



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung



Bundesinformationszentrum
Landwirtschaft

Torf und alternative Substratausgangsstoffe



Liebe Leserin, lieber Leser,

für gärtnerische Kultursubstrate ist Torf bisher ein wichtiger Ausgangsstoff. Mit ihm lassen sich Substrate von gleichbleibend hoher Qualität herstellen, die für viele Pflanzen und Kulturverfahren gleichermaßen geeignet sind. Allerdings wirkt sich der Abbau von Torf negativ auf das Klima aus. Werden Moore zur landwirtschaftlichen Nutzung entwässert, kommen die bis dahin stillstehenden Abbauprozesse in Gang und setzen Kohlendioxid frei. Aber auch der Torfabbau in schon entwässerten Mooren führt dazu, dass weiteres, bis dahin im Torfkörper gebundenes Kohlendioxid verstärkt in die Atmosphäre gelangt.

Daher gibt es schon seit langem Bestrebungen, den hohen Anteil an Torf durch Alternativen zu ersetzen. Eine Reihe von organischen Substratausgangsstoffen, wie Kompost, Holzhäcksel und -faser, Rindenumus oder Kokosfaser, aber auch von mineralischen Stoffen wie Ton oder Perlite ist in zahlreichen Versuchen auf ihre Eignung als Substratbestandteil untersucht worden. In der Praxis werden diese Alternativen bisher jedoch nur in begrenztem Umfang eingesetzt.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels gewinnen sowohl die Forschung an alternativen Substratausgangsstoffen als auch ihre Umsetzung in die Praxis zunehmend an Bedeutung. Das vorliegende Heft wurde anlässlich der Tagung „Torfminderung“ des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft am 18. und 19. Februar 2020 in Berlin erstellt. Es vergleicht die Eigenschaften von Torf mit denen von alternativen Substratausgangsstoffen und bietet einen umfassenden Überblick über deren Eignung als Torfersatz.

Ihr
Bundesinformationszentrum
Landwirtschaft



Inhalt

1 Einleitung	4
2 Geschichtliche Entwicklung von Kultursubstraten.....	5
3 Bedeutung von Kultursubstraten	6
4 Eigenschaften guter Kultursubstrate.....	7
5 Substratausgangsstoffe.....	8
5.1 Organische Substratausgangsstoffe	8
5.1.1 Torf.....	8
5.1.2 Holz	15
5.1.3 Kokosmaterialien	19
5.1.4 Kompost.....	22
5.1.5 Rinde.....	26
5.1.6 Reisspelzen	29
5.1.7 Braunkohlefaserholz (Xylit).....	30
5.1.8 Sphagnum (Torfmoos).....	31
5.1.9 Weitere organische Stoffe	33
5.1.10 Begrenzende Faktoren für den Einsatz organischer Torfersatzstoffe.....	35
5.2 Mineralische Substratausgangsstoffe.....	36
5.2.1 Ton.....	37
5.2.2 Blähton und Blähschiefer.....	40
5.2.3 Steinwolle (Mineralwolle).....	41
5.2.4 Perlite.....	43
5.2.5 Weitere mineralische Stoffe	44
5.2.6 Bedeutung mineralischer Substratausgangsstoffe für Kultursubstrate	47
Weitere BZL-Medien.....	48
Impressum.....	51

1 Einleitung

Torf ist seit über 50 Jahren auf Grund seiner hervorragenden physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften der wichtigste Ausgangsstoff gärtnerischer Kultursubstrate. Ausgelöst durch die globale Klimadiskussion steht der Verbrauch von Torf für die Herstellung von Kultursubstraten in den letzten Jahren jedoch zunehmend in der Kritik, da Moore eine wichtige Kohlendioxidsenke darstellen. Der Abbau von Torf findet in Deutschland jedoch seit Jahren nicht mehr in naturbelassenen Mooren statt. Zur Torfgewinnung dienen schon früher entwässerte und dann landwirtschaftlich genutzte Moorflächen, die keine Kohlendioxidsenke mehr sind. Allerdings wird durch den Torfabbau deren weitere Degradierung und damit die Abgabe von Kohlendioxid in die Atmosphäre beschleunigt. Zur Erreichung der für den Klimaschutz notwendigen Kohlendioxid-Einsparung wurde deshalb von politischer Seite unter anderem die Erarbeitung einer Torfminderungsstrategie in Angriff genommen.

Der Ersatz von Torf in gärtnerischen Kultursubstraten stellt für alle an der Wertschöpfungskette Gartenbau beteiligten Akteure eine beachtliche Herausforderung dar. Obwohl bereits seit mehreren Jahrzehnten Forschungsergebnisse zum Einsatz torfreduzierter bzw. torffreier Substrate vorliegen, haben sich bisher torfschonende Produktionsweisen im Erwerbsgartenbau noch nicht in großem Umfang durchsetzen können. Lediglich in Blumenerden für den Freizeitgartenbau ist die Verwendung von Torfersatzstoffen schon etwas weiter verbreitet.

Grundsätzlich erfordert die Pflanzenproduktion in torfreduzierten bzw. torffreien Kultursubstraten eine Umstellung der Düngungs- und Bewässerungsstrategie, da sich die Eigenschaften der Substrate gegenüber Torfprodukten vor allem bei hohem Anteil alternativer Ausgangsstoffe erheblich verändern. Erschwerend kommt hinzu, dass die Beschaffenheit von Torfersatzstoffen im Vergleich zu Torf zum Teil deutlich stärkeren Schwankungen unterworfen ist. Der Anwender von Substraten mit Torfersatzstoffen sieht sich daher mit einem erhöhten Kulturrisiko konfrontiert. Um dieses zu minimieren, wird im Folgenden nach Ausführung einiger Grundlagen zu Kultursubstraten und zum Einsatz von Torf ein ausführlicher Überblick hinsichtlich Gewinnung, Eigenschaften und Verwendung von alternativen Substrat- ausgangsstoffen gegeben.

2 Geschichtliche Entwicklung von Kultursubstraten

Ausgangspunkt der gärtnerischen Kultursubstrate waren die in den Gärtnereien früher selbst hergestellten Praxiserden, die aus einer Vielzahl verfügbarer Ausgangsstoffe, zum Beispiel Kompost-, Laub- und Rasenerde sowie Lehm und Sand gemischt wurden (Abbildung 1). Parallel zur Einführung von Torf-Ton-Substraten und reinen Torfsubstraten zwischen 1950 und 1960 begann sich die Herstellung vom gärtnerischen Betrieb in spezialisierte industrielle Substratwerke zu verlagern. Die nun verwendeten Ausgangsstoffe mussten nicht mehr kompostiert und hygienisiert werden. Bei entsprechender Kalkung und Düngung eigneten sich die produzierten Standardsubstrate für alle Topf- und Containerkulturen.

Ab den 1970er Jahren wurden dann in zunehmendem Maße Torfsubstrate mit verschiedenen weiteren Ausgangsstoffen entwickelt, die schließlich zu einer großen Vielfalt an Spezialsubstraten geführt haben. Zum einen bestand das Ziel darin, stärker zersetzte Torfe in ihrer Struktur zu verbessern, zum anderen Spezialsubstrate für unterschiedliche Anwendungsbereiche sowie Kultur- und Bewässerungsverfahren herzustellen. Nicht zuletzt spielte auch damals schon das Ziel, Torf zu ersetzen, eine Rolle, da man sich der Endlichkeit der Ressource bewusst war und der Gedanke, Moore aus Umweltschutzgründen zu erhalten, zunehmend an Bedeutung gewann. In diesem Zusammenhang wurde die großtechnische Herstellung und Verwendung altbekannter Stoffe wie Kompost intensiv untersucht, aber auch eine mögliche Verwertung weiterer Ausgangsstoffe geprüft, die in großen Mengen in industriellen Verarbeitungsprozessen oder als Reststoffe anfallen, wie zum Beispiel Baumrinde, Holzreste, Kokosmaterialien, Reisspelzen oder Altpapier.



Abbildung 1: Geschichtliche Entwicklung von Kultursubstraten

3 Bedeutung von Kultursubstraten

Im Gegensatz zu früher, als Kultursubstrate fast ausschließlich für die Anzucht von Topfpflanzen verwendet wurden, werden sie heute in sehr vielen Sparten des Gartenbaues eingesetzt, so zum Beispiel bei der Kultur von Schnittblumen in Containern oder auf dünnen Substratschichten, bei der Jungpflanzenanzucht, für Containerpflanzen in der Baumschule, zur Kultur von Beerenobstpflanzen, zur Anzucht von Stauden oder für Kübelpflanzen. Spezielle Substrate gibt es auch für die Innenraum-, Fassaden- und Dachbegrünung sowie für Baumpflanzungen oder das öffentliche Grün, zum Beispiel Lärmschutzwände oder Verkehrsinseln.

Nachdem mengenmäßig nur noch ein sehr kleiner Anteil von Kultursubstraten in den Betrieben selbst gemischt wird, kommt der Substratindustrie entsprechende Bedeutung zu. Laut einer Untersuchung der International Peat Society produzierten im Jahr 2013 etwa 500 kleine bis mittlere Betriebe und einige große Hersteller in Europa knapp 35 Millionen Kubikmeter Kultursubstrate, davon etwa 20 Millionen Kubikmeter für den Erwerbsgartenbau und 15 Millionen Kubikmeter für den Hobbybereich. Daran haben Firmen in Deutschland mit etwa 24 Prozent den größten Anteil.

4 Eigenschaften guter Kultursubstrate

Kultursubstrate sind in der bodenunabhängigen Produktion die Basis für den Kulturerfolg. Mit zunehmender Spezialisierung und Technisierung, mit intensiverer Flächennutzung und Kulturzeitverkürzung steigen die Anforderungen an die Qualität und die Gleichmäßigkeit der Substrate. Ein geeignetes Kultursubstrat bietet der Pflanze besonders gute Wachstumsbedingungen, verringert das Kulturrisiko und soll eine Standardisierung des Kulturablaufs besonders bei der Bewässerung und Düngung durch gleichbleibende Eigenschaften ermöglichen. Grundsätzlich ist dabei die optimale Versorgung der Pflanzen mit Wasser, Luft und Nährstoffen umso schwieriger, je kleiner der zur Verfügung stehende Wurzelraum ist.

Allgemein sind folgende Anforderungen an ein gärtnerisches Kultursubstrat zu stellen:

- » Hohes Porenvolumen bei günstiger Porengrößenverteilung
- » Hohes Wasserspeichervermögen
- » Ausreichende Luftversorgung, auch bei hohem Wassergehalt
- » Günstige Drainageeigenschaften
- » Hohe Kapillarität
- » Gute Wiederbenetzbarkeit nach Austrocknung
- » Strukturstabilität über längere Zeit
- » Günstige Gehalte an pflanzenverfügbaren Nährstoffen und sonstigen Salzen
- » Hohe Kationenaustauschkapazität
- » Überschaubare Nährstoffdynamik (geringe Festlegung und Freisetzung von Nährstoffen)
- » Günstiger pH-Wert
- » Pufferung gegen pH-Verschiebung
- » Freiheit von Schädlingen und Krankheitserregern
- » Freiheit von pflanzenschädigenden und wachstumshemmenden Stoffen
- » Freiheit von Unkrautsamen und austriebsfähigen Pflanzenteilen
- » Lagerfähigkeit
- » Maschinentauglichkeit
- » Stets gleichartige Beschaffenheit

Je nach Einsatzbereich, Kulturtechnik und -bedingungen verschieben sich innerhalb dieses Forderungskatalogs die Schwerpunkte.

5 Substratausgangsstoffe

Als Substratausgangsstoffe oder Substratkomponenten werden Materialien bezeichnet, die zum Volumen des Kultursubstrats beitragen. Im Gegensatz zu Substratzusätzen wie Dünger oder Kalk, deren Zugabe nach Gewicht erfolgt und kein nennenswertes Volumen bringt, werden Substratausgangsstoffe in volumengebenden Prozentanteilen beigemischt oder auch in reiner Form verwendet. Substratausgangsstoffe sind in der Regel makroskopisch oder mikroskopisch im Kultursubstrat erkennbar.

5.1 Organische Substratausgangsstoffe

Organische Substratkomponenten stammen entweder aus dem Abbau natürlicher Lagerstätten (zum Beispiel Torf und Xylit), sind Reststoffe, die bei der Verarbeitung organischen Materials in verschiedenen Herstellungsprozessen anfallen (zum Beispiel Holz, Baumrinde und Kokosmaterial) oder werden speziell für die Verwendung als Substratausgangsstoff angebaut wie *Sphagnum* und *Miscanthus*.

5.1.1 Torf

Nach DIN 11540 versteht man unter Torf ein „Moorsubstrat mit mehr als 30 % organischer Substanz in der Trockenmasse, das aus abgestorbenen Pflanzenteilen durch Verrotfung entstanden ist“. Torf bildet sich in Mooren der gemäßigten und kalten Klimazonen und stellt die erste Stufe der Inkohlung dar, bei der infolge von Wasserüberschuss und Sauerstoffmangel Pflanzenreste nicht vollständig zersetzt werden, sondern durch parallel ablaufende Vorgänge der Mineralisierung und Humifizierung verrotfen. Alle in Deutschland erhaltenen Moore wurden nacheiszeitlich, mit Beginn vor etwa 12.000 Jahren, gebildet.

Nach der Entstehung und den daraus resultierenden Eigenschaften unterscheidet man zwischen Niedermoortorf und Hochmoortorf sowie Übergangsmoortorf, der bezüglich seiner Entstehung und Eigenschaften zwischen den beiden Haupttypen liegt. Niedermoore werden durch Oberflächen-, Grund- oder Seewasser gespeist und haben dadurch zum Teil hohe Nährstoff- und Kalkgehalte, was sich in mittleren bis hohen Nährstoffgehalten und mäßig sauren bis neutralen pH-Werten des Torfs niederschlägt. Sie entstehen aus einer Vielzahl von Pflanzenarten wie Seggen, Schilf, Binsen oder Gehölzen. Dagegen haben Hochmoore keine Verbindung zum Grundwasser, sondern entstehen durch Überschuss von nährstoffarmem Niederschlagswasser auf Niedermooren oder „wurzelecht“ auf wasserundurchlässigem Mineralboden, was zu nährstoffarmen, sauren Torfen führt. Die Vegetation besteht aus einer sehr begrenzten Anzahl wenig nährstoffbedürftiger Arten. Die beiden wichtigsten Pflanzen im Hochmoor sind Torfmoose (*Sphagnum* spp.) und Wollgras (*Eriophorum vaginatum*), aus dem die Fasern im Torf entstehen. Das Alter des Torfs und damit der Zersetzungsgrad der organischen Substanz nimmt in Hochmooren von oben nach unten zu, daher liegt eine Schicht aus hellem, schwach zersetztem Weißtorf über einer Schicht aus dunklerem, stärker zersetztem Schwarztorf. Bedeutung für Kultursubstrate hat wegen seiner vorteilhaften und homogenen Eigenschaften fast nur Hochmoortorf, weswegen sich die folgenden Ausführungen ausschließlich darauf beziehen.

Deutscher Torf stammt überwiegend aus Niedersachsen und wird auf zuvor landwirtschaftlich genutzten Flächen gewonnen, deren Entwässerung bereits vor Jahrzehnten durchgeführt wurde. Damals war es das Ziel, die als Ödland eingestuft Moorflächen zu kultivieren, um sie land- und forstwirtschaftlich zu nutzen und das Auskommen der ansässigen Bevölkerung zu sichern. Von den einst großen Hochmoorflächen sind nur noch weniger als zehn Prozent in naturnahem Zustand erhalten. Sie gelten heute als wertvolle Feuchtflächen mit einer hoch spezialisierten Tier- und Pflanzengesellschaft und werden als besonders erhaltens- und schützenswert angesehen. Auf diesen Flächen sind seit vielen Jahren keine Eingriffe mehr erlaubt. In jüngerer Vergangenheit wurden darüber hinaus im Landesraumordnungsprogramm Niedersachsen viele sogenannte Vorranggebiete, die zur Rohstoffgewinnung von Torf ausgewiesen waren, gestrichen, so dass die Möglichkeiten der Torfgewinnung in Deutschland relativ begrenzt sind.

Seit den 1990er Jahren werden große Mengen an jungem, wenig zersetztem Hochmoortorf aus den baltischen Staaten, insbesondere aus Lettland, importiert. Weitere Herkunftsländer, aus denen Torf in deutlich geringeren Mengen als aus dem Baltikum importiert wird, sind Irland, Finnland und Russland, gefolgt von Polen, Schweden und Weißrussland mit noch geringeren Anteilen.

Obwohl in Deutschland seit Beginn der 1980er Jahre kein Abbau von Torf in naturbelassenen Mooren mehr stattfindet und der überwiegende Teil der trockengelegten Flächen landwirtschaftlich genutzt wird, ist durch das gestiegene Bewusstsein über die Folgen des Klimawandels und durch neue Erkenntnisse über die Wichtigkeit von Mooren als Kohlendioxidspeicher die Verwendung von Torf in Kultursubstraten verstärkt in die Kritik geraten. Um die Akzeptanz für die Verwendung dieses wichtigen Substratausgangsstoffes zu verbessern, wurden verschiedene Initiativen ins Leben gerufen, die einen verantwortungsvollen Umgang mit dem Material und vor allem mit den Torfabbauflächen zum Ziel haben. Dazu gehören das NABU-IVG-Moorkonzept und die Zertifizierungen der Stiftung RPP (Responsibly Produced Peat).

Auf den Torfabbauflächen wird seit den 1980er Jahren in der Regel eine Torfschicht von 50 Zentimetern belassen und die Fläche wieder vernässt. Mittelfristig werden Moorflächen dadurch renaturiert und langfristig, im Laufe von Jahrzehnten bis Jahrhunderten regeneriert, das heißt, dass wieder eine Neubildung von Torf einsetzt. Dies führt zu neuen, hochwertigen Feuchtflächen, kann jedoch bei durchschnittlich einem Millimeter Torfwachstum pro Jahr die abgebauten Torfmengen nur zu einem sehr geringen Teil ersetzen. Ein regeneriertes Moor trägt als Kohlendioxidsenke aber wieder zum Klimaschutz bei.

Hochmoortorf ist der wichtigste Ausgangsstoff für gärtnerische Kultursubstrate und kann auch ohne Mischungspartner verwendet werden. In den etwa 8,5 Millionen Kubikmetern an Kultursubstraten, die in Deutschland jährlich für den Erwerbs- und Hobbygartenbau produziert werden, bildet Hochmoortorf mit durchschnittlich ungefähr 80 Volumenprozent den Hauptbestandteil. Dabei hat die Verwendung von Schwarztorf gegenüber früher an Bedeutung gewonnen, da wegen stärkerer Mechanisierung durch Topfmaschinen und Pflanzroboter der Bedarf an feinen, rieselfähigen Substraten gestiegen ist. Außerdem ist Schwarztorf das Standardmaterial zur Herstellung von Presstopfsubstraten für Gemüsejungpflanzen.

In torfreichen Gebieten Deutschlands und anderer europäischer Staaten wurde Torf früher in großem Umfang zur Energiegewinnung genutzt. Während der Verbrauch von Brenntorf in anderen Ländern auch heute noch erhebliche Größenordnungen

erreicht, wird Torf in Deutschland außer für die gartenbauliche Verwendung nur noch in geringerem Umfang als Badetorf eingesetzt.

Torfgewinnung

Torf wird je nach gewünschter Eigenschaft nach verschiedenen Verfahren gewonnen. Der Abbau von Weißtorf erfolgt als Soden- oder Frästorf, der von Schwarztorf im Baggerverfahren oder durch Tiefengrubbern der obersten Schicht des Torfkörpers. Der erste Schritt bei der Torfgewinnung ist die Entwässerung der Abbaufläche. Zum Zeitpunkt des Abbaubeginns hat der Torf trotzdem noch einen Wassergehalt von etwa 90 Massenprozent.

Beim **Sodentorfverfahren** sticht die Weißtorf-Stechmaschine Soden von meist 15 x 15 x 40 Zentimetern aus dem Torfkörper und legt sie in einer Reihe am Feld ab. Dort müssen die Soden durch Wind und Sonne mindestens ein Jahr bis auf einen Wassergehalt von etwa 50 bis 60 Massenprozent trocknen. Durch maschinelles Rütteln oder Umschichten von Hand wird der Trocknungsprozess beschleunigt. Anschließend werden die Soden im Torfwerk zerkleinert und in die gewünschten Korngrößen fraktioniert. Mit diesem Verfahren bleibt die Struktur des Torfs erhalten und es lassen sich sowohl feine als auch grobe Torfqualitäten herstellen. Abgesiebte Fasern können Kultursubstraten als Strukturmaterial zugesetzt werden.

Beim **Frästorfverfahren** wird die Oberfläche des Weißtorfkörpers einige Zentimeter tief aufgefräst und die gelockerte Schicht mehrmals gewendet. Der getrocknete Frästorf wird mechanisch oder mit einer Art Riesenstaubsauger aufgenommen, zu Sammelmieten aufgehäuft und bis zur Verarbeitung im Werk am Torffeld gelagert. Durch das Fräsverfahren kommt es zu einer weitgehenden Zerstörung der Torfstruktur, daher ist nur die Herstellung feiner Körnungen möglich.

Im **Baggerverfahren** wird Schwarztorf im Spätherbst entnommen und mit einer Pistenraupe 15 bis 20 Zentimeter hoch auf dem Torffeld verteilt. Da die Eigenschaften des Torfes innerhalb des Torfkörpers von oben nach unten variieren, wird der Torf vom Entwässerungsgraben ausgehend seitlich auf der kompletten Höhe abgebagert. Auf diese Weise lassen sich über Jahre hinweg homogene Qualitäten produzieren, was für professionelle Anwendungen, wie zum Beispiel die Herstellung von Presstopfsubstrat, wichtig ist.

Werden nicht ganz so hohe Ansprüche an die Gleichmäßigkeit einzelner Chargen gestellt, wird Schwarztorf vor dem Winter etwa 20 Zentimeter tief mit einem **Tiefengrubber** gelockert und die entstehende grobschollige Oberfläche über den Winter dem Frost ausgesetzt. Eine zusätzliche Bearbeitung während des Winters führt zu einer größeren Oberfläche und lässt das Torfmaterial besser durchfrieren.

Unabhängig von der Art des Abbaus ist die Einwirkung von Frost bei hohem Wassergehalt für Schwarztorf notwendig, damit die kolloidale Torfmasse gesprengt und aufgelockert wird. Die Wasserkapazität erhöht sich dadurch auf einen ausreichenden Wert, die Benetzungsfähigkeit verbessert sich und eine irreversible Schrumpfung und Verhärtung wird verhindert. Durchfrorener Schwarztorf muss vor der weiteren Verarbeitung noch auf einen Wassergehalt von etwa 65 Massenprozent trocknen und wird dazu auf dem Feld nochmals gegrubbert und gewendet, bevor er an der Seite des Torffeldes zu langen Mieten aufgehäuft wird, um von dort zur weiteren Verarbeitung ins Torfwerk gebracht zu werden.

Eigenschaften

Torf besitzt ein hohes Porenvolumen und im Allgemeinen für die Pflanzenkultur günstige Anteile von Fein-, Mittel- und Grobporen, das heißt, dass er neben einer guten Wasserkapazität auch über eine ausreichende Luftkapazität verfügt. Dagegen stellt die schlechte Wiederbenetzungsfähigkeit nach dem Austrocknen einen der wenigen Nachteile bei der Verwendung von Torf als Substratausgangsstoff dar.

Die physikalischen Eigenschaften des Torfs (Tabelle 1, Seite 14) werden von der botanischen Zusammensetzung, dem Gewinnungsverfahren, dem Trocknungsgrad, der Frosteinwirkung, dem Grad der Zerkleinerung und vom Zersetzungsgrad bestimmt. Nach DIN 11540 ist der Zersetzungsgrad ein „Maß für den Anteil eines Torfes an humifizierten bzw. makroskopisch strukturlos erscheinenden Komponenten“. Bei Hochmoortorfen ist zu unterscheiden zwischen dem jüngeren, wenig bis mäßig zersetzten Weißtorf aus den oberen Schichten und dem darunterliegenden, älteren und stärker zersetzten Schwarztorf, auch „Humintorf“ genannt. Eine genauere Einteilung wird durch die Skala nach von Post gegeben, die Zersetzungs- oder Humositätsgrade (H) von H1 „völlig unzersetzt“ bis H10 „völlig zersetzt“ angibt (Abbildung 2).

Humositätsgrad	Einteilung bei der Rohstoffprüfung nach DIN 11540 sowie nach RAL-GZ 250/5-2*				landläufige Bezeichnung				
H1					Weißtorf				
H2									
H3									
H4									
H5									
H6									Schwarztorf (Humintorf, Tuintorf)
H7									
H8									
H9									
H10									

Abbildung 2: Einteilung von Hochmoortorf nach dem Humositäts- oder Zersetzungsgrad

*DIN 11540:2019-03, RAL-GZ 250/5-2 (Mai 2018)

Wie aus Abbildung 3 hervorgeht, sinkt mit zunehmender Zersetzung das Porenvolumen, der Anteil an fester Substanz dagegen, erkenntlich an der Rohdichte, nimmt zu. Gleichzeitig steigt die Wasserkapazität an und die Luftkapazität wird geringer. Der stärker zersetzte Torf kann also mehr Wasser aufnehmen, ist aber gleichzeitig weniger „vergießfest“.

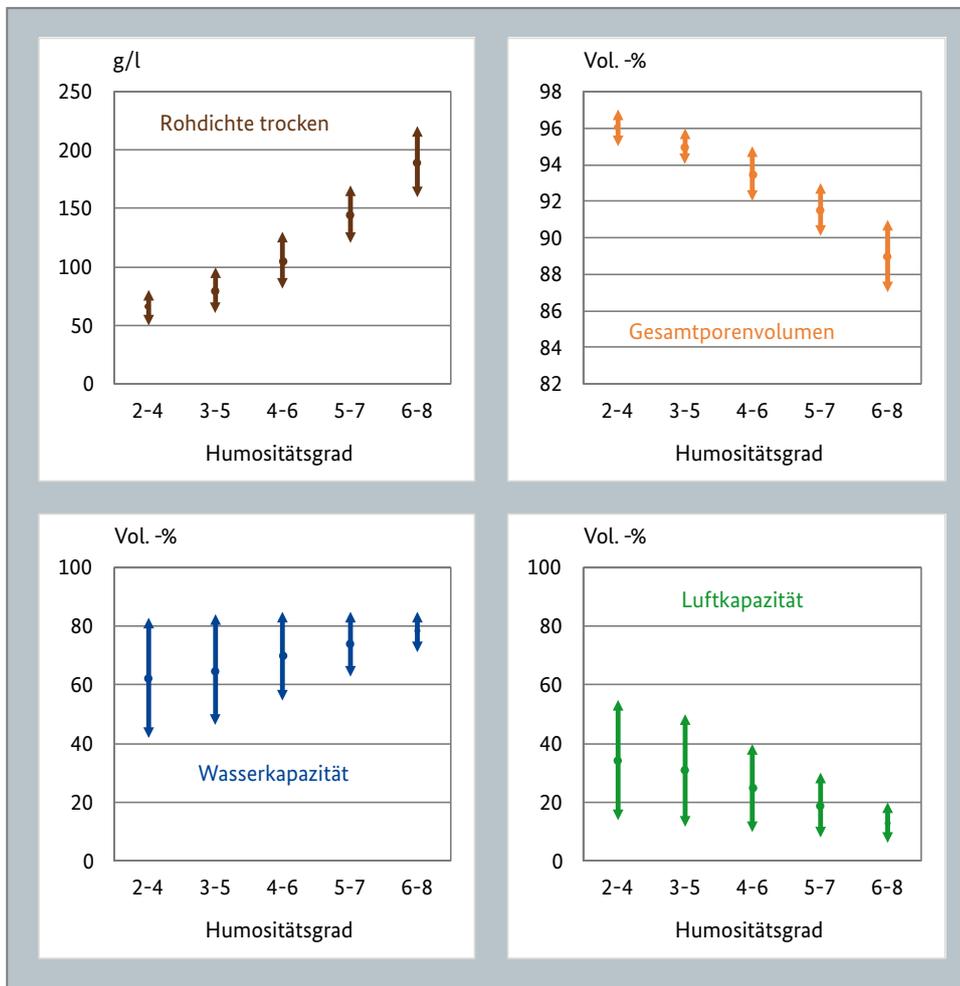


Abbildung 3: Abhängigkeit der physikalischen Eigenschaften von Hochmoortorfen vom Humositätsgrad (Wertebereiche nach DIN 11540:2019-03)

Von den chemischen Eigenschaften werden nur die Nährstoff- und die pH-Pufferkapazität durch den Zersetzungsgrad beeinflusst. Die allgemein mittelmäßige Kationenaustauschkapazität von Torf steigt mit zunehmendem Zersetzungsgrad. Die Fähigkeit, pH-Wertverschiebungen abzuf puffern, ist bei schwach zersetzten Torfen mittel, bei stärker zersetzten gut.

Der extrem bis stark saure pH-Wert von 2,5 bis 3,5 und die sehr niedrigen Gehalte an löslichen Nährstoffen (Tabelle 1) ermöglichen eine beliebige rezeptartige Einstellung auf das gewünschte Niveau ohne vorherige Analyse. Allein die Magnesiumgehalte können höhere Werte erreichen, was bei der Düngung berücksichtigt werden sollte. Wegen der geringen Gehalte an Mikronährstoffen ist auf eine ausreichende Grunddüngung mit Spurenelementen zu achten.

Trotz eines weiten C/N-Verhältnisses tritt bei Hochmoortorfen keine nennenswerte Stickstoff-Immobilisierung auf, weil die Zersetzung der Torfmasse auch nach Aufkalkung und Düngung nur sehr langsam verläuft. Dies ist ebenfalls an der im Verhältnis zu anderen organischen Substratausgangsstoffen geringen Sackung bzw.

Volumenverminderung im Kulturverlauf ersichtlich. Junge, weniger humifizierte Torfe, wie zum Beispiel baltischer Weißtorf, verlieren unter Gewächshausbedingungen allerdings etwas rascher an Volumen und Masse als etwas stärker zersetzte und damit stärker humifizierte Torfe (norddeutscher Weißtorf), weil jüngere Torfe mehr Hemizellulosen und Zellulosen enthalten (Abbildung 4).

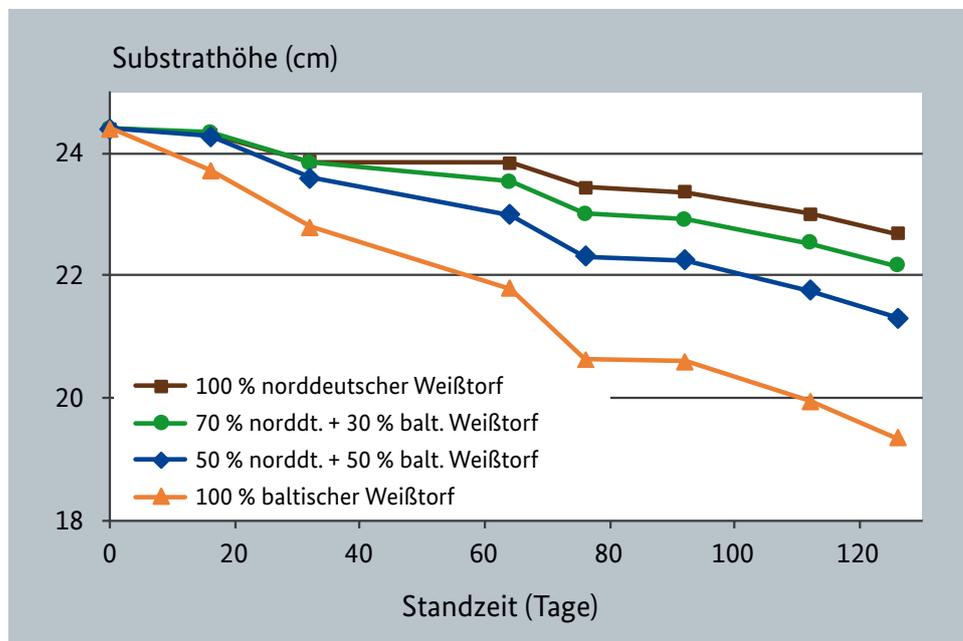


Abbildung 4: Substratsackung verschiedener Torfe und Torfmischungen in unbepflanzten Gefäßen

Die Vorstellung, dass Torf von Mikroorganismen wenig besiedelt ist, hat sich als falsch erwiesen. Die Zahl der Mikroben im Torf eines naturbelassenen Moores ist höher als bisher angenommen, und diese liegen nicht ausschließlich in Ruhestadien vor. Die Mikroflora von Mooren besteht allerdings nur aus einer geringen Zahl von Gattungen und Arten. Wegen des niedrigen pH-Wertes herrschen Pilze vor. Durch Verarbeitung, Kalkung, Düngung und Bepflanzung von Torf wird die ruhende Mikroflora wieder aktiviert. In letzter Zeit treten häufiger spontane Besiedlungen mit saprophytischen Pilzen, vor allem *Peziza ostracoderma* (Torf-Becherling) auf. Schwierigkeiten bereiten dabei weniger die relativ selten auftretenden Fruchtkörper als der häufiger und plötzlich erscheinende Rasen aus gelblichbraunen Konidiosporen, der einerseits eine optische Beeinträchtigung darstellt und durch seine wasserabweisenden Eigenschaften zu Benetzungsschwierigkeiten beim Gießen führt. Auch weitergehende Probleme wie Nährstoffmangel durch Stickstoff-Immobilisierung, Pflanzenschädigungen durch toxische Stoffwechselprodukte des Pilzes oder eine Störung des Gasaustausches sind nicht auszuschließen. Weiterhin besteht die Gefahr allergischer Reaktionen beim Menschen durch Verbreitung der Konidiosporen in der Luft.

Bei der Lagerung von Torf in Großmieten kann, ähnlich wie in einem Heuhaufen oder in anderem organischen Material, eine Selbsterhitzung auftreten. Bedingungen, die diesen mikrobiellen Vorgang auslösen, können zum Beispiel entstehen, wenn leicht abbaubares Pflanzenmaterial wie Wurzelreste, Gras oder Unkraut in Grenzschichten zwischen feuchtem und trockenem Torf gelangt. Langsam steigt dann über mehrere Wochen oder Monate die Temperatur in der Miete an und kann 60 bis 70 °C erreichen. Eine Selbsterhitzung verändert die physikalischen, biologischen und chemischen Eigenschaften des Torfs. Unter anderem können derartige Torfe einen erhöhten Gehalt an phenolischen Verbindungen aufweisen, denen negative Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum zugeschrieben werden. Außerdem

neigen diese Torfe verstärkt zur Verpilzung. Keimpflanzen reagieren in Tests zum Teil mit der sogenannten Weißblättrigkeit, teilweise bleiben die Pflanzen aber auch ohne jegliche Nährstoffmangel- oder sonstige Schadsymptome. Sie wachsen jedoch nach dem Auflaufen oder nach dem Pikieren nicht weiter. Die starken Wuchsdepressionen können weder durch eine Kalkung noch durch spezielle Düngungsmaßnahmen behoben werden. Selbsterhitzten Torf kann man häufig an einem charakteristischen malzigen, an Maggi-Gewürz erinnernden Geruch erkennen, der jedoch nach einiger Zeit oftmals nicht mehr wahrnehmbar ist. Eine Möglichkeit zum Nachweis einer Selbsterhitzung könnte die Anwesenheit bestimmter Phospholipidfettsäuren sein, die charakteristisch für das Auftreten von Bakterien mit einem Wachstumsoptimum von 45 bis 55 °C sind. Sie konnten in selbsterhitztem Torf noch bis sechs Monate nach dem Vorgang nachgewiesen werden und traten in einwandfreiem Torf nicht auf. Bei sachgerechter Gewinnung und Lagerung kommt Selbsterhitzung von Torf kaum vor. Im Zuge der RAL-Gütesicherung ist eine laufende Überwachung der Temperatur in den Mieten vorgeschrieben, um selbsterhitzte Torfe von der Verwendung als Substratausgangsstoff auszuschließen.

Tabelle 1: Eigenschaften ungedüngter Hochmoortorfe

Parameter		Weißtorf	Schwarztorf
Rohdichte trocken	g/l	80 - 150	120 - 250
Wasserkapazität	Vol.-%	50 - 70	60 - 85
Luftkapazität	Vol.-%	20 - 50	10 - 30
Wiederbenetzbarkeit		schlecht	
pH-Wert		2,5 - 3,5	
Salz	g/l	< 0,2	
N	mg/l	10 - 45	
P ₂ O ₅	mg/l	1 - 5	
K ₂ O	mg/l	5 - 20	
Mg	mg/l	35 - 180	
Spurenelemente		niedrig	
Na	mg/l	< 10	
Cl	mg/l	< 10	
Kationenaustauschkapazität		mäßig	hoch
C/N-Verhältnis		50 - 100	20 - 70
mikrobielle Abbaubarkeit		gering	
N-Immobilisierung		gering	

 vorteilhafte Eigenschaften
 nachteilige Eigenschaften

5.1.2 Holz

Holzfaserstoffe und Holzhäcksel als Substratausgangsstoffe kamen in Deutschland etwa zu Beginn der 1990er Jahre auf den Markt. Nach einer Zwischenphase mit abnehmender Verwendung zu Beginn des neuen Jahrtausends gewinnt das Material aktuell wieder an Bedeutung als Torfersatzstoff. Mehrere Substrathersteller haben in den letzten Jahren in den Bau eigener Auffaserungsanlagen investiert.

Holzfaserstoffe, die zur Verwendung in Kultursubstraten geeignet sind, lassen sich aus unbehandelten Sägeresthölzern wie zum Beispiel Hackschnitzeln, Schäl- oder Frässpänen herstellen, die möglichst keine oder nur geringe Rindenanteile aufweisen sollten. Verwendet werden vor allem Nadelhölzer wie Fichten, Kiefern und Douglasien. Von den beiden in den Anfangsjahren verwendeten Herstellungsprozessen für Holzfaserstoffe ist das Steam-Explosion-Verfahren, bei dem eine Zerkleinerung der Holzteile in einem Reaktionsextruder durch einen plötzlichen Druckabfall erfolgte, nicht mehr in Gebrauch. Heute werden die Resthölzer nach dem Zerkleinern in einem Doppelschneckenextruder oder einem Scheibenrefiner thermisch-mechanisch aufgefasernt. Doppelschneckenextruder arbeiten mit zwei gegeneinander laufenden Schnecken. Dabei entstehen Reibungskräfte, die bereits ohne Wärmezufuhr von außen kurzfristig eine Erwärmung des Materials auf bis zu 70 °C bewirken, wodurch es zu einer Hygienisierung kommt. Durch die Maschineneinstellung ist es möglich, die entstehende Faserstruktur und damit die physikalischen Eigenschaften des Holzfaserstoffs zu beeinflussen. Beim Einsatz von Scheibenrefinern werden die zerkleinerten Resthölzer zwischen Mahlscheiben, auf denen sich Mahlkörper mit einem definierten Profil befinden, zerfasert. Dies erfolgt entweder bei Atmosphärendruck oder Überdruck. Dem Zerfaserungsprozess kann eine Behandlung der Resthölzer mit heißem Wasserdampf vorgeschaltet werden. Die Struktur des Endprodukts hängt im Wesentlichen von der Bauart des Refiners, dem Profil der Mahlkörper sowie den einstellbaren Prozessbedingungen ab.

Wegen der hohen Temperaturen während der Herstellung enthalten Holzfaserstoffe keine pflanzenschädigenden Harze und Gerbstoffe. Durch das weite C/N-Verhältnis und die große Oberfläche unterliegt unbehandelter Holzfaserstoff jedoch stark einem mikrobiellen Abbau, der eine Sackung des Materials zur Folge hat (Abbildung 5) und zu einer Festlegung von Stickstoff führt (Abbildung 6). Die Immobilisierung kann bis zu 500 Milligramm Stickstoff pro Liter Holzfaserstoff betragen, was ohne ausgleichende Maßnahmen zu Stickstoffmangel an den Kulturpflanzen führen würde. Daher werden Holzfaserstoffe bei der Herstellung „imprägniert“, das heißt, man gibt Stickstoff in langsam fließender Form zu, um einer Stickstoff-Immobilisierung entgegenzuwirken. Weitere mögliche Zusätze während des Herstellungsprozesses sind natürliche Pigmente, die eine dunkelbraune, torfähnliche Färbung bewirken.

Aufgrund eines mit Torf vergleichbaren hohen Porenvolumens führen Holzfaserstoffe bei deutlich höherer Luftkapazität zu einer Auflockerung des Substrats und fördern dessen Wasserdurchlässigkeit, was eine gute Wurzelentwicklung zur Folge hat. Wegen ihrer niedrigen Gehalte an verfügbaren Nährstoffen und weiteren löslichen Salzen sowie wegen ihres geringen Gewichtes (Tabelle 2, Seite 18) bilden Holzfaserstoffe einen idealen Mischungspartner für nährstoffreiche und schwere Stoffe wie Kompost. Die gute Pufferung des pH-Wertes gegenüber einer Absenkung kann bei sehr weichem Gießwasser und sauer wirkenden Düngemitteln von Vorteil sein (Abbildung 7). Außerdem sind Holzfaserstoffe frei von Pathogenen und Unkrautsamen, stammen aus regional verfügbaren Rohstoffen und sind für den ökologischen Anbau geeignet. Dagegen wirkt sich die relativ leichte Zersetzbarkeit, die zu Volumenverminderung sowie insbesondere bei karbonatreichem Gießwasser

zu verstärktem pH-Anstieg führen kann, nachteilig aus. Trotz anfänglicher Stabilisierung des Stickstoff-Haushalts besteht das Risiko, dass es während der Kultur noch zu einer nennenswerten Stickstoff-Immobilisierung kommen könnte.

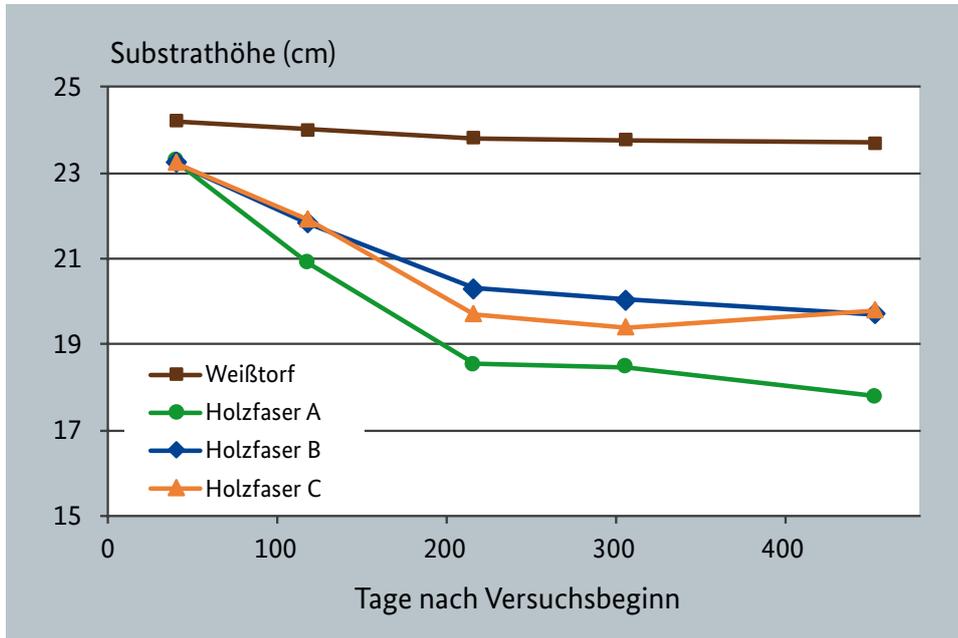


Abbildung 5: Sackung von Holzfasermaterialien im Vergleich zu Weißtorf während einer Kultur von *Argyranthemum frutescens* als Hochstämmchen

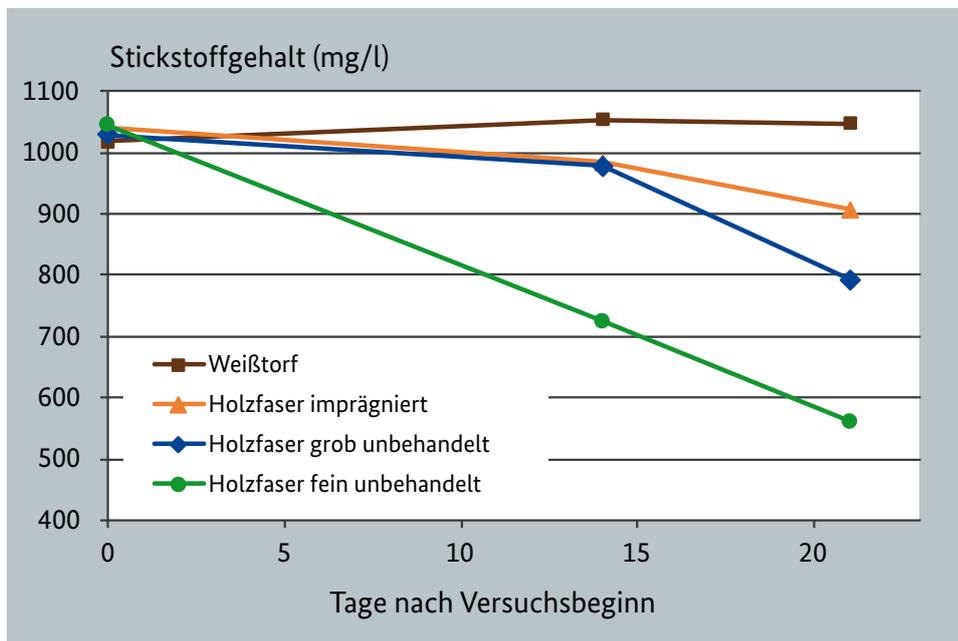


Abbildung 6: Stickstoff-Immobilisierung unbehandelter und imprägnierter Holzfasermaterialien unter definierten Klimabedingungen

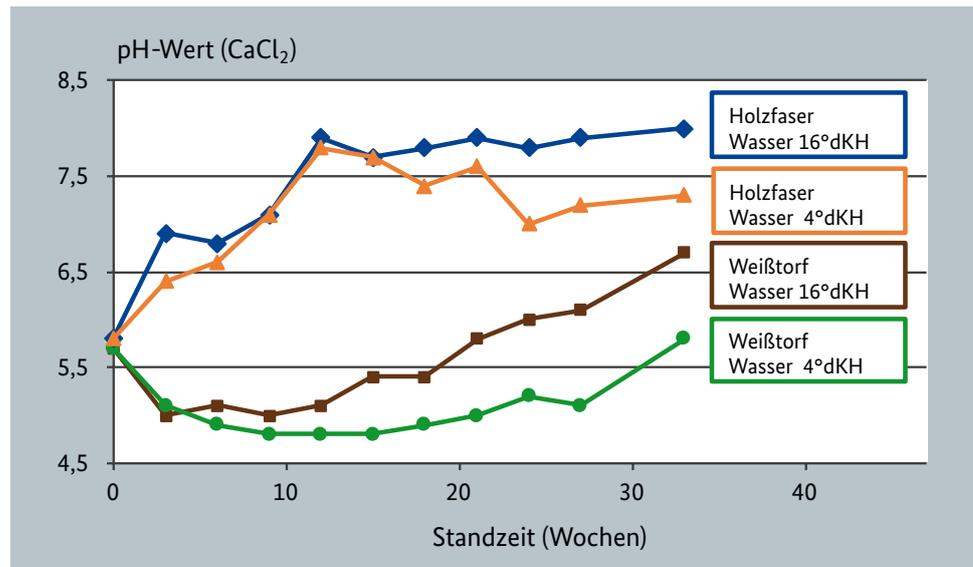


Abbildung 7: Verlauf des pH-Wertes in Holzfaser- und Weißtorfsubstrat bei unterschiedlicher Gießwasserhärte (Kultur: *Plumbago indica*)

Die Verwendung von RAL-gütesicherten Holzfaserstoffen erfordert bis zu einem Anteil von 20 Volumenprozent in Mischungen mit Torf oder anderen Substratkomponenten in der Regel keine speziellen Maßnahmen während des Kulturverlaufs. Bei höheren Anteilen sollten die Nährstoffgehalte im Kultursubstrat häufiger als gewöhnlich überprüft werden. Gegebenenfalls sind zusätzliche Stickstoffgaben erforderlich, vorzugsweise mit ammoniumbetonten Düngemitteln. Um eine Sackung in Grenzen zu halten, ist ein relativ festes Topfen zu empfehlen. Anzuraten ist außerdem die Verwendung von weichem Gießwasser und wegen der geringeren Wasserkapazität im Vergleich zu Torfsubstraten eine häufigere Bewässerung mit kleineren Wassergaben. Besonders feine Fasern können auch in Presstopfsubstraten verwendet werden, grobe in Orchideensubstraten.

Tabelle 2: Eigenschaften von Holzfaserstoffen

Rohdichte trocken	g/l	50 - 100
Wasserkapazität	Vol.-%	30 - 45
Luftkapazität	Vol.-%	45 - 65
Wiederbenetzbarkeit		gut
pH-Wert		4,0 - 6,0
Salz	g/l	0,05 - 0,2*
N	mg/l	0 - 50*
P ₂ O ₅	mg/l	5 - 25
K ₂ O	mg/l	30 - 80
Mg und Spurenelemente		gering
Na	mg/l	< 10
Cl	mg/l	< 10
Kationenaustauschkapazität		niedrig
C/N-Verhältnis		100 - 300
mikrobielle Abbaubarkeit		hoch
N-Immobilisierung		z.T. hoch**

* bei imprägniertem Material höhere Werte möglich

** bei nicht ausreichender Imprägnierung

 vorteilhafte Eigenschaften

 nachteilige Eigenschaften

Im Gegensatz zu Holzfaserstoffen wird bei der Herstellung von **Holzhäckseln** das Restholz, meist von Fichten, nur auf 2 bis 15 Millimeter zerkleinert. Da die energieaufwändige Auffaserung entfällt, stellen Holzhäcksel eine preisgünstige Alternative zu Holzfaserstoffen dar. Bezüglich ihrer chemischen Eigenschaften sind sie den Holzfaserstoffen sehr ähnlich, weisen jedoch eine geringere Zersetzungsrate und damit eine geringere Sackung sowie eine geringere Stickstoff-Immobilisierung auf. Trotzdem sollte auch bei diesem Substratausgangsstoff auf eine ausreichende Versorgung mit Stickstoff geachtet werden. Durch ihre gröbere Struktur besitzen Holzhäcksel eine besonders gute Dränagewirkung, was bei der Bewässerung berücksichtigt werden muss. Sie werden Torf oder anderen Substratkomponenten zur Auflockerung und Strukturstabilisierung beigemischt, was in Anteilen von bis zu 20 Volumenprozent erfolgen kann. Besonders geeignet sind Holzhäcksel für Kultursubstrate, die auf Ebbe/Flut-Tischen oder in rezirkulierenden Systemen verwendet werden.

5.1.3 Kokosmaterialien

Die Materialien für kokoshaltige Substrate stammen von der Frucht der Kokospalme *Cocos nucifera* und werden vor allem aus Sri Lanka und Indien importiert. Die Schale der reifen Frucht besteht aus dem äußeren ledrigen und glatten Exokarp, dem darunterliegenden schwammig-faserigen Mesokarp und zuinnerst dem steinharten Endokarp, das die im Handel angebotene „Kokosnuss“ mit dem „Kopra“ genannten Fruchtfleisch und der Kokosmilch umschließt. Das von den Früchten bereits im Herkunftsland entfernte Mesokarp enthält neben Feinanteilen ein dichtes Geflecht von Fasern, „Coir“ genannt, die wegen ihrer Elastizität und Haltbarkeit schon immer ein begehrter Grundstoff für die Herstellung von Seilen und anderen Alltagsgegenständen waren. Aus diesem Teil der Fruchtschale werden auch die verschiedenen Substratausgangsstoffe gewonnen.

Früher wurden die Mesokarphüllen zur Gewinnung der Fasern zusammengebunden und für mehrere Monate im Brackwasser von Meeresbuchten oder Flussmündungen versenkt. Nach diesem als „Rösten“ bezeichneten Vorgang, bei dem Pektin abbauende Mikroorganismen die Mittellamellen auflösen, lassen sich die Fasern durch Klopfen voneinander trennen. Mit neueren Verfahren ist es auch möglich, die Fasern maschinell zu gewinnen. Das feine Material zwischen den Fasern, zum Teil mit geringen Anteilen kurzer Fasern, war früher als „Kokosmehl“, „Kokosstaub“ oder fälschlicherweise als „Cocopeat“, übersetzt „Kokostorf“, im Handel. Heute hat sich die Bezeichnung „Kokosmark“ durchgesetzt. Wird das Mesokarp nur in Würfel geschnitten, erhält man „Kokoschips“. Vielfach kommt auch eine Mischung von Kokosmark mit kurzen Fasern und Mesokarpstückchen als „Kokoscrush“ zur Anwendung.

Das Einweichen in Brack- oder Salzwasser sowie die Aufnahme von Salzen durch die Kokospalme an den meeresnahen Standorten führt zu hohen Gehalten an löslichen Salzen, insbesondere Kalium, Natrium und Chlorid, von denen sich die beiden Letzteren negativ auf die Pflanzenentwicklung auswirken. Es ist daher notwendig, die für Kultursubstrate verwendeten Materialien mit speziellen Verfahren vorzubehandeln.

Vor der eigentlichen Verarbeitung wird das Material für etwa sechs Monate auf befestigten Flächen gelagert, was als „Aging“ bezeichnet wird. Während dieser Zeit werden eventuell enthaltene pflanzenschädigende Stoffe und leicht zersetzbare organische Bestandteile abgebaut. Außerdem verbessert sich die Wasseraufnahmefähigkeit, was die anschließenden Bearbeitungsschritte erleichtert. Zunächst wäscht man das Material mit salzarmem, sauberem Süßwasser, um lösliche Ionen auszuspülen und dadurch den Salzgehalt zu senken. Sollen zusätzlich die am Sorptionskomplex gebundenen Ionen entfernt werden, wird danach mit Calciumnitratlösung gespült, ein Vorgang, für den sich die nicht ganz korrekte Bezeichnung „puffern“ eingebürgert hat. Die am Kokosmaterial sorbierten Kalium- und Natriumionen werden hierbei durch Calciumionen ausgetauscht. Die gelösten Ionen sowie das Nitrat werden anschließend wieder mit Süßwasser weitgehend ausgewaschen.

Ob jeweils alle diese Schritte durchgeführt werden, hängt von den Gegebenheiten vor Ort und vom jeweiligen Verwendungszweck ab. Kleinere Betriebe beschränken sich in der Regel auf das Waschen, wofür häufig der Monsunregen genutzt wird, der das auf Mieten lagernde Material durchspült. Die Pufferung wird in Indien von einigen größeren Betrieben durchgeführt, die das anfallende Abwasser anschließend zur Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen nutzen. Zum Teil findet das Puffern auch in Europa statt; das abfließende Wasser wird dann in die Kanalisation geleitet.

Das Waschen allein ist häufig ausreichend, wenn nur Anteile an Kokosmaterialien im Kultursubstrat eingesetzt werden. Bei einer Verwendung in reiner Form wird normalerweise auf gepuffertes Material zurückgegriffen.

Sind die entsprechenden Vorbehandlungen abgeschlossen, wird das Material durch Sonne und Wind getrocknet; gegebenenfalls enthaltene Fasern werden abgesiebt und das Kokosmark wird in Blöcke von unterschiedlicher Größe gepresst. Kokosfasern werden in Ballen gebunden.

Die physikalischen Eigenschaften (Tabelle 3) sind im Wesentlichen verantwortlich für den positiven Einfluss auf Wachstum und Qualität der Pflanzen. Das hohe Porenvolumen von 90 bis 95 Volumenprozent entspricht dem von schwach bis mäßig zersetztem Hochmoortorf. Kokosbestandteile erhöhen deshalb die Luftkapazität in Substratmischungen und sorgen im Falle von Kokosmark gleichzeitig für eine günstige Wasserkapazität, wobei insbesondere der hohe Anteil an leicht verfügbarem Wasser von Vorteil ist. Beim Einsatz von Kokosfasern als Bestandteil von Kultursubstraten ist je nach Faserlänge die Wasserkapazität der limitierende Faktor. Alle Kokosprodukte sind gut wiederbenetzbar, was die Wasseraufnahmefähigkeit von Substratmischungen und die Wasserverteilung im Kultursubstrat verbessert. Die Materialien sind außerdem angenehm leicht.

Bezüglich der chemischen Eigenschaften gibt es in den Rohmaterialien eine große Spannweite bei einzelnen Parametern (Tabelle 3). Insbesondere die Gehalte an Kalium, Natrium und Chlorid können in unbehandeltem Material erhebliche Größenordnungen erreichen. Daher ist es besonders wichtig, nur gütegesicherte Produkte zu verwenden, bei denen günstige Gehalte an löslichen Nährstoffen und sonstigen Salzen garantiert sind. Ein hoher Kaliumgehalt schließt eine Verwendung als Substratbestandteil nicht aus, sollte aber je nach Kultur bei der Düngung berücksichtigt werden. Die pH-Werte liegen zwischen 4 und 6 und somit im günstigen Bereich. Über die pH-Pufferung ist wenig bekannt.

Das C/N-Verhältnis von Kokosmaterialien ist mit etwa 100 : 1 zwar relativ weit, der hohe Ligninanteil bewirkt jedoch, dass die mikrobielle Abbaubarkeit und damit die Stickstoff-Immobilisierung in der Regel gering ist. Man sollte die Stickstoffgehalte im Substrat jedoch durch regelmäßige Analysen überprüfen und gegebenenfalls regulierend eingreifen, da gelegentlich auch höhere Immobilisierungsraten auftreten können. Durch die geringe mikrobielle Zersetzung der Kokosfasern ergeben sich stabile Substrate für Langzeitkulturen.

Kurze Kokosfasern werden als Struktur gebendes Material in Anteilen von bis zu 20 Volumenprozent anderen organischen Substratbestandteilen beigemischt und verbessern zum Beispiel bei stärker zersetzten Torfen die Luftversorgung und Vergießfestigkeit. Durch ihre hohe Luftkapazität eignen sie sich besonders für Ebbe-Flut-Substrate sowie für geschlossene Kultursysteme. Kokosfasern werden zusammen mit Kokosmark auch als Sackkulturen in sogenannten Growbags anstelle von Steinwolle für Gemüse- oder Schnittblumenkulturen angeboten. Kokosmark muss vor dem Mischen mit anderen Substratkomponenten wiederbefeuchtet werden. Ein Fünf-Kilogramm-Block quillt dabei auf etwa 60 Liter Substratausgangsstoff auf. Mit Kokosmark lassen sich in Mischung mit anderen Substratkomponenten torffreie Substrate herstellen, es kann in guter Qualität aber auch für Kultursubstrate ohne weitere Mischungspartner Verwendung finden. Kokoschips können ebenfalls in reiner Form oder in Mischung mit anderen Substratkomponenten zum Einsatz kommen und eignen sich besonders für Langzeitkulturen und für Kulturen mit hohen Ansprüchen an die Luftkapazität des Substrats, insbesondere für Orchideen.

Insgesamt bilden Kokosmaterialien bei Berücksichtigung ihrer spezifischen Eigenschaften gute Substratkomponenten. In ökologischer Hinsicht ist die Verwertung von organischen Reststoffen, besonders des bislang nicht verwendeten Kokosmarks, positiv einzustufen. Wesentliche Nachteile sind der hohe Bedarf an Frischwasser für die Aufbereitung und der Aufwand für den Transport, der zwar durch die Trocknung und Komprimierung des Materials vermindert wird, aber über sehr weite Strecken erfolgt.

Tabelle 3: Eigenschaften von Kokosmaterialien

Parameter		Kokosmark	Kokosfasern
Rohdichte trocken	g/l	80 - 100	50 - 80
Wasserkapazität	Vol.-%	50 - 65	10 - 30
Luftkapazität	Vol.-%	30 - 45	50 - 80
Wiederbenetzbarkeit		gut	gut
pH-Wert		4,0 - 6,0	4,5 - 6,5
Salz	g/l	0,2 - 1,0*	
N	mg/l	< 10	
P ₂ O ₅	mg/l	5 - 40	
K ₂ O	mg/l	50 - 850*	
Mg	mg/l	40 - 100	---
Na	mg/l	10 - 300*	10 - 150*
Cl	mg/l	10 - 400*	10 - 200*
C/N-Verhältnis		ca. 100	---
mikrobielle Abbaubarkeit		i. d. R. gering	i. d. R. gering
N-Immobilisierung		i. d. R. gering	i. d. R. gering

* bei unzureichender Aufbereitung deutlich höhere Werte möglich

	vorteilhafte Eigenschaften
	nachteilige Eigenschaften

5.1.4 Kompost

Unter Kompost versteht man ein Rotteprodukt aus organischen Abfällen, das durch mikrobiellen Ab-, Um- und Aufbau entstanden ist. Um organische Abfälle sinnvoll zu verwerten und damit Abfallmengen zu vermindern, hat deren Kompostierung in den letzten Jahrzehnten große Bedeutung erlangt. Nach Ausgangsmaterial und Herstellungsverfahren ist dabei grundsätzlich zu unterscheiden zwischen betriebs-eigenen Komposten, Grüngut-, Bioabfall- und Gärrestkomposten.

Betriebseigene Komposte fallen im gartenbaulichen Betrieb aus organischen Reststoffen der Gärtnerei wie pflanzlichen Abfällen und Substratresten an und waren traditionell ein wichtiger Bestandteil betriebseigener Praxiserden. Die Bedeutung nahm mit der Entwicklung industriell hergestellter Kultursubstrate sowie durch die zunehmende Intensivierung und Spezialisierung der gartenbaulichen Produktion stark ab. In kleinerem Umfang werden jedoch auch heute noch betriebseigene Komposte hergestellt und tragen durch den Kreislaufgedanken zu einem positiven Image von Gartenbaubetrieben bei. Die bekannten Ausgangsmaterialien und eine meist lange Rottedauer können einerseits zu sehr guten Kompostqualitäten führen, andererseits bewirken häufig wechselnde Ausgangsmaterialien starke Qualitätsschwankungen. Je nach Zusammensetzung des Ausgangsmaterials sowie Dauer von Rotte und Lagerung sind die Gehalte an löslichen Nährstoffen sehr unterschiedlich. Betriebseigene Komposte sind deshalb vor der Verwendung als Substratausgangsstoff in jedem Fall auf ihre Gehalte an N, P₂O₅, K₂O, Salz und freiem CaCO₃ sowie auf ihren pH-Wert zu untersuchen und die Grunddüngung der Substratmischung ist darauf abzustellen. Durch die fortlaufende Ergänzung frischer Ausgangsmaterialien entsteht keine Heißrottephase in der Kompostmiete und damit keine Hygienisierung sowie Abtötung von Unkrautsamen und austriebsfähigen Pflanzenteilen. Betriebseigener Kompost muss deshalb vor der Verwendung im Kultursubstrat durch Dämpfen entseucht werden.

Grüngutkomposte entstehen aus Ästen, Zweigen und Mähgut von Gärten und öffentlichen Grünanlagen, Laub von Bäumen und Sträuchern sowie Landschaftspflegegut. In großen Kompostierungsanlagen wird das holzige Material gehäckselt, mit den übrigen Grünrückständen vermischt und auf große Mieten gesetzt. Wichtige Voraussetzungen für eine hohe Aktivität der Mikroorganismen, die den aeroben Rottevorgang bewerkstelligen, sind eine angemessene Feuchtigkeit, Nährstoffe, Sauerstoff und ein schwach saures bis schwach alkalisches Milieu (pH um 7). Durch die mikrobiellen Abbauprozesse steigt die Temperatur in den Mieten auf 60 bis 70 °C an, so dass das gesamte Rottegut hygienisiert wird und eventuell enthaltene Unkrautsamen nicht mehr keimen können. Ein mehrmaliges Umsetzen in dieser Heißrottephase sorgt für eine gute Durchmischung und Durchlüftung, wodurch ein zügiger Ablauf des Rotteprozesses gefördert wird.

Nährstoff- und Salzgehalte von Grüngutkomposten können zwar stark schwanken (Tabelle 4), durch die Auswahl und Kombination der Ausgangsmaterialien sowie durch eine optimale Prozessführung bei der Kompostierung lassen sich jedoch Komposte guter Qualität erzielen, die sich für die Beimischung zu Kultursubstraten eignen. Dies erreicht man zum Beispiel durch Mischen von holzigem mit krautigem, von nährstoffarmem mit nährstoffreichem sowie von feuchtem mit trockenem Material und gegebenenfalls durch ausreichendes Befeuchten oder Zugabe von Stickstoff. Weil Gehölzschnitt zunehmend der thermischen Verwertung zugeführt wird, setzt sich das Rottegut vermehrt aus nicht verholztem, meist nährstoffreicherem Material zusammen, was zu salz- und nährstoffreichen Grüngutkomposten führt.

Bioabfallkompost entsteht unter aeroben Bedingungen in geschlossenen Rottehallen oder anderen Rotteeinrichtungen aus Küchen und Gartenabfällen der Biotonne bei getrennter Sammlung des Hausmülls. Auch Bioabfallkompost ist durch die Heißrotte zu Beginn der Kompostierung hygienisiert und unkrautfrei. Nährstoff- und Salzgehalte sind jedoch meist deutlich höher als bei den zuvor genannten Komposten (Tabelle 4) und lassen daher einen Einsatz in Kultursubstraten in der Regel nicht zu.

Gärrestkompost wird durch Kompostierung der festen Rückstände aus der Biogasgewinnung hergestellt. Zur energetischen Nutzung werden entweder organische Abfälle aus der Biotonne oder nachwachsende Rohstoffe (NaWaRo), vor allem Silomais, zusammen mit Gülle oder Hähnchenmist in geschlossenen Fermentern vergoren. Dabei fallen neben Biogas und Wärme auch Prozesswasser und feste Rückstände (Gärreste) an. Die frischen Gärreste aus dieser anaeroben Behandlung enthalten allerdings teilweise phytotoxische Zwischenprodukte und können einen instabilen Stickstoffhaushalt aufweisen. Erst eine aerobe Nachkompostierung führt zu einem N-stabilen Gärrestkompost, der frei von phytotoxischen Stoffen ist. Die Eignung von Gärrestkompost für Kultursubstrate hängt von den Ausgangsstoffen und vom Fermentationsverfahren ab. Ein hoher Anteil tierischer Ausgangsstoffe schränkt die Verwendbarkeit der kompostierten Gärreste in Kultursubstraten vor allem durch zu hohe Phosphatgehalte ein. Bei der Nassfermentation (ca. 10 Prozent Trockenmasse) wird ein hoher Anteil an löslichen Bestandteilen mit dem Prozesswasser abgeführt, während bei der Trockenfermentation (meist 30 bis 35 Prozent Trockenmasse) wenig Prozesswasser anfällt und damit weniger Salze ausgeschleust werden. Die trockene Vergärung führt daher in der Regel zu nährstoff- und salzreicheren Gärrestkomposten. Da die löslichen Nährstoff- und Salzgehalte (Tabelle 4) häufig die von der Bundesgütegemeinschaft Kompost festgelegten Grenzwerte überschreiten, lassen sich viele Gärrestkomposte nicht als Substratausgangsstoff verwenden.

Wie der Begriff „Kompost“ (von lateinisch „compositus“ = zusammengesetzt) schon andeutet, handelt es sich im Gegensatz zu anderen Substratausgangsstoffen nicht um ein einheitliches Produkt. Die Eigenschaften schwanken stark in Abhängigkeit von den verwendeten Ausgangsmaterialien. Die im Folgenden beschriebenen Anforderungen und charakteristischen Merkmale beziehen sich auf Komposte, die sich als Ausgangsstoffe für Kultursubstrate eignen.

Komposte stellen in der Regel nährstoff- und salzreiche Substratausgangsstoffe dar, insbesondere was die Gehalte an Phosphat und Kalium sowie an Natrium und Chlorid betrifft (Tabelle 4). Die Anforderungen an RAL-gütesicherten Fertigkompost, die im Wesentlichen Qualitätskriterien bezüglich Hygiene, enthaltener Fremdstoffe, Pflanzenverträglichkeit, Rottegrad, Wassergehalt, Gehalt an organischer Substanz und an Schadstoffen sowie Vorschriften für die Deklaration betreffen, reichen für einen risikofreien Einsatz von Kompost im Kultursubstrat nicht aus. Die Bundesgütegemeinschaft Kompost hat daher spezielle Güterichtlinien für Substratkomposte erarbeitet, die neben besonders geringen Stein- und Fremdstoffgehalten auch Grenzwerte für lösliche Nährstoffe und Salze sowie für Carbonate vorschreiben. In Abhängigkeit vom Kompostanteil im Kultursubstrat dürfen die in der Tabelle 4 genannten Gehalte nicht überschritten werden. Für Kultursubstrate sollte nur Substratkompost mit dem RAL-Gütezeichen der Bundesgütegemeinschaft Kompost mit einer Analyse der aufgeführten Parameter für die gelieferte Charge verwendet werden.

Je nach Herkunft des Ausgangsmaterials sind in Komposten hohe Mengen an freiem Calciumcarbonat (CaCO_3) möglich, die zu pH-Werten über 8 führen können (Tabelle 8). Sogar in Mischungen mit sauren Komponenten kann noch ein hoher pH-Wert um 7 auftreten. Substratkomposte sollten deshalb weniger als zehn Massenprozent CaCO_3 enthalten. Bei höheren Gehalten oder für säureliebende Pflanzen kann ein Teil des Carbonats durch Zugabe von elementarem Schwefel, aus dem im Substrat durch Schwefel oxidierende Bakterien Schwefelsäure gebildet wird, neutralisiert werden. Die für die Einstellung des gewünschten pH-Werts notwendige Schwefelmenge sollte vorab in Pufferkurven ermittelt werden.

Die Gesamtgehalte an Schwermetallen in gütegesicherten Komposten stellen nach dem derzeitigen Stand der Kenntnis kein Problem dar. Allenfalls kann der Gehalt an löslichem Zink Schwierigkeiten bereiten. Durch den geforderten Nachweis der seuchenhygienischen Wirksamkeit des Rotteverfahrens kann davon ausgegangen werden, dass gütegesicherte Komposte aus phytohygienischer Sicht einwandfrei sind.

Gegenüber den meisten anderen organischen Substratkomponenten erhöhen die relativ schweren Komposte (Tabelle 5) in einer Substratmischung deren Gewicht und vermindern meist die Luftkapazität. Die dadurch bedingte geringere Vergießfestigkeit lässt sich durch Zumischung anderer organischer oder mineralischer Materialien mit hoher Luftkapazität verbessern.

Gütegesicherter Kompost kann je nach Deklaration in Anteilen von bis zu 20 oder 40 Volumenprozent zu Hochmoortorf gemischt werden. Bei gleichzeitiger Verwendung weiterer Torfersatzstoffe wie Rindenhumus, Holzfaserstoff oder Kokosmaterialien ist meist ein Anteil von maximal 30 Volumenprozent Kompost zu empfehlen. Bei der Grunddüngung sind die im Kompost enthaltenen Nährstoffe zu berücksichtigen, das heißt, dass meist kein Phosphat und Kalium, jedoch Stickstoff hinzugefügt werden muss. Während der Kultur sollten häufiger Substratanalysen durchgeführt werden, um auf einen gelegentlich vorkommenden instabilen Stickstoffhaushalt sowie auf einen möglichen Anstieg des pH-Wertes rechtzeitig reagieren zu können. Besondere Aufmerksamkeit ist bei der Verwendung von Kultursubstraten mit Kompost für säureliebende Pflanzenarten geboten. Komposthaltige Kultursubstrate eignen sich nicht für salzempfindliche Pflanzenarten, es lassen sich jedoch bei vielen anderen Kulturen wie zum Beispiel bei nährstoffbedürftigen Topfpflanzen, Balkonblumen, Stauden und Gehölzen gleich gute Pflanzenqualitäten erzeugen wie in einem Torfkultursubstrat.

Tabelle 4: Chemische Eigenschaften verschiedener Komposte und Grenzwerte für gütegesicherte Substratkomposte

Parameter		Extraktionsmittel	Spannweite Grüngutkompost	Spannweite Gärrestkompost	Spannweite Bioabfallkompost	Grenzwerte für 40 Vol.-% Kompost	Grenzwerte für 20 Vol.-% Kompost
Salz	g/l	H ₂ O	0,5 - 6,1	1,2 - 9,0	3,0 - 15,6	< 2,5	< 5,0
N	mg/l	CaCl ₂	10 - 250	10 - 1.030	30 - 1.110	< 300	< 600
P ₂ O ₅	mg/l	CAL	190 - 1.600	700 - 8.590	450 - 4.080	< 1.200	< 2.400
K ₂ O	mg/l	CAL	500 - 5.830	580 - 6.600	2.250 - 10.260	< 2.000	< 4.000
Na	mg/l	H ₂ O	90 - 1.000	100 - 1.640	160 - 1.450	< 250	< 500
Cl	mg/l	H ₂ O	90 - 3.750	80 - 3.200	560 - 3.600	< 500	< 1.000
CaCO ₃	Massen-%		1,6 - 34,0	0,6 - 42,5	2,8 - 16,7	< 10	< 10

 Grenzwert für 40 Vol.-% Kompostanteil häufig überschritten

 Grenzwert für 20 Vol.-% Kompostanteil häufig überschritten

Tabelle 5: Weitere Eigenschaften von Komposten

Rohdichte trocken	g/l	300 - 500
Wasserkapazität	Vol.-%	40 - 55
Luftkapazität	Vol.-%	25 - 35
Wiederbenetzbarkeit		gut
pH-Wert		6,6 - 8,3
Kationenaustauschkapazität		hoch
C/N-Verhältnis		15 - 30
mikrobielle Abbaubarkeit		i. d. R. gering*
N-Immobilisierung		i. d. R. gering*

* bei nicht genügend ausgereiftem Kompost stärkerer Abbau und N-Immobilisierung möglich

 vorteilhafte Eigenschaften

 nachteilige Eigenschaften

5.1.5 Rinde

Nachdem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts Baumstämme zunehmend nicht mehr manuell im Wald, sondern maschinell in zentralen Anlagen entrindet wurden, begann man vor etwa 40 Jahren, die anfallende Rinde im Gartenbau zu verwerten. Damit bot sich eine Möglichkeit, ein Abfallproblem auf sinnvolle Weise zu lösen. Da gleichzeitig die Endlichkeit der deutschen Torfvorräte verstärkt ins Bewusstsein rückte, wurde ein Verfahren zur Aufbereitung von Rohrinde zu substrattauglichem Rindenumus entwickelt. Neben Rindenumus aus vorwiegend heimischer Nadelholzrinde, der sich als Torfersatzstoff bei vielen Kulturen bewährt hat, kommt Pinienrinde aus dem westlichen Mittelmeerraum für Spezialsubstrate zum Einsatz. Dagegen ist Rindenmulch nicht als Ausgangsstoff für Substrate geeignet; er dient ausschließlich als Abdeckmaterial.

Rindenumus ist fermentierte, das heißt kompostierte, zerkleinerte und fraktionierte Rinde mit oder ohne Nährstoffzusätze. In Deutschland wird vor allem Rinde der Gewöhnlichen Fichte *Picea abies* sowie in geringerer Menge auch Rinde der Waldkiefer *Pinus sylvestris* verwendet. Die Rohrinde muss vor Einsatz als Substratkomponente einer aeroben Rotte unterzogen werden, damit durch mikrobiologische und biochemische Prozesse sowohl wachstumshemmende Inhaltsstoffe wie Harze, Phenole und Gerbsäuren, die den lebenden Baum vor Schaderregern schützen, abgebaut werden, als auch eine Stabilisierung der Stickstoffdynamik erreicht wird. Da frische Rinde ein weites C/N-Verhältnis von 60 : 1 bis 100 : 1 aufweist und zum Teil aus mikrobiell leicht abbaubaren organischen Verbindungen wie Cellulose besteht, würde es ansonsten zur Immobilisierung des bei der Düngung zugesetzten Stickstoffs durch Mikroorganismen und damit zu Stickstoffmangel an den Pflanzen kommen. Zur Beschleunigung der Fermentierung wird die zerkleinerte Rohrinde mit etwa einem Kilogramm Stickstoff pro Kubikmeter versetzt, meistens in Form von Harnstoff, zu großen Mieten aufgeschichtet, ausreichend feucht gehalten und mehrmals gewendet, um optimale Bedingungen für eine hohe mikrobielle Aktivität zu schaffen. Durch die Tätigkeit der Mikroorganismen sollten Temperaturen von 60 bis 70 °C erreicht werden, damit eine Hygienisierung der Rinde gewährleistet ist.

Rindenumus hat eine etwa doppelt so hohe Rohdichte wie Weißtorf; Substrate mit Rindenumus sind folglich schwerer als Torfsubstrate. Da im Vergleich zu Weißtorf der Anteil Feinporen zu Gunsten von Mittel- und Grobporen geringer ist, weisen vor allem gröbere Fraktionen eine reduzierte Wasserkapazität und eine erhöhte Luftkapazität auf (Tabelle 6). Die Struktur und damit die Vergießfestigkeit stark zersetzter Materialien lässt sich daher durch Zumischen von Rindenumus verbessern. Des Weiteren besitzt Rindenumus bedingt durch die Zunahme des Gehalts an Huminsäuren im Verlaufe des Fermentierungsprozesses eine hohe Austauschkapazität, wodurch eine gute Nährstoff- und pH-Pufferung erreicht wird. Die Verwendung von Rindenumus in Substraten verringert deshalb die Gefahr von Salzsäuren sowie von Nährstoffverlusten durch Auswaschung. Darüber hinaus wird der pH-Wert stabilisiert (Abbildung 8). Bezüglich der Hauptnährstoffe fallen vor allem hohe Gehalte an Kalium, teilweise auch an Phosphat und Stickstoff auf. Bei den Spurennährstoffen ist insbesondere dem Mangan Beachtung zu schenken. Bei hohen Rindenumusanteilen im Substrat kann es durch erhöhte Manganaufnahme der Pflanzen zu induziertem Eisenmangel kommen.

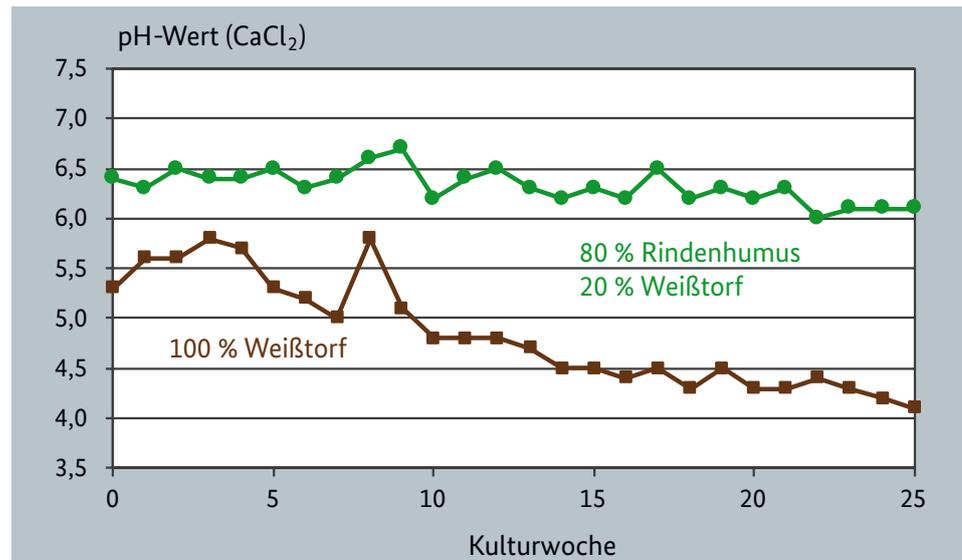


Abbildung 8: pH-Werte in einem Substrat mit Rindenhumus im Vergleich zu Weißtorf während einer Pelargonienkultur bei Verwendung von weichem Gießwasser (5 °dKH)

Da Rindenhumus düngungsrelevante Mengen an Nährstoffen enthält, dienen meistens nährstoffarme Materialien wie Torf und Ton als Mischungspartner. Bei Containergehölzen und salzverträglichen Topfpflanzenkulturen sind Rindenhumusanteile bis zu 50 Volumenprozent möglich. Meistens wird Rindenhumus in einer Körnung von 0 bis 10 oder 0 bis 20 mm eingesetzt. Die Bewässerungsintervalle müssen dem relativ geringen Wasserspeichervermögen angepasst werden. Um einer möglicherweise noch geringfügig stattfindenden Stickstoff-Immobilisierung entgegenzuwirken, sollte die Nachdüngung stickstoffbetont erfolgen. pH-Werte unterhalb von 6 sind zu vermeiden, um die Verfügbarkeit von Mangan zu begrenzen und damit die Gefahr von induziertem Eisenmangel zu umgehen. Risikomindernd wirken zusätzliche Eisengaben in Form von Chelaten. Grundsätzlich empfiehlt sich nur die Verwendung von RAL-gütesicherten Rindenhumusprodukten, bei denen die pflanzenbauliche Eignung durch regelmäßige Qualitätsüberwachung sichergestellt ist.

Außer Rinde heimischer Nadelgehölze kommt auch die von der Strandkiefer *Pinus pinaster* stammende **Pinienrinde**, die hauptsächlich aus Südfrankreich und Portugal importiert wird, als Substratausgangsstoff zum Einsatz. Die aus relativ harten Partikeln bestehende Pinienrinde unterliegt kaum einem mikrobiellen Abbau, so dass sie ohne vorgeschalteten Fermentierungsprozess verwendet wird. Es kommt allenfalls zu einer langsamen Stickstoff-Immobilisierung, der leicht mit einer angepassten Stickstoffdüngung begegnet werden kann. Durch die stabile Struktur in Verbindung mit einer sehr hohen Luftkapazität eignet sich Pinienrinde hervorragend als Orchideensubstrat und für andere langlebige Topfpflanzenkulturen mit dickfleischigen Wurzeln. Gegebenenfalls können zur Verbesserung des Wasserspeichervermögens Grobtorf, Fasertorf, grober Holzfasersstoff oder Torfmoos bis zu 30 Volumenprozent beigemischt werden. Pinienrinde enthält mit Ausnahme moderater Kaliummengen keine düngungsrelevanten Mengen an Nährstoffen, was salzempfindlichen Kulturen wie Orchideen entgegenkommt. Der pH-Wert um 4 macht je nach Pflanzenart eine Kalkzugabe erforderlich.

Tabelle 6: Eigenschaften von Rohrinde, Rindenhumus und Pinienrinde

Parameter		Rohrinde	Rindenhumus	Pinienrinde
Rohdichte trocken	g/l	150 - 250	200 - 300	100 - 200
Wasserkapazität	Vol.-%	40 - 45	40 - 55	---
Luftkapazität	Vol.-%	---	35 - 55	---
Wiederbenetzbarkeit		---	gut	mittel
pH-Wert		4,0 - 7,0	4,0 - 7,0	3,5 - 4,5
Salz	g/l	---	<1,5	< 0,25
N	mg/l	---	10 - 400	< 10
P ₂ O ₅	mg/l	---	50 - 500	< 10
K ₂ O	mg/l	---	200 - 1000	50 - 150
Spurenelemente		Mn z. T. hoch		---
Na	mg/l	---	5 - 20	< 5
Cl	mg/l	---	20 - 70	< 10
Kationen-austauschkapazität		mäßig	hoch	---
C/N-Verhältnis		60 - 100	< 45	---
mikrobielle Abbaubarkeit		hoch	i. d. R. gering	gering
N-Immobilisierung		hoch	gering - mäßig	gering
wachstumshemmende Stoffe		Harze, Gerbstoffe u.a.	keine	keine

 vorteilhafte Eigenschaften
 nachteilige Eigenschaften

5.1.6 Reisspelzen

Mit über 90 Prozent wird der größte Teil der weltweiten Reisernte in Asien, insbesondere in China und Indien produziert, es gibt jedoch Reisanbau auch in den südeuropäischen Ländern. Die bedeutendste europäische Anbauregion liegt in der Poebene im nordöstlichen Piemont, woher die in Deutschland verwendeten Reisspelzen im Wesentlichen stammen.

Reisspelzen, die Hüllblätter des Reiskorns, sind ein Reststoff der Reisaufbereitung. Für die Verwendung als Substratausgangsstoff eignen sich nur Pelzen aus dem „Parboiled“-Verfahren (von „partial boiling“), bei dem die Reiskörner zuerst eingeweicht, anschließend mit Wasserdampf behandelt und schließlich getrocknet und geschält werden. Die dabei stattfindende Hygienisierung sorgt dafür, dass eventuell enthaltene Unkrautsamen und Reiskörner nicht mehr keimfähig sind. Außerdem weisen Pelzen aus diesem Herstellungsverfahren im Gegensatz zu anderen eine gleichbleibende Qualität auf. In manchen Ländern sind auch kompostierte oder gemahlene Reisspelzen im Handel, deren physikalische Eigenschaften sich jedoch von den hier beschriebenen deutlich unterscheiden.

Reisspelzen sind mit einer Rohdichte (trocken) von 90 bis 120 Gramm pro Liter sehr leicht (Tabelle 7). Das Gesamt-Porenvolumen ist mit rund 95 Volumenprozent vergleichbar mit dem von schwach zersetztem Hochmoortorf. Durch die vorwiegend groben Poren ist die Luftkapazität jedoch wesentlich höher (75 bis 85 Volumenprozent), die maximale Wasserkapazität dagegen entsprechend geringer (10 bis 15 Volumenprozent). Reisspelzen eignen sich daher zur Verbesserung der Durchlüftung und der Drainagefähigkeit von Kultursubstraten.

Die Gehalte an löslichen Salzen und Nährstoffen sind mit Ausnahme von Kalium sehr gering. Die Kaliumgehalte können bis 800 Milligramm pro Liter erreichen, was bei der Düngung berücksichtigt werden muss. Der pH-Wert liegt im schwach sauren Bereich, ist aber nur schwach gepuffert, das heißt, er beeinflusst den Wert der fertigen Mischungen nicht. Bedingt durch das enthaltene Cutin und Lignin sowie durch den hohen Gehalt an Siliciumdioxid werden Reisspelzen nur langsam zersetzt. Dadurch ist trotz des weiten C/N-Verhältnisses von etwa 100 : 1 nur mit einer geringen Stickstoff-Immobilisierung zu rechnen und der positive Einfluss auf die Luftkapazität sowie die auflockernde Wirkung bleiben längerfristig erhalten.

Reisspelzen werden seit den 1980er Jahren in geringem Umfang als Ausgangsstoff für Kultursubstrate verwendet, wobei der Anteil bis zu 15 Volumenprozent betragen kann. Bei Growbags für Kultursysteme mit Überschussbewässerung sind auch höhere Anteile bis zu 30 Volumenprozent möglich. Bei Gesneriaceen und Elatiorbegonien traten in der Vergangenheit Schäden an den Wurzeln und Blättern beim Einsatz von Reisspelzen auf, deren Ursache nicht endgültig geklärt werden konnte. Daher sind Reisspelzen für diese Kulturen nicht zu empfehlen.

Tabelle 7: Eigenschaften von Reisspelzen

Rohdichte trocken	g/l	90 - 120
Wasserkapazität	Vol.-%	10 - 15
Luftkapazität	Vol.-%	75 - 85
pH-Wert		5,0 - 6,0
Salz	g/l	< 0,5
N	mg/l	< 20
P ₂ O ₅	mg/l	30 - 100
K ₂ O	mg/l	250 - 800
C/N-Verhältnis		ca. 100
mikrobielle Abbaubarkeit		gering
N-Immobilisierung		gering

 vorteilhafte Eigenschaften
 nachteilige Eigenschaften

5.1.7 Braunkohlefaserholz (Xylit)

Braunkohlefaserholz wird unter der Produktbezeichnung Xylit angeboten (nicht zu verwechseln mit dem Zuckeraustauschstoff Xylit). Es stellt eine Vorstufe der Braunkohle dar und besteht aus nicht vollständig inkohlten, über zehn Millionen Jahre alten Pflanzenteilen, bei denen die Holzstruktur noch zu erkennen ist. Da das Material als Nebenprodukt des Braunkohleabbaus anfällt, ist die zukünftige Verfügbarkeit von Xylit aufgrund der geplanten Beendigung der Braunkohleförderung unsicher. Das Faserholz wird mechanisch zerkleinert, abgeseibt und weitgehend von Braunkohleanhaftungen gereinigt.

Verglichen mit Torf ist die Wasserkapazität von Xylit geringer, wie dieser ist es jedoch nach Austrocknung schlecht wiederbenetzbar. Xylit besitzt vor allem bei grober Körnung eine hohe Luftkapazität und verbessert somit die Durchlüftung von Kultursubstraten. Geringe Gehalte an löslichen Hauptnährstoffen, ein niedriger Salzgehalt und ein günstiger pH-Wert machen Xylit in den chemischen Eigenschaften dem Torf sehr ähnlich (Tabelle 8) und ermöglichen daher ebenfalls eine rezeptartige Kalkung und Düngung. Von Vorteil ist die hohe Austauschkapazität, die bei nicht bedarfsgerechtem Düngerangebot ausgleichend wirken kann. Im Gegensatz zu Holzfasern enthält Xylit keine leicht abbaubaren Kohlenstoffquellen, weswegen die Stickstoff-Immobilisierung gering und die Strukturstabilität hoch ist.

Xylit ist als Torfersatzstoff gut geeignet und kommt überwiegend in einer Korngröße von 5 bis 15 Millimetern zum Einsatz, in torf reduzierten Kultursubstraten für den professionellen Gartenbau in Anteilen von 10 bis 20 Volumenprozent. Zusammen mit anderen Substratausgangsstoffen wie Kompost, Rindenumus oder Kokosmark sind auch torffreie Blumenerden mit bis zu 40 Volumenprozent Xylit möglich. Wegen der geringen Wasserkapazität ist darauf zu achten, dass häufiger mit kleineren Wassermengen gegossen werden muss.

Tabelle 8: Eigenschaften von Xylit

Rohdichte trocken	g/l	250 - 350
Wasserkapazität	Vol.-%	30 - 60
Luftkapazität	Vol.-%	20 - 40
Wiederbenetzbarkeit		schlecht
pH-Wert		4,5 - 5,8
Salz	g/l	0,2 - 0,8
N	mg/l	< 20
P ₂ O ₅	mg/l	< 15
K ₂ O	mg/l	< 50
Mg	mg/l	150 - 300
Na	mg/l	50 - 250
Cl	mg/l	0 - 100
Kationenaustauschkapazität		hoch
C/N-Verhältnis		100 - 150
mikrobielle Abbaubarkeit		gering
N-Immobilisierung		gering

	vorteilhafte Eigenschaften
	nachteilige Eigenschaften

5.1.8 Sphagnum (Torfmoos)

Von den 200 bis 300 *Sphagnum*-Arten, die als Torf- oder Bleichmoose bezeichnet werden, sind etwa 40 in Deutschland heimisch. Sie stellen neben Wollgras die bestimmende Pflanzengattung in den Hochmooren dar. Die wurzellosen Stämmchen, die an der Spitze laufend weiterwachsen, sterben an der Basis nach und nach ab und bilden langfristig die Torfschicht der Moore.

Bereits vor Jahrzehnten wurde *Sphagnum*-Moos, das in überschaubaren Mengen an heimischen Standorten gesammelt wurde, als Bestandteil von Orchideensubstraten verwendet. Heute ist die Sammlung von *Sphagnum* in Deutschland aus Gründen des Naturschutzes verboten. Außerdem werden für die heutige Produktion von *Phalaenopsis* in industriellem Maßstab große Mengen an Kultursubstrat benötigt, wofür vorwiegend in asiatischen Ländern *Sphagnum* aus Chile, zum Teil auch aus Australien und Neuseeland importiert wird. Zu den aktuellen Bestrebungen, neue Torfersatzstoffe zu etablieren, gehört die Verwendung von gezielt angebautem Torfmoos als Bestandteil von Kultursubstraten.

Neuere Untersuchungen zeigen, dass *Sphagnum* sich als Substratausgangsstoff für verschiedene Kulturen gut eignet. Neben dem Ziel, Torf zu ersetzen, soll durch den Anbau des nachwachsenden Rohstoffs eine standortangepasste Bewirtschaftung

von wiedervernässten Moorböden ermöglicht werden. Diese kann zu einer Verminderung von Treibhausgasemissionen beitragen sowie Ersatzlebensräume für selten gewordene, hochmoortypische Tier- und Pflanzenarten bieten. Neue Torfmoosflächen wurden in den vergangenen zwanzig Jahren vor allem in Kanada, Finnland und Deutschland angelegt. In Deutschland gibt es inzwischen zwei Flächen von jeweils etwa zehn Hektar Größe auf ehemaligem Hochmoorgrünland beziehungsweise auf einer abgetorften Hochmoorfläche in den Landkreisen Ammerland und Emsland. Wenngleich die großflächige Etablierung von Torfmoosen gelungen ist und man nach wenigen Jahren mit der Ernte beginnen kann, befindet sich die Produktion von Torfmoos-Biomasse noch im Experimentierstadium. Eine ganze Reihe von Fragen sind noch nicht ausreichend geklärt, zum Beispiel zur Regulierung des Wasserstands, der Beschaffung von Ausgangsmaterial, der Mechanisierung der Pflege und Ernte sowie der Aufbereitung und Lagerung der Moose. Darüber hinaus müssen Anpassungen im Naturschutzrecht erfolgen, damit die angesiedelten Moose zu wirtschaftlichen Zwecken wieder entnommen werden dürfen.

Die gärtnerisch maßgeblichen Eigenschaften von *Sphagnum*-Biomasse sind denen von Weißtorf sehr ähnlich. Es handelt sich um ein sehr leichtes Material, das trotz sehr hoher Wasserhaltefähigkeit noch über eine ausreichende Luftkapazität verfügt. Diese positiven physikalischen Eigenschaften resultieren aus dem Aufbau der *Sphagnum*-Blättchen, die aus zwei verschiedenen Zelltypen bestehen. Große Hyalinzellen (Hyalocyten, Wasserzellen) sind in ein Netz aus länglichen chloroplastenhaltigen Zellen (Chlorophyllzellen, Chlorocyten) eingebettet. Durch die Hyalinzellen sind Torfmoose in der Lage, das 15- bis 30-fache ihrer Trockenmasse an Wasser aufzunehmen. Sie sind mit einer Art von „Spangen“ ausgesteift, die bei Trockenheit ein Zusammenbrechen verhindern, wodurch die Struktur insgesamt erhalten bleibt. Nach vollständiger Austrocknung ist Torfmoos zunächst ähnlich schlecht wiederbenetzbar wie Hochmoortorf, nimmt jedoch bei einem zweiten Bewässerungsvorgang wieder genügend Wasser auf.

Von den chemischen Eigenschaften sind die extrem niedrigen Nährstoff- und Salzgehalte, die mit Ausnahme von Kalium meist noch unter denen von Hochmoortorf liegen, von Vorteil (Tabelle 9). Der pH-Wert liegt im stark sauren Bereich und ist mit dem von Hochmoortorf vergleichbar. Auch der stabile Stickstoffhaushalt macht Torfmoos zu einem prinzipiell sehr gut geeigneten Substratausgangsstoff. Trotzdem führten bestimmte *Sphagnum*-Arten in Versuchen zu nicht optimalen Ergebnissen und es können gelegentlich Chargen vorkommen, bei denen Pflanzenschäden in Form von Minderwuchs, Welke oder Weißblättrigkeit auftreten. Als Auslöser dafür werden allelopathische Effekte zwischen den Moosen und den Kulturpflanzen vermutet, bisher konnten jedoch die Ursachen für die Pflanzenschäden noch nicht befriedigend geklärt werden. Es ist daher notwendig, wie bei anderen Substratausgangsstoffen die Eignung einzelner *Sphagnum*-Chargen mit Keimpflanzentests zu überprüfen. Von Nachteil können außerdem enthaltene Kräuter- oder Gräser Samen sein, insbesondere Binsen. *Sphagnum* wird daher vor der Verwendung häufig mit Gammastrahlen behandelt, um eventuell enthaltene keimfähige Samen abzutöten.

Sphagnum-Biomasse ist in der Regel getrocknet und gepresst im Handel und muss vor der Verwendung wiederbefeuchtet werden. Aus einem Kilogramm trockenem, langfaserigem Material lassen sich etwa 30 Liter gebrauchsfertig angefeuchtetes *Sphagnum* herstellen. In Versuchen mit Orchideensubstraten aus langfaserigem *Sphagnum*, allein oder in Mischung mit Pinienrinde, ließen sich sehr gute Ergebnisse erzielen, insbesondere bei der Qualität der Wurzeln. Ebenso schnitten Kultursubstrate mit 40 bis 50 Volumenprozent *Sphagnum* als Beimischung zu Torf-Ton-Substrat oder zu anderen Substratausgangsstoffen bei unterschiedlichen Pflanzenarten

gut ab. Für einen ausreichenden Halt der Pflanzen darf in reines *Sphagnum*-Substrat nicht zu locker getopft werden.

Tabelle 9: Eigenschaften von *Sphagnum*

Rohdichte trocken	g/l	15 - 30
Wasserkapazität	Vol.-%	40 - 50
Luftkapazität	Vol.-%	45 - 60
Wiederbenetzbarkeit		i. d. R. gut
pH-Wert		3,2 - 3,6
Salz	g/l	< 0,1
N	mg/l	< 20
P ₂ O ₅	mg/l	< 10
K ₂ O	mg/l	30 - 80
Mg	mg/l	20 - 35
Spurenelemente		niedrig
Na	mg/l	< 15
Cl	mg/l	< 25
mikrobielle Abbaubarkeit		gering
N-Immobilisierung		gering
wachstumshemmende Stoffe		i. d. R. keine

 vorteilhafte Eigenschaften
 nachteilige Eigenschaften

5.1.9 Weitere organische Stoffe

Eine Vielzahl weiterer organischer Stoffe wurde in den vergangenen Jahrzehnten als Mischkomponente für Kultursubstrate getestet. Zum Teil werden diese speziell für die Verwendung als Substratausgangsstoff angebaut wie zum Beispiel *Miscanthus*. Häufig fallen sie auch als Rest- oder Recyclingstoffe an, zum Beispiel Fasern und Schäben aus der Flachs- und Hanfverarbeitung, Getreidestroh, Schafwolle, textile Abfälle wie Wolle und Baumwolle oder Papier und Pappe. Außerdem kamen in den letzten Jahren versuchsweise organische Abfälle in Form von Pflanzenkohle als Substratausgangsstoff zum Einsatz.

Das **Riesen-Chinaschilf**, *Miscanthus x giganteus*, ist eine schnellwüchsige Chinaschilf-Hybride aus *M. sinensis* und *M. sacchariflorus*. Das Stroh wird üblicherweise in der Bau-, Automobil- und Zellstoffindustrie verwendet, als Tiereinstreu genutzt oder in Form von Häckseln, Briketts beziehungsweise Pellets thermisch verwertet. Es kann auch geschreddert oder mit einem Extruder, wie er für die Holzfaserverstellung genutzt wird, aufbereitet und dann als Ausgangsstoff für Kultursubstrate

verwendet werden. Das Material zeichnet sich durch ein geringes Gewicht und eine hohe Luftkapazität aus. Die Wasserkapazität ist relativ gering, was bei höheren Anteilen häufigere Wassergaben mit geringeren Mengen erforderlich macht, Kulturen mit hohen Luftansprüchen im Wurzelraum jedoch entgegenkommt. Außer einem hohen Siliciumgehalt, dem ein positiver phytosanitärer Effekt nachgesagt wird, sind die Salz- und Nährstoffgehalte gering, ebenso die pH- und Nährstoffpufferung. Durch das weite C/N-Verhältnis und die leicht abbaubare organische Substanz unterliegen Kultursubstrate mit *Miscanthus* in erheblichem Maße einer Stickstoff-Immobilisierung, insbesondere bei Verwendung von aufgefaserter Material, das eine große Oberfläche besitzt. Eine Kompostierung mit Stickstoffzugabe in Form von Ammoniumsulfat oder Harnstoff wird empfohlen.

Flachsschäben stammen aus dem holzigen Stängelteil der Flachs- oder Leinpflanze (*Linum usitatissimum*). In Deutschland verwendete Schäben kommen meist aus Schleswig-Holstein, Belgien oder Nordfrankreich. Sie fallen bei der Gewinnung der Fasern an, die in Spanplatten, Formpressteilen und Dämmstoffen oder als Einstreu sowie als Brennstoff (Briketts) eingesetzt werden. Die Gewinnung erfolgt durch das sogenannte „Rösten“, das heißt durch eine Tauröste auf den Feldern oder eine Lagerung für mehrere Wochen in kaltem Wasser. Die Bastfaserbündel lösen sich dabei vom Holzzylinder, der anschließend gebrochen wird. Die Schäben werden gedämpft, um eventuell enthaltene Unkraut- und Leinsamen abzutöten. Durch ihr sehr geringes Gewicht, ihr hohes Gesamt-Porenvolumen und die sehr hohe Luftkapazität eignen sie sich für eine Beimischung zu schweren Komponenten mit geringer Luftkapazität. Der hohe Wachsanteil bildet zwar einen gewissen Schutz gegenüber mikrobiellem Abbau, kommt dieser jedoch in Gang, ist trotzdem eine ausgeprägte Stickstoff-Immobilisierung möglich.

Beim **Industriehanf** (*Cannabis sativa*), dessen Gehalt an psychoaktivem Tetrahydrocannabinol (THC) vernachlässigbar ist, erfolgt die Trennung des ligninhaltigen holzigen Innenteils vom umgebenden Faserbündel mechanisch in einer Faseraufschlussanlage durch Walzen und Brechen. Die langen **Fasern** finden Verwendung als Bau- und Dämmstoffe oder werden zu Naturfaserverbundstoffen verarbeitet. Der Siebrückstand aus kurzen Fasern ist ein Rohstoff für die Papierindustrie und kann auch als Substratausgangsstoff verwendet werden. Die **Schäben**, also der Holzteil, der hauptsächlich als Tiereinstreu eingesetzt wird, wurde ebenfalls als Substratausgangsstoff getestet. Die bisher widersprüchlichen Versuchsergebnisse bezüglich der Eignung von Hanffasern oder -schäben für Kultursubstrate dürften im Wesentlichen auf die erhebliche Stickstoff-Immobilisierung zurückzuführen sein, die unmittelbar nach einer Düngerzugabe über einen kurzen Zeitraum von wenigen Wochen abläuft. Die Voraussetzung für eine erfolgreiche Verwendung des Materials ist daher ein Stickstoffausgleich in den ersten Kulturwochen, entweder in fester Form als Harnstoffkondensat oder über eine zusätzliche flüssige Stickstoff-Nachdüngung.

In den letzten Jahren wurden große Hoffnungen in die Verwendung von **Pflanzen-** oder **Biokohle** gesetzt, mit der der fruchtbare Boden in den Siedlungsgebieten Amazoniens, die sogenannte „Terra Preta“ (portugiesisch „Schwarze Erde“), nachgeahmt werden soll. Je nach Herstellungsverfahren der Kohle wurden damit sehr unterschiedliche Erfolge erzielt. Pyrolysekohle, die in einem der Holzkohleherstellung ähnlichem Verfahren aus relativ trockenem Material entsteht, führte meist zu befriedigenden Ergebnissen. Die durch hydrothermale Carbonisierung (HTC) unter hohem Druck in wässrigem Milieu hergestellte Kohle wirkte sich dagegen wegen des Vorhandenseins pflanzenschädigender Stoffe in der Regel negativ auf das Pflanzenwachstum aus. Durch die große Oberfläche wird den Kohlen eine hohe Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität, insbesondere für Phosphor und Stickstoff

nachgesagt. Die sehr unterschiedlichen Ausgangsmaterialien und Herstellungsverfahren führen zu einer großen Variabilität in den Eigenschaften und lassen unterschiedliche Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum erwarten.

Außer den beschriebenen Stoffen gibt es noch eine Vielzahl **anderer Materialien**, die bislang mehr oder weniger erfolgreich auf ihre Eignung als Substratausgangsstoff getestet wurden. Dazu gehören zum Beispiel Halme des Riesenschilfs (*Arundo donax*), kompostiertes Pflanzenmaterial von Agave oder Staudenknöterich (*Fallopia sachalinensis*), Weizen- oder Roggenstroh, Schafwolle, textile Abfälle aus Wolle und Baumwolle oder auch Pappe und Papier.

5.1.10 Begrenzende Faktoren für den Einsatz organischer Torfersatzstoffe

Gründe, die den Einsatz von Torfersatzstoffen begrenzen, liegen zum einen in ihren Eigenschaften (Tabelle 10). Im Wesentlichen sind es hohe Gehalte an Nährstoffen und Ballastsalzen oder hohe pH-Werte, die nur begrenzte Anteile des entsprechenden Stoffes in Substratmischungen erlauben. Häufig bereitet ein unausgeglichener Stickstoffhaushalt Probleme, der je nach C/N-Verhältnis und dem Vorhandensein leicht abbaubarer organischer Substanz zu unterschiedlich starker Stickstoff-Immobilisierung, damit verbundenem Minderwuchs der Kulturpflanzen und starker Substratsackung führen kann. Weiterhin können eine hohe Rohdichte, eine niedrige Wasserkapazität sowie pflanzenschädigende Stoffe den Einsatz organischer Torfersatzstoffe in Kultursubstraten begrenzen. Falls möglich, müssen entsprechende Maßnahmen zur Abhilfe ergriffen werden oder es sind nur geringe Prozentsätze des entsprechenden Stoffes verwendbar.

Neben den Eigenschaften der Materialien haben auch äußere Rahmenbedingungen einen Einfluss auf den bisher geringen Ersatz von Torf in Kultursubstraten. Hierzu zählt vor allem die kontinuierliche Verfügbarkeit ausreichender Mengen eines Stoffes in gleichbleibend guter Qualität, was zur Zeit nicht sicher gegeben ist. Für eine zukünftig stärkere Verbreitung wird auch der Preis von Torfersatzstoffen eine entscheidende Rolle spielen.

Tabelle 10: Wesentliche Problembereiche organischer Torfersatzstoffe

hohe Rohdichte trocken	Kompost
niedrige Wasserkapazität	Holzfaserstoff, Kokosfaser, Reisspelzen, <i>Miscanthus</i>
hoher pH-Wert	Kompost
hohe Nährstoffgehalte	Kokosmaterialien (Kalium), Grüngutkompost (vor allem Phosphor und Kalium), Gärrest- und Bioabfallkompost (i. d. R. alle Hauptnährstoffe)
hohe Ballastsalzgehalte	Kokosmaterialien, Gärrestkompost, Bioabfallkompost
hohe N-Immobilisierung	Holzfaserstoff, <i>Miscanthus</i> , Flachsschäben, Hanf, HTC-Kohle
wachstumshemmende Stoffe	HTC-Kohle

5.2 Mineralische Substratausgangsstoffe

Mineralische Substratkomponenten stammen meistens aus natürlichen Vorkommen und werden häufig in zerkleinerter Form oder als Granulat verwendet, wie zum Beispiel Schaumlava, Bims oder Untergrundton. Zum Teil schließt sich an den Abbau des Materials noch ein spezielles Aufbereitungsverfahren an. Beispiele hierfür sind Blähton, Perlite oder Vermiculite. Andere Materialien sind Reststoffe von industriellen Prozessen, zum Beispiel Kesselsand, oder Recyclingmaterialien, zum Beispiel Ziegelbruch. Mineralische Substratausgangsstoffe werden in reiner Form als Kultursubstrate für erdelose Systeme verwendet, für die Herstellung von gärtnerischen Kultursubstraten mit organischen Ausgangsstoffen gemischt oder als Hauptbestandteil von Vegetationstragschichten im Garten- und Landschaftsbau eingesetzt.

Für die Verwendung in reiner Form kommen in der Regel inerte, das heißt chemisch inaktive Materialien wie Steinwolle, Perlite oder Blähton zum Einsatz. Ein wichtiger Anwendungsbereich sind Kultursysteme mit rezirkulierender Nährlösung, in denen sich die Nährstoffversorgung durch die Verwendung inerter Stoffe exakt steuern lässt. Blähton findet des Weiteren in Gefäßen unterschiedlicher Größe mit stehender Nährlösung Verwendung. Dieses System der Innenraumbegrünung wird im deutschsprachigen Raum als „Hydrokultur“ bezeichnet.

Durch die Auswahl geeigneter mineralischer Ausgangsstoffe als Mischungskomponente für Kultursubstrate lassen sich deren Eigenschaften gezielt beeinflussen. Im Falle von Ton spielt neben der Steigerung der Wasserspeicherfähigkeit und der Verbesserung der Wiederbenetzbarkeit vor allem die Erhöhung der Nährstoffpufferung eine Rolle. Bei den übrigen Materialien sind es im Wesentlichen die Luftkapazität und die Strukturstabilität, die optimiert werden sollen. Eine dauerhafte Verbesserung der Strukturstabilität lässt sich jedoch nur bei Anteilen von mindestens 30 bis 40 Volumenprozent erreichen, da in diesem Fall die aufeinanderliegenden mineralischen Bestandteile ein stabiles Stützskelett bilden. Bei geringeren Anteilen kann sich sogar ein nachteiliger Effekt einstellen, da durch die relativ schweren Stoffe eine zusätzliche Verdichtung des Substrats erfolgt (Abbildung 9).

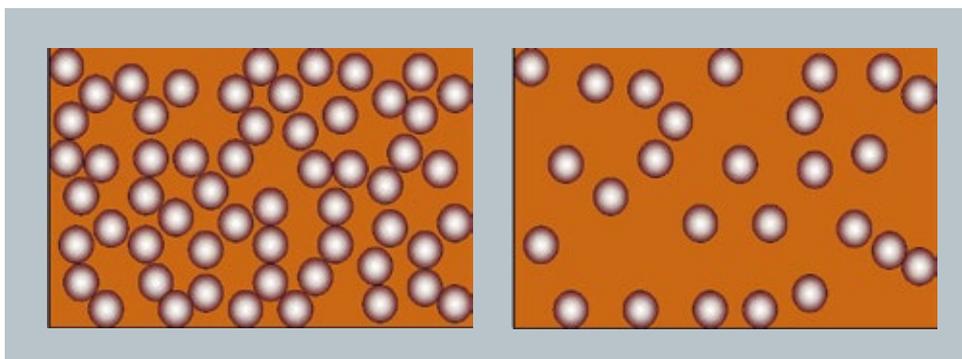


Abbildung 9: Schematische Darstellung eines Substrats mit ausreichendem (links) beziehungsweise zu geringem (rechts) mineralischem Anteil

5.2.1 Ton

Ton wurde bereits früher in den selbst gemischten Praxiserden verwendet und war ein Hauptbestandteil des ersten Universalsubstrats, der Einheitserde nach Fruhstorfer. Tone sind Lockergesteine, die fast überall in Deutschland vorkommen, für Kultursubstrate geeignete Qualitäten jedoch nur in bestimmten Gegenden. Die bodenkundliche Definition beschreibt Ton als Teilchen mit einer Größe von weniger als 0,002 mm. Tone bestehen im Wesentlichen aus Tonmineralen, die durch chemische Verwitterung von primären Mineralen, zum Beispiel Glimmern und Feldspäten, entstanden sind.

Chemisch betrachtet stellen Tonminerale Schichtsilikate mit einer blättchenförmigen Struktur dar, wobei jedes Blättchen aus bis zu 20 Elementarschichten besteht. Durch negative Ladungen an den äußeren und teilweise inneren Oberflächen können Kationen wie K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} und NH_4^+ oder auch Wassermoleküle locker gebunden (sorbiert) und wieder abgegeben werden. Dabei ist von Bedeutung, ob es sich um Zwei-, Drei- oder Vierschicht-Tonminerale handelt, die man nach dem Aufbau der Elementarschichten unterscheidet. Lediglich ein Teil der Dreischicht-Tonminerale wie Vermiculit und Smectit (zum Beispiel Montmorillonit) können nicht nur an ihrer äußeren Oberfläche, sondern auch in ihren aufweitbaren Zwischenräumen zwischen den Elementarschichten Kationen und Wasser sorbieren. Sie verfügen daher über eine besonders hohe Austauschkapazität sowie Quellfähigkeit, was sie zu geschätzten Substratausgangsstoffen macht. Von geringerer Qualität im Hinblick auf die pflanzenbauliche Eignung sind kaum aufweitbare Dreischicht-Tonminerale wie Illit, die zwischen den Elementarschichten fixierte K^+ - und NH_4^+ -Kationen aufweisen. Gleiches gilt für Zweischicht-Tonminerale wie Kaolinit, die relativ kleine und nicht variable Abstände zwischen den Elementarschichten besitzen, sowie für Vierschicht-Tonminerale wie Chlorit, die zwischen den Schichten relativ fest gebundene Eisen-, Magnesium- oder Aluminiumhydroxide enthalten. Bei diesen Tonmineralen mit geringerer Qualität ist im Wesentlichen nur eine Sorption an der äußeren Oberfläche möglich, wodurch Austauschkapazität und Quellfähigkeit deutlich niedriger liegen (Tabelle 11).

Für Kultursubstrate wird Untergrundton („Naturton“, „Vulkanton“), das heißt Ton aus Bodenschichten von 50 bis 60 cm Tiefe oder aus Tongruben gewonnen. Wegen der Herkunft aus tiefen Schichten enthält er keine Unkrautsamen. Ton soll außerdem möglichst frei von Kalk sein, um den pH-Wert des Kultursubstrates nicht zu beeinflussen. Häufig handelt es sich nicht um reinen Ton im bodenkundlichen Sinn, sondern um ein Gemisch aus Ton, Schluff und etwas Sand. Die Korngrößenverteilung sowie die Tonmineralzusammensetzung der Tonfraktion kann sehr unterschiedlich sein (Tabelle 12).

Qualitativ hochwertiger Ton wirkt durch seine Quellfähigkeit regulierend auf den Wasserhaushalt im Substrat und verringert den Benetzungswiderstand. Torf-Ton-Substrate trocknen weniger rasch aus als reine Torfsubstrate und lassen sich nach Austrocknung leichter wieder befeuchten. Wegen seiner hohen Rohdichte (Tabelle 14) sorgt Ton einerseits für eine gute Standfestigkeit von Töpfen, andererseits erhöhen sich dadurch aber auch die Transportkosten. Je nach Auswahl der Tonminerale lässt sich durch Ton die Klebfähigkeit von Presstopfsubstraten verbessern. Durch die hohe Austauschkapazität wirkt Ton ausgleichend bei nicht bedarfsgerechter Nährstoffversorgung und vermindert die Gefahr von Salzschäden. Die Pufferung des pH-Wertes im Kultursubstrat ist dagegen relativ gering. Topfpflanzen in Torf-Ton-Substraten wachsen in der Regel kompakter als in reinem Torfsubstrat und sind häufig haltbarer. Dieser Effekt dürfte teilweise auf das je nach Tonherkunft erhebliche Phosphatbindungsvermögen zurückzuführen sein, das zu einer reduzierten

Phosphatversorgung der Pflanzen und zu einem dadurch bedingten geringeren Wachstum führt.

Kultursubstrate enthalten heute deutlich geringere Anteile an Ton als früher. Als Feuchttton werden bis zu 20 Volumenprozent beigemischt. Bei Verwendung von Tonschlamm oder getrocknetem und fein vermahlenem Ton (Tonmehl) sowie von getrocknetem und grob granuliertem Ton sind 5 bis 10 Volumenprozent üblich. Bei Angaben zu Tonmengen in Kultursubstraten sind die verschiedenen Größeneinheiten zu beachten, die sehr unterschiedliche Zahlenwerte zur Folge haben (Tabelle 13).

Tabelle 11: Austauschkapazität von Tonmineralen

Tonmineralgruppe	Austauschkapazität [mmol _c / 100 g]
Kaolinit	5 - 15
Chlorit	10 - 40
Illit	20 - 50
Montmorillonit (Smectit)	80 - 120
Vermiculit	100 - 150

Tabelle 12: Korngrößen- und Tonmineralzusammensetzung von „Tonen“ bei elf handelsüblichen Torf-Ton-Substraten

Korngröße	Massenprozent im mineralischen Anteil
Tonfraktion < 0,002 mm	19 - 61
Fein- und Mittelschluff 0,002 - 0,020 mm	10 - 42
Grobschluff und Sand 0,020 - 2 mm	7 - 57

Tonmineralgruppe	Massenprozent der Tonfraktion
Smectit	18 - 84
Vermiculit und Chlorit	4 - 11
Wechselschichtminerale	0 - 13
Illit	7 - 70
Kaolinit	4 - 15

Tabelle 13: Vergleich verschiedener Einheiten bei der Angabe von Tonmengen in Substraten

eingemischte Tonmenge	umgerechnet in kg/m ³	umgerechnet in Gew.-%	umgerechnet in Vol.-%
30 kg/m ³	30	8 - 12	2 - 4
30 Gew.-%	75 - 115	30	5 - 15
30 Vol.-%	225 - 450	60 - 90	30

Tabelle 14: Eigenschaften bedeutsamer mineralischer Substratausgangsstoffe

Parameter		Ton	Blähton	Steinwolle	Perlite
Rohdichte trocken	g/l	700 - 1500	300 - 500	50 - 150	50 - 100
Wasserkapazität	Vol.-%	keine Angabe	ungebrochen: ca.10 gebrochen: bis 25	40 - 80	25 - 50
Luftkapazität	Vol.-%	keine Angabe	ungebrochen: 70 - 75 gebrochen: ca. 60	20 - 60	45 - 70
pH-Wert		5,0 - 10,0	i. d. R. > 7 nicht gepuffert	7,0 - 8,5 nicht gepuffert	7,0 - 8,0 nicht gepuffert
Salz	g/l	unterschied- lich, z. T. hoch	i. d. R. < 1,25	vernachlässig- bar	vernachlässig- bar
Nährstoffe	mg/l	keine Angabe	kein N, übrige Nähr- stoffe unter- schiedlich hoch	vernachlässig- bar	vernachlässig- bar
Kationen- austauschkapazität	mmol _c /l	200 - 450	nahezu keine	keine	keine
Sonstiges		z. T. hohes P-Bindungs- vermögen	Na-, Cl- und F- Gehalt z. T. hoch	keine Angabe	keine Angabe

5.2.2 Blähton und Blähschiefer

Blähton wird aus salzarmem Naturton, aus dem gegebenenfalls vorhandene grobe Bestandteile wie Steine entfernt wurden, durch Brennen in einem Drehrohrofen hergestellt. Vor dem eigentlichen Brennprozess wird zur Herstellung nierenförmiger Produkte das Rohmaterial zunächst durch langsames Erhitzen auf 800 °C getrocknet sowie durch ständige Rotation des Ofens homogenisiert und granuliert. Dabei entsteht ein Körnungsgemisch, das sich nach dem Brennvorgang bei etwa 1.150 °C durch Siebung in gängige Korngrößen (2 bis 4, 4 bis 8 und 8 bis 16 mm) fraktionieren lässt. Bei rundem Blähton wird demgegenüber der Rohton auf einem Drehteller zu Kugeln definierter Größe geformt und anschließend gebrannt.

Während des Brennens schmilzt die Oberfläche der Körner und bildet eine sehr feinporige Sinterschicht, die nahezu gasundurchlässig ist. Gleichzeitig verbrennen im Inneren der Körner natürlich vorhandene organische Bestandteile beziehungsweise zugesetzte Blähhilfen. Da das Entweichen des entstehenden Kohlendioxids durch die Außenschicht stark eingeschränkt ist, kommt es unter Bildung von Hohlräumen zu einer Volumenvergrößerung auf ein Mehrfaches der ursprünglichen Teilchengröße.

Blähton besitzt aufgrund seiner porösen Struktur im Inneren der Körner im Vergleich zu anderen mineralischen Substratausgangsstoffen ein geringes Gewicht von 300 bis 500 g/l (Tabelle 14). Die Wasseraufnahmefähigkeit ist mit maximal 25 Volumenprozent selbst bei kleiner Körnung niedrig und damit im Gegenzug die Luftkapazität hoch. Im Vergleich zu Rohton weist Blähton so gut wie keine Kationenaustauschkapazität auf, da durch den Brennprozess die Tonstruktur stark verändert wird und dadurch vor allem das Quellungsvermögen verloren geht. Dennoch beobachtet man durch die poröse Innenstruktur ein gewisses Speichervermögen für Nährstoffe und Ballastsalze, die aufgrund der nahezu geschlossenen Sinterhülle nur langsam wieder abgegeben werden, wodurch eine quasi puffernde Wirkung zustande kommt.

Bei den chemischen Eigenschaften sticht zunächst der hohe pH-Wert von meist über 7 ins Auge (Tabelle 14). Dieser ist aber unbedenklich, weil er nicht gepuffert ist. Blähton enthält grundsätzlich keinen Stickstoff; gegebenenfalls im Rohton enthaltene Mengen entweichen beim Brennen in gasförmiger Form. Der durch andere Nährstoffe und die Ballastionen Natrium und Chlorid bedingte Salzgehalt ist in Abhängigkeit vom Ausgangsmaterial relativ variabel. Während in der Bauindustrie zur Herstellung von Leichtbeton und Dämmmaterial diese Parameter nicht von Bedeutung sind, sollten bei pflanzenbaulicher Verwendung die in der RAL-Gütesicherung festgelegten Höchstwerte nicht überschritten werden. Besonderes Augenmerk ist auf den geogen bedingten Fluoridgehalt von Blähton zu richten. Bei hohen Werten kann es vor allem bei einigen Grünpflanzen wie *Dracaena* zu erheblichen Blattschäden in Form von Chlorosen und Nekrosen kommen.

Im Gartenbau findet Blähton in verschiedenen Bereichen Verwendung. Einerseits wird er Substraten für Pflanzen mit langen Standzeiten, wie Kübelpflanzen, Innenraumbegrünungen oder Gehölzen in Anteilen von 30 bis 40 Volumenprozent beigemischt, um die Strukturstabilität zu verbessern. Auf diese Weise kann die Dränfähigkeit des Substrats über Jahre erhalten werden. Bevorzugt kommt dabei gebrochener Blähton zum Einsatz, der wegen seiner Offenporigkeit mehr Wasser speichert als ganzkörniges Material gleicher Korngröße.

Auf der anderen Seite lässt sich Blähton auch in reiner Form ohne weitere Beimischungen als Substrat einsetzen. Am weitesten verbreitet ist hier die Verwendung

als Hydrokultursubstrat bei der Innenraumbegrünung sowie die Anzucht von Fruchtgemüse und Schnittblumen in erdelosen Kulturverfahren. Bei den manchmal auftretenden weißen Ausblühungen auf der obersten Blähtonschicht handelt es sich um auskristallisiertes Calciumsulfat oder -chlorid, das in der Regel keine Pflanzenschäden hervorruft. Zur Reduzierung dieses optischen Problems sollte ein kapillarer Wasseraufstieg bis zur Substratoberfläche vermieden werden.

Außer im Gartenbau ist Blähton auch im Garten- und Landschaftsbau verbreitet. Ein möglicher Einsatzbereich ist zum Beispiel die Dachbegrünung, wo Blähton als Bestandteil der Vegetationstragschicht und als Dränschicht verwendet wird.

Im Unterschied zu Blähton wird **Blähschiefer** durch Brennen von Schiefertone hergestellt. Im Gegensatz zu Blähton sind die Körner durch eine unregelmäßige Quaderform gekennzeichnet. Blähschiefer ist etwas schwerer als Blähton und beim Brechen entstehen etwas schärfere Kanten. Blähschiefer ist wie Blähton als nicht gebrochenes oder gebrochenes Material im Handel und für die gleichen Anwendungsbereiche wie Blähton geeignet. Für die Hydrokultur hat sich der Einsatz von ganzen Körnern wegen des gegenüber Blähton höheren Gewichts nicht durchgesetzt, das gebrochene Material findet jedoch im Garten- und Landschaftsbau Verwendung.

Blähton und Blähschiefer dürfen nicht mit **gebranntem Tongranulat**, das zum Beispiel unter dem Handelsnamen „Seramis“ angeboten wird, verwechselt werden. Im Gegensatz zu Blähton wird die poröse Struktur des Materials in einem speziellen Verfahren vor dem Brennvorgang erzeugt und während des Brennens bei knapp 1.000 °C fixiert. Durch den Herstellungsprozess entsteht ein offenporiges Material ohne Sinterhülle, das in seinen Eigenschaften nicht mit Blähton vergleichbar ist. Das Tongranulat, das im professionellen Gartenbau keine Bedeutung erlangt hat, wird im Hobbybereich für Topfpflanzen und in der Innenraumbegrünung verwendet.

5.2.3 Steinwolle (Mineralwolle)

Erste Versuche, die aus der Bauindustrie als Isolierstoff bekannte Steinwolle als Kultursubstrat zu nutzen, fanden in der zweiten Hälfte der 1960er Jahre an Universitäten in Dänemark und in den Niederlanden statt. Man war auf der Suche nach einem Kultursystem, das ohne die damals noch mit Methylbromid durchgeführte Boden-desinfektion auskam. Schnell stellte man fest, dass dieses erdelose Kulturverfahren auch eine sehr genaue Steuerung der Kultur ermöglichte und durch diese Optimierung der Wasser- und Nährstoffversorgung zu höheren Erträgen führte. Zugleich ergaben sich durch die Einsparung von Wasser und Dünger umweltschonende Aspekte und wirtschaftliche Vorteile. In den 1970er Jahren führten dann die ersten gartenbaulichen Betriebe dieses Kultursystem für den Anbau von Schnittrosen ein.

Zur Herstellung von Steinwolle wird Diabas, ein vulkanisches Gestein, unter Zusatz von Kalk und Koks in einem Kupolofen bei 1.200 bis 1.600 °C geschmolzen, auf rotierenden Spindeln zu dünnen Fasern geformt und unter Zugabe von Bindemitteln (zum Beispiel Phenolharz) zu Matten gepresst. Für die gartenbauliche Verwendung gibt man zur Verbesserung der Wasseraufnahmefähigkeit noch Netzmittel hinzu. Je nach späterem Einsatzbereich lässt sich durch Variation der Dichte und der Faser-richtung bei der Herstellung die Wasserverteilung beeinflussen. Die Matten werden in Platten oder Würfel unterschiedlicher Größe geschnitten.

Steinwolle ist mit einer Rohdichte von 50 bis 150 Gramm pro Liter relativ leicht und besitzt ein sehr hohes Gesamtporenvolumen von etwa 98 Prozent (Tabelle 14). Die Wasserkapazität kann je nach Struktur des Materials 40 bis 80 Volumenprozent betragen. Der anfänglich hohe pH-Wert von 7,0 bis 8,5 ist nicht gepuffert und stellt daher aus pflanzenbaulicher Sicht kein Problem dar. In Steinwolle sind keine pflanzenverfügbaren Nährstoffe enthalten. Sie ist ein inertes (chemisch inaktives) Material, das weder eine Nährstoff-Sorptionskapazität noch eine pH-Pufferung aufweist und sich daher gut für erdelose Kulturverfahren mit kontinuierlicher Nährstoffzufuhr eignet. Steinwolle erlaubt eine exakte Steuerung der Nährstoffversorgung, bietet andererseits jedoch keinen Spielraum bei Kulturfehlern. Sie ist strukturstabil, frei von Krankheitserregern und nach Dämpfung wiederverwendbar. Es gibt die Möglichkeit einer Gütesicherung nach dem holländischen RHP-System.

Steinwolle findet im Gartenbau in reiner Form Verwendung. Fruchtgemüse wie Tomaten, Gurken, Paprika und Auberginen sowie Schnittblumen wie Rosen und Gerbera werden in folienummantelten Platten, sogenannten „Growbags“ oder „Slabs“, in erdelosen rezirkulierenden Systemen kultiviert. Die Jungpflanzenanzucht dafür findet in großen Würfeln (Blöcken) oder kleineren runden Plugs aus Steinwolle statt. Kleine Würfel, sogenannte „Growcubes“, werden in Container gefüllt und für die Kultur von Schnittblumen oder Mutterpflanzen verwendet. Auch als Kultursubstrat für „Grüne Wände“ kommt Steinwolle zum Einsatz. Früher gab es auch gelegentlich Steinwollflocken als Mischkomponente in Kultursubstraten. Dies ist nach der geltenden Düngemittelverordnung nicht mehr zulässig, da Steinwolle nur in Systemen erlaubt ist, die eine getrennte Entsorgung ermöglichen.

Vor der Bepflanzung ist es ratsam, Steinwolle mit Nährlösung zu fluten, um eine ausreichende Befeuchtung und damit eine gute Wasserverteilung sicherzustellen. Man sollte Steinwolle nicht austrocknen lassen, da sie nur schwer wieder zu benetzen ist. Die Wasserversorgung von Steinwollplatten erfolgt in der Regel durch Tropfbewässerung von oben, bei Mutterpflanzenkulturen in Blöcken sind auch Fließrinnen möglich. Um eine Anreicherung von Salzen im Wurzelraum zu vermeiden, sollte mit einem Nährlösungsüberschuss, auch „Overdrain“ genannt, von 20 bis 30 Prozent gearbeitet werden. Zur Kontrolle der Nährlösung sind eine tägliche Messung von pH- und EC-Wert sowie regelmäßige Nährstoffanalysen erforderlich.

Durch das angebotene Komplettsystem, bestehend aus dem Substrat, der technischen Ausstattung, Laboranalysen und Beratung sowie schließlich der Entsorgung des gebrauchten Materials ist Steinwolle zum heute am meisten genutzten Substrat bei erdelosen Kulturverfahren geworden. Galt Steinwolle früher als Sondermüll, wird sie heute nach entsprechendem Recycling teilweise wiederverwendet. Nach Entfernen der umhüllenden Folie wird das Material geschreddert und kommt anschließend für die Herstellung neuer Steinwolle oder als Beimischung in industriellen Prozessen, zum Beispiel bei der Ziegelproduktion, zum Einsatz.

In gesundheitlicher Hinsicht gilt der Faserstaub älterer Mineralwolle als „möglicherweise krebserregend“, seit 1996 hergestellte Mineralwolle wird dagegen wegen einer geringeren Biopersistenz und wegen geringerer Lungengängigkeit der Fasern als unbedenklich angesehen. Steinwolle wurde 2002 von der IARC (International Agency for Research on Cancer, Krebsforschungsagentur der WHO) als nicht karzinogen für den Menschen eingestuft. Bei direktem Kontakt, zum Beispiel beim Auspacken aus der Folienummüllung oder beim Einfüllen des lockeren Materials in Container, können Hautirritationen wie Rötungen oder Juckreiz auftreten.

5.2.4 Perlite

Das Ausgangsgestein von Perlite ist Perlit, ein blau-graues Lockergestein aus Aluminium-Silikaten, das durch natürliche Verwitterung aus vulkanischem Glas (Obsidian) entstanden ist und im Tagebau gewonnen wird. Große Vorkommen befinden sich in der Türkei, in den USA und auf der griechischen Insel Milos. Das Gestein, das eine Schüttdichte von etwa 1.000 Gramm pro Liter und einen Kristallwassergehalt von 2 bis 5 Volumenprozent besitzt, wird auf etwa 1.000 °C erhitzt und bläht sich dabei durch Verdampfen des Kristallwassers auf das 10 bis 20-fache seines Ausgangsvolumens auf. Endprodukt dieses Blähprozesses ist ein grauweißes, poröses Granulat namens Perlite mit einer Schüttdichte von nur noch 50 bis 100 Gramm pro Liter (Tabelle 14), das in Korngrößen von 0 bis 3, 0 bis 6 und 2 bis 6 Millimetern in den Handel kommt.

Das leichte, nun „Perlite“ (genauer „Blähperlite“) genannte Granulat hat ein sehr hohes Porenvolumen von etwa 95 Prozent. Während die Kernporen im Innern des Granulats geschlossen sind, können die offenen Randporen Wasser oder Luft aufnehmen und wieder abgeben. Die Wasser- und Luftkapazität sind abhängig von der Korngröße. Grobkörniges Material besitzt eine niedrigere Wasserkapazität, jedoch eine höhere Luftkapazität als feinkörniges. Perlite ist gut wiederbenetzbar, strukturstabil und frostbeständig. Es handelt sich um ein inertes (chemisch inaktives) Material ohne Austauschkapazität sowie ohne pflanzenverfügbare Nährstoffe und weitere lösliche Salze. Der hohe pH-Wert von 7 bis 8 ist kaum gepuffert und stellt daher pflanzenbaulich kein Problem dar. Perlite ist aufgrund seiner Herkunft frei von Unkrautsamen und Krankheitserregern.

Perlite hat sich mit einem Anteil von etwa 20 Volumenprozent in Kultursubstraten zur Verbesserung der Luftkapazität und Strukturstabilität bewährt, insbesondere bei Verwendung in Ebbe-Flut-Systemen. Es kann auch als rein mineralisches Kultursubstrat für die Stecklingsbewurzelung oder die Anzucht von Sprossen zum Einsatz kommen. Ein weiterer Anwendungsbereich sind erdelose Kultursysteme, zum Beispiel zum Anbau von Fruchtgemüse oder Schnittblumen, in denen Perlite als inertes Material eine exakte Steuerung der Nährstoffversorgung erlaubt. Man füllt zu diesem Zweck Container oder Folienschläuche, zum Teil in Kombination mit Kokosmaterialien oder Holzfasern. Wegen der Staubentwicklung beim Abfüllen von frischem Perlite sollte man es anfeuchten und einen Atemschutz verwenden. Perlite ist temperaturbeständig bis 800 °C und lässt sich daher dämpfen und erneut einsetzen, nach Herstellerangaben bis zu fünf Mal.

Wie andere mineralische Stoffe wird Perlite häufig in der Bauindustrie als Dämmmaterial verwendet und dafür in der Regel mit Paraffinharzen oder Bitumen ummantelt. Außerdem spielen die Salzgehalte für diesen Verwendungszweck keine Rolle. Um Schäden an Kulturen vorzubeugen, sollte kein Perlite für Bauzwecke, sondern nur hochwertiges, für die Verwendung im Gartenbau vorgesehenes Perlite zum Einsatz kommen, das die Qualitätsanforderungen nach RAL oder RHP erfüllt. Perlite ist in der Betriebsmittelliste des Forschungsinstituts für den biologischen Landbau (FiBL) gelistet.

5.2.5 Weitere mineralische Stoffe

Weitere mineralische Substratausgangsstoffe spielen im Bereich der „klassischen“ Kultursubstrate eine untergeordnete Rolle. Einige dieser Stoffe lassen sich gut als strukturstabilisierende Komponente Containersubstraten für Stauden und Gehölze beimischen. Ihr Haupteinsatzgebiet ist allerdings der Garten- und Landschaftsbau, außerdem werden sie zum Teil auch in der Innenraumbegrünung verwendet. Weiterhin gibt es noch spezielle Anwendungsbereiche wie die Jungpflanzenanzucht oder die Überwinterung von Zwiebeln und Knollen. Außer beim Sand handelt es sich bei diesen Stoffen um offenporige Materialien.

Als **Sand** bezeichnet man in der Bodenkunde Teilchen mit einer Korngröße von 0,063 bis 2,0 Millimetern, die als Sedimente durch Gesteinsverwitterung entstanden sind und zum größten Teil aus Quarz (Siliciumdioxid) bestehen. Für Kultursubstrate verwendet man gewaschene, möglichst kalkfreie Silikate. Sand besitzt ein geringes Wasserspeichervermögen und eine gute Dränwirkung, weswegen früher oft Anteile von bis zu 30 Volumenprozent zu Torf gemischt wurden. Wegen seiner hohen Rohdichte von 1.400 bis 1.700 Gramm pro Liter (Tabelle 15) drückt Sand jedoch leichte Substratkomponenten zusammen, wodurch der Feinporenanteil und damit die Wasserkapazität des Kultursubstrats erhöht wird und man eher das Gegenteil der gewünschten Wirkung erzielt. Außerdem verbessert Sand zwar die Standfestigkeit von Töpfen, ist jedoch auch für eine Erhöhung der Transportkosten verantwortlich. Traditionell wurde Sand mit Anteilen von etwa 5 Volumenprozent in Vermehrungs- und Presstopfsubstraten verwendet, wodurch die Steckarbeit sowie die Reinigung von Presswerkzeugen erleichtert wird. Dies führt jedoch auch zu hohem Verschleiß an den Werkzeugen, weswegen man heute häufig auf den Einsatz von Sand verzichtet. Die chemischen Eigenschaften von Sand, wie pH-Wert, Salzgehalt und Gehalt an löslichen Nährstoffen hängen vom Ausgangsmaterial ab. Sand kann als inertes Material betrachtet werden.

Als **Vermiculite** (genauer „Blähvermiculite“) wird eine spezielle Art von Ton eingesetzt, dessen Ausgangsmaterial Vermiculit, ein Dreischicht-Tonmineral aus Magnesium-Aluminium-Eisen-Silikaten, im Tagebau gewonnen wird. Die Hauptvorkommen für Vermiculit liegen in Südafrika, den USA und in Brasilien. Das plättchenförmige Mineral enthält Kristallwasser zwischen den Schichten, das beim Erhitzen verdampft und die Schichten auf das 15- bis 35-fache ihres ursprünglichen Volumens auseinandertreibt. Die dabei entstehenden langen, wurmförmigen Gebilde führten zu dem Namen Vermiculite (lat. vermiculus = Würmchen). Der „Exfoliation“ genannte Prozess erfolgt bei Temperaturen über 850 °C. Vermiculite ist leicht und besitzt mit 90 bis 95 Volumenprozent ein hohes Porenvolumen (Tabelle 15). Luft und Wasserkapazität variieren stark je nach Herkunft und Körnung. Zu beachten sind die sehr hohen Magnesiumgehalte von bis zu 500 Milligramm pro Liter und hohe Kaliumgehalte bis über 200 Milligramm K_2O pro Liter. Vermiculite besitzt eine große innere Oberfläche und verfügt über eine hohe Kationenaustauschkapazität. Als Beimischung in Kultursubstraten sind bis zu 20 Volumenprozent möglich. Vermiculite ist jedoch mechanisch wenig stabil und zerfällt sehr rasch in einzelne glitzernde Blättchen. Da sich das Material auch bei Wassersättigung noch trocken anfühlt, muss die Bewässerung entsprechend angepasst werden. Vermiculite wird weiterhin zum Abstreuen von Aussaaten sowie zum Überwintern von Knollen, Zwiebeln oder Wurzelstöcken verwendet, da es über einen längeren Zeitraum viel Wasser speichern kann, ohne zu verschlämmen. Dadurch ergibt sich eine gleichmäßige Feuchtigkeit bei ausreichender Durchlüftung. Frühere Berichte über eine Asbestkontamination von Vermiculite und eine mögliche Gesundheitsgefährdung bei der Anwendung beruhen auf Material aus einer Vermiculite-Mine in Libby

(Montana), das mit einem Asbestmineral als Nebenbestandteil kontaminiert war. Die Mine ist seit 1990 geschlossen.

Bims und **Schaumlava** sind im Zuge von Vulkanausbrüchen entstanden, bei denen 800 bis 1.200 °C heißes Magma herausgeschleudert wird. Die aus dem Erdinneren kommende, unter hohem Druck stehende Gesteinsschmelze wird dabei dekomprimiert, was zu einer starken Ausdehnung der eingeschlossenen magmatischen Gase (hauptsächlich H₂O, CO₂, H₂S) führt. Die dadurch gebildeten Bläschen bleiben bei rascher Abkühlung und Verfestigung erhalten und verleihen dem erstarrten Material einen bestimmten Porosierungsgrad. Bei sehr hoher Porosität spricht man von Bims, bei geringerer Porosität und überwiegend groben Poren von Schaumlava. Europäische Vorkommen liegen in der Eifel, in der Türkei sowie auf Gyalí (Griechenland), Teneriffa, Island und Lipari (Italien). Die Zusammensetzung der Mineralien variiert stark je nach Herkunft. Je mehr feine Poren vorhanden sind, umso heller erscheint das Material. Bims zeigt eine gelbweiße oder grauweiße Färbung, Schaumlava ist rotbraun bis grauschwarz. Je nach Herkunft und Verwendungszweck wird das Rohmaterial gewaschen, gebrochen und fraktioniert. Durch das hohe Gesamtporenvolumen ist reiner Bims das leichteste poröse Material natürlichen Ursprungs für gartenbauliche Kultursubstrate. In der Luftkapazität unterscheiden sich Bims und Schaumlava nicht wesentlich, Bims besitzt jedoch eine höhere Wasserkapazität als Schaumlava (Tabelle 15). Der pH-Wert von Bims und Schaumlava liegt im schwach sauren bis schwach alkalischen Bereich, ist aber nur schwach gepuffert und erweist sich daher als wenig stabil. Die Gehalte an wasserlöslichen Salzen sowie an Stickstoff und Phosphat sind sehr gering, Kalium liegt in einer günstigen Menge vor (100 bis 400 Milligramm K₂O pro Liter). Trotz der großen inneren Oberfläche von Bims und Schaumlava weisen sie nur eine geringe Kationenaustauschkapazität auf. Die beiden Materialien werden hauptsächlich im Garten- und Landschaftsbau, weiterhin in der Innenraumbegrünung sowie in kleinerer Menge für Containersubstrate eingesetzt. Sie werden sowohl in reiner Form als auch in Mischungen mit anderen mineralischen oder organischen Komponenten verwendet.

Weiterhin gehört **Ziegelbruch** zu den überwiegend im Garten- und Landschaftsbau eingesetzten Stoffen. Er fällt zum einen als Restmaterial aus Ziegeleien, beispielsweise in Form von zerbrochenen Ziegeln oder Fehlproduktionen an, andererseits als Recyclingmaterial aus Dach- und Mauerwerksziegeln, das von Gebäudeabbrüchen stammt. Recyclingmaterial muss auf mögliche Kontaminationen wie Schwermetalle oder organische Verunreinigungen geprüft sowie von eventuell enthaltenen Fremdstoffen befreit werden. Außerdem ist ein möglichst vollständiges Absieben von Feinmörtel nötig, damit ein Anstieg des pH-Werts in fertigen Substratmischungen durch den Kalkgehalt des Mörtels vermieden wird (Tabelle 15). In der Praxis wird meist Recycling-Ziegelbruch verwendet, dessen Ökobilanz durch den geringen Energieaufwand bei der Herstellung und kurze Transportwege positiv ausfällt. In Mischung mit organischen und anderen mineralischen Komponenten lassen sich mit Ziegelbruch auch torf reduzierte oder torffreie Kultursubstrate zum Beispiel für Kübelpflanzen oder Baumschulware in Containern herstellen.

Ein weiterer Reststoff ist **Kesselsand**, der als Kraftwerksnebenprodukt bei der Verbrennung von Steinkohle übrigbleibt, da Steinkohle neben Kohlenstoff 5 bis 20 Prozent mineralisches Begleitgestein enthält. Der stark poröse Kesselsand wurde erfolgreich als Substratkomponente bei Kübel- und Balkonpflanzen, Stauden und Baumschulgehölzen geprüft.

Auch **Porlith** oder **Ölschieferschlacke** eignet sich gut im Garten- und Landschaftsbau sowie für die Herstellung von Kultursubstraten im Baumschulbereich. Es handelt sich hierbei um eine Art von gebranntem porösem Ton, dessen Ausgangsmaterial bergmännisch als „Ölschiefer“ bezeichnet wird. Dieses Sediment aus Ablagerungen von Tonpartikeln und Resten von Lebewesen, vor allem Algen und Bakterien, das sich als dicke Schicht über 1,5 Millionen Jahre am Grund eines Vulkankratersees angesammelt und dabei verfestigt hat, wurde früher zur Herstellung von synthetischem Rohöl verschwelt. Die aufgehalteten Überreste verbrannten, wobei die entstehenden Gase das Tongestein aufblähten und zu einer porösen Struktur des ziegelroten Schmelzprodukts führten. Die heute als „Porlith“ vertriebene Ölschieferschlacke stammt aus Haldenmaterial der Grube Messel. Die Grube selbst steht aufgrund der dort gefundenen, einzigartig gut erhaltenen Fossilien als Weltnaturerbe unter dem Schutz der UNESCO.

Natürliche Zeolithe sind wasserhaltige, kristalline Aluminiumsilikate, die sekundär in Hohlräumen vulkanischer Ablagerungen entstehen. Man kennt etwa 60 natürliche Zeolithe mit unterschiedlichen Gerüststrukturen, davon neun in abbauwürdigen Lagerstätten. Die verschiedenen Klimabedingungen der jeweiligen Standorte und die unterschiedliche Beschaffenheit der vulkanischen Ablagerungen bedingen charakteristische Eigenschaften jedes natürlichen Vorkommens. Durch seine regelmäßigen Hohlraumstrukturen besitzt das Mineral eine große innere Oberfläche und eine hohe Kationenaustauschkapazität. In der Praxis wird meist Tuffgestein mit unterschiedlich hohen Zeolithanteilen verwendet, um hochwertige, dauerhaft strukturstable Kultursubstrate auf rein mineralischer Basis oder mit geringen Anteilen an organischen Substratausgangsstoffen herzustellen. Zum Einsatz kommen Zeolithe wegen des hohen Preises derzeit nur in der Innenraumbegrünung.

Tabelle 15: Eigenschaften weiterer mineralischer Substratausgangsstoffe

Parameter		Sand	Vermiculite	Bims	Schaum-lava	Ziegelbruch
Rohdichte trocken	g/l	1.400 - 1.700	130 - 170	500 - 600	900 - 1.200	950 - 1.400
Wasserkapazität	Vol.-%	keine Angabe	45 - 85	25 - 45	15 - 25	20 - 30
Luftkapazität	Vol.-%	keine Angabe	5 - 50	35 - 55	30 - 45	25 - 40
pH-Wert		abhängig vom Kalkgehalt	7,5 - 8,2	6,5 - 8,2	6,5 - 8,2	8,0 - 9,0
Salz	g/l	keine Angabe	< 0,1	0,10 - 0,25	0,10 - 0,25	0,5 - 2,5
Nährstoffe	mg/l	keine Angabe	K ₂ O: 70 - 280 Mg: 260 - 510	K ₂ O: 100 - 400	K ₂ O: 200 - 400	K ₂ O: 50 - 200 Ca: 580 - 840
Kationenaustauschkapazität	mmol _c /l	keine	40 - 90	20 - 50	ca. 20	unterschiedlich, i. d. R. < 50
Sonstiges		CaCO ₃ -Gehalt z. T. hoch	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe	Na-, Cl- und CaCO ₃ -Gehalt z. T. hoch

5.2.6 Bedeutung mineralischer Substratausgangsstoffe für Kultursubstrate

Im Vergleich zu organischen Substratausgangsstoffen finden mineralische Materialien in Kultursubstraten in deutlich geringerer Menge Verwendung. Im Jahr 2013 betrug ihr Anteil nur gut sechs Prozent der insgesamt eingesetzten Substratausgangsstoffe. Wesentliche Gründe hierfür liegen im meist hohen Gewicht, dem häufig geringen Wasserspeichervermögen und in Problemen bei der maschinellen Verarbeitung. Deshalb werden mineralische Materialien bei der Nennung von Torfersatzstoffen häufig nicht berücksichtigt, wenngleich sie einen gewissen Anteil zum Ersatz von Torf beitragen können.

BZL-Medien



Staudenmischpflanzungen

Sie sind überall ein Hingucker: farbenfrohe Staudenbeete. Diese Broschüre stellt 32 von Experten erprobte Mischpflanzungen vor, die pflegeleicht sind und das ganze Jahr attraktiv aussehen. Sie finden darin für jeden Standort mit unterschiedlichen Licht- und Bodenverhältnissen die passende Mischung – selbst für schattige Plätze. Zu jeder Mischung gibt es eine ausführliche Pflanzenliste und Tipps zur Planung, Anlage und Pflege. Die Broschüre richtet sich an Landschaftsgärtner und Kommunen, die Grünflächen planen, aber auch an private Gartenbesitzer.

Broschüre, DIN A5, 148 Seiten, 2. Auflage 2017, Bestell-Nr. 1538



Nützlinge im Garten

Tierische Helfer: Die Broschüre stellt Ihnen mehr als 70 Tiere vor, die im Garten helfen, das ökologische Gleichgewicht zu stabilisieren und Schädlinge von den Pflanzen fern zu halten. Das sind zum großen Teil Insekten, aber auch Reptilien und kleine Säugetiere wie Eidechsen und Igel. Sie erfahren, wogegen ein Nützling wirksam ist, wie er lebt, woran er zu erkennen ist und was Sie tun können, damit er sich in Ihrem Garten wohl fühlt. Wenn Sie sich nicht sicher sind, wen Sie vor sich haben, hilft eine Übersicht in der Broschüre, das Tier zu bestimmen. Eine Tabelle stellt den häufigsten Schädlingen im Garten ihre Gegenspieler gegenüber.

Broschüre, DIN A5, 176 Seiten, 2. Auflage 2019, Bestell-Nr. 1536



Bodentypen – Nutzung, Gefährdung, Schutz

So vielfältig wie die Landschaften sind auch die Böden Deutschlands. Als Wasser- und Nährstoffspeicher sind sie die Produktionsgrundlage für die Land- und Forstwirtschaft und den Gartenbau. Ihrem Schutz kommt daher große Bedeutung zu. Ausgehend von der Entstehungsgeschichte der Bodentypen informiert das Heft über deren Eigenschaften wie zum Beispiel die Korngrößenverteilung, den pH-Wert und den Humusgehalt. Farbfotos von Bodenprofilen veranschaulichen die wichtigsten Merkmale 25 ausgewählter Bodentypen. Landwirte und Berater erfahren, für welche Art der Bewirtschaftung der jeweilige Typ am besten geeignet ist und wo er seine Stärken und Schwächen hat. Außerdem erhalten sie darauf abgestimmte Tipps zur Bodenbearbeitung und zur Düngung.

Broschüre, 92 Seiten, DIN A5, 6. Auflage 2019, Bestell-Nr. 1572

Freund oder Feind? BZL-App „Nützlinge im Garten“



Jetzt mit Zoomfunktion

Die BZL-App „Nützlinge im Garten“ zeigt, wie man Nützlinge im Garten erkennt und wie man sie fördern kann. Gartenbesitzer erfahren, gegen welche Schädlinge ein Nützling wirkt, wie er lebt und unter welchen Umständen er sich besonders wohl fühlt.

Ein einfacher Bestimmungsschlüssel hilft Schritt für Schritt zu erkennen, welches Tier man vor sich hat. In der neuen Version lassen sich Texte und Bilder vergrößern, so dass man Details noch besser erkennen und vergleichen kann.

Kostenlos für
iOS



Android



Bestell-Nr. 0006

BZL-Videos zum Obstbaumschnitt



Fünf Filme im BZL-YouTube-Kanal veranschaulichen, wie man einen Obstbaum richtig schneidet.

Egal, ob man einen jungen oder alten Baum vor sich hat - oder überhaupt erst einen pflanzen möchte - für jede Situation zeigt und erläutert ein Fachmann, wie man beim Schnitt vorgeht und was beachtet werden muss.

Hier geht's zu den Videos im BZL-YouTube-Kanal:



Was bietet das BZL?

Internet

www.landwirtschaft.de

Vom Stall und Acker auf den Esstisch – Informationen für Verbraucherinnen und Verbraucher

www.praxis-agrar.de

Von der Forschung in die Praxis – Informationen für Fachleute aus dem Agrarbereich

www.bzl-datenzentrum.de

Daten und Fakten zur Marktinformation und Marktanalyse

www.bildungsserveragrar.de

Gebündelte Informationen zur Aus-, Fort- und Weiterbildung in den Grünen Berufen

Social Media

Folgen Sie uns auf Twitter und YouTube



@bzl_aktuell



YouTube

Medienservice

Alle Medien erhalten Sie unter www.ble-medien-service.de



Unsere Newsletter

www.landwirtschaft.de/newsletter
www.praxis-agrar.de/Newsletter

Impressum

0129/2020

Herausgeberin

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
Präsident: Dr. Hanns-Christoph Eiden
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Telefon: +49 (0)228 6845-0
Internet: www.ble.de, www.landwirtschaft.de,
www.praxis-agrar.de

Text, Abbildungen und Tabellen

Dr. Susanne Amberger-Ochsenbauer und
Prof. Dr. Elke Meinken

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf,
Institut für Gartenbau, 85354 Freising

Bilder

Titelbild: Torfmoos, Dr. Susanne Amberger-Ochsenbauer,
Bild S. 2: aufgefaserter Rohrglanzgras, Daniel Hauck
Bilder U4: Getty Images (dmf87, Sjo, Bim, deyanarobova)

Redaktion

Anne Staeves, BZL in der BLE, Referat 412 –
Experten- und Fachkommunikation

Layout

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Referat 411 – Medienkonzeption und -gestaltung

Druck

Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG
Sontraer Straße 6
60386 Frankfurt am Main



Das Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (BZL) ist der neutrale und wissenschaftsbasierte Informationsdienstleister rund um die Themen Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Imkerei, Garten- und Weinbau – von der Erzeugung bis zur Verarbeitung.

Wir erheben und analysieren Daten und Informationen, bereiten sie für unsere Zielgruppen verständlich auf und kommunizieren sie über eine Vielzahl von Medien.

www.praxis-agrar.de



Bestell-Nr. 0129
Preis: 3,00 €