

SONDERDRUCK

aus

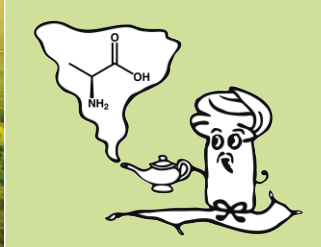
4 | 2021

VBio

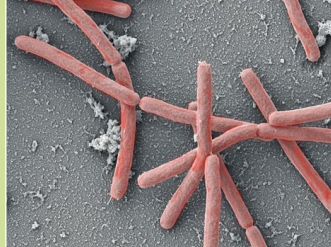
Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland



NACHHALTIGKEIT
Genomeditierte
Lebensmittel



BIOTECHNOLOGIE
Nicht-kanonische
Aminosäuren



**MIKROBE DES
JAHRES**
Methanothermobacter

BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT



Schwarmintelligenz

Die schwarze Wundererde aus dem Amazonasgebiet

Terra Preta – Fakten und Mythen

BRUNO GLASER



Die moderne Bodenforschung erlaubt tiefe Einblicke in die Lebensbedingungen früherer Menschen. Mit Hilfe innovativer Analysetechniken wie z. B. Biomarker- und Isotopenanalysen lassen sich Fragen zur Besiedelungsgeschichte und Nutzung von Böden klären. Die mythenumwobene Indianerschwarzerde Amazoniens, auch „Terra Preta“ (do Indio) genannt, ist seit mehr als 40 Jahren Gegenstand intensiver Forschung (Abbildung 1). Inzwischen konnte ihre Entstehung weitgehend aufgeklärt werden. Da auch viele falsche Vorstellungen über die Entstehung von Terra Preta kursieren, wird im Folgenden der Stand der wissenschaftlichen Forschung zu diesem faszinierenden Thema zusammengefasst.

Als Francisco de Orellana 1542 den Amazonas bereiste, beobachtete er viele Menschen entlang der Ufer, was auf eine dichte Besiedelung des Amazonasgebietes zu dieser Zeit schließen lässt. Spuren dieser Besiedelung sollten sich nicht nur archäologisch (z. B. in LIDAR-Luftaufnahmen), sondern auch bodenkundlich zu erkennen geben. Smith postulierte 1879 als Erster, dass die Indianerschwarzerde (Terra Preta) durch Jahrhunderte lange Depositionierung von Küchenabfällen entstand. Hartt beschrieb 1885 Keramikreste und Holzkohle, was die menschliche Besiedelung dieser Böden belegt. Den nächsten Meilenstein in der frühen Terra Preta-Forschung lieferte Katzer aus Leipzig, der die Indianerschwarzerde 1903 als von Menschen gemachtes Gemisch aus verkohltem Pflanzenmaterial, kompostierter organischer Substanz und Mineralboden beschrieb [1].

Natürlich oder menschgemacht?

Trotz dieser Befunde wurde zwischen 1940 und 1960 eine natürliche Terra Preta-Genese favorisiert z. B. auf der Basis von vulkanischen Aschen oder nährstoffreichen Flusssedimenten, die dann bevorzugt besiedelt wurden. Diese Theorien lassen sich jedoch leicht entkräften, da die Bodenkörnung und Mineralogie (Dominanz von Kaolinit und Sesquioxiden) der Terra Preta jener der umliegenden unfruchtbaren Böden entspricht, und es keinerlei Hinweise auf vulkanische Gläser und hydrothermale Minerale (Allophane) gibt. Erst seit Ende der 1960er Jahre setzte sich wieder die Überzeugung durch, dass Terra Preta menschlichen Ursprungs ist (Anthrosol). Ein Pionier der Terra Preta-Forschung war der holländische Bodenkundler Wim Sombroek. In seiner Dissertation publizierte er detaillierte Bodenkarten und Analysendaten von tiefschwarzen, humusreichen Böden des Belterra Plateaus nahe Santarém [2]. Er differenzierte zwischen Terra Preta (schwarz) als Siedlungsböden und Terra Mulata (braun) als Ackerböden.

Moderne Terra Preta-Forschung

Die moderne Terra Preta-Forschung begann mit dem deutschen Bodenkundler Wolfgang Zech, dem ich auch diesen Artikel widme. Er legte den Fokus auf die Aufklärung der zur Terra Preta führenden Bodenprozesse und nicht auf die reine Beschreibung dieser Böden [3]. Viele seiner Schüler widmen sich heute der Terra Preta-Forschung wie

z. B. Bruno Glaser, Johannes Lehmann, Jago Birk und Christoph Steiner (Abbildung 1).

Terra Preta entstand *in-situ* aus verschiedenen Bodentypen wie z. B. Arenosolen (Sandböden ohne Horizonte), Acrisolen (saure Tonböden), Ferralsolen (tropische Roterden), Plinthosolen (Grundwasser-beeinflusste tropische Roterden) und Cambisolen (typische Braunerden, wie sie auch bei uns vorkommen); sie sind daher nicht mit Plaggenböden vergleichbar [4]. Archäologische Untersuchungen und Radiocarbonanalysen bestätigen die präkolumbische Entstehung von Terra Preta (60 bis 1640 n. Chr. in der oberen Xingu-Region und 550 bis 1450 n. Chr. in Zentralamazonien) [4]. Terra Preta ist in Amazonien weit verbreitet, vor allem in der Nähe von Flüssen (Abbildung 2). Die Gesamtfläche wurde auf 154.000 km² geschätzt, was ca. drei Prozent Amazoniens entspricht [5].

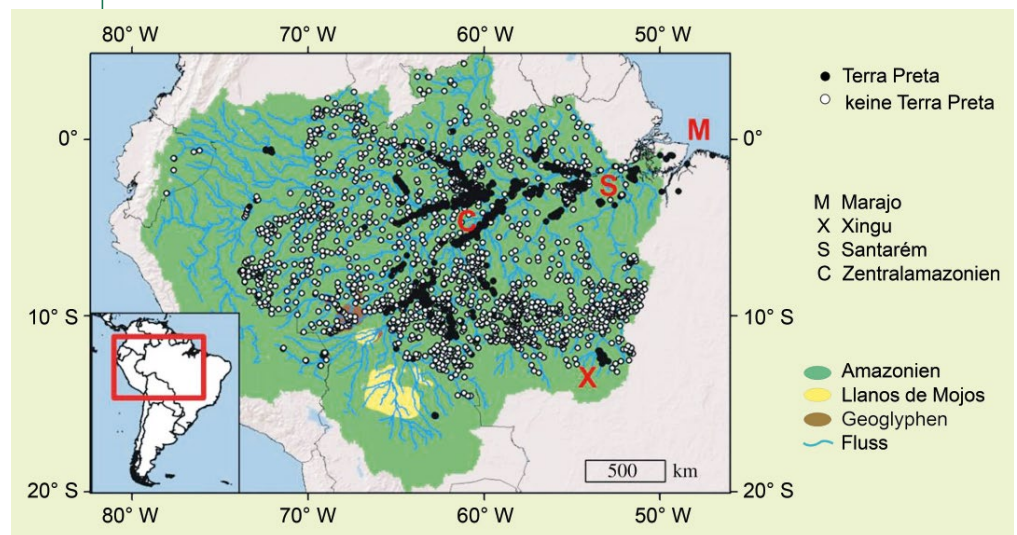
Das Besondere an Terra Preta ist der hohe Gehalt an stabilem Humus und die hohe, seit Jahrhunderten anhaltende Bodenfruchtbarkeit. Normalerweise sind tropische Böden stark verwittert, humusarm und wenig fruchtbar. Dagegen enthält Terra Preta durchschnittlich ca. 250 Tonnen organischen Kohlenstoff (C), 17 Tonnen Stickstoff (N) und 13 Tonnen Phosphor (P) pro Hektar im obersten Meter Bodentiefe – ca. die Hälfte davon in den landwirtschaftlich wichtigen obersten 30 cm, was einer Anreicherung um jeweils ca. 300 Prozent gegenüber umliegenden Böden entspricht [4].

Obwohl bereits vermutet wurde, dass der schwarze Humus von Terra



ABB. 1 Geländearbeiten zur Erforschung der Terra Preta in Amazonien. Fotos: Bruno Glaser.

ABB. 2 | VERBREITUNG VON TERRA PRETA IM AMAZONASGEBIET [5]



IN KÜRZE

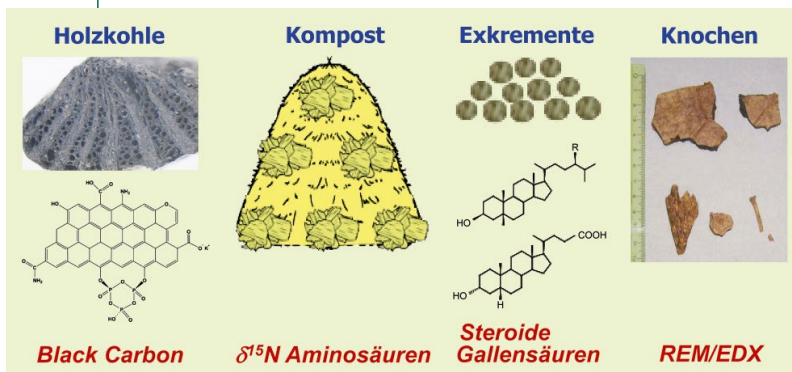
- Terra Preta entstand durch **Flächenkompostierung von Verkohlungs-rückständen** (Pflanzenkohle), Küchenabfällen einschließlich Knochen und Fischgräten und überwiegend menschlichen Exkrementen.
- **Bodenmikroorganismen schufen daraus einen nachhaltig fruchtbaren Boden** mit stabilem Humus, reich an aromatischen Strukturen.
- Die Existenz von Terra Preta beweist, dass es prinzipiell möglich ist, wenig fruchtbare Böden intensiv zu nutzen und ihre Humusgehalte und die **Fruchtbarkeit sogar zu steigern**.
- Die heutige Anwendung des Terra Preta-Konzeptes würde es erlauben, organische Reststoffe, Biotonneninhalte, Klärschlamm etc. als natürliche Ressourcen nachhaltig in Form einer **biobasierten Kreislaufwirtschaft** zu nutzen, statt sie zu entsorgen.
- Es werden weitere **neue Anwendungsmöglichkeiten** für Pflanzenkohle entwickelt wie z. B. als Tierfutter, als Baumaterial oder zur Geruchsbindung in Trenntoiletten.

Preta auf Verkohlungsrückstände zurückzuführen ist, stand der eindeutige analytische Nachweis dafür ebenso aus, wie die stichhaltige Identifizierung der Quellen für die hohen Nährstoffgehalte. Terra Preta ist zwar tiefgründig schwarz; man findet aber kaum mit bloßem Auge erkennbare Holzkohle. Die einzigen mit dem Auge erkennbaren Anzeichen für ehemalige menschliche Besiedelung sind Tonscherben und Knochenreste. Bezüglich möglicher Nährstoffquellen scheiden primäre Minerale aus, da diese in den Böden der humiden Tropen weitestgehend verwittert sind. Nur Kohlenstoff und Stickstoff könnten an Ort und Stelle theoretisch auf biologischem Wege durch Photosynthese bzw. biologische Stickstofffixierung in die Böden gekommen sein. Andere Nährstoffe müssen von außen zugeführt worden sein. Hinzu kommt die un-

gleichmäßige Verteilung von Kohlenstoff und Nährstoffen innerhalb des Bodens, was auf unterschiedliche Kohlenstoff- und Nährstoffquellen schließen lässt [6]. Daher entwickelte meine Arbeitsgruppe besondere Analysetechniken, um solche Quellen zu identifizieren. Dies gelang mit Biomarkern, die nicht nur die Nährstoffquellen eindeutig identifizieren, sondern auch über Jahrhunderte im Boden stabil bleiben. Da die präkolumbischen Bewohner Amerikas nur natürliche Ressourcen zur Verfügung hatten, kommen für die Terra Preta-Entstehung nur folgende Quellen in Frage:

1. Verkohlungsrückstände (Black Carbon, pyrogener C oder Pflanzenkohle) als Quelle für den stabilen Kohlenstoff,
2. kompostierte Küchenabfälle als Quelle für Kohlenstoff und Stickstoff,
3. menschliche oder tierische Exkremente als Quelle für Stickstoff, Phosphor und Kalium,
4. Knochen und Fischgräten als Quelle für Calcium und Phosphor.

ABB. 3 | BIOMARKER UND ANALYSETECHNIKEN ZUR ENTSCHLÜSSELUNG DER TERRA PRETA-ENTSTEHUNG



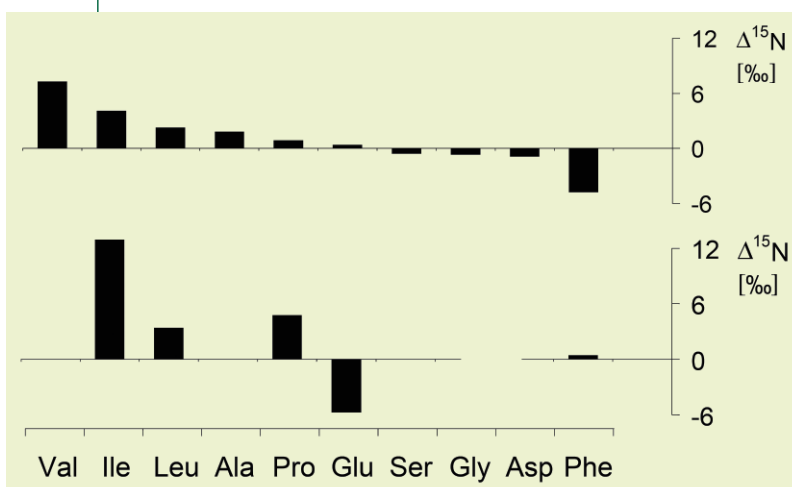
REM = Rasterelektronenmikroskopie, EDX = energiedispersive Röntgenspektroskopie. Details siehe Text.

Biomarkeranalysen zur Rekonstruktion der Terra Preta-Entstehung

Die Identifizierung der genannten Quellen erfolgte anhand der in Abbildung 3 dargestellten Biomarker und Analysetechniken. Zur Bestimmung von Verkohlungsrückständen wurde das kondensierte aromatische Kohlenstoffgerüst mit konzentrierter Salpetersäure unter hoher Temperatur und Druck oxidiert, wobei aromatische Carbonsäuren entstehen, die für polyaromatischen Kohlenstoff (Black Carbon) im Boden spezifisch sind (Abbildung 3) [7]. Bei einem Kompostierungsprozess werden organische Verbindungen nur teilweise abgebaut, weshalb es zu einer Anreicherung von schweren Isotopen kommt (v. a. ^{15}N). Organische Düngung kann man daher sehr gut mithilfe der ^{15}N -Isotopensignatur von Aminosäuren nachweisen (Abbildung 3). Bestimmte Steroide und Gallensäuren sind typisch für menschliche und tierische Exkremente (Abbildung 3). Mithilfe von Rasterelektronenmikroskopie und energiedispersiver Röntgenspektroskopie (REM/EDX) lässt sich die Elementzusammensetzung von Knochen, Fischgräten und des Bodens erkennen (Abbildung 3).

Die quantitativen Analysen ergaben, dass Terra Preta durchschnittlich 50 Tonnen Black Carbon (Holzkohle, Pflanzenkohle, engl. Biochar) pro Hektar und einem Meter Bodentiefe enthält, was einer 70-fachen Anreicherung im Vergleich zum umliegenden ungestörten Boden entspricht [8]. Dieses Ergebnis zeigt, dass Pflanzenkohle ein Schlüssel zur Entstehung von Terra Preta darstellt, obwohl Black Carbon nur ca. 20 Prozent des gesamten organischen Kohlenstoffs in Terra Preta repräsentiert. Dieses Ergebnis bedeutet aber auch, dass Pflanzenkohle im Boden die Bildung von Humus fördert. Physikalisch-chemisch ist Pflanzenkohle nicht von Holzkohle zu unterscheiden. Der Unterschied besteht in der Herstellung und Anwendung. Während Holzkohle aus (Tropen-)Holz zur Energieerzeugung

ABB. 4 | UNTERSCHIED DER STICKSTOFFISOTOPENSIGNATUR ($\Delta^{15}\text{N}$) EINZELNER AMINOSÄUREN IM BODEN



Vergleich zwischen organischer Düngung und ungedüngten Kontrollböden, oben rezente Böden, unten Terra Preta [9]. Abkürzungen der Aminosäuren: Val = Valin, Ile = Isoleucin, Leu = Leucin, Ala = Alanin, Pro = Prolin, Glu = Glutaminsäure, Ser = Serin, Gly = Glycin, Asp = Asparaginsäure, Phe = Phenylalanin.

gung verwendet wird, sollte Pflanzenkohle aus holzigen Biomasseresten zur Bodenverbesserung à la Terra Preta verwendet werden.

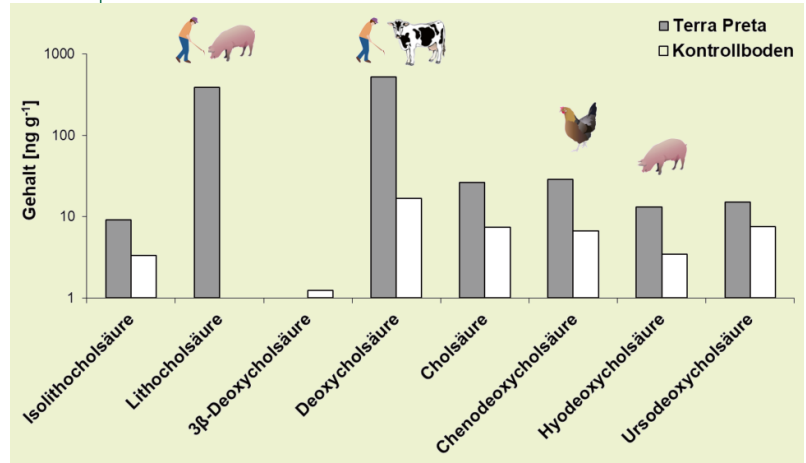
Pflanzenkohle enthält nur geringe Mengen an Nährstoffen in Form von Asche, daher müssen die Nährstoffe in der Terra Preta aus anderen Quellen stammen. Hinzu kommt, dass Brandrodung, bei der viel Asche entsteht, nicht zur Bildung von Terra Preta führt. Insbesondere der hohe Gehalt an Phosphor und die relative Armut an Kalium in der Indianerschwarzerde spricht gegen einen hohen Ascheeintrag [9]. Aus diesem Grund können allein pflanzliche Rückstände nicht die einzige Nährstoffquelle sein. Jedoch spielt Kompostierung von Küchenabfällen bei der Terra Preta-Entstehung eine große Rolle, wie sich anhand der hohen ¹⁵N-Isotopenwerte von Aminosäuren in Terra Preta nachweisen lässt (Abbildung 4) [9].

Einen Eintrag von menschlichen oder tierischen Exkrementen kann man mithilfe des Steroid- und Gallensäuremusters nachweisen (Abbildung 5). Terra Preta enthält signifikant höhere Gehalte an Coprostanol als umliegende Böden – ein deutlicher Hinweis auf Exkremente von Omnivoren (z. B. Mensch oder Schwein) [9]. Im Gallensäuremuster dominierten Lithocholsäure und Deoxycholsäure (Abbildung 5). Beides sind Indikatoren für menschliche Exkremente, da es vor der Ankunft der Europäer in Amazonien weder Schweine noch Kühe gab. Die höheren Gehalte an Chenodeoxycholsäure weisen ferner auf einen geringen Beitrag von Geflügelexkrementen hin (Abbildung 5). Ganz allgemein tragen tierische Exkremente vor allem Stickstoff und Phosphor in den Boden ein. Eine weitere potenzielle Quelle für Bodennährstoffe sind Knochen und Fischgräten, welche reichlich Calcium und Phosphor enthalten. Sie können bereits mit dem bloßen Auge in der Terra Preta entdeckt werden (Abbildung 6). Mithilfe von Rasterelektronenmikroskopie in Kombination mit energiedispersiver Röntgenspektroskopie konnten die hohen Calcium- und Phosphorgehalte der Knochen in Terra Preta bestätigt werden (Abbildung 7).

Die Rolle von Mikroorganismen

Es leuchtet ein, dass die Deponierung der oben genannten Materialien auf Böden ohne weiteren mikrobiellen Abbau zu einer massiven Akkumulation und nicht zu natürlichen Stoffkreisläufen führen würde. Daher ist die Frage berechtigt, ob Terra Preta spezielle Mikroorganismen aufweist, wie häufig angenommen wird („Terra Preta Code“). Verschiedene Autoren berichteten von einer höheren mikrobiellen Diversität in Terra Preta (14 phylogenetische Gruppen, Diversitätsindex 5,2) im Vergleich zu umliegenden Böden (9 phylogenetische Gruppen, Diversitätsindex 4,4) [10]. Andere wiesen nach, dass 42–85 Prozent des bakteriellen Mikrobioms in Terra Preta sowie in benachbarten Böden noch nicht bekannt sind [11]. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass alle bisher in Terra Preta identifizierten Mikroorganismen zur normalen Bodenflora gehören, dominiert von den meist Gram-positiven Firmicutes. Säure-

ABB. 5 GALLENSÄUREMUSTER VON TERRA PRETA IM VERGLEICH ZUM UMLIEGENDEN BODEN [9]



Die y-Achse ist logarithmisch skaliert.

liebende Acidobacteria tragen – im Vergleich zu umliegenden Böden, in denen sie 13–27 Prozent ausmachen – nur 2,5 Prozent zur Bodenflora von Terra Preta bei – vermutlich in Zusammenhang mit den höheren pH-Werten der Terra Preta.

Interessant ist ferner, dass sich die bakterielle Diversität von Terra Preta verschiedener Standorte signifikant unterscheidet, ebenso wie die von Terra Preta und Vergleichsböden an ein und demselben Standort [11]. Diese Ergebnisse machen deutlich, dass es keinen „Terra Preta Code“ gibt. Vielmehr weist jeder Boden sein spezielles Mikrobiom auf, das bei vergleichbarem Klima vor allem von Bodeneigenschaften wie z. B. dem pH-Wert oder dem Humusgehalt bestimmt wird. Ferner beweisen diese Ergebnisse, dass Terra Preta das Produkt einer *in-situ*-Kompostierung ist und nicht einer Fermentation, da Acidobacteria in Terra Preta kaum vertreten sind. Allerdings spielen Pilze



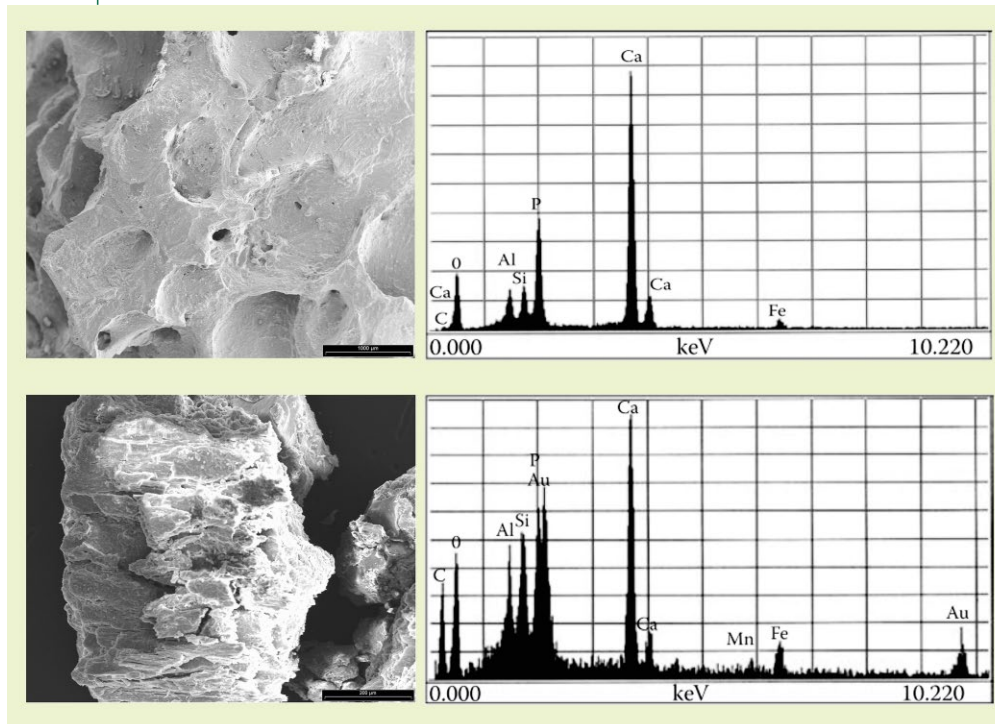
ABB. 6 Knochenreste eines Schildkrötenpanzers (oben) und von diversen Knochenfischen (unten) aus einer Terra Preta (Hatahara) Foto: Bruno Glaser.

bei der Terra Preta-Entstehung eine größere Rolle als Bakterien; ihre Rückstände dominieren im Vergleich zu bakteriellen [4].

Zusammenfassend gilt, dass sich mikrobielle Prozesse in Terra Preta zwar von jenen im umliegenden Vergleichsboden unterscheiden, dass aber auch jede Terra Preta ihr

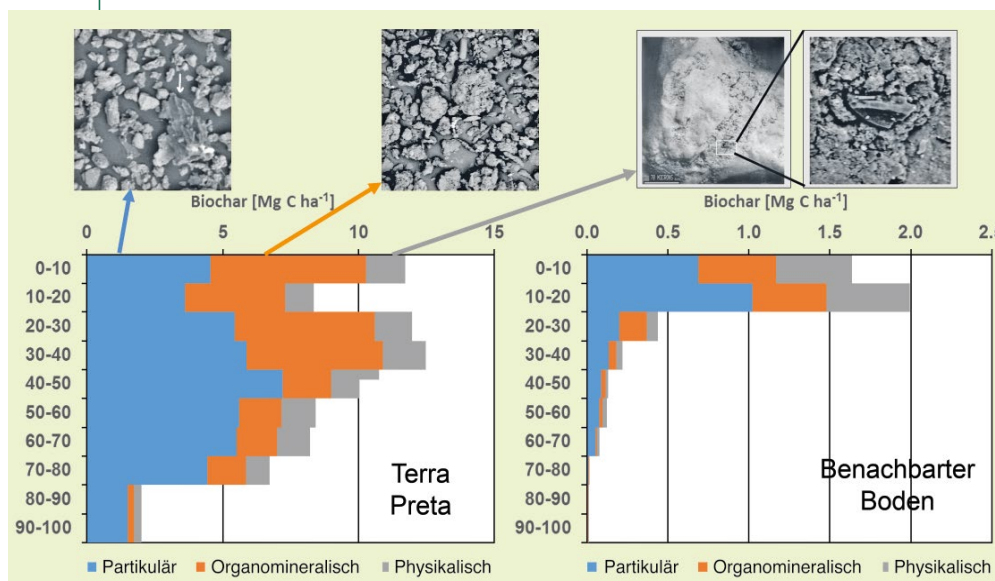
eigenes Mikrobiom besitzt. Wie in jedem Boden wird die Vielfalt der Mikroben und der von ihnen katalysierten Prozesse von äußeren Faktoren gesteuert, vor allem vom pH-Wert und der Menge und Qualität des Nahrungsangebotes. Die Anwesenheit von Pflanzenkohle spielt sicher auch eine Rolle, da diese vermutlich überwiegend durch Pilze im Boden abgebaut wird. Da aerobe Bakteriengemeinschaften dominieren, entstand eine im Durchschnitt 20 Hektar große Terra Preta durch eine *in-situ* Flächenkompostierung von Pflanzenkohle, Küchenabfällen einschließlich Knochen und Fischgräten sowie Exkrementen. Eine Fermentation in Keramikgefäßen, wie man sie häufig im Fernsehen sieht oder in Terra Preta-Büchern liest, ist aus mehreren Gründen sehr unwahrscheinlich. Erstens gibt es kaum fermentierende Bakterien in Terra Preta und zweitens müsste man ca. 200.000 m³ Erde zweimal bewegen (hin und zurück), entsprechend ca. 20 Millionen Keramiktöpfen mit je 10 Liter Inhalt. Wer schon einmal in den humiden Tropen körperlich gearbeitet hat, weiß, dass niemand so etwas freiwillig macht, außer Wissenschaftler für den Erkenntnisgewinn.

ABB. 7 | ANALYSE EINES SCHILDKRÖTENPANZERS IN EINER TERRA PRETA



Gezeigt sind Rasterelektronenmikroskopie (links) und Elementverteilung (rechts) des in Abbildung 6 gezeigten Schildkrötenpanzers (oben) und einer Terra Preta (Hatahara, unten) Fotos: Bruno Glaser.

ABB. 8 | STRUKTUR UND TIEFENVERTEILUNG VERSCHIEDENER PFLANZENKOHLE-FRAKTIONEN



Gezeigt ist die Tiefenverteilung von partikulärer (blau), organomineralisch stabilisierter (orange) und physikalisch stabilisierter (grau) Pflanzenkohle (Biochar) in Terra Preta und in dem Vergleichsboden [4].

Die Rolle von Pflanzenkohle

Aufgrund ihrer polyaromatischen Struktur ist Pflanzenkohle stabiler gegenüber mikrobiellem Abbau im Boden als andere organische Substanzen. Daher ist Pflanzenkohle auch weniger reaktiv. Aber es stellt sich die Frage, ob Pflanzenkohle im Boden mit der Mineralmatrix interagiert. Zur Beantwortung dieser Frage wurde eine Dichtefraktionierung des Bodens durchgeführt und Black Carbon in den einzelnen Fraktionen analysiert. Eine Dichtefraktionierung erlaubt die Unterteilung des Bodens in eine leichte, mittlere und schwere Fraktion, welche jeweils partikuläre, organomineralisch stabilisierte und physikalisch stabilisierte organische Sub-

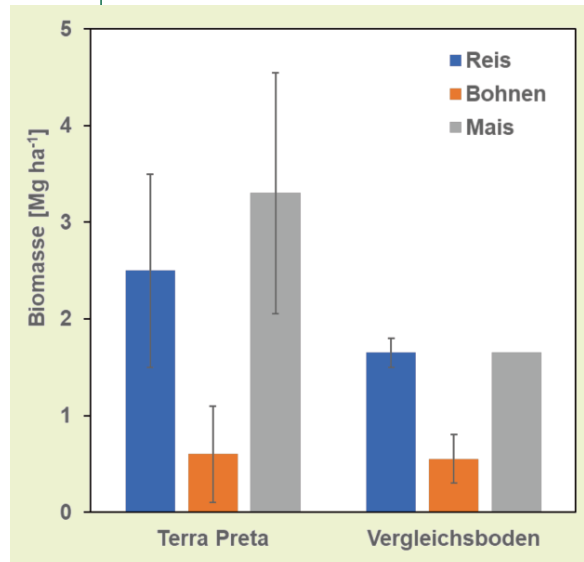
stanz enthält [12]. Überraschenderweise weist Terra Preta immer noch ca. 50 Prozent der Pflanzenkohle in partikulärer Form auf (Abbildung 8), obwohl sie sich z. T. bereits seit ca. 2000 Jahren im Boden befindet, was wiederum die Stabilität von Pflanzenkohle unterstreicht. Der Rest ist überwiegend (ca. 40%) organomineralisch stabilisiert und nur ein kleiner Teil (ca. 10%) ist physikalisch stabilisiert (Abbildung 8). Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass Pflanzenkohle chemisch und biologisch rekalcitrant im Boden vorliegt, und eine Oxidation oder organomineralische Interaktion nur sehr langsam erfolgt. Andererseits ist bekannt, dass an Pflanzenkohle reiche Böden wie Terra Preta oder natürliche Schwarzerden (Tschernoseme) nachhaltig fruchtbar sind, was die Schlüsselrolle von Pflanzenkohle in fruchtbaren Böden unterstreicht. Die Biomasseproduktion auf Terra Preta ist ca. doppelt so hoch wie auf umliegenden Böden (Abbildung 9).

Die offensichtlichste Eigenschaft von Pflanzenkohle ist die schwarze Farbe, die auf ihren polyaromatischen Kern zurückzuführen ist, welcher für die langfristige Stabilität verantwortlich ist (Abbildung 10). Daher ist Pflanzenkohle auch zur langfristigen Kohlenstoffspeicherung im Boden geeignet (C-Sequestrierung und CO₂-Senke gegen den Klimawandel). Langfristig findet eine partielle Oxidation statt, was zur Bildung von funktionellen Gruppen (z. B. Carboxylgruppen) und zur Erhöhung der Nährstoffspeicherungsfähigkeit des Bodens führt. Physikalisch ist Pflanzenkohle sehr porös, was die Luft- und Wasserspeicherung des Bodens erhöht (Abbildung 10).

Heutige Nutzung von Pflanzenkohle zur Schließung von Stoffkreisläufen

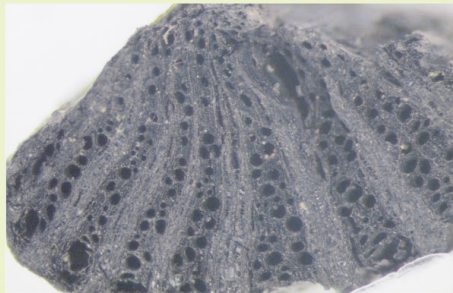
Das Terra Preta-Phänomen beweist, dass es prinzipiell möglich ist, einen humusarmen und unfruchtbaren Boden in einen humusreichen und nachhaltig fruchtbaren Boden zu überführen [8, 9]. Vergleichbare alte Siedlungsböden gibt es übrigens auch in Europa [13]. Daher ist Terra Preta nicht nur ein „Wunderboden“ der humiden Tropen, sondern auch eine Vorlage zur Schließung von Stoffkreisläufen (Abbildung 11) bei gleichzeitiger Verbesserung von Ökosystemleistungen wie z. B. Nahrungsmittelproduktion (Abbildung 9), langfristige Kohlenstoffspeicherung und Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit [4, 9]. Dabei spielt einerseits Pflanzenkohle eine wichtige Rolle, aber auch der Eintrag hoher Mengen an Nährstoffen (vor allem N und P) sowie deren mikrobielle Stabilisierung im Boden (Abbildung 12). In das 21. Jahrhundert übertragen können auch wir heute dieses Konzept zur Schließung von Stoffkreisläufen auf regionaler Ebene nutzen (Abbildung 12). Idealerweise wird Pflanzenkohle aus organischen Reststoffen hergestellt, für die es keine sonstige sinnvolle Verwendung gibt. Pflanzenkohle wird in Deutschland bereits kommerziell erfolgreich hergestellt z. B. mithilfe von PYREG-Anlagen (www.pyreg.de) auf Wertstoffhöfen (z. B. Abfallkreis Neckar-Odenwald) oder aus Pferdemit (z. B. Bionero GmbH in Thurnau). Ferner verdeutlicht das Terra

ABB. 9 BIOMASSEPRODUKTION AUF TERRA PRETA UND DEM UMLIEGENDEN BODEN



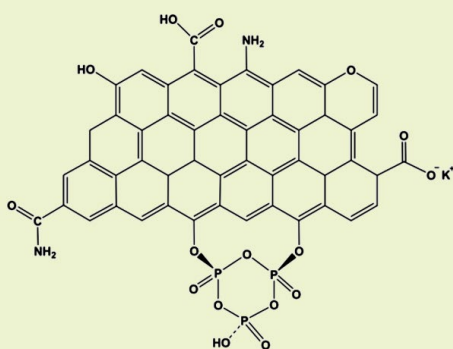
Daten aus [15].

ABB. 10 CHEMISCHE UND PHYSIKALISCHE STRUKTUR VON PFLANZENKOHLE UND DEREN AUSWIRKUNGEN AUF ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN



Struktur

- ▶ Porosität
- ▶ kondensierte Aromaten
- ▶ funktionelle Gruppen
- ▶ labiler organischer Kohlenstoff
- ▶ Asche

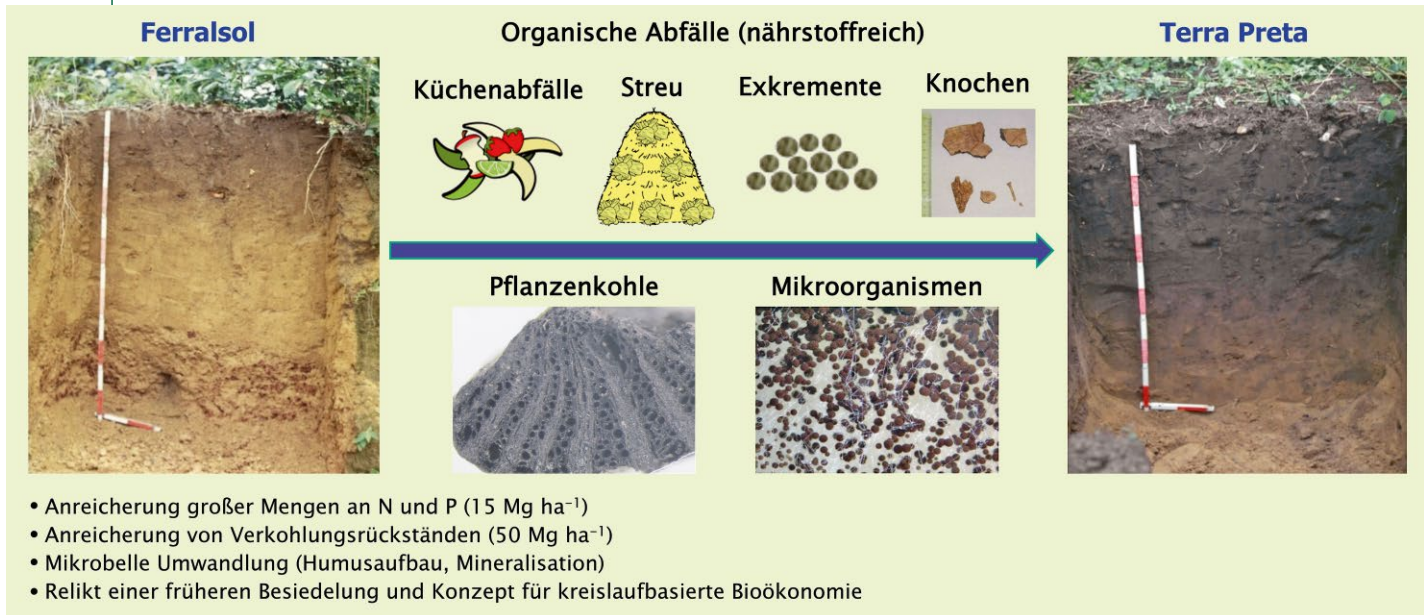


Ökosystemfunktion

- ▶ Wasserspeicherung
- ▶ Kohlenstoffspeicherung
- ▶ Nährstoffspeicherung
- ▶ Nahrung für Mikroorganismen
- ▶ Dünger

Preta-Phänomen, dass es nicht sinnvoll ist, reine Pflanzenkohle in den Boden einzubringen, um den Terra Preta-Effekt zu erzeugen. Daher ist es auch bei der gärtnerischen oder landbaulichen Anwendung von Pflanzenkohle und bei der Untersuchung ihrer ökologischen Effekte wichtig, die Nährstoffe und Mikroorganismen zu berücksichtigen.

ABB. 11 | MODELL DER TERRA PRETA-ENTSTEHUNG [9]

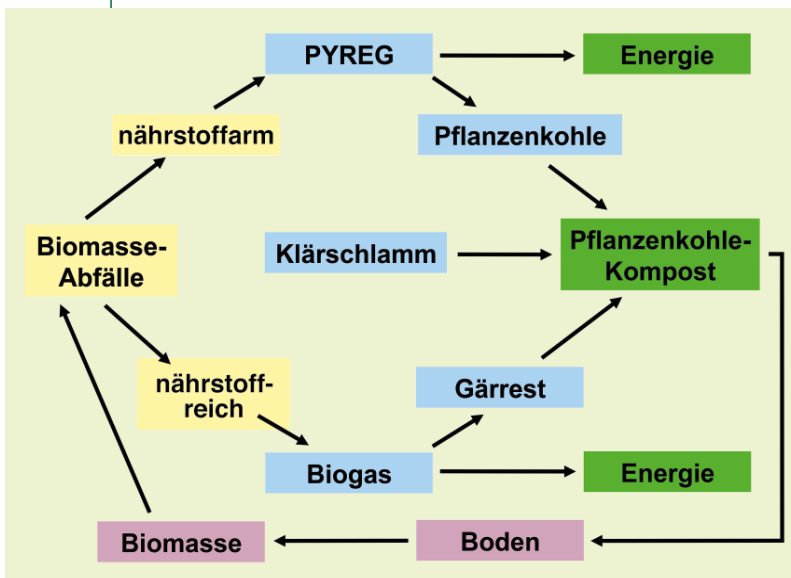


Inzwischen gibt es ca. 10.000 wissenschaftliche Studien über die ökologischen Effekte von Pflanzenkohle, die in ca. 50 Metaanalysen quantitativ und systematisch ausgewertet wurden. Die wesentlichen Ergebnisse aus diesen Metaanalysen sind: durchschnittlich 10% Ertragssteigerung, bei Bäumen sogar +40% Wachstumssteigerung, +60% Kohlenstoffspeicherung im Boden, bis zu -90% Lachgasemission (mengenabhängig), bis zu -60% Nitrat- auswaschung (mengenabhängig), bis zu 800% höhere P-Verfügbarkeit (mengenabhängig), -30% Cadmiumaufnahme in Pflanzen, -10% Bodenverdichtung, +20% Wasserspeicherung. Eine detaillierte Analyse mit entsprechenden

Abbildungen findet sich unter (<https://www.youtube.com/watch?v=zf5rbsJ3lHo&t=12s>).

Das Terra Preta-Phänomen fasziniert, weil dieser Boden in einer Gegend vorkommt, die geprägt ist von unfruchtbaren Böden und rascher Landdegradation nach Entwaldung. Daher sind die ökologischen Vorteile von Terra Preta in den humiden Tropen offensichtlich. Wenn wir allerdings heutzutage versuchen, Terra Preta in Europa zu generieren, wo es bereits natürliche Schwarzerden mit ähnlichen Eigenschaften und andere fruchtbare Böden gibt, ist die Situation anders. Hier wird es vermutlich schwer sein, die Bodenfruchtbarkeit zu erhöhen, es sei denn auf degradierten Flächen wie z. B. Bergbaufolgelandschaften. Auch hier bringt das Terra Preta-Konzept Vorteile z. B. hinsichtlich der Schließung von Stoffkreisläufen, der nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen, der Erhöhung des Kohlenstoffsinkenpotenzials und der Einsparung von Dünger (vor allem N und P). Darüber hinaus gibt es inzwischen mehr als 55 weitere Anwendungsmöglichkeiten für Pflanzenkohle, z. B. als Tierfutter, für Trenntoiletten und Baumaterial [14].

ABB. 12 | TERRA PRETA-KONZEPT ZUR SCHLIESSUNG VON REGIONALEN STOFFKREISLÄUFEN



Zusammenfassung

Terra Preta ist ein alter Siedlungsboden, geprägt durch Jahrhunderte andauernden Eintrag großer Mengen an Verkohlungsrückständen (Pflanzenkohle) und Nährstoffen, welche von den Bodenorganismen in stabilen und fruchtbaren Humus überführt wurden. Dabei dominierten aerobe Prozesse durch bodeneigene Mikroorganismen. Es gibt weder wissenschaftliche Hinweise auf anaerobe Prozesse (Fermentation), noch auf „Terra Preta-Supermikroorganismen“. Die Existenz von Terra Preta beweist, dass es prinzipiell möglich ist, langfristig Kohlenstoff und Nährstoffe im Boden zu speichern bei gleichzeitiger intensiver Nutzung für Gartenbau

oder Landwirtschaft. Die Anwendung dieses Konzeptes erlaubt unsere natürlichen Ressourcen nachhaltig in einer biobasierten Kreislaufwirtschaft zu nutzen. Darüber hinaus werden immer neue Anwendungsmöglichkeiten von Pflanzenkohle „entdeckt“, wie z. B. als Tierfutter, als Baumaterial oder zur Geruchsbindung in Trenn toiletten.

Summary

Terra Preta – facts and myths

Terra Preta resulted from long-term addition of high amounts of charcoal (biochar) and organic residues, which were decomposed in-situ by soil microorganisms. The existence of Terra Preta proves that it is principally possible to sustainably increase carbon sequestration and soil fertility while intensively using the soil for horti- and agriculture. Transferring this principle to our modern society would enable us to sustainably using our natural resources and closing anthropogenic nutrient cycles. In addition, biochar can be used for at least 55 further purposes such as animal feed, construction material, or separating toilets reducing the smell considerably.

Schlagworte:

Terra Preta, Siedlungsboden, Schwarzerde, Schließung von Stoffkreisläufen, Bodenbiogeochemie.

Literatur

- [1] F. Katzer (1903). Grundzüge der Geologie des unteren Amazonasgebietes (des Staates Pará in Brasilien), (Hrsg. Weg, L. V. von M.) Leipzig.
- [2] W. G. Sombroek (1966). Unveröffentlichte Dissertation, Wageningen.
- [3] W. Zech et al. (1979). Mitteilungen der Dtsch. Bodenkundlichen Gesellschaft 29, 709–716.
- [4] B. Glaser (2014). In: Agroecology, Ecosystems, and Sustainability, (Hrsg. Benkeblia, N.) Advances in Agroecology, CRC Press, S. 1–40.
- [5] C. H. McMichael et al. (2014). Proc. R. Soc. B Biol. Sci. 281, 20132475–20132475. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2475>
- [6] J. Birk et al. (2014). DBG Mitteilungen 2007, 110, 643–644.
- [7] B. Glaser et al. (1998). Org. Geochem. 29, 811–819. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(98\)00194-6](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(98)00194-6)
- [8] B. Glaser et al. (2001). Naturwissenschaften 88, 37–41. <https://doi.org/10.1007/s001140000193>
- [9] B. Glaser, J. Birk (2012). J. Geochim. Cosmochim. Acta 82, 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2010.11.029>
- [10] J. S. Kim et al. (2007). Soil Biol. Biochem. 39, 684–690. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.08.010>
- [11] B. O. Neill et al. (2009). Microb. Ecol. 58, 23–35. <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9515-y>
- [12] B. Glaser et al. (2000). Org. Geochem. 31, 669–678. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(00\)00044-9](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(00)00044-9)
- [13] K. Wiedner et al. (2015). Catena 132, 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.024>
- [14] H.-P. Schmidt, Ithaka-Journal (2012). 25, 13–25.
- [15] J. Lehmann et al. (2003). Plant Soil 249, 343–357. <https://doi.org/10.1023/A:1022833116184>

Der Autor:



Bruno Glaser untersuchte bereits 1986 als Laborant bei Prof. Wolfgang Zech Terra Preta. Nach dem Studium der Lebensmittelchemie an der Uni Wuppertal widmete er sich im Rahmen seiner Promotion und Habilitation an der Uni Bayreuth voll und ganz der Terra Preta- und Pflanzenkohleforschung. Er trug damit wesentlich zum heutigen Verständnis der Entstehung von Terra Preta bei. Seit 2009 ist er Professor für Bodenbiogeochemie an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, wo er diese Forschungen fortführt. Er hat mehr als 200 Fachartikel und Buchbeiträge publiziert und ist ein gefragter Experte zu Terra Preta und Pflanzenkohle.

Korrespondenz

Prof. Dr. Bruno Glaser
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Bodenbiogeochemie
von-Seckendorff-Platz 3
06120 Halle (Saale)
Email: [Bruno.glaser@landw.uni-halle.de](mailto: Bruno.glaser@landw.uni-halle.de)

INFORMATIONEN ZUR CORONA-IMPfung



Von früh bis spät umgibt uns das Virus – doch seriöse und verständliche Informationen zur Corona-Impfung zu finden, ist gar nicht so leicht. Deshalb hat der PKV-Verband eine Aufklärungskampagne gestartet, damit mehr Menschen die medizinischen Informationen rund um die Impfung erhalten – aufbereitet von der unabhängigen und gemeinnützigen „Stiftung Gesundheitswissen“.

Weitere Infos unter www.pkv.de/impfos



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

