

Gefüge

1. Was ist das (Boden-)Gefüge?

Die festen Bodenbestandteile (Sand-, Schluff-, Ton-, tote organische Substanz-Teilchen) liegen meist nicht lose nebeneinander, sondern sind miteinander auf unterschiedliche Weise und verschieden fest verbunden. Dieser variable Zusammenhalt und seine Formen sowie die dazwischen liegenden Hohlräume (= **Poren**) werden als Gefüge (oder - besonders früher - Struktur) bezeichnet. Zusammenhalt durch:

❑ Aggregierungsmechanismen

physikochemische Ursache: VAN DER WAALS-Kräfte, COULOMBSche Kräfte, Dipol-Kräfte, Ionen-Bindungskräfte, Meniskenkräfte; jede Kraft bzw. Kräftegruppe unterschiedliche Reichweite.

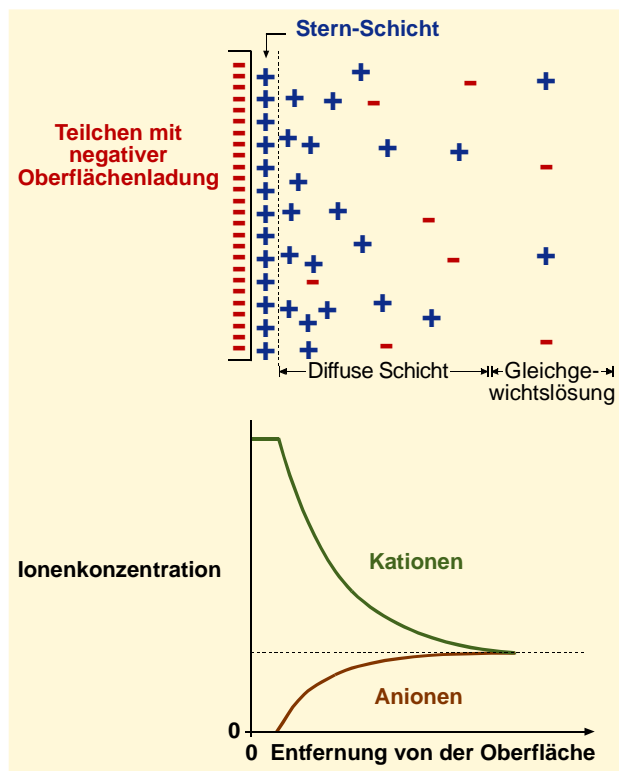
Dipolkräfte: besonders ausgeprägt beim H_2O -Molekül,

Ionenbindungskräfte: hauptsächlich auf unterschiedliche Ladung der Bestandteile zurückzuführen,

Meniskenkräfte: bedingt durch Oberflächenspannungen an Grenzschichten flüssig-fest, flüssig-Gas, fest-Gas; flüssig = Bodenwasser bzw. Bodenlösung; bei Kontamination Mischlösung bzw. Mischungslösung mit z.T. stark abweichenden Eigenschaften!

feste Bestandteile mit unterschiedlichen Ladungen (Stärke, Vorzeichen) nebeneinander (Ladungsträger: Tonminerale, Fe-, Mn-, Al-Oxide, organische Großmoleküle; siehe Körnung) + Bodenlösung mit unterschiedlichen Ladungen durch Anionen und Kationen nebeneinander – gleichsinnige Ladungen stoßen sich ab, ungleichsinnige ziehen sich an – Teilchen ziehen sich unterschiedlich stark an, Ausmaß abhängig von Ionenkonzentration in Bodenlösung \Rightarrow Dicke der **diffusen Doppelschicht**:

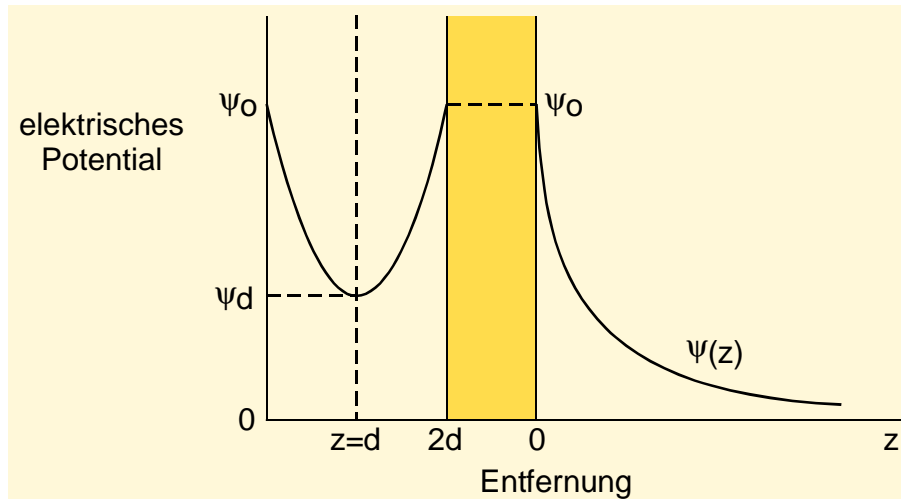
Abb.1



Ionenverteilung und Konzentrationsverlauf in der elektrischen Doppelschicht eines Kationenaustauschers nach dem Modell von GOUY und STERN

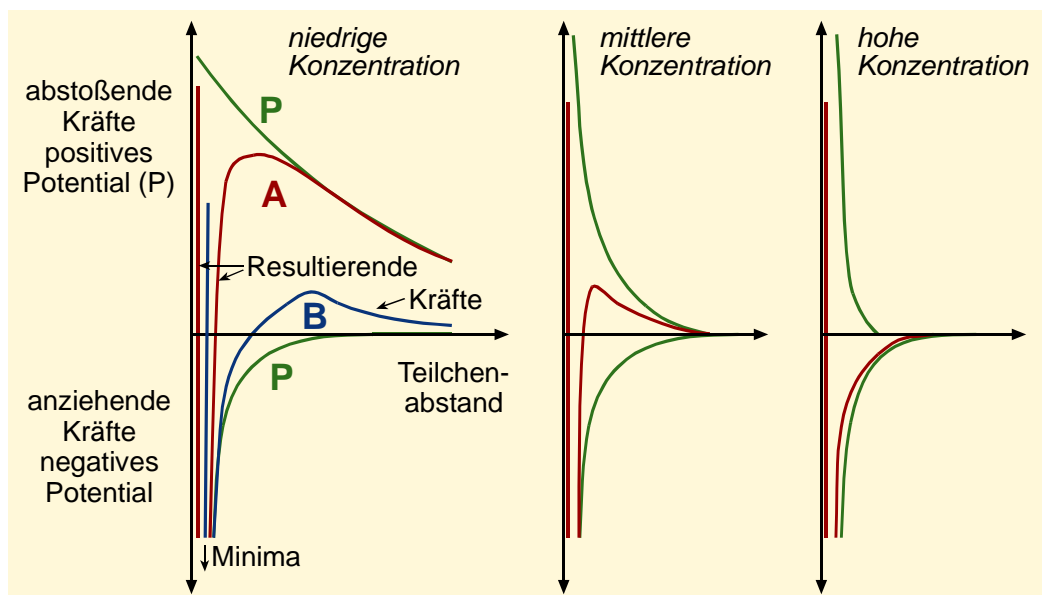
aus Sch/Sch (1998)

Abb.2



diese wiederum abhängig vom Wassergehalt: viel Wasser \Rightarrow dicke Doppelschicht \Rightarrow geringe Anziehung \Rightarrow Teilchen dispergiert oder in Suspension (Abb. 4a);
wenig Wasser \Rightarrow dünne Doppelschicht \Rightarrow starke Anziehung \Rightarrow Teilchen geflockt

Abb.3



Schematische Darstellung der Potentiale (P), der Potentialsummenkurve (=Resultierende) und der Kräfte zwischen zwei Teilchen in einer Suspension in Abhängigkeit vom Teilchenabstand bei drei verschiedenen Salzkonzentrationen.

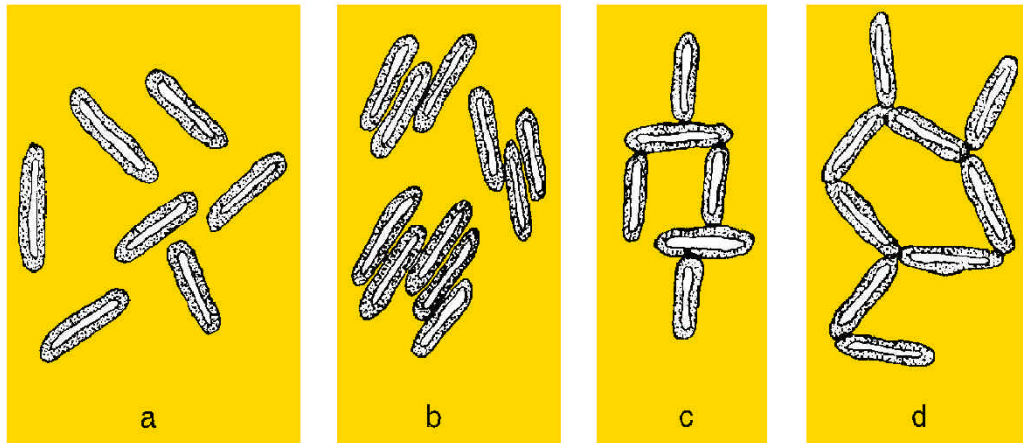
aus Sch/Sch (1998)

\Rightarrow je nach Art der Ladungsträger und der Ionen in Bodenlösung unterschiedliche Teilchenanordnung im mikroskopischen bis submikroskopischen Bereich:

kompakt (Na^+ -reich; Abb. 4b)

locker = 'Kartenhaus'-Sub-Mikrogefüge (Ca^{2+} -reich; Abb. 4c und d)

Abb.4

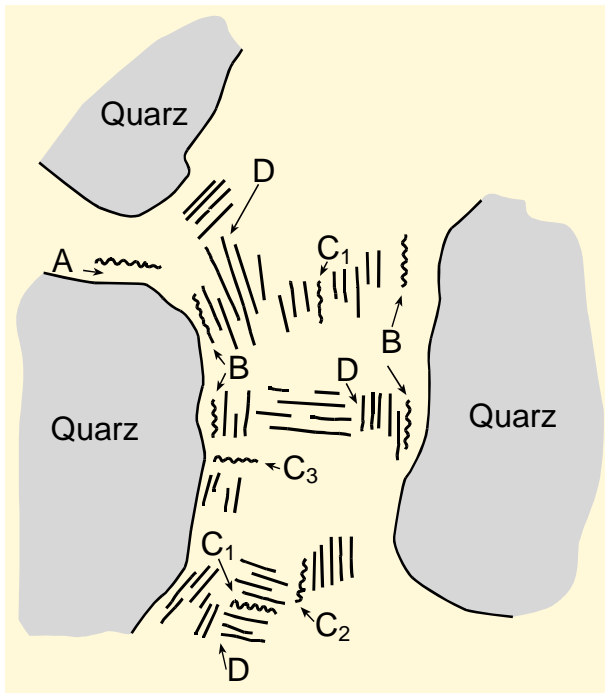


Aggregatbildung bei blättchenförmigen Materialien: a) peptisiert, b) aggregiert Fläche-Fläche, c) aggregiert Fläche-Kante, d) aggregiert Kante-Kante (punktiert: Wasserhülle der Doppelschicht).
aus Sch/Sch (1998)

⇒ selbst unter trockenen Bedingungen sind Teilchen mit dünnen bis sehr dünnen Wasserfilmen umhüllt. Letzteres gilt insbesondere für Tonteilchen (s. Abb.4)

Beispiel für Zusammenhalt zwischen unterschiedlichen Ladungsträgern:

Abb.5



Modell der Anordnung von Tonmineralpaketen, organischer Substanz und Quarz in einem Bodenkrümel
aus Sch/Sch (1998)

Summenwirkung Aggregierungsmechanismen:

- I. Feinmaterial haftet auf bzw. umhüllt grobe Teilchen;
 - II. Feinmaterial verbindet/verkittet grobe Teilchen;
 - III. Wassermenisken verbinden Teilchen ⇒ Zusammenhalt eines Bodens
- feste Bestandteile = Bindemittel, Kittsubstanz

Einfluß des **Wassergehalts** sehr groß: bewirkt sowohl die **Kohäsion** oder **Konsistenz** als auch die **Quellung und Schrumpfung**

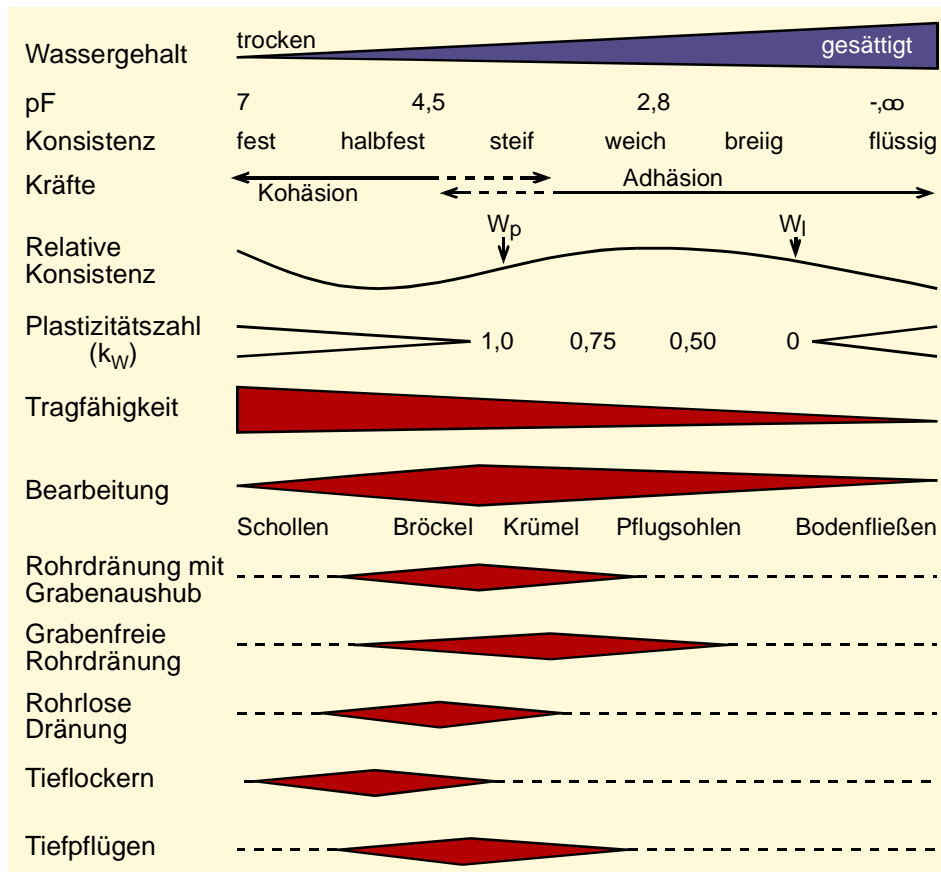
❑ Konsistenz

Kohäsion oder **Konsistenz** entscheidend für

- Tragfähigkeit von Baugründen bzw. der Stabilität von Böschungen oder Aufschüttungen,
- Tragfähigkeit für landwirtschaftliche u.a. Maschinen, Bodenbearbeitbarkeit und Beweidung.

Wichtige Kenngrößen sind die **Fließgrenze (W_l)**, die **Ausrollgrenze (W_p)** und **Plastizitätszahl (k_w)** (= Differenz zwischen Fließ- und Ausrollgrenze). Oberhalb Fließgrenze zerfließt Boden, unterhalb Ausrollgrenze bricht (bröckelt) Boden

Abb.6



(Kuntze et al. 1994)

❑ Quellung und Schrumpfung

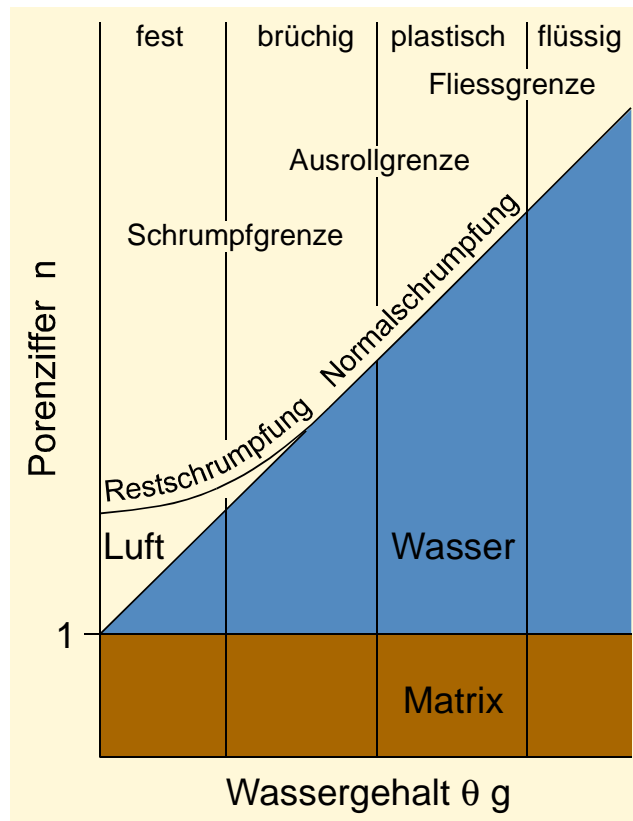
Entwässerung (durch Versickerung und/oder Verdunstung) von in Wasser hinein sedimentiertes Material \Rightarrow Auftriebswirkung des Wassers verschwindet \Rightarrow Teilchen treten dichter zusammen \Rightarrow 'Boden'oberfläche senkt sich \Rightarrow Substrat (Boden) schrumpft \Rightarrow Lagerungsdichte nimmt zu bzw. Porenvolumen nimmt ab (Abb. 7), **auch** bei Sanden (und Kiesen).

Volumenabnahme bzw. Zunahme der Packungsdichte um so ausgeprägter, je mehr Wasser ursprünglich von den Teilchen gebunden \Rightarrow je höher also der Feinschluff- und Tongehalt.

Bis zu einem substrattypischen Grenz-Wassergehalt entspricht die Volumenabnahme der Wassergehaltsabnahme: = **Normalschrumpfung**

Bei weiterer Wassergehaltsabnahme nimmt Volumen nicht in gleichem Maße ab, weil Teilchen nur dichter aneinander treten können, wenn die Bindung zwischen Teilchengruppen unterbrochen wird: = **Restschrumpfung**

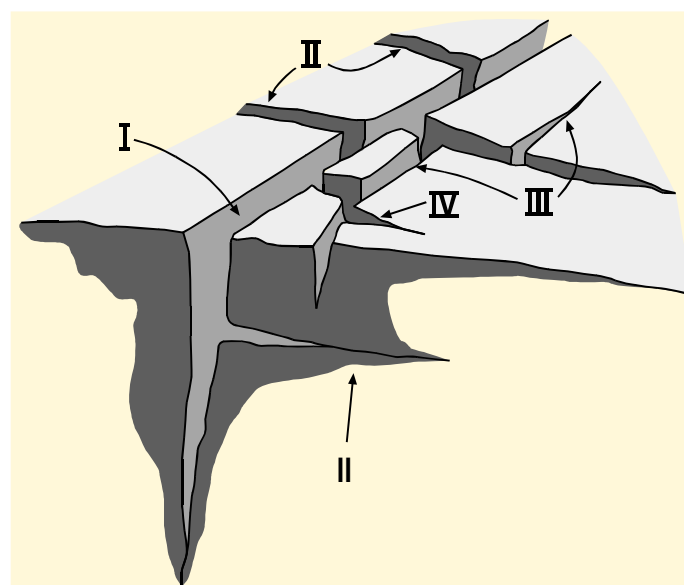
Abb.7



Schrumpfprozess eines trocknenden Bodens und Konsistenzgrenzen (nach Atterberg)
(aus Gisi 1997)

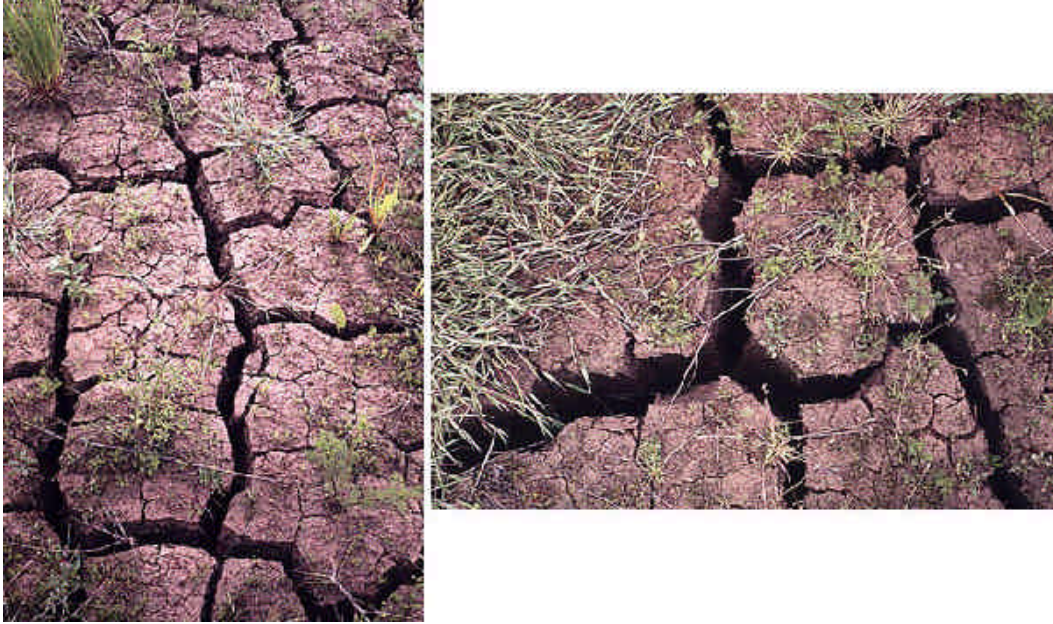
sichtbar am Auftreten von (Zug-)Rissen im Substrat bzw. Boden; Risse um so breiter und tiefer, also größer, je stärker die Entwässerung und/oder je höher der Tongehalt
weitere Entwässerung \Rightarrow von diesen ersten (Haupt-)Rissen gehen weitere Zugrisse aus:

Abb.8



Entstehung von Aggregaten durch Ausbildung eines Systems aus Zugrissen in vier aufeinander folgenden Generationen (I bis IV)
aus Sch/Sch (1998)

Abb.9



Entstehung von **Aggregaten** bzw. **Aggregatgefügen**.
Schrumpfriß-Generationen (Polygone) in Feuerleiten-Ton
Aufn.: H.H.Becher, 14.06.1982, nordöstl. Bayreuth;

Wiederbewässerung/-befeuchtung (durch Niederschlag [Grundwasseraufstieg]) \Rightarrow Teilchen nehmen Wasser auf \Rightarrow Wasserhüllen werden dicker \Rightarrow Teilchenabstand vergrößert sich \Rightarrow Quellung \Rightarrow Risse schließen sich \Rightarrow Bodenoberfläche angehoben; Ausprägung abhängig von Tongehalt (s. Abb. 9)

aber: ursprünglicher Zustand nicht erreichbar, weil Teilchen infolge dichter Packung nicht mehr frei beweglich

je häufiger u./o. intensiver Feuchtwechsel und je höher Tongehalt \Rightarrow mehr Risse, feinere Risse \Rightarrow mehr Aggregate, feinere Aggregate \Rightarrow je dichter an Bodenoberfläche, desto kleiner Aggregate innerhalb eines Profiles (s. auch Gefüge-[Struktur-]profil eines Tonbodens [in/aus Schaukasten])

Bodenoberflächensenkung infolge Entwässerung (natürlich oder künstlich): mineralische Substrate: Setzung

organische Substrate: natürlich, besonders bei Hochmooren: Mooratmung, stets reversibel

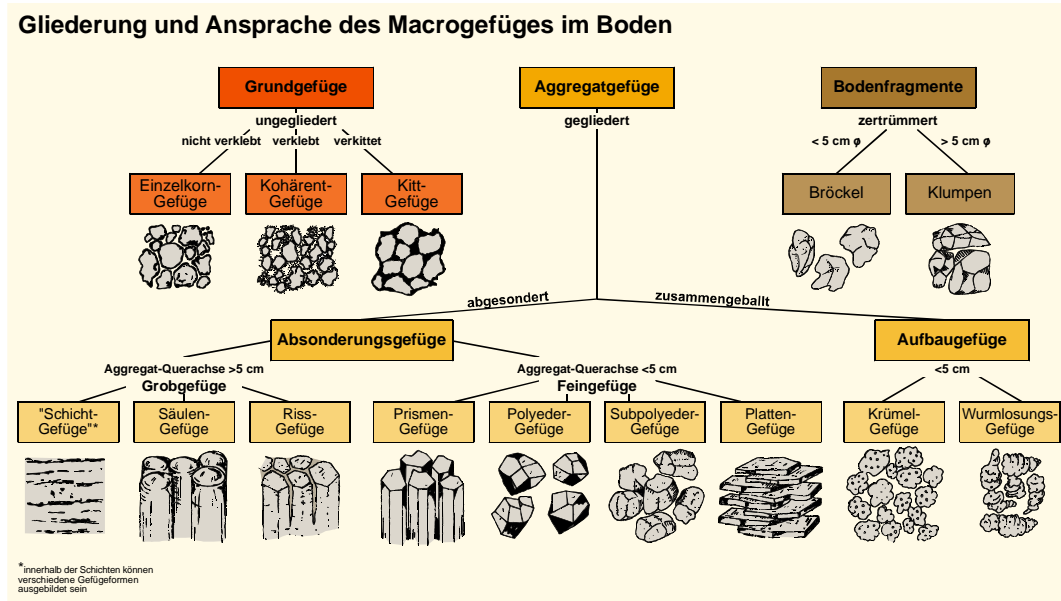
künstlich: Moorsackung, fast irreversibel

aber: nur bei Moorsackung in Niedermooren Schrumpfrisse, wenn relativ hoher Anteil an mineralischem Material vorhanden

2. Gefüge- und Aggregatformen:

■ Gefügeformen

Abb.10



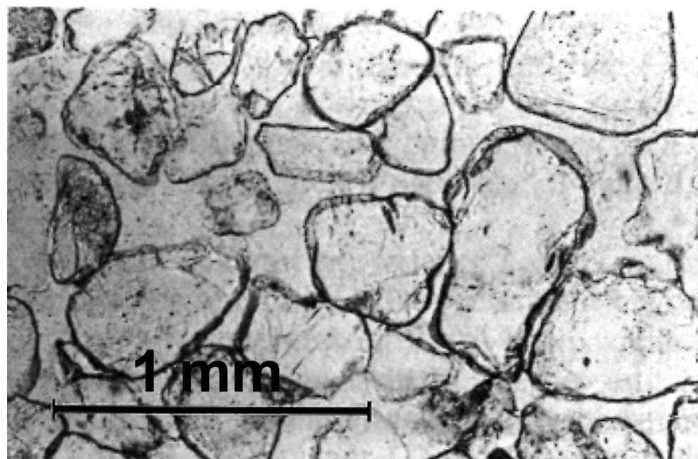
Kuntze et al. 1994

nicht einheitlich oder gleichmäßig über das gesamte Profil verteilt, sondern meist Wechsel zwischen verschiedenen Formen innerhalb des Profils \Rightarrow je stärker Substrate differenziert und/oder je weiter Bodengenese fortgeschritten \Rightarrow desto variabler Gefügeformen

■ Einzelkorngefüge

Zusammenhalt nur durch Menisken-, Reibungs- und Gravitationskräfte \Rightarrow alle Körner liegen lose neben einander:

Abb.11



Einzelkorngefüge aus Sand
aus Sch/Sch (1998)

Abb. 12



Einzelkorngefüge bzw. Körnungsunterschiede in Talrand-Düne;

Aufn.: H.H.Becher, Sommer 1971, Wümmetal nordwestl. Hellwege, Krs. ROW

⇒ keine Wurm- und Wurzelröhren ⇒ typisch für Dünen sand und ähnlich gut sortierte Substrate ohne Bindemittel: zu naß ⇒ Zerfließen, zu trocken ⇒ Zerrieseln

■ Kohärentgefüge

Zusammenhalt durch Ko- und Adhäsionskräfte aller Arten ⇒ Bindemittel ⇒ Boden massiv ⇒ nicht zerrieselnd, wenn naß nur bei mechanischer Beanspruchung zerfließend ⇒ relativ stabil, auch Wurm- und Wurzelröhren, aber keine Begrenzungsflächen

Abb. 13



Kohärentgefüge (gesamt, Braunerde);

Aufn.: H.H.Becher, 1969, Bordenau, Krs. H

Abb. 14



Kohärentgefüge (Ausschnitt, Bhs-Hor.);

Aufn.: H.H.Becher, 1971, ISSS-Exk. B, Prof. 13/14

■ Aggregatgefüge

Zusammenhalt durch Ko- und Adhäsionskräfte aller Arten \Rightarrow Bindemittel;
Tongehalt $\geq 25\%$, O.S.-Gehalt $\geq 2\%$, meist stabil bis sehr stabil, deutliche Begrenzungsflächen, unterschieden nach vorherrschender Aggregatform:

Krümelfgefüge: Ah-Horizonte \Rightarrow stabil, gut durchlüftet, gute natürliche Entwässerung, hohe nutzbare Feldkapazität \Rightarrow optimale Gefügeform

Polyedergefüge: Ah-, AhBv-, Bv-, Bt-Horizonte \Rightarrow sehr stabil, gut durchlüftet, gute natürliche Entwässerung, hohe nutzbare Feldkapazität \Rightarrow sehr gute Gefügeform

Abb. 15



*Polyedergefüge (Pelosol);
Aufn.: H.H.Becher, 01.09.1988,
Sulzheim, Krs. SW*

Subpolyedergefüge: Ah-, Ap-Horizonte \Rightarrow meist stabil, gut durchlüftet, gute natürliche Entwässerung, hohe nutzbare Feldkapazität \Rightarrow gute Gefügeform

Prismengefüge: Bv-, Bt-, P-Horizonte \Rightarrow mäßig bis sehr stabil, je nach Prismengröße schlecht bis gut durchlüftet, schlechte bis gute natürliche Entwässerung, mittlere nutzbare Feldkapazität \Rightarrow je kleiner Prismen \Rightarrow desto besser diese Gefügeform

Abb. 16



*Prismengefüge (Pelosol-
Pseudogley);
Aufn.: H.H.Becher, 31.08.1984,
Konf. „Heavy Clay Soils“, Exk. II,
Prof. 3 (Niederlande)*

Säulengefüge: Salzanreicherungshorizont der Salzmarsch und insbesondere des Solonetz, hier kennzeichnend \Rightarrow stabil bis sehr stabil, mäßig durchlüftet, mäßige natürliche Entwässerung, mäßige bis mittlere nutzbare Feldkapazität, weil meist relativ grobsäulig \Rightarrow mittlere bis ungünstige Gefügeform

Abb. 17



*Säulengefüge (Solonetz);
Aufn.: H.H.Becher, 08.1979, östl.
Zelinograd' (Nordkasachstan)*

Plattengefüge: natürlich und künstlich verdichtete Horizonte oder sedimentationsbedingt \Rightarrow wenig bis sehr stabil, schlecht bis sehr schlecht durchlüftet, schlechte bis sehr schlechte natürliche Entwässerung, mittlere nutzbare Feldkapazität \Rightarrow ungünstige bis sehr ungünstige Gefügeform \Rightarrow je stärker Verdichtung und je höher Lagerungsdichte, desto ungünstiger \Rightarrow kann zu Stauwasser im Boden und/oder zu Oberflächenabfluß führen

Bröckelgefüge: Ap-Horizonte, entstanden durch Bodenbearbeitung unter günstigen Konsistenzbedingungen \Rightarrow vergleichbar mit Subpolyedergefüge, jedoch Aggregate meist größer und weniger gerundet

Schollengefüge: Ap-Horizonte, entstanden durch Bodenbearbeitung unter (sehr) ungünstigen Konsistenzbedingungen \Rightarrow vergleichbar mit grobprismatischem Gefüge (siehe Prismengefüge) \Rightarrow ungünstiges Gefüge \Rightarrow durch zusätzliche Bodenbearbeitung und/oder Frostgare zu verbessern \Rightarrow Bröckelgefüge bzw. Polyedergefüge

Abb. 18



*Schollengefüge (Pelosol);
Aufn.: H.H.Becher, 01.09.1988,
Wetzhausen, Krs. SW*

Übergänge zwischen verschiedenen Gefügeformen sehr häufig, Übergang bzw. Wechsel abhängig von Bodengenese, Intensität der Wechselfeuchte und Substratwechsel \Rightarrow Braunerde aus sandigem Substrat:

Subpolyeder- \rightarrow Kohärent- \rightarrow Einzelkorngefüge;

Parabraunerde aus Löß:

Krümel- \rightarrow Kohärent- \rightarrow Polyeder- \rightarrow Prismen- \rightarrow Kohärentgefüge

Abb. 19

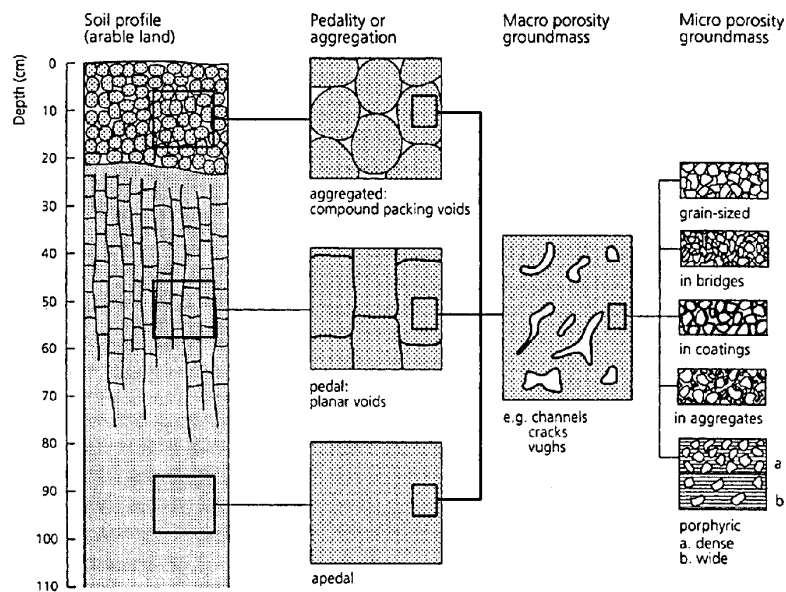


Abb. aus Kooistra & Noordwijk, 1996

■ **Aggregatformen**

Krümel: kleinste Aggregate, traubige Form, weil im wesentlichen Kotaggregate von Tieren, die auf und im Boden leben, Kotballen einzeln oder zusammengeballt, z.B. Regenwurmhäufchen

Polyeder: klein bis mittelgroß, alle 3 Achsen etwa gleich lang, entstanden durch Schrumpfung oder Bodenfrost (Frostgare), dadurch sehr deutliche Begrenzungsflächen, scharfe Ecken und Kanten

Subpolyeder: klein bis mittelgroß, alle 3 Achsen etwa gleich lang, entstanden durch Pressung, insbesondere Bodenbewegung durch Tiere (Roller, Transport) und durch Bodenbearbeitung, dadurch deutliche Begrenzungsflächen, aber keine scharfen Ecken und Kanten

Prismen: mittelgroß bis sehr groß, senkrechte Achse deutlich länger bis sehr lang, durch Schrumpfung entstanden, dadurch sehr deutliche Begrenzungsflächen, scharfe Ecken und Kanten, Prismen zerfallen häufig in Polyeder, große Prismen in kleine(re), diese u.U. auch in Polyeder

Säulen: ähnlich Prismen, deutliche Begrenzungsflächen, jedoch keine scharfen Ecken und Kanten, besonders Säulenkopf stark abgerundet, Na-Salzanreicherung auf Oberflächen, besonders in Höhe des Säulenkopfs (als Grundwassermarken in Salzböden), führt zur Dispergierung des Oberflächenmaterials nach starker Durchfeuchtung

Platten: klein bis sehr groß, senkrechte Achse viel kürzer als waagerechte Achsen, entstanden durch natürliche (Hebelwirkung der Wurzelteller sich im Wind bewegender Bäume) oder künstliche Verdichtung (Bodenbearbeitung und Fahren [Pflege, Ernte] auf zu nassen Böden, Bodenbewegung (Planieren) von zu nassen Böden)

Abb.20



Platten infolge übermäßiger Verdichtung

*Aufn.: H.H.Becher, 26.05.1992,
aus 'Kompost-Terrasse',
Versuchsfeld LS Gemüsebau,
TUM, Freising-Dürmast*

oder infolge feiner Sedimentationsunterschiede

Abb.21



Platten infolge Sedimentationsunterschieden

*Aufn.: H.H.Becher, 30.08.1984,
Konf. „Heavy Clay Soils“, Exk. I,
Prof. 1 (Niederlande)*

Bröckel: klein bis mittelgroß, alle 3 Achsen meist etwa gleich lang, durch Bodenbearbeitung entstanden, ähnlich Subpolyedern, jedoch vielfach größer und mit rauherer Oberfläche

Schollen: sehr groß, durch Pflügen lehm- bzw. tonreicher Böden unter feuchten bis nassen Bedingungen (Wassergehalt zwischen Fließ- und Ausrollgrenze) entstanden (s. Abb. 18)

sonstige: Scherben-, Splittergefüge u.ä., wird nicht immer ausgeschieden, meist durch Bodenbearbeitung oder Bodenfrost oder sehr starke Austrocknung entstanden, Größe recht unterschiedlich

Auftreten zweier Gefügeformen auch innerhalb gleichen Materials \Rightarrow Unterscheidung zweier Horizonte, z.B. Polyeder- über Prismengefüge in Bt-Horizont \Rightarrow Bt1 und Bt2