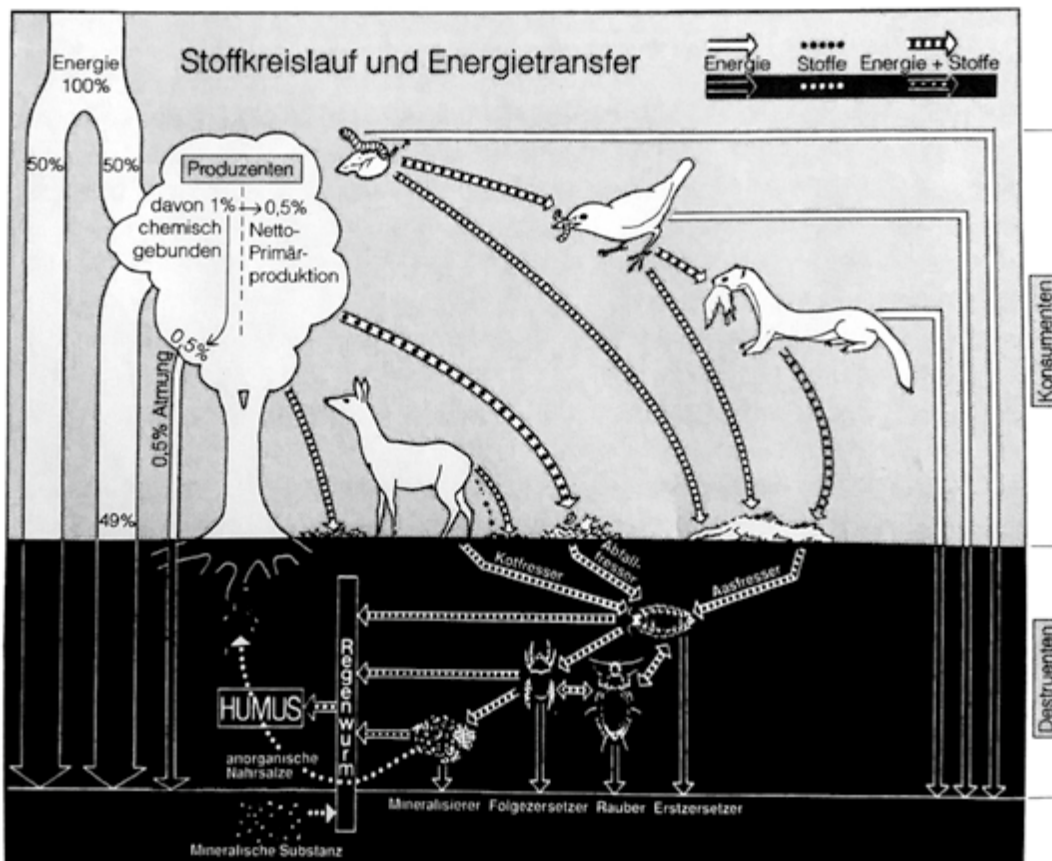


Februar 2023

Humus

der Bioreaktor im Boden

Von Luise Gianì



1 Ökosystemarer Stoff- und Energiekreislauf (vereinfacht). Aus: Ehrnsberger, 1997. Grafik: S. Ehrnsberger

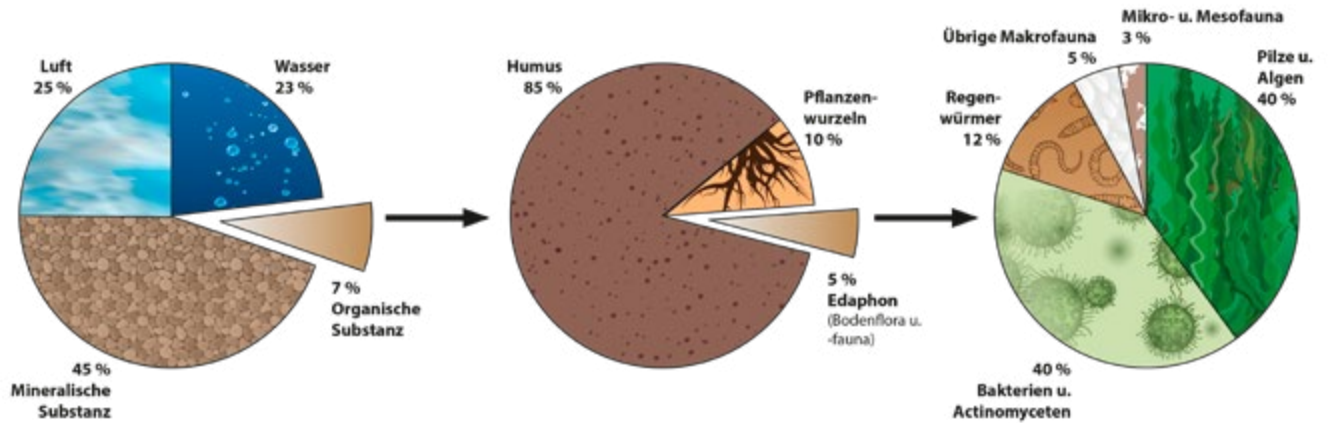
WAS IST HUMUS?

Der Begriff „Humus“ ist entlehnt von lateinisch *humus* „Erde, Erdboden“. Als Synonyme werden Humusboden, Humuserde, Mutterboden, Muttererde, Ackerkrume, Erdreich genannt. Damit stehen „Humus“ und seine Synonyme für „lebendig“ und „fruchtbar“. Auch in der Kulturgeschichte der Menschheit wird der Erdboden als Lebensgrundlage beschrieben. In vielen historischen und heutigen Kulturen

gab bzw. gibt es einen Mutter-Erde-Mythos mit der Erde als Sinnbild für Fruchtbarkeit und das Leben, der sogar Mittelpunkt des Weltbildes sein kann.

Während die genannten Bezeichnungen für „Humus“ eher die lebende organische Materie im Boden betonen, wird in den Bodenwissenschaften „Humus“ getrennt von der lebenden Masse, dem Edaphon, behandelt und reduziert sich auf die Gesamtheit der toten organischen Substanz. Dazu

gehören alle abgestorbenen Pflanzen und Tiere und ihre Umwandlungsprodukte. Der Humus oder die organische Substanz (beides wird im Folgenden synonym verwendet) ist im Mineralboden mit den mineralischen Bestandteilen vermischt und/oder mit den mineralischen Bestandteilen zu größeren physikalischen Einheiten, den Aggregaten und Ton-Humuskomplexen, verknüpft (s.u.) und/oder befindet sich als organische Auflage auf dem Mineralboden.



2 Zusammensetzung des Bodens (Oberboden in Vol.-%) und weitere Aufteilung der organischen Bestandteile.
Aus: boden.lemken.com

WORAUS BESTEHT HUMUS?

Streustoffe und Huminstoffe.

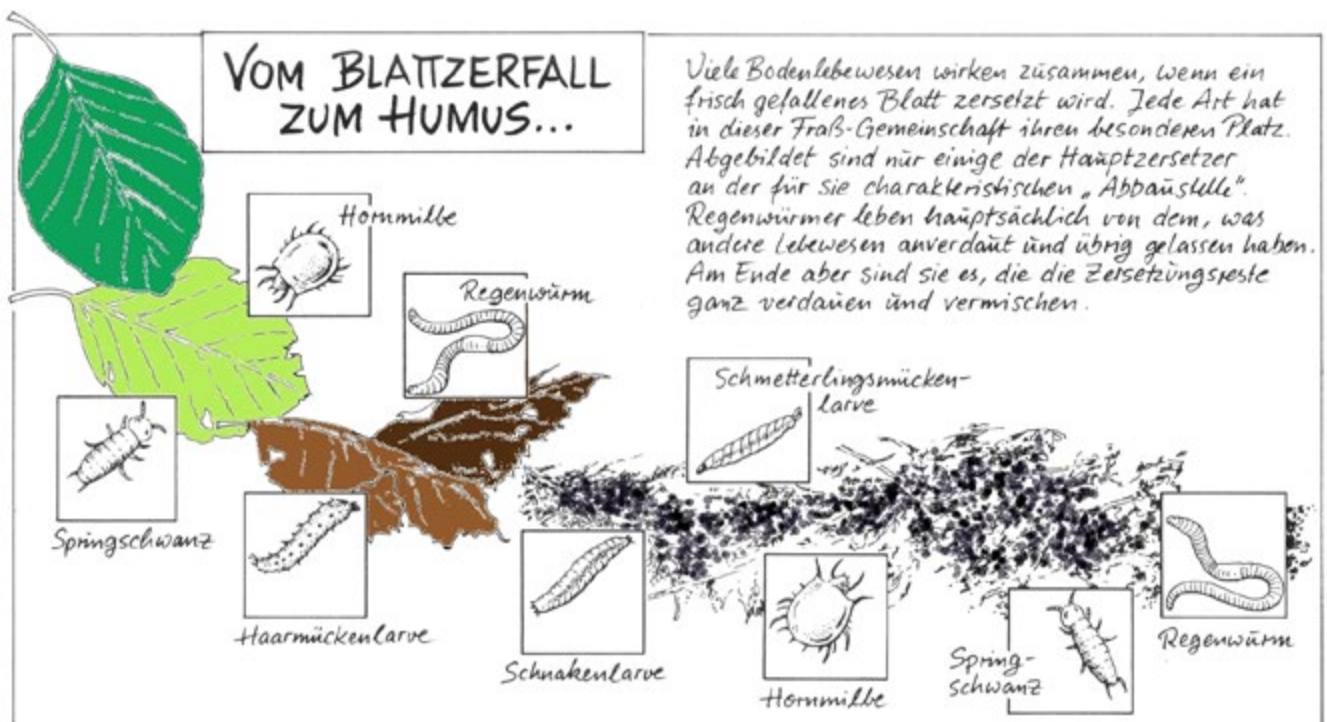
Die organischen Bodenbestandteile betragen ca. 7 Vol.-% des Bodens, die mineralischen Anteile ca. 45 Vol.-%, der Porenraum ist je nach Witterungsbedingungen zu ca. 25 Vol.-% mit Luft und 23 Vol.-% mit Wasser gefüllt (Abb. 2).

Die organischen Bestandteile gliedern sich wiederum in 10 % Pflanzenwurzeln, 75 % organische Substanz und 5 Prozent Edaphon (Bodenflora und -fauna) (Abb. 2).

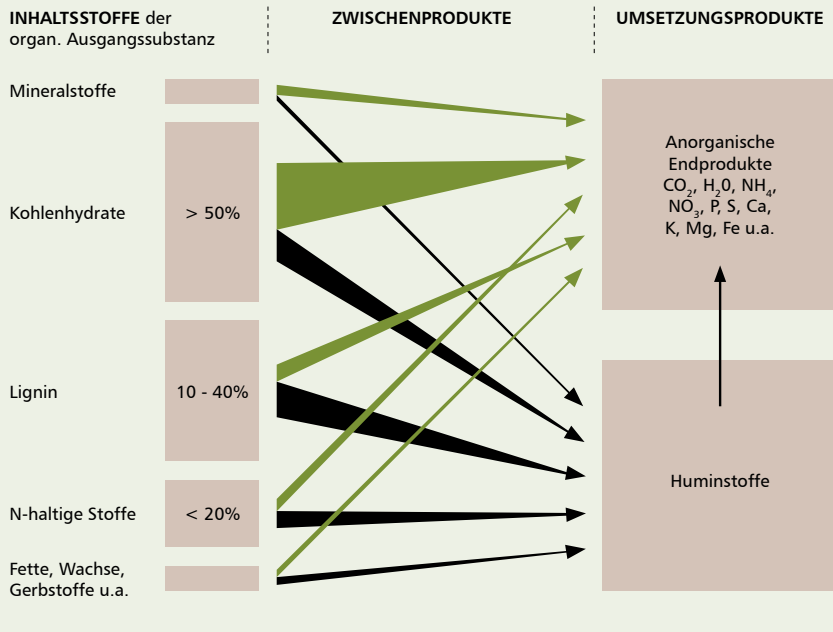
Die organische Substanz besteht zu ca. 10 % aus Streustoffen und 90 % Huminstoffen.

Streustoffe sind nicht oder nur schwach umgewandelte Gewebestrukturen, die morphologisch gut zu erkennen sind. Dazu gehören oberirdisch abgestorbene Pflanzenreste sowie tote Wurzeln, Bodentiere und Mikroorganismen. Huminstoffe sind dunkle, amorphe, kolloidale, < 2 µm große und morphologisch stark umgewandelte Substanzen ohne makroskopisch erkennbare Gewebestrukturen. Sie werden im Verlauf der Humifizie-

rung aus Abbauprodukten der Streu gebildet und bestehen – chemisch betrachtet – aus aromatischen Ringen, die über Brücken miteinander verbunden sind und die randständig aliphatische Stränge und funktionelle Gruppen aufweisen (Abb. 5). Aufgrund der außerordentlich vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten kann darauf geschlossen werden, dass die Huminstoffe in einer Schaufel Boden alle verschieden sind. Sie besitzen eine große spezifische Oberfläche, können Wasser und Nährstoffe speichern und sind deshalb für die Bodenfruchtbarkeit von großer Bedeutung. Auf-



3 Von der Streu zur organischen Substanz. Aus: Schächter, 1988; Grafik: Yane Fehrenberg (verändert).



4 Mineralisierung (grün) und Humifizierung (schwarz) der Streustoffe.
Aus: Schroeder, 1992; verändert.

grund ihrer Stabilität sind sie auch als Kohlenstoffspeicher von Bedeutung. Huminstoffe bilden dünne Hüllen um die Mineral Körner und überdecken damit deren Eigenfarbe. Der Boden ist dadurch umso dunkler gefärbt, je mehr Huminstoffe vorhanden sind.

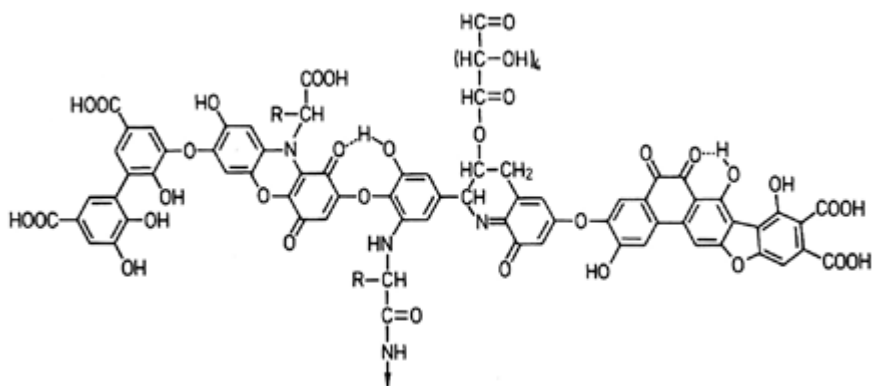
WAS PASSIERT MIT DEN ABGESTORBENEN ORGANISCHEN SUBSTANZEN (STREU)?

Mineralisierung und Humifizierung.

Wie alle organische Materie wird die Streu abgebaut. Der Abbau wird als Zersetzung (früher auch Verwesung)

bezeichnet, der von den Bodentieren geleistet wird (Abb. 3). Der eigentlichen Zersetzung vorgeschaltet ist häufig die *Seneszenz*, in der organismeneigene Stoffe durch enzymatischen Abbau im Zellinnern partiell bereits aufgebrochen werden, z.B. die Blattfärbung. Die eigentliche Zersetzung beginnt mit der Primärzersetzung, in der die Streu von Bodentieren mechanisch zerkleinert wird und eine Aufspaltung in Makromoleküle erfährt. Die anschließende Sekundärzersetzung umfasst die Zerkleinerung von organischen Resten und Umsetzung der Exkremete.

Nicht unwesentlich bei der Zersetzung ist die *Bioturbation*, bei der das organische Material durch die Tätigkeit der



5 Hypothetische Strukturformel eines kleinen Huminstoffs. Aus: Stevenson, 1982.

Bodentiere von der Bodenoberfläche in den Mineralkörper transportiert und vermischt wird und damit dem zentralen Ort des letzten Schrittes der Zersetzung, der *Mineralisierung*, zugeführt wird. Die Mineralisierung ist dann der vollständige Abbau zu Kohlendioxid und anorganischen Stoffen, den Mineralstoffen wie Phosphor (P), Schwefel (S), Kalium (K), Magnesium (Mg), Eisen (Fe) u.a. (Abb. 4). Die Mineralisierung ist der endgültige Prozess, in der die organischen Bestandteile in anorganische Bestandteile überführt werden. Diese sind Pflanzennährstoffe und dienen dem Wachstum der Pflanzen, die dann am Ende der Vegetationsperiode ganz oder teilweise als Streu der Zersetzung zugeführt werden, womit sich der Kreislauf schließt.

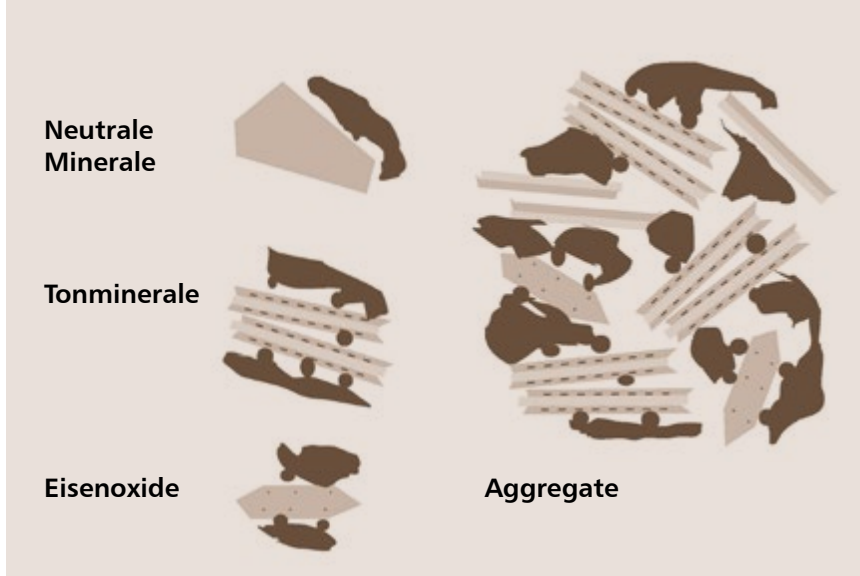
Diese Phasen der Zersetzung lassen sich auch in die Organisation des Nahrungsnetzes einbinden. Zu den Streuzerkleinerern gehören im Wesentlichen räuberische Meso- und Makroarthropoden sowie saprophage (totes organisches Material zersetzende) Mikro-, Meso und Makroarthropoden. Wichtige Bodenmischer sind Ameisen, Termiten, Asseln und besonders Regenwürmer (Abb. 7 und 8). Im Makronahrungsnetz sind räuberische Nematoden und Mikroarthropoden, Protozoen, bakterien-, pilzfressende Nematoden und Arthropoden sowie Bakterien und Pilze zu Hause.

Aber es wird nicht die gesamte Streu letztlich mineralisiert. Während der Zersetzung werden viele Inhaltsstoffe der Streu wieder zu hochmolekularen organischen Verbindungen (Abb. 4) aufgebaut. Dieser Aufbauprozess ist die *Humifikation*, die daraus resultierenden Produkte die Huminstoffe (Abb. 5).

WARUM WERDEN NICHT ALLE ORGANISCHEN SUBSTANZEN MINERALISIERT?

Stabilisierung von organischer Substanz.

Organische Substanz verbleibt aufgrund schneller Mineralisierung nur



6 Mechanismen der Stabilisierung der organischen Substanz an neutrale Minerale, Tonminerale, Oxide (alle < 0,1 mm) und Aggregate (> 0,5 mm). Aus: Scheffer/Schachtschabel 2018 (verändert).

eine kurze Zeit im Boden, aber auch Tausende von Jahren. Streustoffe, auch in zerkleinerter Form, sind i.d.R. wenig vor Abbau geschützt. Sie werden vorwiegend mineralisiert, deren schwerere, abbaubare Komponenten gehen aber in die Humifizierung (Abb. 4).

Die gebildeten Huminstoffe sind aufgrund ihrer Inhaltsstoffe und Struktur wesentlich stabiler, sodass die Humifizierung ein wesentlicher Stabilisierungsprozess der organischen Substanz im Boden ist. Bestimmte makromolekulare Komponenten sind aufgrund ihrer strukturchemisch bedingten Eigenschaften so schwer abbaubar, dass sie als „rekalzitrant“ bezeichnet werden. Ein weiterer Weg der Stabilisierung von organischer Substanz ist die räumliche Trennung von Substrat und Zersetzer. So werden organische Substanzen, sowohl kleine Streupartikel als auch vor allem Huminstoffe, in Aggregate eingebaut (Abb. 6) und somit vor dem Abbau geschützt. Aggregate sind Verknüpfungen von mineralischen und organischen Stoffen zu größeren physikalischen Einheiten. Für lockere Böden mit krümeliger Struktur (durch Bodentiere hervorgerufene, abgerundete Aggregate) wird auch landläufig der Begriff „Bodengare“ verwendet.

Um diesen wesentlichen Schutzmechanismus aufrecht zu erhalten, gilt es, jegliche Zerstörung von Aggregaten

zu verhindern. Eine extrem dauerhafte Stabilisierung wird durch Wechselwirkungen von Huminstoffen mit Mineralen hervorgerufen. Über verschiedene Bindungsmechanismen mit Mineralen, vor allem mit Tonmineralen und Oxiden, werden organo-mineralische Verbindungen sog. „Ton-Humus-Komplexe“ gebildet (Abb. 6).

Die Stabilisierung der organischen Substanz ist wichtig, damit die positiven Eigenschaften bezüglich der Bodenfruchtbarkeit wirken können (s.u.). Gleichzeitig ist sie wichtig zur Erfül-

lung der Kohlenstoff-Senken-Funktion (s.u.); die organische Substanz besteht zu ca. 50 % aus Kohlenstoff, sodass mit der Bildung und vor allem Stabilisierung in Form von Huminstoffen die Freisetzung von Kohlenstoff in die Atmosphäre verhindert wird.

Den hier beschriebenen verschiedenen stabilen organischen Stoffgruppen können die Begriffe „Nährhumus“ und „Dauerhumus“ zugeordnet werden. Während der Nährhumus die mikrobiell leicht umsetzbaren Stoffe repräsentiert, die von Mikroorganismen schnell umgesetzt werden und damit den Pflanzen definitionsgemäß der Ernährung dient, ist der „Dauerhumus“ schwerer mineralisierbar und stabil, wirkt aggregatstabilisierend und als Wasser- und Nährstoffspeicher.

WAS SIND DIE AUSGANGSSTOFFE FÜR HUMUS? UND WER LEISTET DIE ZERSETZUNG DER STREU?

Das Edaphon – die lebenden organischen Bodenbestandteile. Die Ausgangsstoffe für den Humus bilden die lebenden Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen, das „Edaphon“.



7 Beispiele der Bodenfauna: Ameise (oben li.). Aus: Ralph Klein, pixabay, Assel (oben re.). Aus: Benjamin Balazs, pixabay, Springschwanz (unten li.). Aus: garnelio.de, Regenwurm (unten re.). Aus: Patricia Maine Degrave, pixabay.

Damit bezeichnet das Edaphon die Gesamtheit der im Boden lebenden Organismen. Nach dem Absterben und während seiner Zersetzung wird es zum Humus oder zur organischen Substanz, zunächst als Streu, ein Teil später zu Bestandteilen von Huminstoffen.

Dicht unter unseren Füßen liegt eine Welt voller Leben. Böden sind die Heimat von Milliarden Fadenwürmern, Insekten, Pilzen, Bakterien und vielen anderen Lebewesen. Es wird angenommen, dass die Biodiversität im Boden die oberirdische Biodiversität übersteigt, und es ist von Bedeutung, dass die unterirdische Masse mit 25 t pro Hektar größer als die oberirdische mit 1 - 1,5 t pro Hektar ist. Zur Bodenflora gehören mit 40 % des Edaphons Bakterien, dazu eine spezielle Gruppe von Bakterien (Actinomyceten) und mit ebenfalls 40 % Pilze und Algen (Abb. 2). Deren Individuenanzahl pro m² beträgt kaum vorstellbare 10⁴⁵. Einen anschaulichen Eindruck über die Menge und Vielfalt der Bodentiere unter unseren Füßen gibt Abb. 8.

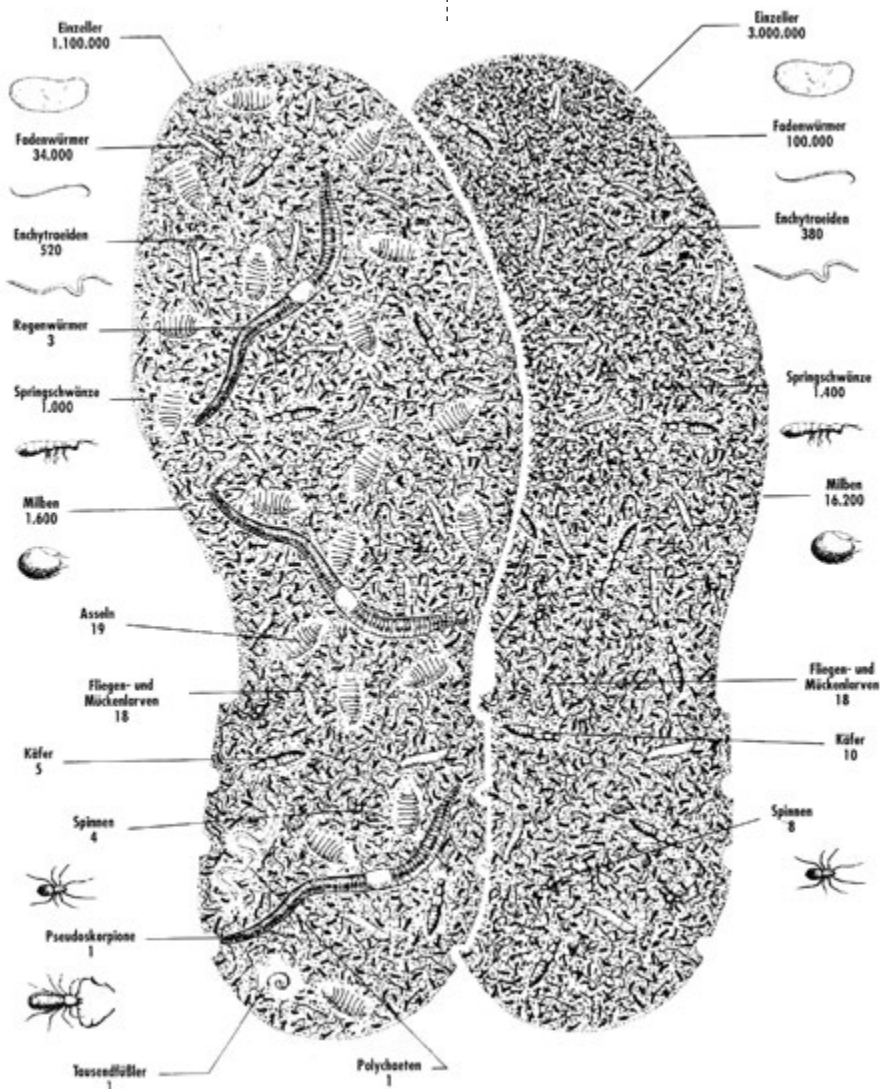
Bakterien spielen eine besondere Rolle bei der Mineralisierung und sind essentiell für den Stickstoffkreislauf. Nur Stickstoff fixierende Bakterien sind in der Lage, den molekularen Stickstoff der Atmosphäre in für die Pflanzen verwertbare Form umzuwandeln. Dieser Prozess ist essentiell für das Leben auf der Erde.

Die Bodenfauna wird nach Größe gegliedert. Vertreter der Mikrofauna (< 0,1 mm) sind mit einer Individuenanzahl von 10²⁷ pro m² Amöben, Flagellaten und Ciliaten. Vertreter der Mesofauna (0,1mm-1cm) sind Milben, Rotatorien, Springschwänze und Nematoden. Zur Makrofauna (> 1cm) mit einer Individuenanzahl von 10¹² pro m² gehören Käfer- und Insektenlarven, Hundertfüßler, Enchyträiden (spez. Ringelwürmer), Asseln, Ameisen und Regenwürmer (Abb. 7 und 8).

Diese Individuenzahlen und allein die Anzahl von bis zu 3 Millionen Individuen pro Hektar für Regenwürmer zeigen, dass die Böden leben und dass

ABDRUCK IN SANDIGEM BODEN

ABDRUCK IN MOORIGEM BODEN



8 Bodenleben unter einem sandigen und moorigen Fußabdruck. Aus: Gielstrup u. Petersen

es in diesem Bioreaktor eine Menge Arbeit für sie zu tun gibt.

WELCHE AUFGABEN HAT DAS EDAPHON?

Ökosystemfunktionen des Edaphons.

Die herausragende Rolle des Edaphons ist die Zersetzung mit Mineralisierung. Das Edaphon bildet damit eine zentrale Rolle in allen Nährstoff- und Energiekreisläufen der Ökosysteme. Durch die Mineralisierung ist das Edaphon, hier insbesondere die Bakterien, auch in der Lage, organische Schadstoffe abzubauen und damit die so wichtige Transformationsfunktion des

Bodens zu erfüllen. Darüber hinaus bietet ein reiches Bodenleben eine potenzielle Nährstoffquelle, die nach ihrem Absterben zur Verfügung steht und damit ein wichtiger Pool im Nahrungsnetz darstellt. Bodenlebewesen sorgen auch für eine gute/verbesserte Bodenstruktur (Gefügebildung; Bildung von Aggregaten).

Bodentiere mischen den Boden, lockern ihn und bilden somit eine veränderte, meist verbesserte Porengrößenverteilung, was sowohl das Eindringen von Wasser verbessert als auch durch eine ausgelöste bessere Belüftung die Lebensgrundlage für das Edaphon.

SCHUTZ DES EDAPHONS – BODENFUNKTIONSSCHUTZ – SCHUTZ DER BIODIVERSITÄT

Das Edaphon muss geschützt und gefördert werden. Es hält wesentliche Ökosystemfunktionen inne. Da die Verbesserung und Erhaltung der Bodenfunktionen zentrale Anliegen im Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG) sind, ist mit diesen Gesetzesanforderungen gleichzeitig der Schutz und die Förderung des Edaphons verbunden. Aber auch über das gesellschaftspolitische Ziel des Schutzes der Biodiversität, das durch die international anerkannte UN-Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity, CBD) festgelegt ist, ist der Schutz des Edaphons eingeschlossen. Das Ziel „Schutz der Biodiversität des Edaphons“ bedarf allerdings noch einer größeren gesellschaftlichen Aufmerksamkeit, was nicht so einfach ist, weil das Edaphon kaum sichtbar ist.

Das Bodenleben wird geschwächt durch Schwarzbrachen (von Fremdwuchs z.B. durch Herbizide freigehaltene Flächen), einseitige Fruchtfolgen und Monokulturen, fehlende Zugabe von organischem Material,

intensive Bodenbearbeitung, Bodenverdichtung, schlechte Entwässerung und Austrocknung. Die Förderung des Edaphons ist somit im Sinne des BBodSchG sowie im Interesse des CBD und jedes Gartennutzers. Dies kann durch das Einbringen von Mist und Kompost, aktive Förderung der Durchwurzelung und Gründüngung mit Untersaaten und Zwischenfrüchten geschehen.

WELCHE RELEVANZ HAT DER HUMUS?

Ökosystemfunktionen der organischen Substanz.

Die organische Substanz ist die Lebensgrundlage für das Edaphon. Gleichzeitig bildet das Edaphon die Ausgangsprodukte für die organische Substanz. Beide, Edaphon und organische Substanz, sind eng miteinander verwoben, ohne den anderen nicht existent. Damit ist die organische Substanz die Voraussetzung für alle Ökosystemfunktionen des Edaphons und umgekehrt. Beide bilden deshalb gemeinsam eine zentrale Rolle in allen Nährstoff- und Energiekreisläufen der Ökosysteme. Beide bilden den biotischen Teil des Bodens, das wesentliche Unterscheidungsmerkmal zwischen

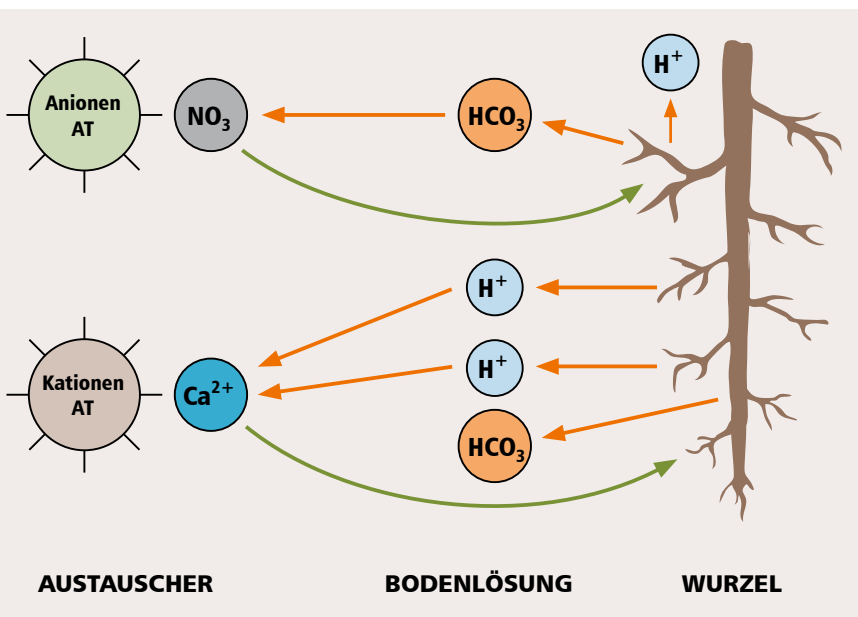
Böden und Gesteinen. Wie das Edaphon trägt die organische Substanz zur Verbesserung der Bodenstruktur (Gefügebildung; Bildung von Aggregaten) bei. Vor allem die Streu verändert die Porengrößenverteilung und die damit verbundenen physikalischen Bodeneigenschaften bezüglich Wasser- und Lufthaushalt; die Huminstoffe sind darüber hinaus direkt an dem Aufbau von Aggregaten beteiligt (Abb. 6). Anders als das Edaphon trägt die organische Substanz zusätzlich zur Verbesserung der Böden als Pflanzenstandort bei, indem es durch die dunkle Färbung die Erwärmung fördert und als Speicher von Pflanzennährstoffen dient.

Die organische Substanz besitzt randständig funktionelle Gruppen, die eine Ladung aufweisen. Diese ist negativ bei schwach sauren bis neutralen pH-Verhältnissen und kann durch Ionenbindung Kationen, wie die Pflanzennährstoffe Calcium, Kalium und Magnesium, reversibel binden (Abb. 9). Dadurch bleiben die Kationen gespeichert und vor Auswaschung geschützt, können von Pflanzen aber ausgetauscht werden.

Bei saurem pH werden diese funktionellen Gruppen protonisiert und sie werden zu Anionenaustauschern, so dass beispielsweise Nitrat sorbiert werden könnte (die dafür notwendigen niedrigen pH-Werte (Abb. 9) werden in Ackerböden allerdings nie erreicht). Durch den gleichen Mechanismus können auch Wasser, kationische und anionische Schadstoffe sorbiert werden. Darüber hinaus hat es eine wesentliche Rolle als Kohlenstoffquelle bzw. -senke und ist wesentlich an der globalen Kohlenstoffdynamik beteiligt.

WAS HAT HUMUS MIT DEM GLOBALEN KOHLENSTOFF- KREISLAUF ZU TUN?

Durch den Humus, der zu 50 % aus Kohlenstoff besteht, sind sehr große Mengen an Kohlenstoff in den Böden vorhanden. Die gesamten globalen Kohlenstoffvorräte in Böden bis 1 m Bodentiefe betragen 1500 Pg (1 Pg



9 Kationen- und Anionensorption und -austausch (Anionenaustauscher Anionen-AT) sind positiv geladen und können reversibel Anionen sorbieren; Kationenaustauscher (Kationen-AT) sind negativ geladen und können Kationen reversibel sorbieren. Aus: Gisi, 1990 (verändert).

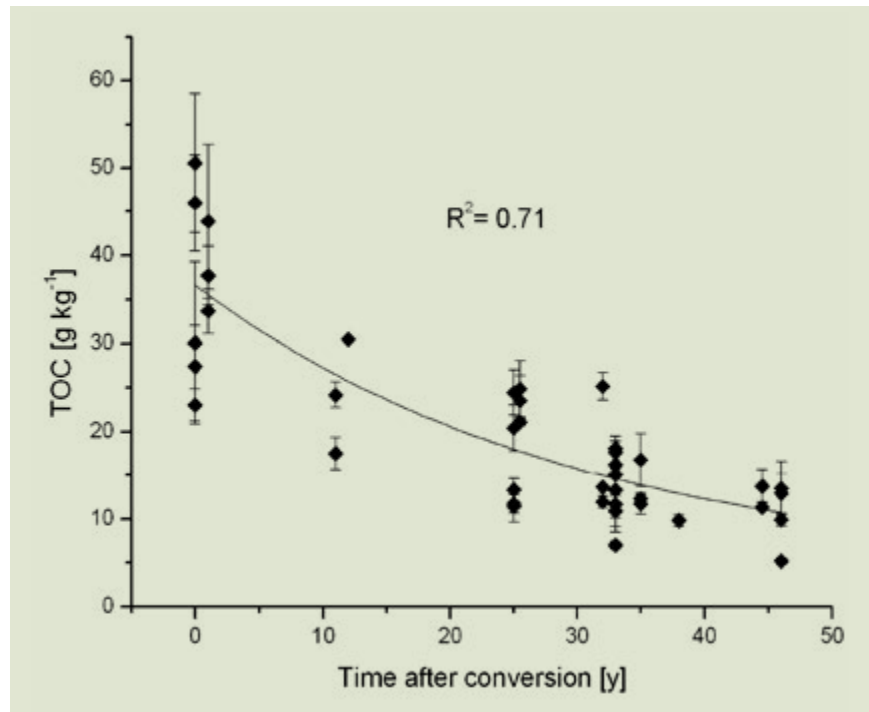
= 10^{15} g bzw. 10^{12} kg), bis in 2 m Bodentiefe 2400 Pg. Das ist mehr als die Summe der Kohlenstoffvorräte in der Vegetation (550 Pg) und in der Atmosphäre (750 Pg). Moorböden, zu denen auch die Permafrostböden gehören, stehen hierbei im besonderen Fokus, da sie im Gegensatz zu terrestrischen Böden, deren Gehalt an organischer Substanz häufig $< 5\%$ beträgt, aus bis zu 100 % organischer Substanz bestehen.

Aufgrund dieser immensen Kohlenstoffvorräte in den Böden wirken sich Veränderungen in diesen Vorräten auf den globalen Kohlenstoffkreislauf aus. Bestehende Kohlenstoffvorräte können gleich bleiben, sich aber auch verändern. Werden sie größer, stellen die Böden eine Kohlenstoffsänke dar, umgekehrt sind sie Kohlenstoffquellen. Böden werden zu Kohlenstoffquellen, wenn die Freisetzung von Kohlenstoff, die durch die Mineralisierung und die damit verbundene Kohlendioxidabgabe in die Atmosphäre geschieht, die Festlegung von Kohlenstoff durch die Humifizierung übersteigt. Der Kohlendioxidgehalt in der Atmosphäre hat zugenommen, mit den bekannten Effekten. Ein Grund dafür ist die Verbrennung fossiler Energien, die etwa 5,5 Pg C pro Jahr beträgt. Aber auch die Freisetzung aus den Böden spielt mit 1,6 Pg pro Jahr eine erhebliche Rolle.

HAT DIE ART DER LANDNUTZUNG EINFLUSS AUF DEN HUMUS?

Ca. 25 % des anthropogen in die Atmosphäre freigesetzten Kohlendioxids entstammen aus Böden mit Landnutzungsänderung.

Landnutzungsänderungen sind nicht neu, sie starteten mit der Einführung der Ackerntzung, also vor ca. 11000 Jahren. Durch die Umnutzung in Ackerstandorte treten Kohlenstoffverluste von 25-30 % auf, können sogar bis zu 80 % betragen (Abb. 10). Die Böden fungieren in dieser Phase der ökosystemaren Umstellung als Kohlenstoffquellen und führen zu einem



10 C_{org} -Gehalt in den ersten 50 Jahren der ackerbaulichen Nutzung nach Umnutzung aus Grünland von Gleyen im Artland. Aus: Spohn & Giani, 2009.

Anstieg klimarelevanter Gase in der Atmosphäre bei gleichzeitigem Verlust von Bodenfruchtbarkeit. Mit der Zeit wird die Kohlenstofffreisetzung weniger (Abb. 10) und es stellt sich ein Gleichgewicht ein, sodass sich Kohlenstoffaufnahme und -abgabe ausgleichen, allerdings auf niedrigerem Niveau. **Umgekehrt können Böden auch als Kohlenstoffsänken fungieren, insbesondere durch Umnutzung von Acker bzw. jegliche Aufgabe der Ackerntzung.**

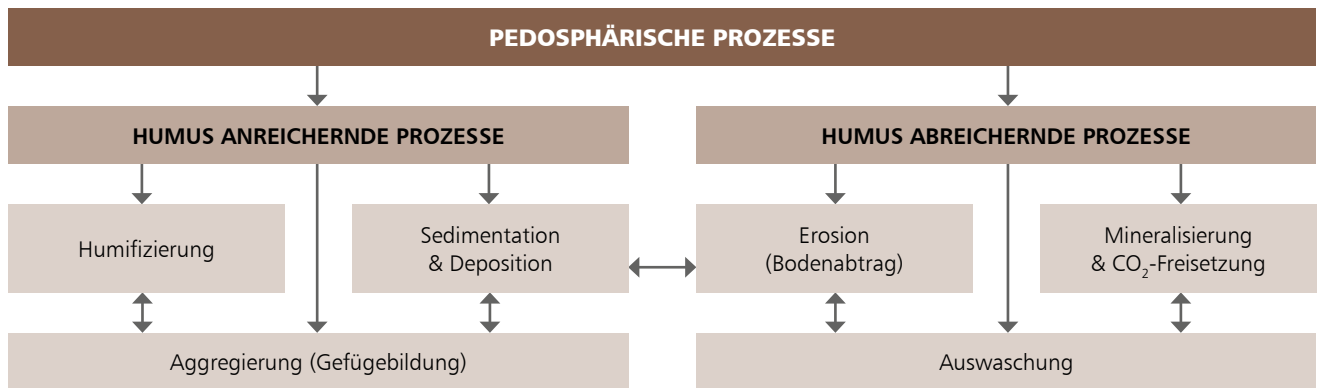
So ist bekannt, dass die Umnutzung von Acker in Sekundärwälder zu einem Kohlenstoffgewinn um ca. 50 % führt und in Grünland um ca. 20 % (Guo & Gifford, 2002).

Wie das Beispiel aus Abb. 10 zeigt, spielt die Freisetzung von Kohlenstoff aus Böden durch Umnutzung auch in Nordwestdeutschland eine große Rolle. Die besonderen geologischen Bedingungen haben dazu geführt bzw. führen weiterhin dazu, dass hier die Entwässerung die Freisetzung durch Umnutzung verstärkt bzw. verstärkt hat. Allein die Entwässerung hat erhebliche Kohlenstoffverluste verursacht. Dies trifft zum einen für

die Fluss- und Seemarschen zu. Ohne Deiche und Entwässerung würde der Meereseinfluss bis an die Geestgebiete reichen und eine Nutzung in bekannter Form unmöglich machen. Das gilt aber auch und im großen Ausmaß für die Mooregebiete. Ca. 95 % der Moore sind entwässert und damit starke Kohlenstoffquellen, die ca. 4 % der nationalen Treibhausgasemissionen verursachen. Auf der Positivseite stehen dafür Gartenböden (Hortisole), insbesondere Gemüsegartenböden, und vor allem die relativ weit verbreiteten Plaggenesche, die eine deutliche Kohlenstoffanreicherung aufweisen.

SCHUTZ DER ORGANISCHEN SUBSTANZ – BODENFUNKTIONSSCHUTZ – STÄRKUNG ALS C-SENKE

Keine organische Substanz ohne das Edaphon und kein Edaphon ohne organische Substanz. Beide müssen als Gesamtheit betrachtet werden und damit auch deren Schutz. Schutz der organischen Substanz und des Edaphons bewirken Erhalt und Förderung von:



11 Prinzipielle den Kohlenstoffgehalt steuernde Bodenprozesse. Aus: Lal (2002) (verändert).

- Bodenfruchtbarkeit
- Bodenfunktionen
- Biodiversität
- Kohlenstoffsinkenfunktion

Hierfür ist es notwendig, die standorttypischen Humusgehalte zu kennen. Seit 25 Jahren BBodSchG (§ 17) fehlen immer noch normative Grund-

lagen zur Festlegung von Prüf- und Maßnahmenwerten zur Beurteilung der Gefährdung natürlicher Bodenfunktionen durch Verlust an Humus. Vorderbrügge (2022) schlägt vor, für jede Bodenart das 12,5 Perzentil (Prozentrang) des Humusgehalts als Vorsorgewert und das 5,0 Perzentil als Prüfwert zu nehmen.

Damit wäre für die Bodenart reiner Sand Handlungsbedarf bei einem Unterschreiten des Humusgehalts von 1,0 % (Vorsorgewert) bzw. 0,83 % (Prüfwert), für mitteltonigen Lehm wären es 2,46 bzw. 2,16 %. Unabhängig davon sollten alle den Kohlenstoffgehalt fördernde Prozesse (Abb. 11) unterstützt werden.

LITERATUR

- **BLUM ET AL.** (2018): *Essentials of Soil Science*. Borntraeger, Stuttgart.
- **BUNDEBODENSCHUTZGESETZ** (BBodSchG) (1998). Bundesministerium der Justiz.
- **EHRNSBERGER, R.** (1997): *Bodenzoologie und Agrarökosysteme*. - In: *Bodenmesofauna und Naturschutz*, Inf. Naturschutz u. Landschaftspf. Nordwestdeutschland 6, 11-41, NVN/BSH Wardenburg.
- **GARNELIO** (2023): *Onlineshop für wirbellose Aquarientiere*. - NatureHolic GmbH Mannheim. www.garnelio.de.
- **GIELSTRUP, P. & A.** (1988): *Jordbundens mider*. - *Naturhistor. Museum DK-Arhus*.
- **GISI, U.** (1990): *Bodenökologie*, Thieme, Stuttgart.
- **GUO, L.B., GIFFORD, R.M.** (2002): *Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis*. *Global Change Biology* 8, 345.360.
- **HERRMANN, L.** (2018): *Bodenkunde Xpress*. Eugen Ulmer, Stuttgart.

- **LAL, R.** (2002): *Soil carbon dynamics in cropland and rangeland*. *Environmental Pollution* 116, 353-362.
- **LEMKEN GMBH & CO. KG** (2023): *Unser Boden – unsere Zukunft*. - www.lemken.com, Alpen.
- **LOUIS BOLK INSTITUT** (2015): *Bodensignale*. Roodbont Pub., Zutphen, Netherlands.
- **SCHÄCHTER, M.** (Hrsg.) (1988): *Mittendrin – Die Erde hat kein dickes Fell*. Wolfgang Mann – Verlag, Berlin.
- **SCHAEFFER/SCHACHTSCHABEL** (2018): *Lehrbuch der Bodenkunde*. Springer, 17. Aufl., Heidelberg.
- **SCHROEDER, D.** (1992): *Bodenkunde in Stichworten*, Hirt, Zug.
- **SPOHN, M. & L. GIANI** (2009): *Total, hot water extractable, and oxidation-resistant carbon in sandy hydromorphic soils-analysis of a 220-year chronosequence*. *Plant and Soil* 338, 183-192.
- **STAHR, K. ET AL.** (2020): *Bodenkunde und Standortlehre*. Ulmer, 4.Aufl., Stuttgart.

- **STEVENSON, F.J.** (1982) *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons, New York.
- **VORDERBRÜGGE, T.** (2022): *„Standorttypische Humusgehalte“ gemäß § 17 BBodSchG*. *Bodenschutz* 04.22, 116-125.
- **WHITE, R.E.** (2005): *Principles and Practice of Soil Science*. John Wiley and Sons Ltd, 4th Ed., New York.

SCHRIFTEN DER BSH ZUM THEMA:

- **AKKERMANN, R.** (Hg., 1984).- *Gülle – Mais – Bodenfruchtbarkeit*. - Tagungsber. HS Vechta / BSH, 144 S., Wardenburg.
- **BOHLEN, A.** (1990): *Springschwänze – Collembola*. - *natur* 12/90, 4 S., München.
- **BUTZ-STRAZNY, F.** (1991): *Kleine Tiere – große Bedeutung*. - NVN 8 S., Hannover
- **FRÜND, H.-C.** (1995): *Bodenschutz*. - NVN / BSH Merkbl 46, Wardenburg, 4 S.
- **GRAFF, O.** (2003): *Regenwürmer (Lumbricidae)*. - NVN / BSH – Ökoportrait 35, 4 S.
- **QUIRBACH, K.-H.** (1987): *Humus*. - NVN / BSH Merkbl. 28, 4 S., Wardenburg.

IMPRESSUM

Naturschutzforum Deutschland e.V. (NaFor) / Biologische Schutzgemeinschaft Hunte Weser-Ems e.V. (BSH). **Text und Konzeption der Abbildungen:** Prof. Dr. Luise Giani, Institut für Biologie und Umweltwissenschaften (IBU) der Carl von Ossietzky-Universität Oldenburg. **Redaktion:** Prof. Dr. Remmer Akkermann. Die Merkblätter werden unregelmäßig herausgegeben. **Bezug:** BSH, Kugelmannplatz, D-26203 Wardenburg. Sonderdrucke für die gemeinnützige Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit werden (auch in Klassensätzen) ausgeliefert, soweit der Vorrat reicht. Die Herstellung dieses Merkblattes wurde ermöglicht durch den Beitrag der Vereinsmitglieder. © NaFor/BSH. **Nachdruck** für gemeinnützige nichtkommerzielle Zwecke ist mit Quellenangabe erlaubt und kostenlos (Giani, L. (2023): *Humus - der Bioreaktor des Bodens*. - NaFor/BSH-Merkbl. 80, 1-8, 26203 Wardenburg). Jeder, der Natur- und Artenschutz persönlich fördern möchte, ist zu einer **Mitgliedschaft** eingeladen. Steuerlich abzugsfähige **Spenden** – auch kleine – sind hilfreich. **Konto:** LzO Oldenburg DE92 2805 0100 0000 4430 44. **Adressen:** NaFor / BSH-Bürogemeinschaft, Gartenweg 5 / Kugelmannplatz, D-26203 Wardenburg, www.bsh-natur.de, Tel.: 04407 5111, Fax: 6760, E-Mail: info@bsh-natur.de, Homepage des Naturschutzforums: www.nafor.de, alle Merkblätter sind im Internet abrufbar. *Mailadresse der Verfasserin: luise.dorothee.giani@uni-oldenburg.de*