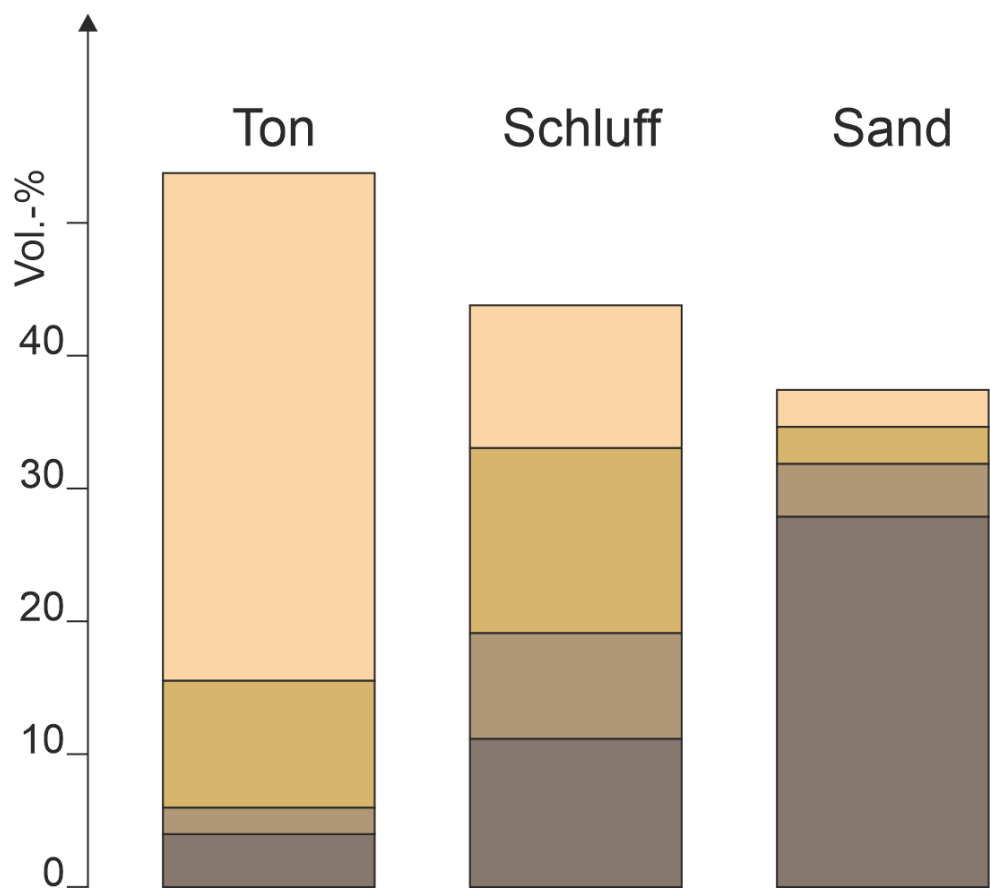
- **Sekundärporen** sind durch Trockenrisse, Wurzeln, das Bodenleben (z. B. Regenwürmer) und die landwirtschaftliche Bodenbearbeitung entstandene größere Hohlräume. Sie nehmen von oben nach unten im Bodenprofil ab.



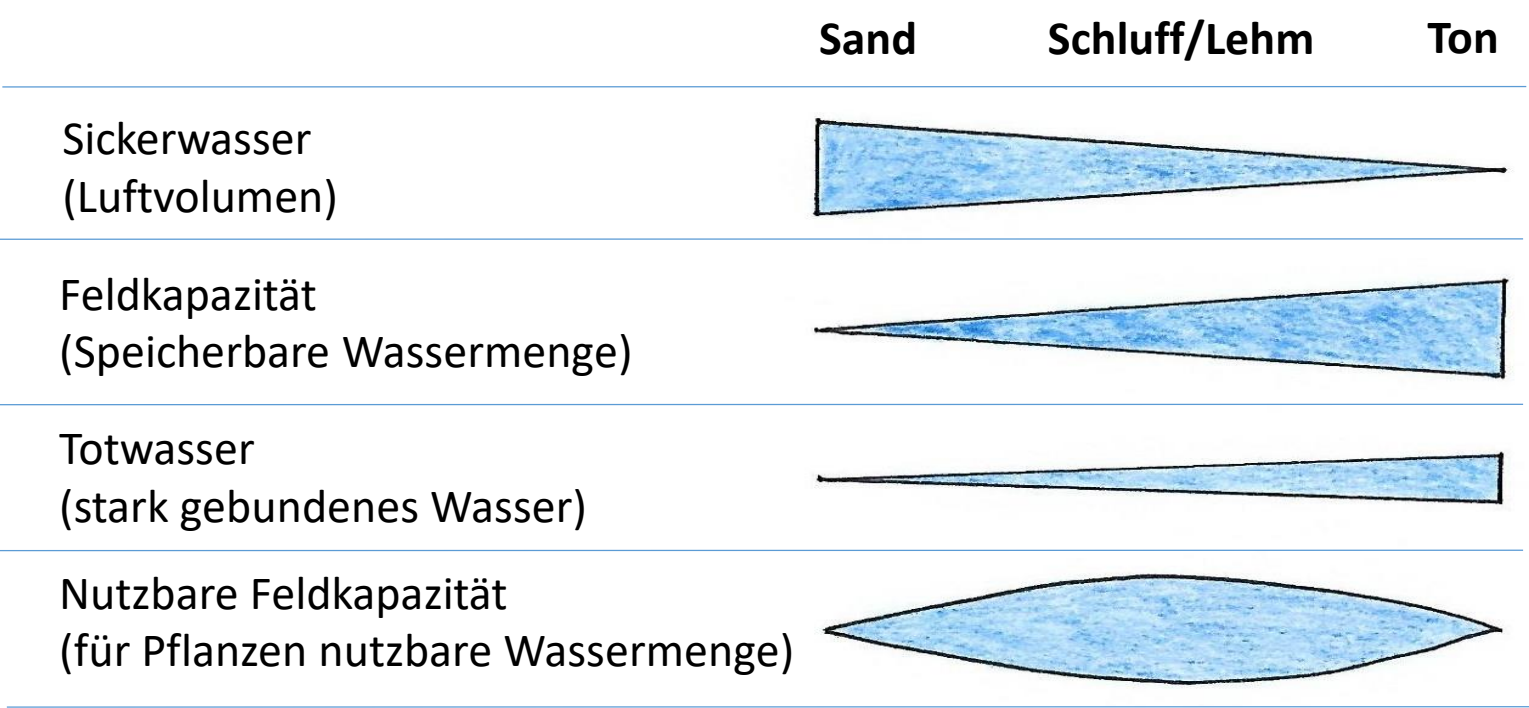
Die **Porengrößenverteilung** gibt Aufschluss über die Anteile verschiedener Porengrößen im Boden. Sie bestimmt den Volumenanteil der Poren im Boden.

Das **Porengrößenverteilung** ist abhängig von:

- der Bodenart (Körnung)
- der Lagerungsdichte
- dem Bodengefüge
- dem Anteil organischer Bodensubstanz



Quelle: Dr. Gernandt



Quelle: INGUS

*Menge an Sickerwasser im Boden
speicherbarem Wasser, des Totwassers
und der nutzbaren Feldkapazität in
Abhängigkeit von der Bodenart*

Porenkontinuität

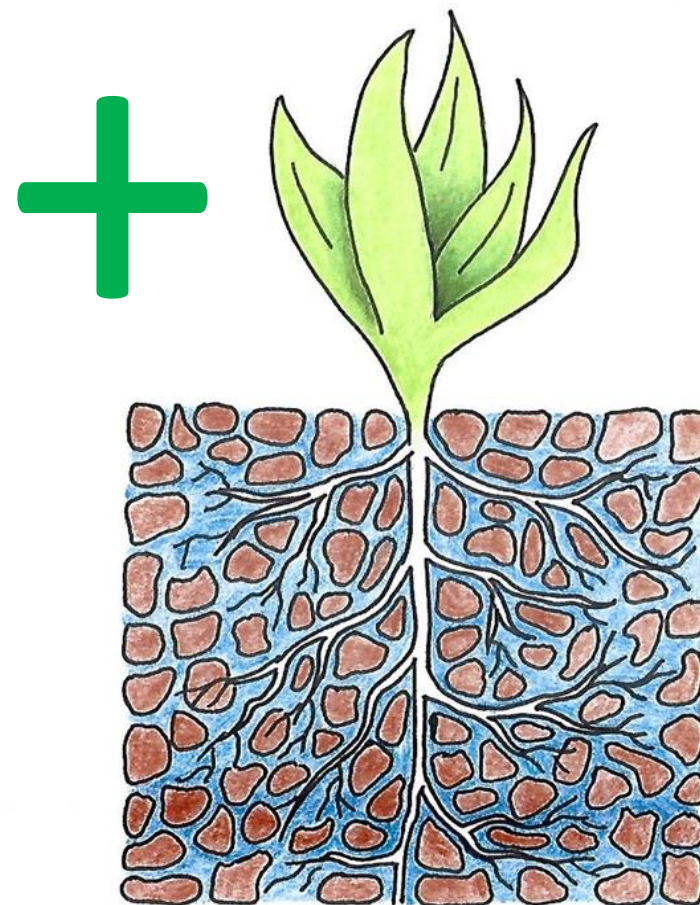
Die **Porenkontinuität** bezeichnet die Durchgängigkeit von Bodenporen.

→ Wichtig für einen guten Wasser- und Lufthaushalt sowie eine gute Durchwurzelung

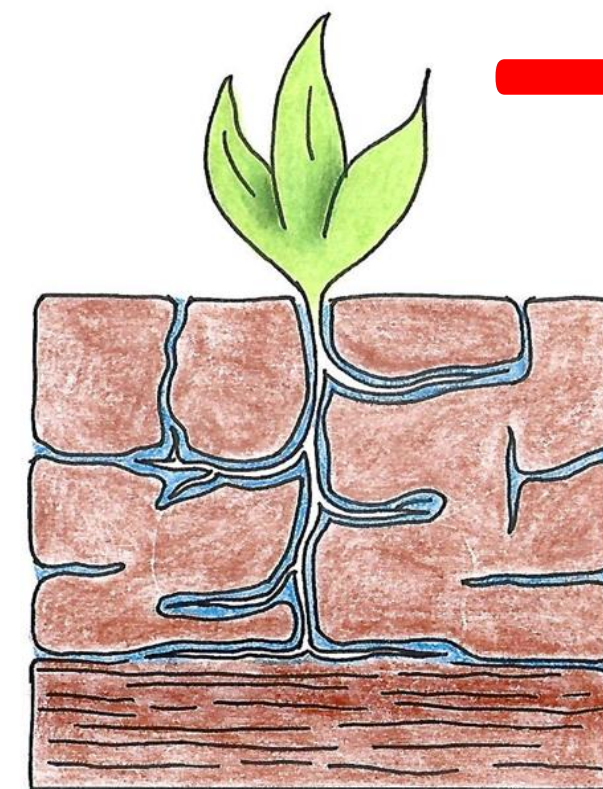
Bodenschadverdichtungen

- verringern die Porenkontinuität
- erhöhen die Lagerungsdichte
- mindern das Porenvolumen
- verschieben die Porengrößenverteilung

*Negative Auswirkungen auf das
Wurzel- und Pflanzenwachstum!*



Optimales Wurzel- und Pflanzenwachstum bei gesundem Bodengefüge



Geschädigtes Wurzel- und Pflanzenwachstum durch schadverdichtetes Bodengefüge

Quelle: INGUS

Modul 5

Bodenchemie und Bodenfruchtbarkeit





Die **Bodenchemie** umfasst die chemischen Prozesse, die für die Bodenbildung erforderlich sind und den Boden als Lebensraum und Produktionsstandort maßgeblich bestimmen.

Wichtige bodenchemische Kenngrößen:

- pH-Wert / Pufferung
- Lösungs-, Bindungs- und Austauschvorgänge
- Aufbau- und Abbauvorgänge

Die Bodenchemie beeinflusst:

- das Bodengefüge
- das Bodenleben
- den Humusvorrat
- den Wurzelraum
- das Nährstoffangebot
- die Bindung und den Abbau von Schadstoffen

Die chemischen Bodeneigenschaften werden hauptsächlich in der Bodenlösung und an den Oberflächen der festen Bodenteilchen bestimmt.



Eine **optimale Kalkversorgung** ist Voraussetzung für einen guten physikalischen, chemischen und biologischen Zustand des Bodens.

Kalk verbessert die Bodenstruktur durch Krümelbildung

- Verkittung von Tonteilchen (Calcium-Brücken)
- Bildung von Ton-Humus-Komplexen (Calcium-Brücken)
- Förderung des Lebendverbaus (pH-Wert)

Die Kalkversorgung bestimmt

- die Gefügestabilität
- den Wasser- und Lufthaushalt
- das Puffervermögen

„Kalkverlust“ im Boden durch versauernde Vorgänge

- Bodenatmung
- Nitrifikation
- Nährstoffaufnahme
- Wurzelausscheidungen
- Sauer wirkende Düngemittel



Kalklagerung am Feldrand

Foto: YARA



Foto: AMAZONE

Regelmäßige Kalkung fördert die Gefügestabilität



Das **Pufferungsvermögen** eines Bodens ist die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegenüber chemischen Veränderungen.

Eine hohe Pufferung im Boden fördert die Bodenfruchtbarkeit, das heißt

- keine Versauerung durch ausreichende Kalkversorgung
- hohe Nachlieferung von pflanzenverfügbaren Nährstoffen
- hohe Festlegung von eingetragenen Schadstoffen
(z. B. Schwermetalle und Pflanzenschutzmittelrückstände)

Die Fähigkeit eines Bodens zur Pufferung beruht im Wesentlichen auf

- dem Carbonat-Gehalt
- der Ionen-Austauschfähigkeit (Kationen und Anionen) der Tonminerale und des Humus

Kalkhaltige und tonreiche Böden haben daher ein besonders hohes Pufferungsvermögen.

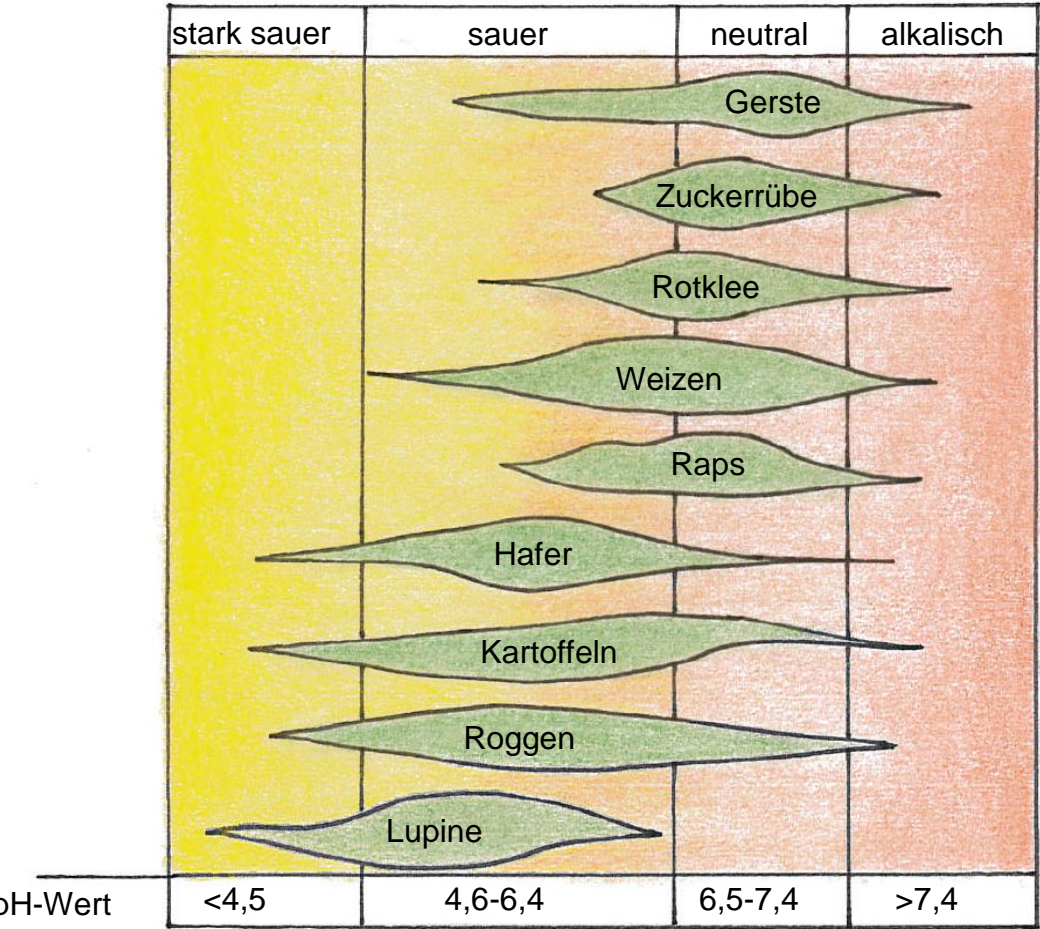


Der **Boden-pH-Wert** gibt die Säure- oder Basenwirkung des Bodens an.

Der Boden-pH-Wert bestimmt:

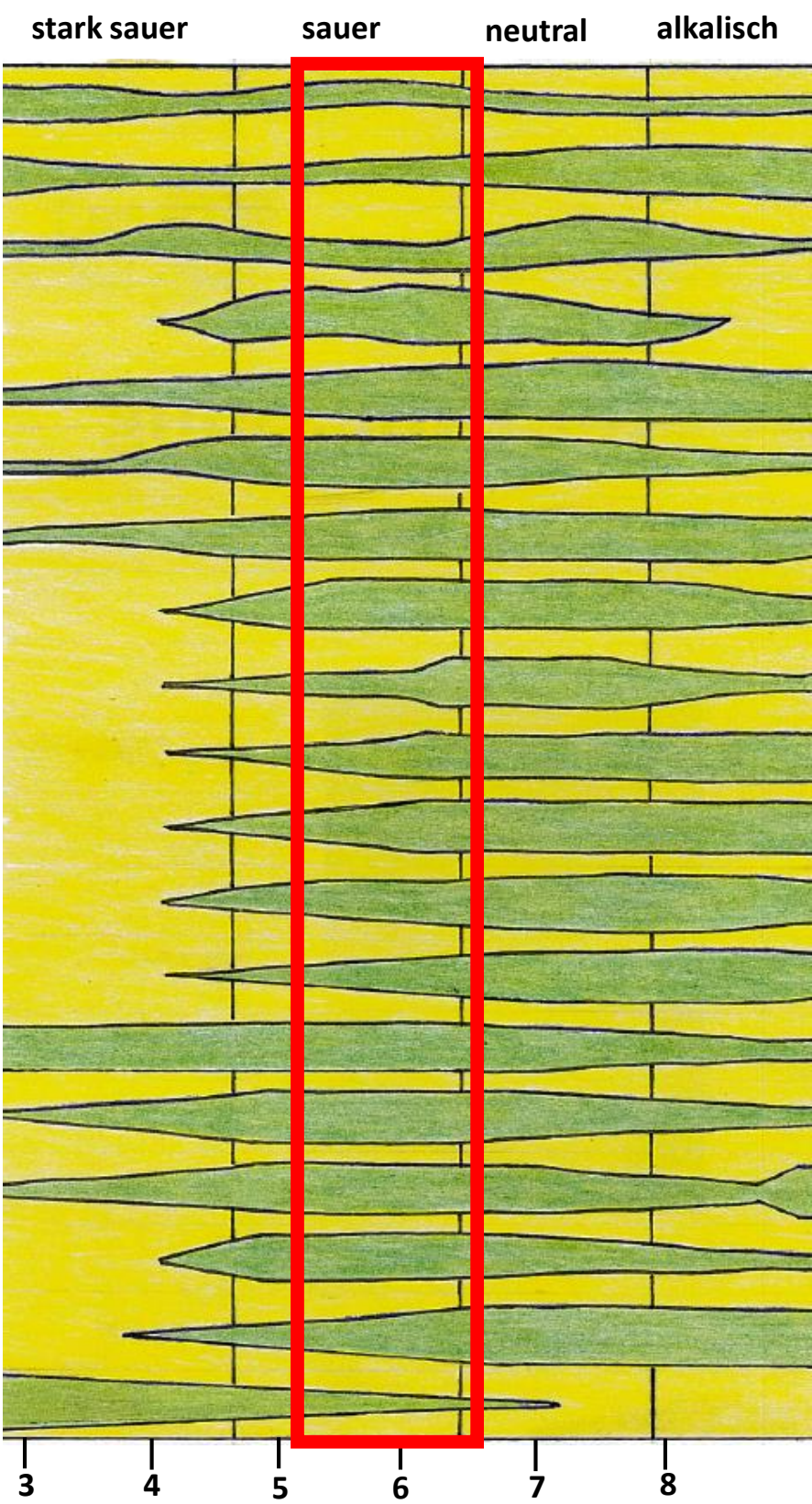
- das Pflanzenwachstum
- das Bodenleben
- den Humusvorrat
- die Nährstoffverfügbarkeit
- die Schadstoffbindung

Der optimale Boden-pH-Bereich der wichtigsten Vorgänge liegt zwischen pH 5,0 und 7,5. Der angestrebte Boden-pH-Wert bewirtschafteter Böden liegt meist zwischen pH 5,0 und 6,5.



Quelle: INGUS

- Chemische Verwitterung
- Gefügebildung
- Tonmineralbildung
- Tonverlagerung
- Mineralisierung
- Humusbildung
- Biologische Aktivität
- Stickstoff-Verfügbarkeit
- Phosphor-Verfügbarkeit
- Kalium-Verfügbarkeit
- Calcium-Verfügbarkeit
- Schwefel-Verfügbarkeit
- Magnesium-Verfügbarkeit
- Eisen-Verfügbarkeit
- Mangan-Verfügbarkeit
- Bor-Verfügbarkeit
- Kupfer-/Zink-Verfügbarkeit
- Molybdän-Verfügbarkeit
- Schwermetall-Verfügbarkeit



Quelle: INGUS

Ein optimales Pflanzenwachstum ist von einem optimalen Boden-pH-Wert abhängig. Die Ansprüche an den pH-Wert sind bei den Kulturpflanzen unterschiedlich.



Der **Nährstoffvorrat** ist die Gesamtmenge und die Zusammensetzung der Nährstoffe im Boden.

Das **Nährstoffangebot** ist die Menge und die Zusammensetzung der direkt und kurzfristig pflanzenverfügbaren Nährstoffe im Boden.

Nährstoffe sind im Boden unterschiedlich gebunden und damit unterschiedlich pflanzenverfügbar:

- fest gebunden (mineralisch oder organisch)
 - langfristig bzw. nicht pflanzenverfügbar
 - Freisetzung erst durch Verwitterung bzw. Zersetzung
 - austauschbar gebunden
 - kurzfristig pflanzenverfügbar
 - Freisetzung durch Austausch am Bindungsplatz
 - nicht gebunden
 - direkt pflanzenverfügbar
 - frei in der Bodenlösung
- ca. 98 %
der Nährstoffe
im Boden
- ca. 2 %
der Nährstoffe
im Boden

Durch Düngung soll vor allem das natürliche Nährstoffangebot eines Standortes kurzfristig und zielgerichtet erhöht bzw. aufrecht erhalten werden, um den Nährstoffbedarf der Kultur zu decken.



Die **Ionen-Austauschfähigkeit** eines Bodens ist die Bindung und Wiederabgabe von positiv oder negativ geladenen Teilchen/Stoffen durch Austausch an der Oberfläche der Bodenteilchen (Tonminerale und Humus).

Je nach Ladungsverhältnis der Oberfläche der Bodenteilchen wird unterschieden in

- Kationen-Austauscher mit negativer Ladung
- Anionen-Austauscher mit positiver Ladung

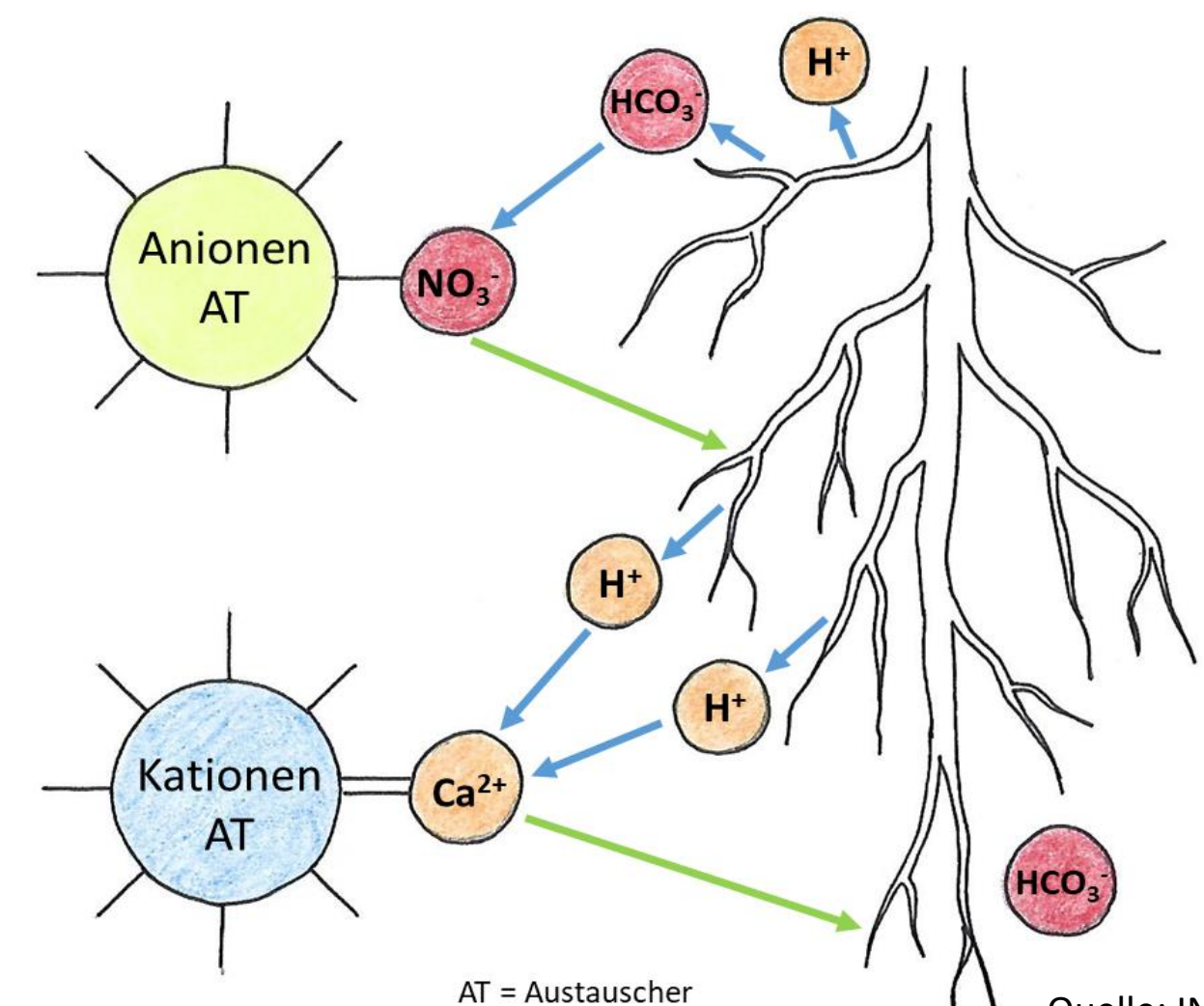
Bodenteilchen sind überwiegend negativ geladen, daher werden hauptsächlich positiv geladene Teilchen/Stoffe (Kationen) austauschbar gebunden.

Die Austauschvorgänge laufen an den Grenzflächen zwischen der Bodenlösung und den festen Bodenteilchen ab.

Die Austauschvorgänge sind maßgeblich für das Nährstoffangebot, da der Großteil der Pflanzen-nährstoffe im Boden als positive geladene Teilchen vorliegen.

Die Austauschfähigkeit eines Bodens steigt mit

- zunehmendem Tongehalt
- zunehmendem Humusgehalt
- zunehmendem pH-Wert



Quelle: INGUS

Modul 6

Grundlagen der Bodenbiologie



Die **Bodenbiologie** befasst sich mit den **lebenden Organismen im Boden** und deren Einflüssen auf den Boden.

Bodenorganismen leben:

- in luft- und wasserführenden Bodenporen
- im Wasserfilm an Bodenpartikeln
- auf der Bodenoberfläche

In gesunden Böden leben je Hektar ca. 2 bis 4 Tonnen Regenwürmer in der Ackerkrume, d. h. **ca. 4 bis 8 Großvieheinheiten/ha.**



Flach grabender Regenwurm in Ackerkrume Foto: INGUS



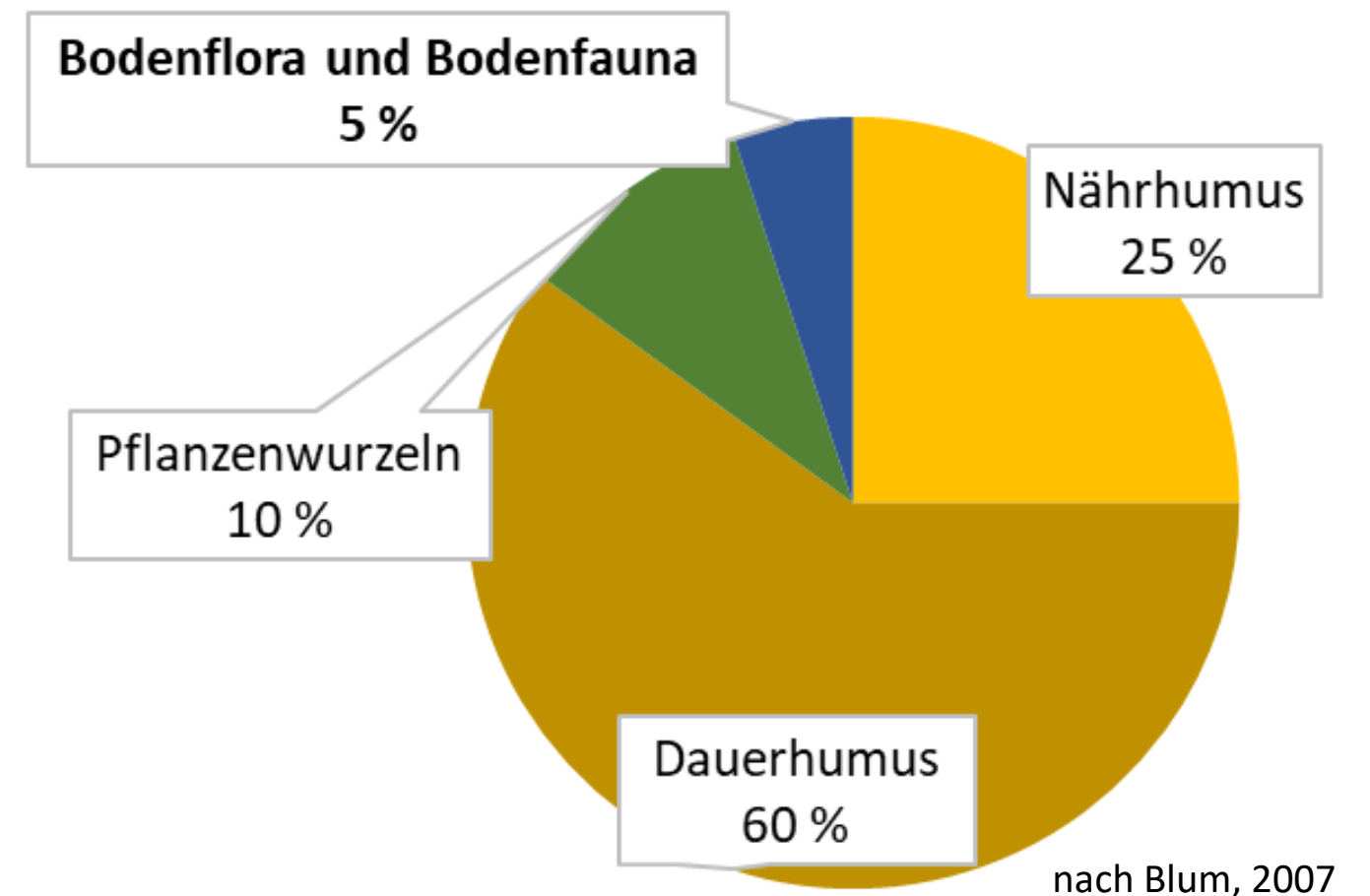
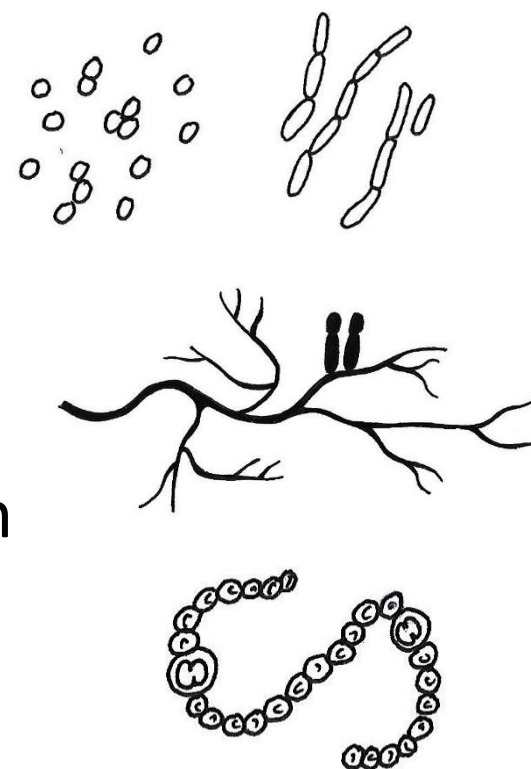
Regenwurmgänge im Bodenfragment



Bodenorganismen werden eingeteilt in:

Bodenflora

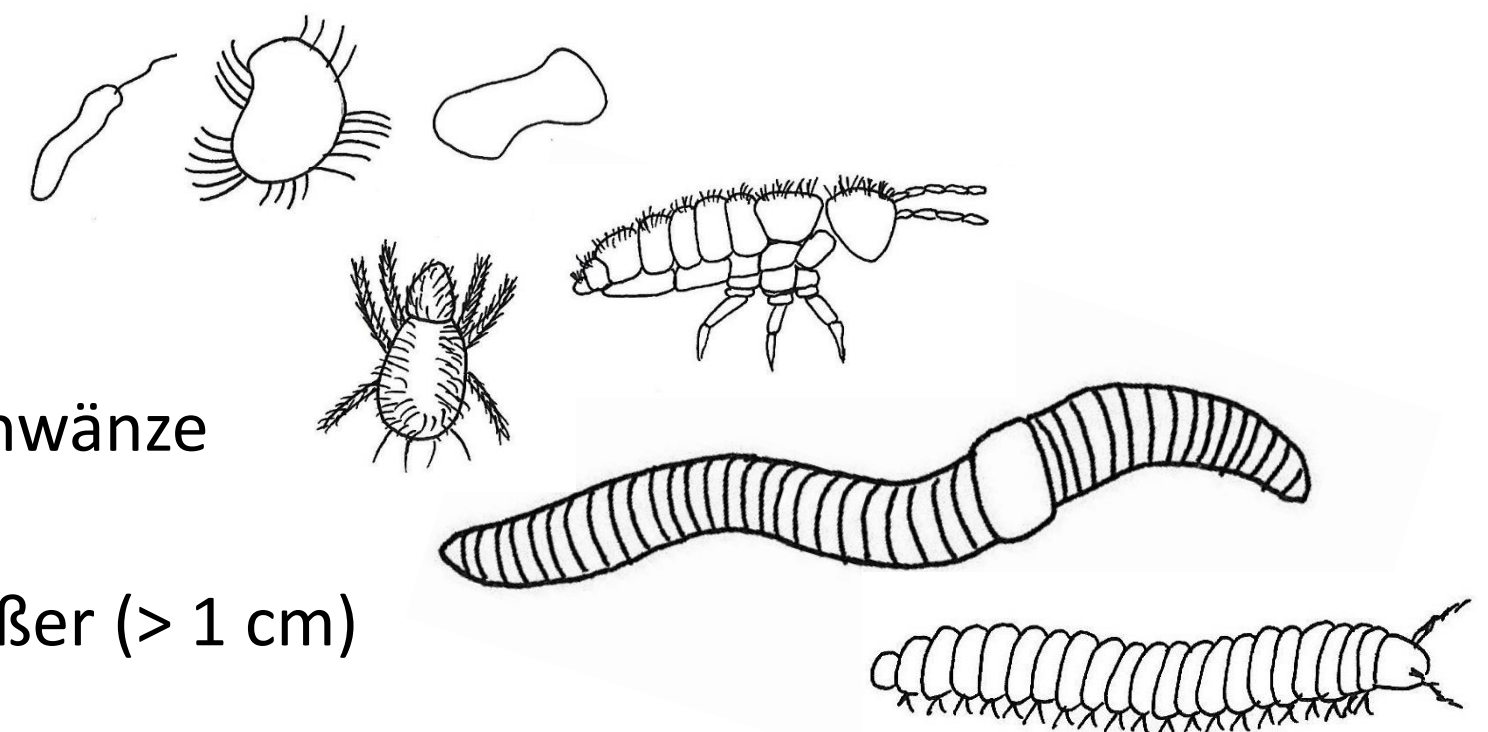
- Bakterien
- Pilze
- Algen und Flechten



Anteil der lebenden Bodenorganismen an der gesamten organischen Substanz eines Bodens (hier am Beispiel Grünland)

Bodenfauna

- Mikrofauna: z. B. Urtierchen, Nematoden
- Mesofauna: z. B. Milben, Würmer, Springschwänze
- Makrofauna: z. B. Regenwürmer, Tausendfüßer (> 1 cm)



Quelle: INGUS

Bodenorganismen sorgen für:

- die Umsetzung organischer Substanz
- Gefügebildung durch Lebendverbauung
- die Durchmischung und Lockerung des Bodens (Bioturbation)
- die Einlagerung und Freisetzung von Nährstoffen
- den Einbau und Abbau von Schadstoffen im Boden



Abbau von Strohresten und Lebendverbauung durch Regenwürmer



Durchwurzelung von Regenwurmgingen



Bodendurchmischung (Bioturbation) durch tief grabende Regenwürmer.



Der **Regenwurm** ist besonders wichtig für die Bodenlockerung.

- **Flachgraber:** 40 cm tief, fressen kleine Pflanzenreste
- **Tiefgraber:** 3 bis 4 m tief, fressen große Pflanzenteile

Regenwürmer bilden neuen Porenraum, sie schaffen und verbessern das **Bodengefüge** aufgrund von Durchmischung und Schleimabsonderung.

In einem Jahr können Regenwürmer 50 bis 100 t Wurm Kot/ha produzieren.

Wurm Kot enthält	5-mal mehr N	} als der umgebende Boden
	7-mal mehr P	
	11-mal mehr K	

Dafür müssen die Regenwürmer gut gefüttert werden!

Beispielsweise durch frische Erntereste, Pflanzenwurzeln und organische Dünger (vorzugsweise Stallmist).



Tiefgraber der Gemeiner Regenwurm

Foto: INGUS



Regenwurm Kot

Foto: INGUS



Algen

- leben in den oberen Millimetern des Bodens
- nutzen Licht als Energiequelle
- festigen durch ihre Ausscheidungen das Bodengefüge



Algen
mit grünem,
flächigem
Wachstum

Bakterien

- treten hauptsächlich in oberen Bodenschichten auf
- setzen leicht abbaubare organische Substanz rasch um
- sondern haftende Substanzen ab und stabilisieren das Bodengefüge

Von Bakterien abgegebene Substanzen erzeugen den erdigen Geruch frisch bearbeiteter Böden im Frühjahr.



Bakterien
mit runden
Wuchsformen

Schimmelpilze
mit flächigem
Wuchs

Pilze

- haben geringe Nährstoffanforderungen
- setzen auch schwer abbaubare organische Substanz um
- stützen das Bodengefüge durch verzweigtes Wachstum



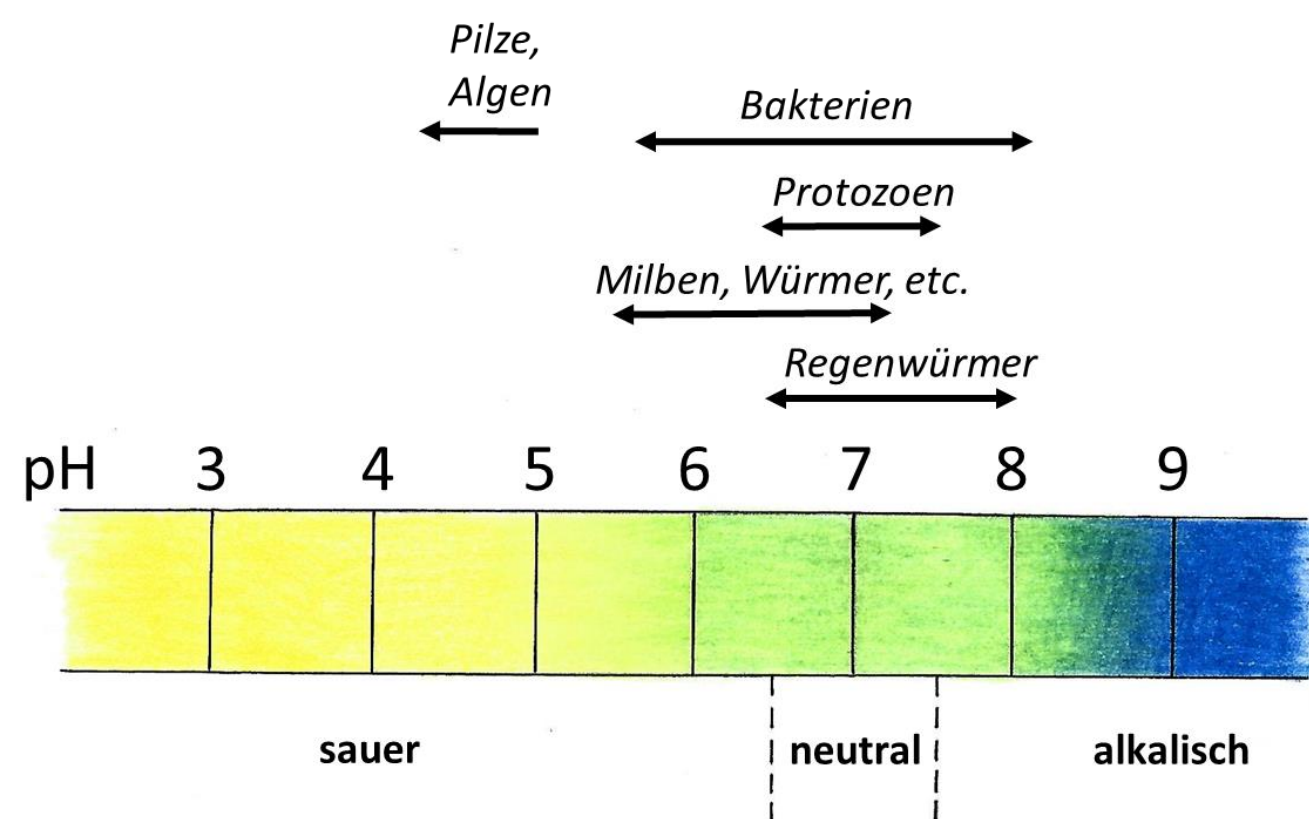
Pilze
mit Hyphen-
ausbildung

Fotos: INGUS

Die **Anzahl**, **Vielfältigkeit** und **Aktivität** von Bodenorganismen werden durch folgende Faktoren bestimmt:

- Boden-pH-Wert
- Wasser- und Sauerstoffangebot (abhängig vom Bodengefüge)
- Nahrungsangebot
- Temperatur

Das Bodenleben ist im Frühjahr und Herbst am aktivsten (ausreichende Bodenfeuchte, hohes Nahrungsangebot, optimale Temperatur). Bei Kälte, Trockenheit und hohen Temperaturen ist das Bodenleben gehemmt.



Quelle: INGUS

Einfluss des Boden-pH-Wertes auf das Vorkommen verschiedener Bodenorganismen



Foto: INGUS



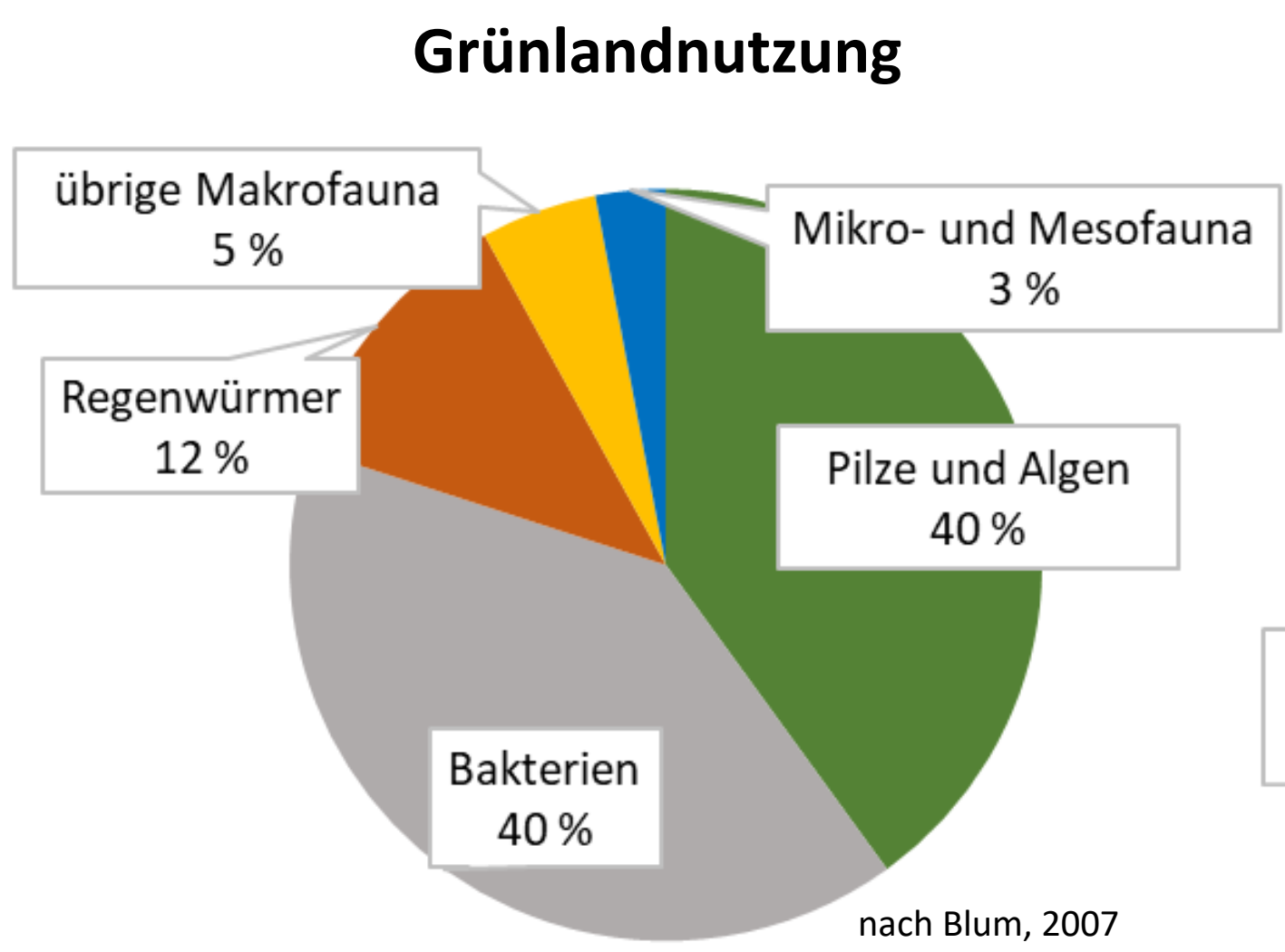
Foto: INGUS

Regenwürmer ziehen Erntereste als Nahrungsquelle in ihre Gänge. Es entstehen Streuhäufchen

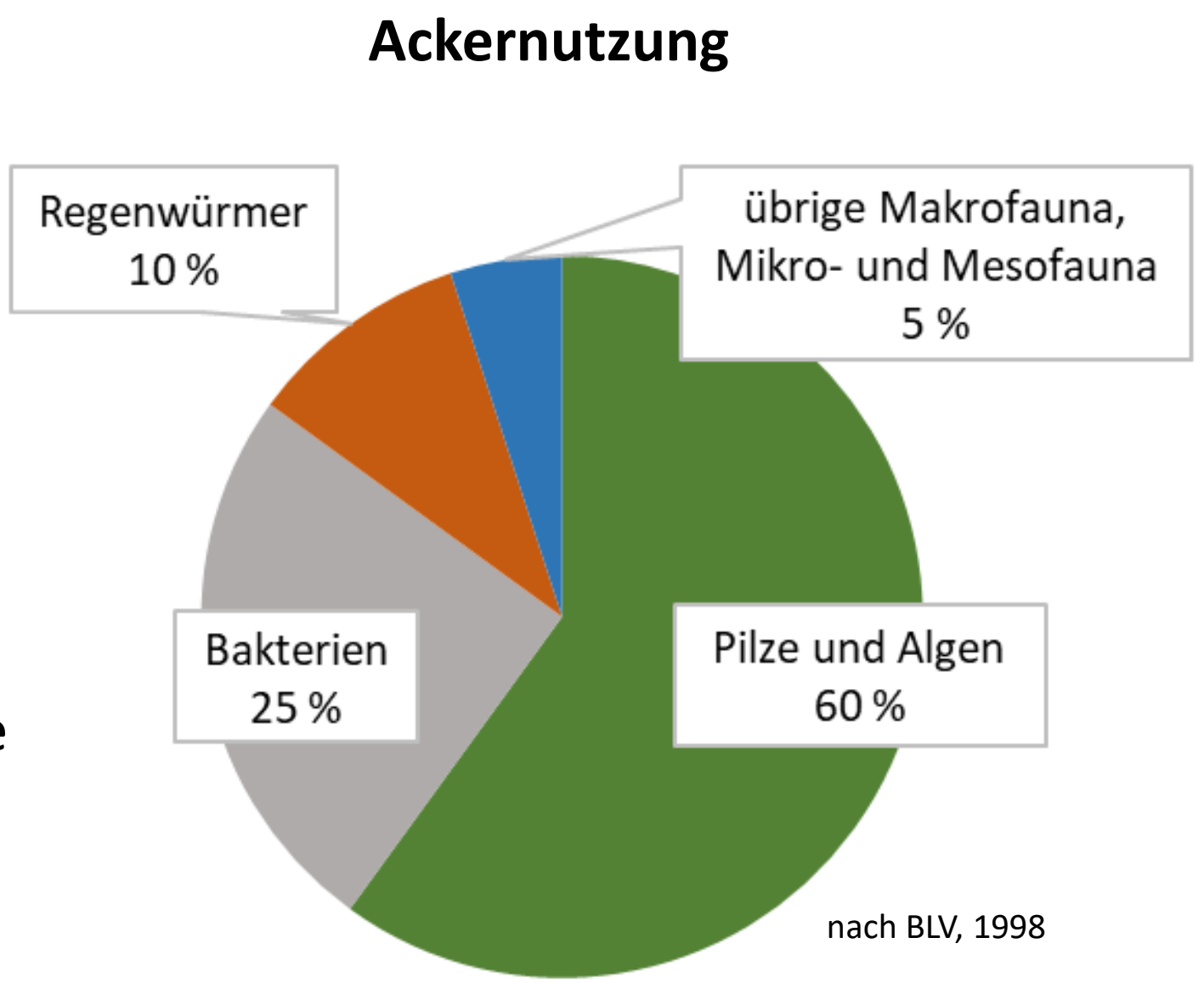


Gewichtsanteile der Bodenorganismen unter landwirtschaftlicher Nutzung

Beispiele für die Zusammensetzung der **lebenden organischen Substanz** weitgehend gesunder Böden bei Grünland- und Ackernutzung.

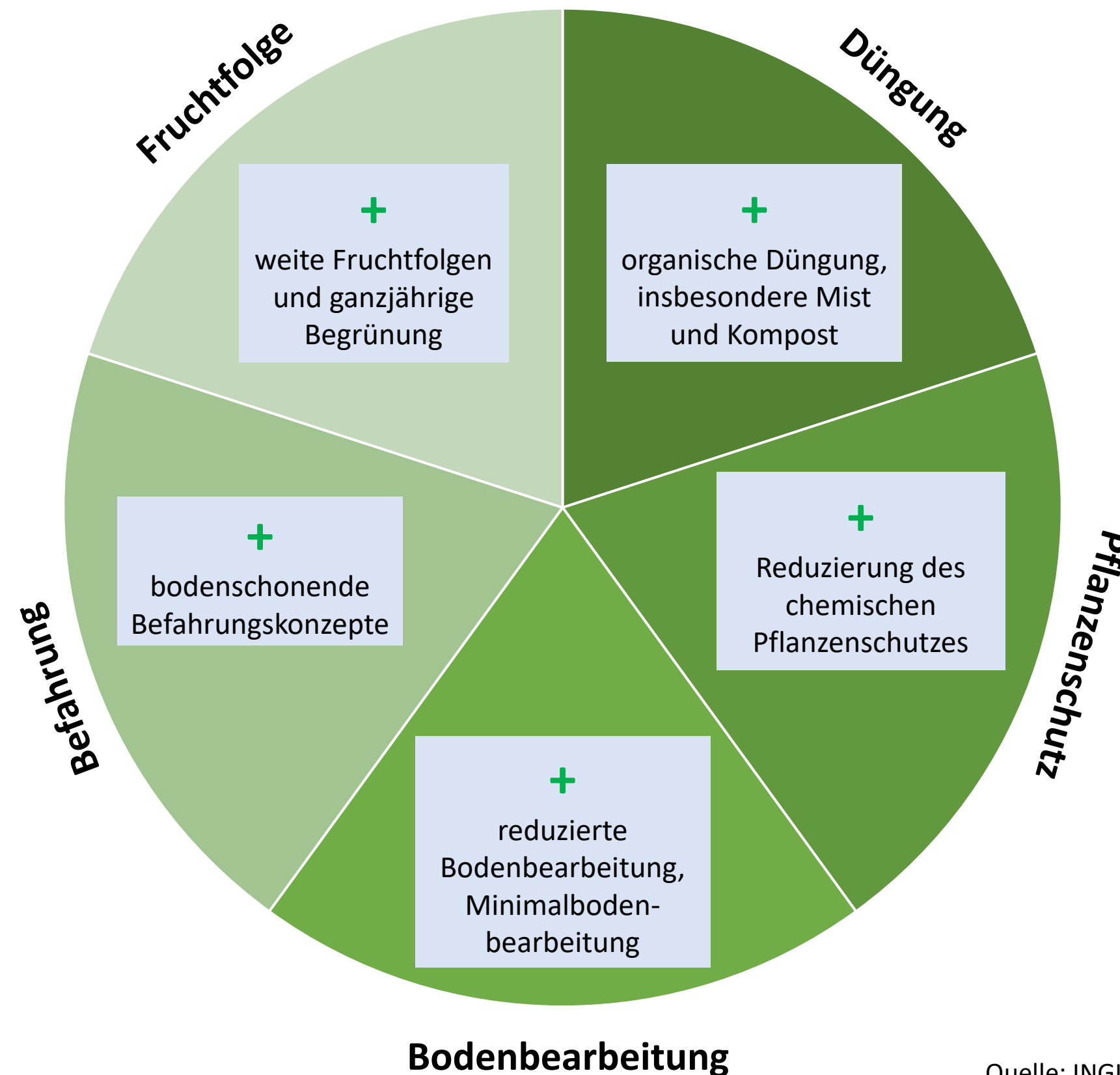


Die Bewirtschaftung des Bodens hat erheblichen Einfluss auf die Zusammensetzung und Aktivität des Bodenlebens!



Neben der Nutzung spielt auch die Bewirtschaftungsform eine bedeutende Rolle für das Bodenleben...

Einflussfaktoren der Bewirtschaftung auf das Bodenleben



Quelle: INGUS

Z. B. reduzierte, nicht wendende Bodenbearbeitung und geringer Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel steigern die Aktivität der Bodenbakterien und erhöhen den Regenwurmbesatz erheblich.

Das Bewirtschaftungssystem bestimmt die Bodenfruchtbarkeit – ein Praxisbeispiel

Ein Boden, zwei Bewirtschaftungssysteme:

Bodenschadverdichtung führt zum Rückgang des Bodenlebens...

hohe biologische Aktivität



Foto: INGUS

pfluglos

60 Regenwurmgänge/m²

geringe biologische Aktivität

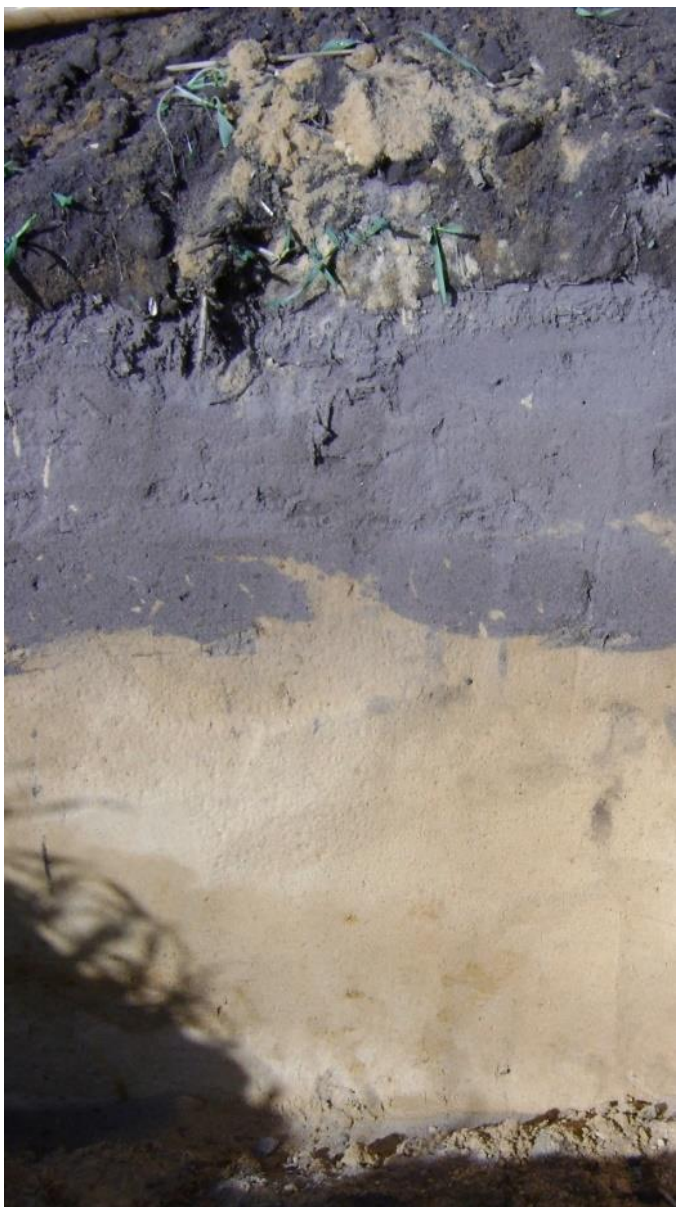


Foto: INGUS

mit Pflug

nur 4 Regenwurmgänge/m²

Schwund bis Verlust der Regenwurm-Population



Sackungs-
verdichtung
durch Vibration

Modul 7)

Bodenschonende Bewirtschaftung





Bodenschadverdichtung möglichst vermeiden

... ist ein wesentlicher Leitsatz für eine erfolgreiche Flächenbewirtschaftung,

denn Bodenschadverdichtung schädigt den Ober- und den Unterboden und verringert somit deren Produktionsfunktion.

Bodenschadverdichtungen sind nur schwer zu beheben, insbesondere im Unterboden. Die beste Lösung ist daher eine umfassende Vorsorge.

Bodenschadverdichtung lässt sich vermeiden durch:

- vorbeugende Bewirtschaftungsweisen
- eine regelmäßige Bodenzustandserfassung und -bewertung



www.schleswig-holstein.de/Bodenzustandserfassung



Spatendiagnose

Foto: INGUS



Grundsätzlich sollte eine vorbeugende Bewirtschaftungsweise zur Vermeidung von Bodenschadverdichtungen gewählt werden:

Wenn allerdings schon Bodenverdichtungen vorliegen, sollten diese zunächst behoben werden:

Grundsätzlich Wahl vorbeugender Bewirtschaftungsweise

Technische Behebung von Bodenschadverdichtung

Bodenschonende Folgebewirtschaftung

Auswahl und Umsetzung geeigneter Maßnahmen



Tiefenlockerer



Foto: INGUS

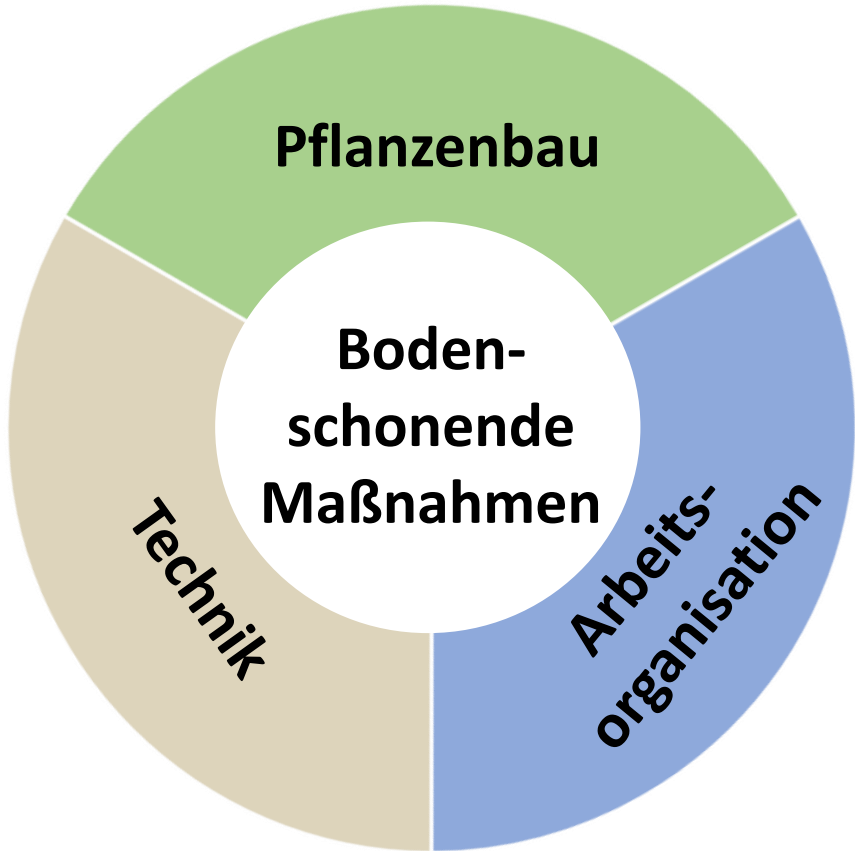


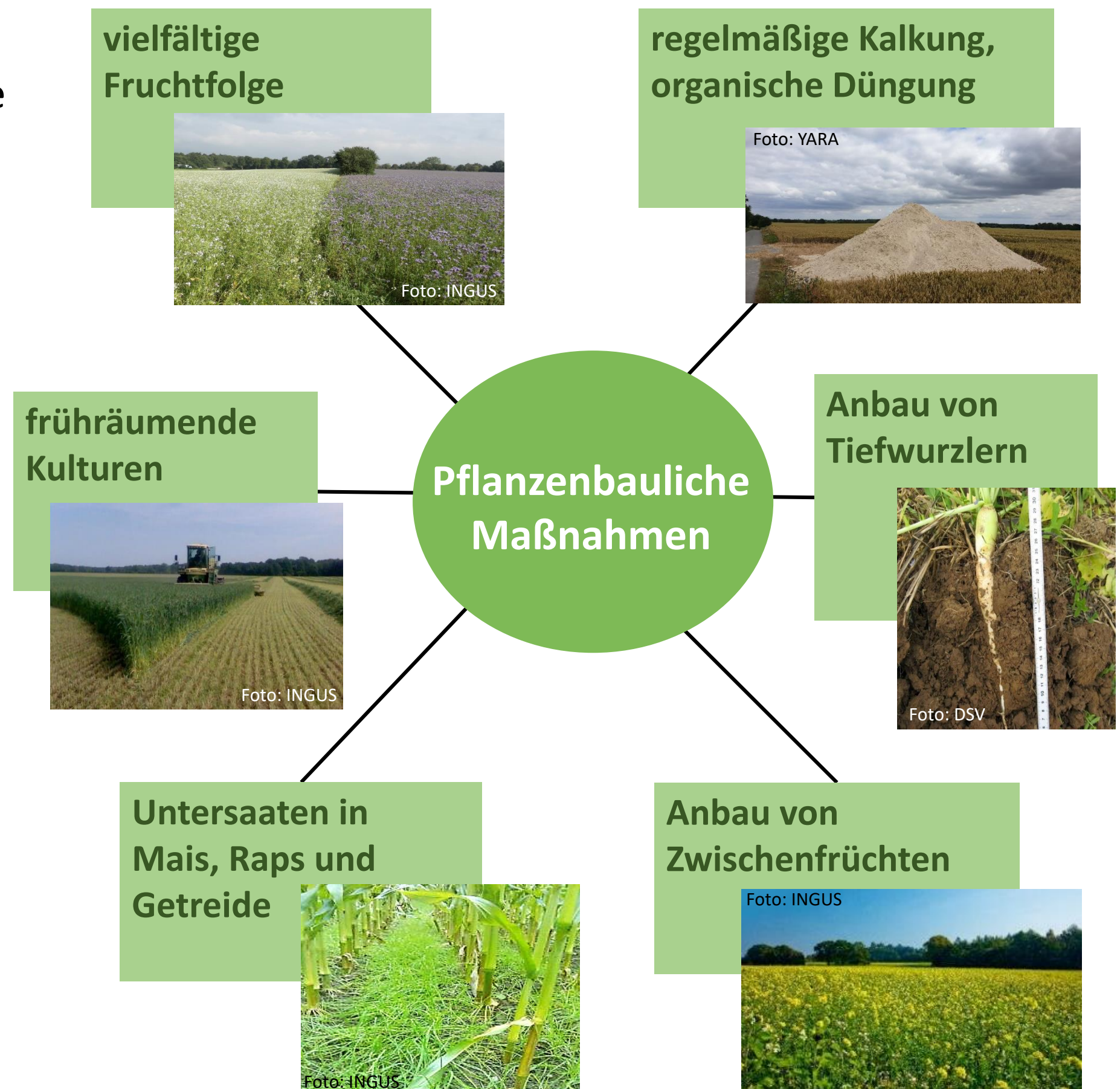
Foto: AMAZONE

Dauerhaft bodenschonende Bewirtschaftung



Förderung des Bodenlebens, Stabilisierung des Bodengefüges...

- Eine ganzjährige pflanzliche Bodenbedeckung fördert die Bodenfruchtbarkeit, schützt den Boden vor Erosion und bietet Nahrung für Bodenlebewesen
- Eine intensive Durchwurzelung sorgt für eine Stabilisierung und gute Durchlüftung des Bodens
- Ein ausgeglichener Kalkhaushalt wirkt positiv auf das Bodengefüge und das Bodenleben





Befahrung von möglichst geringer Fläche bei möglichst guten Bedingungen...

- Ein trockener Boden ist tragfähiger und verringert so die Gefahr von bewirtschaftungsbedingten Bodenschadverdichtungen im Ober- und Unterboden
- Festgelegte Fahrwege reduzieren die verdichtungsgefährdete Fläche bzw. vermeiden Bodenschadverdichtungen
- Große Arbeitsbreiten reduzieren die befahrene und verdichtungsgefährdete Fläche
- Die Kombination von Arbeitsgängen verringert die Überfahrhäufigkeit und damit die Verdichtungsgefahr

Ernte bei optimaler Bodenfeuchte



Bodenbearbeitung bei optimaler Bodenfeuchte



Befahrungsvorgaben festlegen



Arbeitsorganisatorische Maßnahmen

Befahren nur in Fahrspuren



Weniger befahrene Fläche durch größere Arbeitsbreiten



Weniger Überfahrten mittels Geräte-Kombinationen





Möglichst geringe Auflast bei möglichst geringem Eingriff...

- Ein geringer Kontaktflächendruck beugt Bodenschadverdichtungen vor allem im Oberboden vor
- Eine geringe Radlast schont insbesondere den Unterboden
- Ein ungepflügter, gewachsener Boden ist unempfindlicher gegenüber Auflast
- Jährlich wechselnde Arbeitstiefen beugen Bodenschadverdichtungen vor allem im Oberboden bzw. zwischen Ober- und Unterboden vor

Bodenbearbeitung nicht wendend

Foto: Kverneland



Geringe Fahrzeuggewichte

Foto: JOSKIN.com



Wechselnde Bearbeitungstiefen



Fotos: INGUS

Technische Maßnahmen

Reduzierte Reifeninnen-drücke



Foto: DAMMANN

Lastverteilung, Breitbereifung, Raupenlaufwerke



Foto: JOSKIN.com

Kleine Güllefässer, Gülleverschlauung



Foto: Shutterstock.com

Zur Vorbeugung von Bodenschadverdichtung ist am wirksamsten die **Kombination bodenschonender Maßnahmen**

Auswahl geeigneter Maßnahmen aus den Bereichen

- Pflanzenbau
- Arbeitsorganisation
- Technik

Angepasst an z. B. die Kriterien

- Standortbedingungen
- Betriebstyp
- Bewirtschaftungsform
- Bestehende Maschinenausstattung

Integration in das Bewirtschaftungssystem

Die Umstellung zu einem bodenschonenden Bewirtschaftungssystem kann schrittweise erfolgen. Allerdings ist auch schon die Umsetzung einzelner bodenschonender Maßnahmen zu Beginn ein Erfolg!

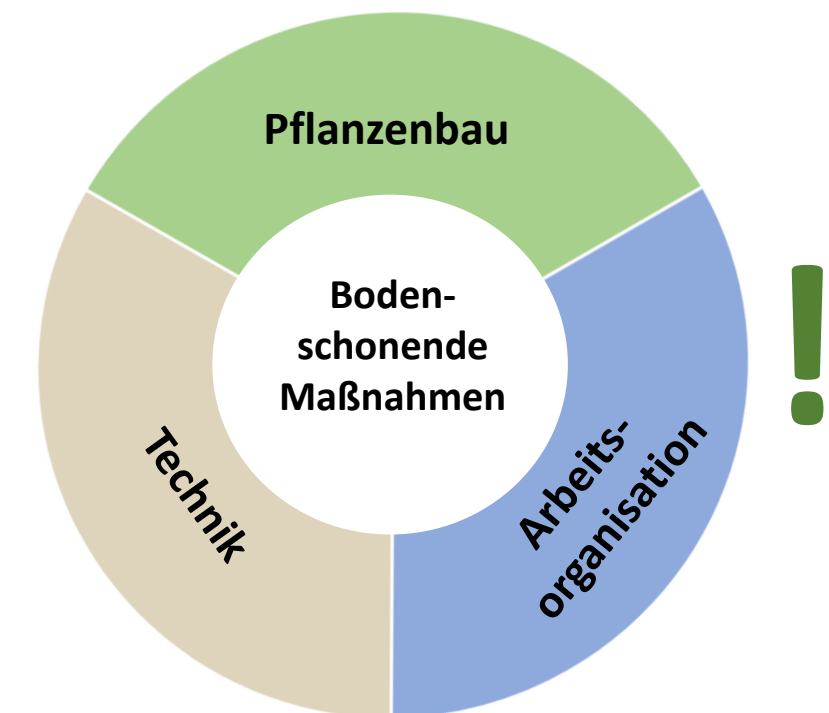
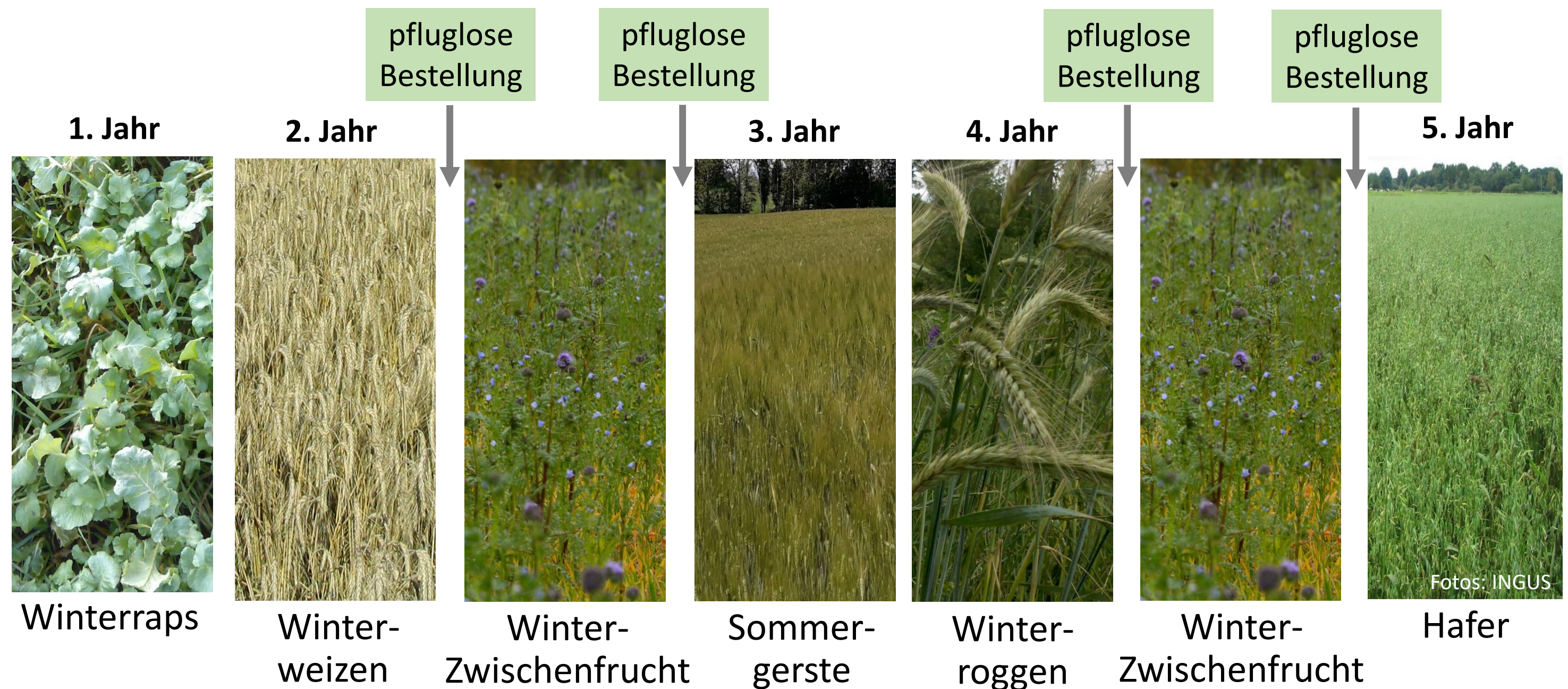


Foto: DSV

Biologische Bodenlockerung mit Tiefenrettich

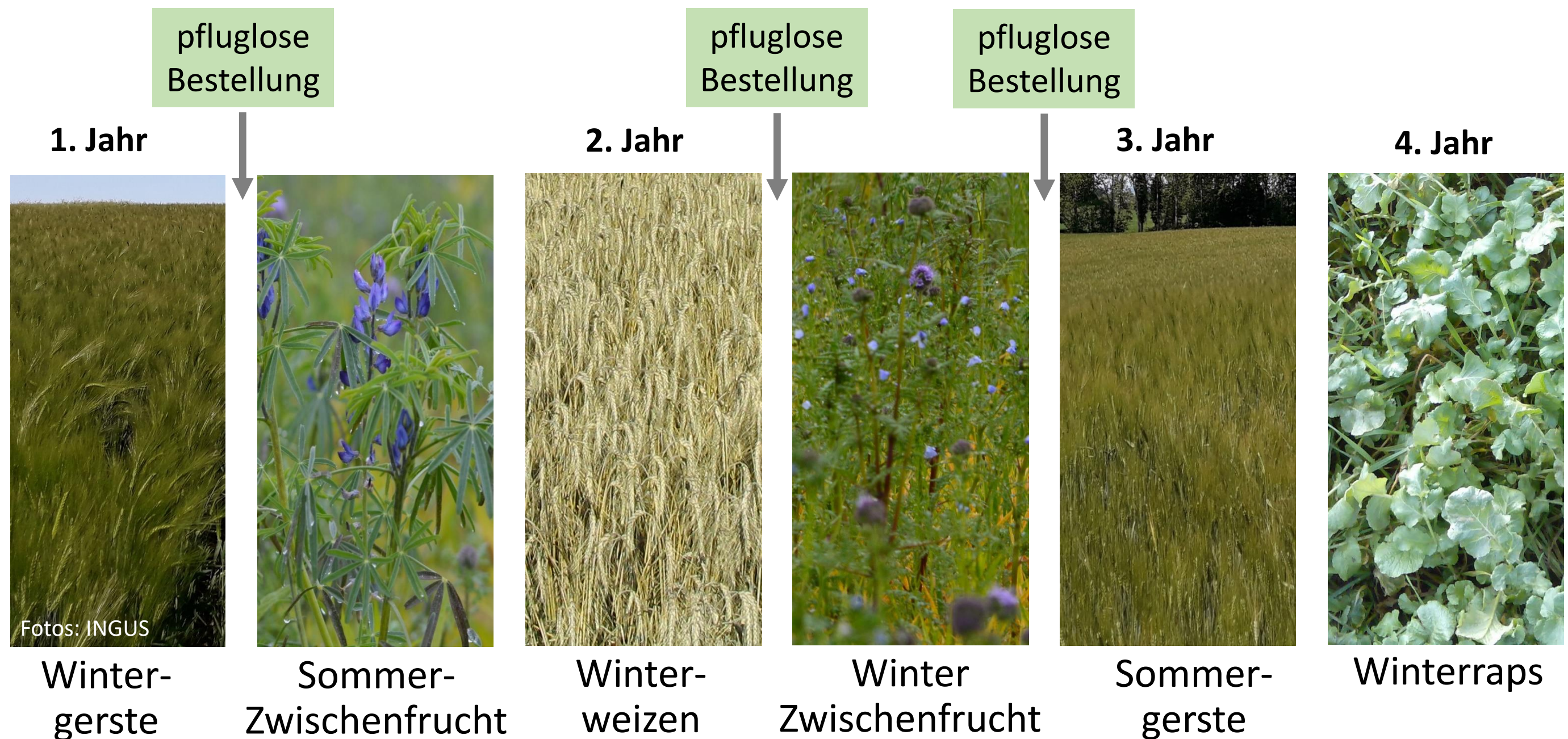
Beispiel für ein bodenschonendes Bewirtschaftungssystem Ackerbau mit Winterzwischenfrüchten

- Ganzjährige Begrünung
- Zwischenfruchtanbau (Mischungen mit intensiver Durchwurzelung)
- Strohverbleib
- Reduzierung der Bodenbearbeitung
- Sommerungen und Winterungen im Wechsel



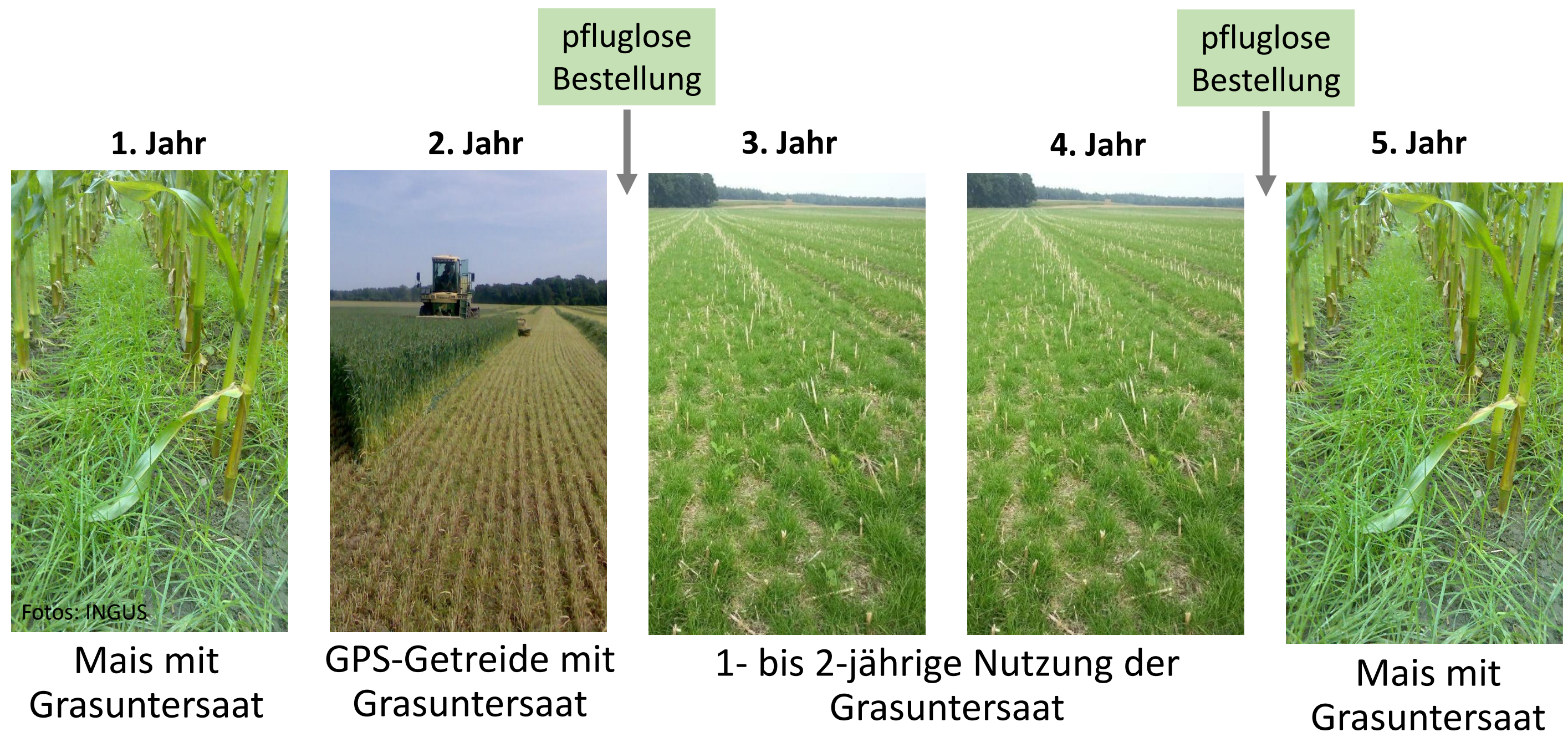
Beispiel für ein bodenschonendes Bewirtschaftungssystem Ackerbau mit Sommer- und Winterzwischenfrüchten

- Ganzjährige Begrünung
- Zwischenfruchtanbau
- Strohverbleib
- Reduzierung der Bodenbearbeitung
- Sommerungen und Winterungen im Wechsel



Beispiel für ein bodenschonendes Bewirtschaftungssystem Feldfutterbau

- Getreide, Gras, Mais im Wechsel
- Teils mehrjährige Nutzung von Untersaaten
- Dadurch Reduzierung der Bodenbearbeitung
- Ganzjährige Begrünung



Beispiel für ein bodenschonendes Bewirtschaftungssystem Grünland

- Möglichst wenig Überfahrten
- Begrenzte Beweidungsdauer und Besatzstärke
- Erhalt einer geschlossenen Narbe (Nachsaat und Pflege)
- Langjährige Nutzung ohne Umbruch



*Grünlandstriegel und
Nachsaat in einem Arbeitsgang*



Fotos: INGUS



*Intensive Beweidung
möglichst vermeiden*



Fotos: INGUS



Wird nach der **Erfassung und Bewertung des Bodenzustandes** eine Bodenschadverdichtung festgestellt, erfolgt eine Untersuchung der:

- Art der Verdichtung (z. B. Grubbersohle, Pflugsohle, Unterbodenverdichtung)
- Tiefe der Verdichtung
- Flächenanteilige Verbreitung der Verdichtung (z. B. flächendeckend, punktuell)
- Entstehungsursachen der Verdichtung
- Probleme bei der Bewirtschaftung infolge der Verdichtung

Diagnose

Im nächsten Schritt erfolgen die **Auswahl und Durchführung geeigneter Maßnahmen** zur Behebung der vorliegenden Schäden:

- Nachhaltige Behebung der Verdichtung durch
 - Standortangepasste Maßnahmenwahl
 - Festlegung einer bodenschonenden Folgebewirtschaftung

Therapie

Zur nachhaltigen Behebung von Bodenschadverdichtungen unterhalb der Ackerkrume wird folgendes Vorgehen empfohlen:

Auswahl des geeigneten Tiefenlockerungsgerätes



Durchführung der Tiefenlockerung bei geeigneten Bedingungen



Bodenschonende Folgebewirtschaftung

Tiefenlockerung zur Behebung von Bodenschadverdichtung

Wenn eine großflächige Bodenschadverdichtung unterhalb der Ackerkrume zu erheblichen Ertragseinbußen führt, kann eine Tiefenlockerung sinnvoll sein.

Bedingung: Der Boden muss über die gesamte Tiefe trocken sein!

Die **technische Behebung** von Bodenschadverdichtungen ist anspruchsvoll. Falsch eingesetzt, kann sie ohne Wirkung bleiben oder sogar zusätzliche Schäden verursachen.

Tiefenlockerung ist keine Standard-Maßnahme!

- **Fahrspurenlockerung**

Erneute Verdichtung vermeiden und bodenschonende Folgebewirtschaftung beachten! (versetzte Fahrgassen)



Tiefenlockerung

Foto: INGUS

- **Ganzflächige Tiefenlockerung**

Die Tiefe des Eingriffs richtet sich nach der Tiefenlage der Verdichtung (Grubbersohle, Pflugsohle, Unterbodenverdichtung)



Tiefenlockerer mit freigelegtem Schar

Foto: INGUS

Bodenschonende Folgebewirtschaftung nach einer Tiefenlockerung

Die Tiefenlockerung bildet vor allem Grobporen, die gegenüber einer erneuten Verdichtung besonders empfindlich sind. Daher muss die Folgebewirtschaftung wie folgt angepasst werden:

- **Bodenruhe** zur Bewahrung des Lockerungszustandes
- **Chemische Stabilisierung** durch regelmäßige Kalkung
- **Biologische Stabilisierung** durch Zwischenfrüchte mit intensiver und unterschiedlich tiefer Durchwurzelung

Zwischenfrucht zur biologischen Stabilisierung des Bodens



Regelmäßige Kalkung

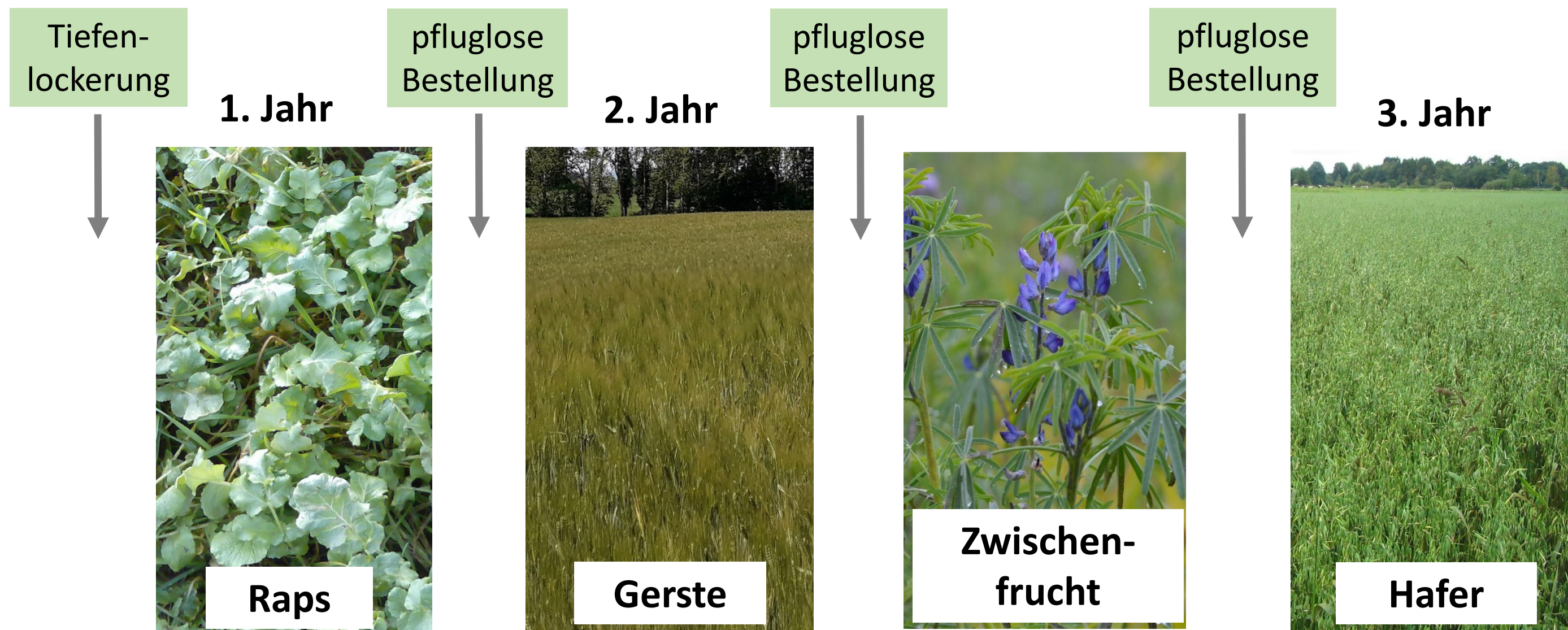
Foto: AMAZONE



Foto: INGUS

Beispiel einer Folgebewirtschaftung nach erfolgter Tiefenlockerung

- Tiefenlockerung bei trockenen Bedingungen kurz vor der Rapsaussaart
→ Lebendverbauung durch tiefe Durchwurzelung
- Nach der Rapsernte pfluglose Bestellung von Wintergerste mit Strohverbleib
→ Futter für das Bodenleben
- Frühe Ernte der Gerste und nachfolgend pfluglose Zwischenfruchtbestellung
→ Durchwurzelung und Futter für das Bodenleben
- Pfluglose Bestellung einer Sommerung (Hafer)



Fotos:
INGUS