



© Klasmann-Deilmann GmbH

Kultursubstrate und Blumenerden – Eigenschaften, Ausgangsstoffe, Verwendung

Gerald K. Schmilewski

Herausgegeben vom Industrieverband Garten e.V.



© Floragard Vertriebs-GmbH

IVG
INDUSTRIEVERBAND
GARTEN E.V.

Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Pflanze ist das Herzstück des Gartenbaus: Allein in Deutschland produzieren Gartenbaubetriebe der Sparten Gemüsebau (einschließlich Speisepilzanbau), Zierpflanzenbau (einschließlich Staudenkulturen), Baumschule und Obstbau Ware im Wert von mehreren Milliarden Euro. Bei seiner Herstellung ist die Pflanze von kaum einem Produkt so abhängig wie von dem Substrat, in dem es heranwächst. Das macht die Substrat- und Erdenwirtschaft zu einem der wichtigsten Partner des Gartenbaus. Im Hinblick auf die Entwicklung, die Produktion und den Vertrieb von gärtnerischen Kultursubstraten und Blumenerden ist die deutsche Industrie weltweit führend – in keinem anderen Land werden jährlich vergleichbare Mengen produziert. Seit gut 60 Jahren wächst die Branche stetig und ist heute für den Erwerbsgartenbau unverzichtbar.

In den vergangenen Jahren hat sich die Substratindustrie enorm weiterentwickelt: So ist es heute möglich, durch die computergestützte Zugabe von Ausgangsstoffen – auf das Gramm genau – für den Anwender individualisierte Mischungen herzustellen. In den Datenbanken der Unternehmen befinden sich tausende Rezepturen, die, basierend auf den Ansprüchen der jeweiligen Anwender, entwickelt wurden. Die Substrat- und Erdenbranche besitzt – unterstützt von Hochschulen und Landwirtschaftskammern – ein enormes Wissen hinsichtlich ihrer Produkte, welches jedoch bislang in keinem umfassenden Werk zusammengestellt wurde. 1992 hat die Zentrale Informationsstelle Torf und Humus (ZIT) das Lehrer-Service Medienpaket 'Kultursubstrate im Gartenbau - Ausgangsstoffe, Eigenschaften und Verwendung' veröffentlicht. Das hier vorliegende Fachbuch geht aber weit über die ZIT-Veröffentlichung hinaus und informiert detailliert über chemische, physikalische und biologische Eigenschaften von Kultursubstraten und Blumenerden sowie deren Analyse und Verwendung. Dabei werden sowohl wissenschaftliche Erkenntnisse und praktische Aspekte berücksichtigt.

Mit der vorliegenden Veröffentlichung soll nun eine Lücke geschlossen werden. Sie richtet sich an Berufs- und Meisterschüler, an Gartenbautechniker, an Studierende der gartenbaulichen Hochschulen und Universitäten sowie an die Mitarbeiter der Substratunternehmen. Geliefert werden vollumfängliche Informationen zu Roh- und Ausgangsstoffen sowie zum fertigen Produkt. Basierend auf aktuellen Erkenntnissen und Forschungsergebnissen ist somit eine umfassende Dokumentation zum Thema Blumenerden und Kultursubstrate entstanden.

Das Buchmanuskript wurde von Gerald Schmilewski erarbeitet und verfasst wofür wir uns auf diesem Wege noch einmal herzlich bedanken. Darüber hinaus bedanken wir uns bei der Arbeitsgruppe um Herrn Schmilewski, nämlich Winfried Temming, Silke Kumar und Franzi Baumeister für die vielen begleitenden Anregungen zum Buchinhalt und für die Durchsicht und Kommentierung des Manuskripts.

Dr. Arne B. Hückstädt
Industrieverband Garten (IVG) e.V.

Inhaltsverzeichnis

1	Begriffsbestimmungen	10
1.1	Boden.....	10
1.2	Kultursubstrate und Blumenerden.....	10
1.2.1	Betriebserden/Praxiserden.....	11
1.2.2	Industriell hergestellte Kultursubstrate und Blumenerden	12
1.2.3	Baumsubstrate	12
1.2.4	Dachsubstrate	12
1.3	Substratausgangsstoffe.....	13
1.4	Substratzusätze	13
2	Die Entwicklung und Bedeutung von Kultursubstraten und Blumenerden	14
2.1	Geschichtliches.....	14
2.2	Kultursubstrate als Produktionsmittel im Gartenbau	15
3	Untersuchungsmethoden	16
3.1	Normen und andere Regelwerke	16
3.1.1	Nationale Normen.....	16
3.1.2	Europäische Normen und Europäische Fachberichte	17
3.1.3	Internationale Normen.....	17
3.1.4	Die Regelwerke des VDLUFA.....	19
3.1.5	Methodenvorschriften der Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V.	19
4	Wertbestimmende Eigenschaften.....	21
4.1	Probenahme	21
4.1.1	Probenahme aus verpacktem Material und losen Lieferungen	21
4.1.2	Probenahme aus Töpfen und Containern.....	22
4.2	Allgemeine Pflanzenverträglichkeit	22
4.3	Physikalische Eigenschaften	25
4.3.1	Struktur und Strukturstabilität	25
4.3.2	Partikelgrößenverteilung	26
4.3.3	Rohdichte (Volumengewicht)	27
4.3.4	Gesamtporenvolumen	28
4.3.5	Wasser- und Lufthaushalt	28
4.3.6	Mechanische Eigenschaften	35
4.4	Chemische Eigenschaften.....	37
4.4.1	pH-Wert	37
4.4.2	Nährstoffe und Nährstoffgehalt	40

4.4.3	Organische Substanz und Asche	42
4.4.4	Elektrische Leitfähigkeit und Salzgehalt	45
4.4.5	Pufferungsvermögen	46
4.5	Biologische Eigenschaften	49
4.5.1	Keimfähige Samen und austriebsfähige Pflanzenteile	49
4.5.2	Mikrobielle Aktivität	50
4.5.3	Krankheitssuppressivität und Krankheitskonduktivität	54
4.6	Wirtschaftliche Faktoren	55
4.6.1	Pflanzenansprüche und Kulturverfahren	55
4.6.2	Qualitätsbeständigkeit	55
4.6.3	Verfügbarkeit	56
4.6.4	Preis	57
4.7	Ökobilanzen	58
4.7.1	Die Quantis-Studie	58
5	Ausgangsstoffe für Kultursubstrate und Blumenerden	65
5.1	Organische Substratausgangsstoffe	65
5.1.1	Torf	65
5.1.2	Kompost	83
5.1.3	Holzfaserstoffe (Holzfasern)	90
5.1.4	Kokosprodukte	98
5.1.5	Rindenhumus	104
5.1.6	Pinienrinde	107
5.1.7	Reisspelzen	108
5.1.8	Xylit (Braunkohlefaserholz, Faserxylit)	110
5.1.9	Flachsschäben	113
5.1.10	Torfmoos (<i>Sphagnum</i>)	115
5.1.11	Weitere organische Ausgangsstoffe in der Diskussion	118
5.2	Mineralische Substratausgangsstoffe	126
5.2.1	Ton	126
5.2.2	Blähton	130
5.2.3	Gebrannte Tongranulate	132
5.2.4	Blähperlite	134
5.2.5	Blähvermiculit (exfolierter Vermiculit)	138
5.2.6	Sand	140
5.2.7	Bims und Schaumlava	141
5.2.8	Weitere mineralische Ausgangsstoffe	142

5.3	Organisch-synthetische Ausgangsstoffe (Schaumkunststoffe)	145
5.3.1	Geschlossenzellige Schaumkunststoffe	145
5.3.2	Offenzelliger Harzschaum	146
6	Zusätze für Kultursubstrate und Blumenerden	147
6.1	Düngemittel	147
6.1.1	Grunddüngung des Substrats	147
6.2	Kalk	152
6.2.1	Calciumcarbonat (kohlensaurer Kalk)	152
6.2.2	Geologische Formation und Kalkherkunft	153
6.2.3	Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen	153
6.2.4	Reaktivität kohlensaurer Kalke	153
6.2.5	Kalkhärte	153
6.2.6	Mahlfeinheit und spezifische Oberfläche des Kalks	154
6.2.7	Kalkmenge in Abhängigkeit der Eigenschaften der Ausgangsstoffe	155
6.2.8	Wirkung von Düngemitteln auf die Neutralisationswirkung von Kalk	155
6.2.9	Einfluss anderer Ausgangsstoffe	157
6.3	Tenside (Netzmittel)	157
6.3.1	Eigenschaften von Tensiden	157
6.4	Bindemittel	160
6.5	Pflanzenstärkungsmittel	161
6.6	Pflanzenschutzmittel	162
6.6.1	Chemische Pflanzenschutzmittel	162
6.6.2	Biologische Pflanzenschutzmittel	163
6.7	Hydrogele	164
6.8	Färbemittel	165
7	Herstellung von Kultursubstraten und Blumenerden	166
7.1	Eigenherstellung oder Industriesubstrat?	166
7.2	Zusammensetzung von Substraten	167
7.2.1	Auswahl von Substratausgangsstoffen und -zusätzen für die Substratherstellung	167
7.3	Dosieren und Mischen	171
7.4	Lieferformen	172
7.4.1	Schüttdichte, Menge (Volumen), Gebrauchsvolumen	174
7.5	Qualität und Qualitätssicherungssysteme	176
7.5.1	Interne Qualitätssicherung (Eigenüberwachung)	177
7.5.2	Externe Qualitätssicherungssysteme (Fremdüberwachung)	177
7.5.3	Die RAL-Gütesicherung der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.	180

7.5.4	Europäische Qualitätssicherung für Kompost und Gärprodukte (ECN-QAS)	181
7.5.5	Das LUFA-Gütesiegel für Blumenerden	182
7.5.6	Das Qualitätssicherungssystem der RHP	182
7.5.7	Das DLG-Qualitätssiegel	184
7.5.8	Das MPS-Zertifizierungsschema	184
7.5.9	Qualitätsmanagementsysteme nach DIN EN ISO 9001	185
7.5.10	Das Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14001	187
7.5.11	Der internationale Sozialstandard SA 8000	187
7.5.12	Richtlinien für Substrate für den Ökologischen Pflanzenanbau	188
7.5.13	EU-Umweltzeichen (für Substrate, Bodenverbesserer und Mulch)	189
7.5.14	Das RPP-Zertifizierungssystem für Torf	190
7.5.15	Das DEFRA-Zertifizierungsschema für verantwortlich gewonnene und produzierte Kultursubstrate und Blumenerden im Vereinigten Königreich	191
8	Gesetzliche Rahmenbedingungen und Richtlinie	192
8.1	Kultursubstrate und Blumenerden im deutschen Düngemittelrecht	192
8.1.1	Düngegesetz (DüngG)	192
8.1.2	Düngemittelverordnung (DüMV)	192
8.2	Eichgesetz	195
8.3	Fertigpackungsverordnung (FertigPackVO)	195
8.4	Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)	196
8.5	EU-Öko-Verordnung	196
9	Kultursubstrate in den Sparten des Gartenbaus und anderen Bereichen	197
9.1	Produktionsgartenbau	197
9.1.1	Gemüsebau und Kräuterbau	197
9.1.2	Anbau von Speisepilzen	198
9.1.3	Blumen- und Zierpflanzenbau sowie Staudenbau unter Glas	199
9.1.4	Baumschule und Staudenbau	200
9.1.5	Obstbau	200
9.1.6	Garten- und Landschaftsbau	201
9.1.7	Friedhofsgärtnerei	202
9.2	Blumenerden für den Hobbybereich	203
9.3	Biosubstrate	204
10	Gefährdungen und Risiken beim Umgang mit Kultursubstraten und Substratausgangsstoffen	206
10.1	Erhitzung und Brandgefahr	207
10.1.1	Selbsterhitzung von Torf	207

10.2	Anorganische Verunreinigungen	209
10.3	Organische Verunreinigungen	210
10.4	Staub	210
10.5	Mikrobiologische Gefahrenquellen	211
10.5.1	Humanpathogene	211
10.6	Weitere Schadorganismen	213
10.6.1	Kohlhernie	213
10.6.2	Schadnematoden	213
10.6.3	Trauermücken	213
10.6.4	Dickmaulrüssler	214
10.7	Maschinen Störstoffe	215
10.8	Gasförmige pflanzenschädigende Stoffe	215
10.8.1	Anaerobe Verhältnisse in verdichteten Substraten	215
10.9	Radioaktivität	217
10.10	Fehlanwendungen und -handhabungen	217
10.11	Vermeiden von Risiken und Problemen im Gartenbaubetrieb	218
11	Lagerung von Kultursubstraten, Blumenerden und Ausgangsstoffen	220
11.1	Gefahrenquellen und deren Auswirkungen bei der Lagerung	220
11.1.1	Witterungs- und lagerungsbedingte Veränderungen der Substratchemie	220
11.1.2	Witterungs- und lagerungsbedingte Veränderungen der Substratphysik	223
11.1.3	Verunreinigungen und Substratkontaminationen während der Lagerung	223
11.2	Lagerfähigkeit und sachgerechte Lagerung	224
12	Torfgewinnung und Moorschutz	226
12.1	Geschichtlicher Abriss über die Moornutzung in Deutschland mit Schwerpunkt Niedersachsen	226
12.1.1	Siedlungsraum, landwirtschaftliche Nutzfläche, Brenntorf	226
12.2	Torfabbau heute	228
12.2.1	Torfabbau ist gesetzlich streng geregelt	228
12.2.2	Gesetze in Deutschland/Niedersachsen	228
12.2.3	Richtlinien der EU mit Bezug zum Torfabbau	230
12.2.4	Moor und Torf in Europa und weltweit	231
12.3	Moornutzung und Klimaschutz	232
13	Zukünftige Entwicklungen bei Kultursubstraten und Blumenerden	234
13.1	Torf und andere Substratausgangsstoffe	234
13.1.1	Torf-Trends	235
13.1.2	Komposte, Holzfaserstoffe und Kokos	238
13.1.3	Torfmooskultivierung	239

13.1.4	Substratmikrobiologie	240
13.1.5	Zertifizierung aller Substratausgangsstoffe.....	240
14	Organisationen und Institutionen	241
15	Literatur.....	242

1 Begriffsbestimmungen

Begriffsbestimmungen sind Definitionen, die dazu dienen, einen möglichst eindeutigen Unterschied zwischen verschiedenen Begriffen herzustellen – sie grenzen einen Begriff mit sprachlichen Mitteln ab. Solche begrifflichen Abgrenzungen sind auch bei Kultursubstraten und Blumenerden wichtig und finden sich in Gesetzestexten, Verordnungen und Normen wieder. Begriffe können aber auch gezielt irreführend gestaltet werden. ‚Cocopeat‘ (Kokostorf) ist hierfür ein gutes Beispiel (s. Kap. 5.1.5).

1.1 Boden

Im Scheffer/Schachtschabel, Lehrbuch der Bodenkunde (BLUME et al. 2010), werden Böden als belebter Teil der oberen Erdkruste beschrieben. Sie haben eine Mächtigkeit von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Zehnermetern. Sie sind nach unten durch festes oder lockeres Gestein, nach oben meist durch eine Vegetationsdecke begrenzt. Zur Seite gehen sie in benachbarte Böden über. Böden bestehen aus Mineralien und organischer Substanz, die das Bodengefüge mit Hohlräumen bilden. Diese sind mit Wasser und darin gelösten Stoffen sowie der Bodenluft gefüllt. Böden können je Gramm Millionen von Organismen enthalten.

Bodenbildung ist ein fortlaufender Prozess, bei dem Gestein und abgestorbene Pflanzenteile dem Klima und bestimmten Prozessen ausgesetzt sind. Bodenbildende Umwandlungsprozesse sind Gesteinsverwitterung, Mineralumwandlung, Verlehmung sowie Zersetzung organischer Substanz und Humifizierung (s. Kap. 5.1.1.2). Zu den bodenbildenden Umlagerungsprozessen gehören Ent- und Versalzung, Entkalkung und Carbonatisierung, Tonverlagerung (vgl. Kap. 5.2.1) sowie Podsolierung. Diese Prozesse führen zu den für die verschiedenen Böden typischen Bodenhorizonten.

Viele Böden unserer Erde sind noch natürliche, nicht vom Menschen genutzte Böden. Weltweit betrachtet trifft das auch auf Moorbö-

den zu (s. Kap. 12.2.4). Seit jeher werden Böden aber auch als Standort für landwirtschaftliche Kulturpflanzen genutzt; man spricht von Kulturböden. Auch im Gartenbau gibt es viele Bereiche, in denen der Boden als unmittelbarer Standort für Pflanzungen dient: in Baumschulen, im Freilandgemüsebau, Freilandzierpflanzenbau und Obstbau. Man spricht dann von bodenabhängigen oder In-situ-Pflanzungen.

1.2 Kultursubstrate und Blumenerden

Der Begriff Substrat (lat. sub: unten, stratum: Schicht ≈ untere Schicht) wird je nach Fachgebiet für die Bezeichnung der verschiedensten Dinge benutzt. So ist ein Substrat beispielsweise in den Geowissenschaften das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung; in der Ökologie ist ein Substrat das Material, auf dem ein Organismus lebt; in der Mikrobiologie ist es das Nährmedium für in vitro vermehrte Pflanzen usw. Im gartenbaulichen Bereich, speziell in der Pflanzenkultur, spricht man von Kultursubstrat, häufig abgekürzt mit ‚Substrat‘. Vielfach wird der Begriff ‚gärtnerische Erden‘ oder kurz ‚Erden‘ als Synonym für Kultursubstrate verwendet. Dieser Begriff geht auf Eigenmischungen zurück, die der Gärtner früher selbst mischte und es teilweise auch heute tut. Zudem deutet der Begriff ‚Erde‘ auf den erdähnlichen Charakter des Materials hin. Allerdings gehören inzwischen viele nicht erdähnliche Materialien zu den Kultursubstraten oder deren Ausgangsstoffen, wie Mineralwolle, Bläherperlite, Blähton und andere. Im In- und Ausland gibt es viele Definitionen für Kultursubstrate/Blumenerden, die bestimmte Produkte einschließen, ausschließen oder unzureichend von anderen abgrenzen. Nachfolgend einige Beispiele aus Deutschland:

1. Im **DIN-Fachbericht 83** (DIN 1999) steht die Definition für Kultursubstrate, auf die man sich auf europäischer Ebene im Technischen Komitee 223 ‚Bodenverbes-

- serungsmittel und Kultursubstrate‘ des Europäischen Komitees für Standardisierung geeinigt hat: „Material, außer Boden in situ, in dem Pflanzen kultiviert werden“. Blumenerden sind hierbei auch abgedeckt, Dachsubstrate hat man seinerzeit nicht berücksichtigt. Im Rahmen der Erarbeitung einer harmonisierten EU-Düngemittelverordnung hat die EU-Kommission diese Definition in ihren Entwurf aufgenommen. Dach- und Baumsubstrate zur Verwendung im oder auf dem Boden sind dabei in die Definition eingeschlossen.
2. Nach deutschem **Düngegesetz** (BMELV 2009) sind Kultursubstrate „Stoffe, die dazu bestimmt sind, Nutzpflanzen als Wurzelraum zu dienen, und die dazu in Böden eingebracht, auf Böden aufgebracht oder in bodenunabhängigen Anwendungen genutzt werden“. Nach dieser Definition gehören sowohl Dachsubstrate als auch Baum- und andere Pflanzsubstrate, die in/auf den Boden gebracht werden, zu den Kultursubstraten. Blumenerden (vgl. Kap. 9.2) sind gemäß Düngegesetz auch Kultursubstrate. FISCHER (2010) betont, dass diese Definition „nicht dem seit Jahrzehnten in der fachlichen Praxis üblichen Begriff entspricht, der sich immer auf die bodenunabhängige Anwendung bezog“.
 3. Gemäß dem Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen, kurz **Pflanzenschutzgesetz** (BMJ 2012) sind Kultursubstrate „Erden und andere Substrate in fester oder flüssiger Form, die Pflanzen als Wurzelraum dienen“.
 4. Die **EU-KOMMISSION** (2015) hat in ihrem Beschluss zur Vergabe des EU-Umweltzeichens folgende Definition aufgenommen: „Kultursubstrat: als Substrat für die Wurzelentwicklung verwendetes Material, in dem Pflanzen gezogen werden“. Dabei wird kein Unterschied zwischen bodenabhängiger oder bodenunabhängiger Nutzung gemacht. Auch ist der Begriff ‚gezogen‘ nicht eindeutig.
 5. Gemäß **RAL-GZ 250/2** (RAL 2015) sind Kultursubstrate „im Allgemeinen Mischungen aus substratfähigen Ausgangsstoffen mit definierten pH-Werten und Nährstoffgehalten; sie dienen Pflanzen im Erwerbsgartenbau als Wurzelraum“. Diese Definition schließt Dachsubstrate, Baumsubstrate und Blumenerden aus, für die es nach RAL-GZ 250 spezifische Definitionen gibt.
 6. Gemäß **RAL-GZ 250/3** (RAL 2015) sind Blumenerden „im Allgemeinen Mischungen aus substratfähigen Ausgangsstoffen mit definierten pH-Werten und Nährstoffgehalten; sie dienen Pflanzen als Wurzelraum. Die Anwendung erfolgt ausschließlich durch den privaten Endverbraucher (Hobbybereich)“. Diese Begriffsbestimmung ist fast identisch mit der RAL-Definition für Kultursubstrate. Der einzige Unterschied liegt in der Zweckbestimmung Erwerbsgartenbau respektive Hobbygartenbau (s. Kap. 9.2).

In diesem Buch werden sowohl Kultursubstrate, wie sie im Produktionsgartenbau Verwendung finden, als auch Blumenerden, die für das Hobbygartensegment hergestellt werden, besprochen. Grundsätzlich liegen dabei die Definitionen gemäß RAL-GZ 250 (RAL 2015) zugrunde. Auf Baumsubstrate (s. Kap. 9.1.6.1) und Dachsubstrate (s. Kap. 9.1.6.2) wird nur kurz eingegangen.

Grundsätzlich sind Betriebserden auch Kultursubstrate, da sie die gleiche Verwendung finden wie industriell hergestellte Produkte. Zudem können sie nach denselben Methoden wie Kultursubstrate und Blumenerden analysiert werden.

Der Begriff ‚Substrat‘ wird nachfolgend häufig als Kurzform für Kultursubstrat und/oder Blumenerde verwendet.

1.2.1 Betriebserden/ Praxiserden

Aus der Landwirtschaft hat sich der Gartenbau entwickelt, in dessen Entwicklungsgeschichte der Mensch gelernt hat, nicht nur den gewachsenen Boden für den Anbau von gärtnerischen Kulturpflanzen zu nutzen, sondern selber Mi-

schungen herzustellen, die den Bedürfnissen der Pflanzen entsprechen und zum schnellen Kulturerfolg führen. Zum einen bestand der grundsätzliche Wunsch, sich vom gewachsenen Boden unabhängig zu machen, zum anderen gab es das Bedürfnis, Kulturpflanzen dort zu kultivieren, wo der Mensch den geeigneten Standort sah – aus sozialen, wirtschaftlichen oder klimatischen Gründen. Dies trifft bereits für die Zeit der Antike zu, in der dem Boden entnommene Erde in Gefäße gefüllt wurde und diese bepflanzt wurden. Später stellte man Mischungen aus Boden, Lauberde, Nadelerde, Kompost, Stallmist, Sand und anderen Materialien her, die man lokal vorfand.

Die heutigen Betriebs-/Praxiserden sind Gemische aus verschiedenen organischen, organisch-mineralischen oder mineralischen Ausgangsstoffen, die entweder im gärtnerischen Betrieb anfallen oder zugekauft werden. Hierbei sind betriebseigene Komposte oder zugekaufte Ausgangsstoffe wie Torf, Rindenhumus, Sand, Bläherperlite und andere zu nennen. Somit können Betriebserden aus den gleichen Ausgangsstoffen wie industriell produzierte Kultursubstrate gemischt werden. Allerdings trägt der Gärtner die alleinige Verantwortung für das Gelingen oder Misslingen von Mischungen und damit für seinen Kulturerfolg. Grundsätzlich können solche Erden auch vom Hobbygärtner hergestellt werden (s. Kap. 7.1).

1.2.2 Industriell hergestellte Kultursubstrate und Blumenerden

Wurden noch bis in die 1960er Jahre vornehmlich Betriebserden hergestellt, so produzierten danach zunehmend Substrathersteller Kultursubstrate für den Produktionsgartenbau und Blumenerden für den Hobbygartenbau. Betriebserden können in der Regel nicht die Produktionssicherheit geben, die heute für Kultursubstrate erforderlich ist. Das trifft umso mehr zu, je empfindlicher eine Kultur ist. Substratwerke beziehen ihre Ausgangsstoffe von zuverlässigen Lieferanten und aus qualitätsgesicherten Produktionsstätten. Ein Gartenbaubetrieb kann diese Anforderungen nur si-

cherstellen, wenn er ebenfalls qualitätsgesicherte Ausgangsstoffe bezieht, in der Lage ist, ebenso homogen zu mischen, und seine Betriebserde physikalisch, chemisch und biologisch im Griff hat. Bei industriell hergestellten Kultursubstraten trägt der Produzent das Produkthaftungsrisiko (s. Kap. 8.4). Weitere Faktoren sprechen gegen die Verwendung von Betriebserden und für den Zukauf von Industrieresubstraten. So müssen Personal, Mischvorrichtungen, Geräte und Maschinen, eine Laborgrundausrüstung und nicht zuletzt die Kenntnis der Kulturanforderungen an das Substrat und wie diese mit bestimmten Mischungen erfüllt werden können, vorhanden sein.

1.2.3 Baumsubstrate

Baumsubstrate sind keine Substrate im Sinne von Kultursubstraten oder Blumenerden, in denen Bäume kultiviert werden. Es sind Substrate hauptsächlich auf der Basis mineralischer Ausgangsstoffe, die in Pflanzgruben für Bäume eingesetzt und für diesen Zweck spezifisch definiert werden (s. Kap. 9.1.6).

1.2.4 Dachsubstrate

Gemäß der Gütesicherung RAL-GZ 250 (RAL 2015) werden vier Dachsubstrat-Typen unterschieden, deren Definitionen etwas umfangreicher sind und im RAL-GZ 250 nachgelesen werden können:

- Dachsubstrate für Intensivbegrünung in einschichtiger bzw. mehrschichtiger Bauweise
- Dachsubstrate für Extensivbegrünung in einschichtiger bzw. mehrschichtiger Bauweise

Darin werden auch die von Kultursubstraten und Blumenerden abweichenden Anforderungsprofile bezüglich Güte Merkmalen und Analysemethoden deutlich. Die Dachbegrünungsrichtlinie der Forschungsgesellschaft Landesentwicklung Landschaftsbau (FLL) geht sehr ausführlich auf Dachsubstrate ein.

1.3 Substratausgangsstoffe

Das Düngegesetz (DüNG) und die Düngemittelverordnung (DüMV) umfassen Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel (s. Kap. 8.1). Die Düngemittelverordnung (BMELV 2012) spricht nicht von Ausgangsstoffen, sondern von Hauptbestandteilen in Kultursubstraten: „Bestandteile, die den durch § 1 des Düngegesetzes vorgegebenen Zweckbestimmungen unmittelbar dienen“.

Gemäß DIN-Fachbericht (DIN 1999) sind Ausgangsstoffe für Kultursubstrate (und Blumenerden) Materialien, die sich als Bestandteile für Substrate eignen. Hierbei gibt es keine klare Unterscheidung zwischen volumenbildenden Stoffen und Stoffen, die in kleinen Mengen zugegeben werden, z. B. Düngemittel.

Eindeutiger ist die Definition der Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V. im RAL-GZ 250 (RAL 2015): „Unter Substratausgangsstoffen sind die Stoffe zu verstehen, die zum Volumen der Substrate beitragen (z. B. Torf, Rindenhumus, Holzfasern, Perlit oder Substratkompost)“. Wichtig ist hierbei die Nennung des Volumens, da Ausgangsstoffe zum Substratvolumen und somit zur Struktur des Substrats beitragen. Zudem können sie in der Regel sensorisch (makro- oder mikroskopisch) in der Substratmischung erkannt werden (SCHMILEWSKI 2003). Substratausgangsstoffe werden volumenmäßig miteinander gemischt oder für sich allein in Substraten eingesetzt. Die Angabe ihrer Anteile im Substrat erfolgt in Volumenprozent (z. B. 60 % Hochmoortorf, 20 % Holzfaserstoff und 20 % Grünkompost).

In diesem Buch halten wir uns an diese volumenbezogene Definition für Substratausgangsstoffe und sprechen nicht von Hauptbestandteilen oder Zuschlagstoffen. Der Begriff Zuschlagstoff ist veraltet, da er aus der Zeit kommt, als Torf der fast ausschließliche Substratausgangsstoff war und man andere Materialien wie Sand, Blähpelrit, Kompost und andere Stoffe dem Torf zugegeben/ zugeschlagen hat.

1.4 Substratzusätze

Zusätze zu Substraten tragen nicht zum Volumen der Substrate bei, da sie fast ausschließlich in kleinen Mengen zugegeben werden (s. Kap. 6). Solche Zusätze sind z. B. Düngemittel, Kalk, Netzmittel oder biologische Präparate. Substratzusätze werden auf Gewichtsbasis (g/m^3 oder kg/m^3) den Substratausgangsstoffen zugesetzt (SCHMILEWSKI 2003). In der DüMV werden Substratzusätze als ‚Nebenbestandteile‘ bezeichnet und darin definiert als Teilmengen in Kultursubstraten, die nicht unmittelbar der Zweckbestimmung nach § 1 des Düngegesetzes dienen. Auf Substrate bezogen bedeutet das vornehmlich, a) die Ernährung von Nutzpflanzen sicherzustellen und b) Gefahren für die Gesundheit von Menschen und Tieren sowie für den Naturhaushalt vorzubeugen bzw. sie abzuwenden. Düngemittel in Substraten beispielsweise sind solche Nebenbestandteile, dienen aber unmittelbar der Zweckbestimmung (Ernährung von Nutzpflanzen).

2 Die Entwicklung und Bedeutung von Kultursubstraten und Blumenerden

2.1 Geschichtliches

Die bodenunabhängige Kultur von Pflanzen ist keine Entwicklung der letzten Jahrzehnte. NAVILLE (1913) beschreibt, wie Wandmalereien im Tempel von Deir el-Bahari, Ägypten, den Transport von Bäumen in Trögen von ihrem Ursprungsland nach Ägypten und deren anschließende Kultur in Trögen darstellen – vor etwa 4.000 Jahren. Ob es sich bei dem Substrat in den Trögen um entnommenen Boden oder anderes Material handelte, ist nicht bekannt. Bis ins letzte Jahrhundert gab es die unterschiedlichsten Vorgehensweisen bei der bodenunabhängigen Pflanzenkultur und ebenso viele individuelle Mischungen von organischen und anorganischen Materialien. Man verwendete die verschiedensten Bodenarten, die dem natürlichen Standort entnommen wurden, aber auch Lauberde, Nadelerde, Kompost, Sand, Stallmist und andere Komponenten. Später lernte man, Nährstoffe gezielt für das Pflanzenwachstum einzusetzen.

Als Ergebnis vieler Untersuchungen und Versuche an der John Innes Horticultural Institution in Großbritannien wurden 1939 die ersten standardisierten Kultursubstrate formuliert. Sie bestanden aus Lehm, Torf und Sand sowie den Zusätzen Dünger und Kalk. Noch heute werden diese John Innes Composts mit ver-

schiedenen Formulierungen vermarktet. Weitere Standardprodukte in verschiedenen Ländern folgten (Tabelle 1).

Sowohl aufgrund der in vielen Ländern Europas forcierten Entwässerung von Mooren für die Landwirtschaft und zur Schaffung von Siedlungsraum als auch durch die im 20. Jahrhundert gewonnenen Erkenntnisse zu den Bedürfnissen von gärtnerischen Kulturpflanzen hat die Verwendung von Gartenbautorf seit Mitte des letzten Jahrhunderts zugenommen. Es gibt seit Jahrzehnten sowohl in Deutschland als auch in England, Österreich, der Schweiz, den Niederlanden und anderen Ländern anhaltende Diskussionen zum Thema Torf und den Einsatzmöglichkeiten von anderen Ausgangsstoffen. Jedes Ausgangsmaterial hat seine Berechtigung. Hierbei stehen nicht mehr nur die physikalischen und chemischen sowie zunehmend die biologischen Eigenschaften und wirtschaftliche Faktoren im Vordergrund, sondern auch Auswirkungen bei der Gewinnung und Verarbeitung von Substratrohstoffen und -ausgangsstoffen auf die Umwelt sowie soziale Aspekte. Diese gartenbaulichen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte müssen verantwortungsbewusste Substrathersteller bei der Substratproduktion und Erwerbsgärtner bei der Substratverwendung berücksichtigen (s. Kap. 4.7).

Tabelle 1: Übersicht erster Standardsubstrate in verschiedenen Ländern (BUNT 1987, SCHMILEWSKI 1996, WALLER 2006).

Jahr	Land	Kultursubstrat	Ausgangsstoffe
1939	Großbritannien	John Innes Compost	Lehm, Torf, Sand
1948	Deutschland	Fruhstorfer Einheitserde	Hochmoortorf, Untergrundton
1950er	USA	UC-Mixes	Torf
1950er	USA	Peat-lite mixes	Torf mit expandiertem Blähvermiculit oder Blähperlith
1966	Großbritannien	Levington Compost	Torf
1969	Finnland	Basin-Kultur	Torf
1970er	Irland	Range-Mix	Torf
1970er	Deutschland	Erste Schwarztorfsubstrate	Stark zersetzter Hochmoortorf

2.2 Kultursubstrate als Produktionsmittel im Gartenbau

Der Produktionsgartenbau in Deutschland erwirtschaftet mit den Sparten Gemüsebau, Obstbau, Baumschulen, Stauden- und Zierpflanzenbau eine Bruttowertschöpfung von knapp 2,5 Mrd. Euro (Stand 2010). Rechnet man den Garten- und Landschaftsbau, den Friedhofsgartenbau sowie vor- und nachgelagerte Wirtschaftszweige hinzu, ergibt sich eine wesentlich höhere Wertschöpfung von rund 19,4 Mrd. Euro (DIRKSMEYER & FLUCK 2013).

Der Zentralverband Gartenbau e. V. gibt für das Jahr 2014 die in Tabelle 2 genannte Anzahl von deutschen Unternehmen im Gartenbau an. Alle Produktionsbetriebe (Zierpflanzenbau, Gemüsebau, Baumschule und Obstbau) – mit starken Einschränkungen bei den Obstbaubetrieben – sind in erheblichem Maße von Kultursubstraten als Produktionsmittel angewiesen. Kultursubstrate nehmen bei der Pflanzenanzucht und Weiterkultur einen ebenso hohen Stellenwert ein wie Dünger oder Pflanzen schutzmittel und sind die Basis für den Kulturerfolg im bodenunabhängigen Produktionsgartenbau.

Wie alle anderen Wirtschaftszweige strebt der Produktionsgartenbau nach größtmöglicher Produktivität. Parallel zur Intensivierung der Flächennutzung werden alle technischen Ein-

richtungen und Produktionsmittel zur Steigerung der Produktivität genutzt. Dabei müssen Kultursubstrate als Produktionsmittel pflanzenbautechnisch immer mehr leisten. Das erfordert sowohl eine genaue auf die Kultur abgestimmte Substratzusammensetzung der richtigen Ausgangsstoffe als auch die Feinabstimmung des Substrats mit Substratzusätzen. Nur so lassen sich beispielsweise hunderttausende Presstöpfe pro Tag in einem einzigen Gemüsebaubetrieb herstellen oder 350.000 Jungpflanzen mit nur einem Kubikmeter Substrat in Multizellenplatten produzieren. Die existenzielle Bedeutung von Kultursubstraten für den Kultivateur wird bei solchen Zahlen deutlich.

Deutschland ist der größte Produzent von Kultursubstraten und Blumenerden weltweit. In Europa nehmen die Niederlande den zweiten und Italien den dritten Platz ein (SCHMILEWSKI 2017). Europäische Hersteller von Kultursubstraten versorgen vornehmlich den europäischen Markt. Es ist aber seit Jahren zu beobachten, dass der außereuropäische Markt einen wachsenden Bedarf an Kultursubstraten hat, was mit der steigenden Produktion von Gemüse, Zierpflanzen und Baumschulprodukten besonders in Asien, Nordafrika, im Mittleren Osten sowie in Süd- und Mittelamerika verbunden ist. Auch in diesen Regionen hat der moderne Gartenbau längst Einzug gehalten. Damit verknüpft ist die Technisierung, Mechanisierung und Automatisierung von Kulturverfahren und somit auch der Bedarf an risikoarmen und leistungsfähigen Kultursubstraten, die den bodenunabhängigen Produktionsgartenbau nachhaltig stützen.

Tabelle 2: Anzahl der gartenbaulichen Betriebe in Deutschland im Jahr 2014 nach Betriebsart (ZVG 2015).

Betriebsart	Anzahl der Betriebe nach Art
Einzelhandel mit Blumen, Pflanzen etc.	16.500
Garten- und Landschaftsbau	16.500
Sonstige Dienstleistungen (Friedhof)	2.000
Obstbau	6.600
Zierpflanzenbau inklusive Stauden	5.300
Gemüsebau	3.600
Baumschule	2.000

3 Untersuchungsmethoden

Unter den heutigen ökonomischen Rahmenbedingungen kann ein Kultursubstrat mangelhafter Qualität das wirtschaftliche Überleben gärtnerischer und substratherstellender Betriebe gefährden. Es gilt daher, die Substratqualität durch geeignete Maßnahmen zu sichern. Die Qualität eines Substrats kann definiert werden als die an einem bestimmten Zweck orientierte Beschaffenheit oder Eignung (SCHMILEWSKI 2005). So wird beispielsweise ein für die Kultur von Orchideen bestimmtes Substrat optimale Eigenschaften haben, es wird sich aber für die Produktion von Gemüsepflanzen als absolut ungeeignet erweisen. Oder: Ein Presstopfsubstrat wird sich nicht als Orchideensubstrat anbieten. Somit sind beschreibende Adjektive wie gut, schlecht, optimal, hervorragend etc. nur hilfreich in Kenntnis der Zweckbestimmung.

Nach wie vor haben aus gärtnerischer Sicht die chemischen, physikalischen und in zunehmendem Maße die biologischen Eigenschaften von Substraten bei der Produktsicherheit eine herausragende Stellung.

3.1 Normen und andere Regelwerke

Gemäß der DIN EN 45020 (DIN 1998) ist Normung die „Tätigkeit zur Erstellung von Festlegungen für die allgemeine und wiederkehrende Anwendung, die auf aktuelle oder absehbare Probleme Bezug haben und die Erzielung eines optimalen Ordnungsgrades in einem gegebenen Zusammenhang anstreben“. Somit sorgen Normen für die Vereinheitlichung von Begriffen, Analyse- und Untersuchungsmethoden, Maßeinheiten, Richt- und Kennwerten und der Kennzeichnung. Ferner erläutert die DIN EN 45020: „Wichtige Vorteile der Normung(sarbeit) sind die Verbesserung der Eignung von Produkten, Prozessen und Dienstleistungen für ihren geplanten Zweck, die Vermeidung von Handelshemmnissen und die

Erleichterung der technischen Zusammenarbeit“.

Normen sind Regelwerke, die auf nationaler, europäischer oder internationaler Ebene verabschiedet werden und in den meisten Ländern auf freiwilliger Basis angewandt werden. Sie sind das Ergebnis der gemeinschaftlich durchgeführten Vereinheitlichung durch die an der Normung interessierten Kreise, wie Vertreter der Industrie, Behörden, Labore und Umweltschutzverbände. Vielfach wird die Anwendung von Normen durch Bezugnahme in Rechtsvorschriften des In- und Auslandes sichergestellt. So bezieht sich beispielsweise die deutsche Fertigpackungsverordnung auf die Bestimmung der Menge von Substraten nach den neuesten technischen Regelwerken. Für Substrate wird somit auf die DIN EN 12580 (DIN 2014b) Bezug genommen. In einigen Ländern, wie z. B. Frankreich, haben Normen des landwirtschaftlichen Bereichs, wozu auch Substrate gehören, Gesetzescharakter.

3.1.1 Nationale Normen

Eine nationale Norm ist eine Norm, die von einem nationalen Normungsinstitut angenommen wurde und der Öffentlichkeit zugänglich ist (DIN EN 45020, 1998b). In Deutschland ist das Deutsche Institut für Normung e. V. (DIN) mit Sitz in Berlin für die Normungsarbeit zuständig. Die DIN 11540 (DIN 1989), „Torfe und Torfprodukte – Technische Lieferbedingungen, Eigenschaften, Prüfverfahren“ war bis 1999 die einzige DIN-Norm, die neben dem Substratausgangsstoff Torf die Produktgruppe der Torfkultursubstrate zum Inhalt hatte. Nach Veröffentlichung der ihr entgegenstehenden Europäischen Normen wurde die DIN 11540 im Frühjahr 2000 zurückgezogen. Die DIN 11540 wurde danach überarbeitet und zuletzt im Jahr 2005 veröffentlicht. Sie enthält Inhalte, die relevante EN-Normen nicht abdecken, z. B. Richtwerte für Torf und Torfprodukte, eine Methode zur Bestimmung des Zersetzungsgrades von Torfen, eine Methode zur Bestimmung der

botanischen Zusammensetzung von Torfen und weitere Inhalte.

Weitere nationale DIN-Normen, die Bezug zu Substraten haben, sind die

- DIN 38411 Teil 6 zur Bestimmung von *E. coli*
- DIN 38414 Teil 13 zur Bestimmung von Salmonellen
- DIN 38414 Teil 15 zur Bestimmung von Humanpathogenen
- DIN 19683 zur Bestimmung von Überkorn, Unterkorn und Feinanteilen

3.1.2 Europäische Normen und Europäische Fachberichte

Der grenzüberschreitende Handel mit Kultursubstraten ist groß. Etwa 50 % der in Deutschland hergestellten Substrate werden exportiert, vorwiegend in die Anrainerstaaten und das übrige europäische Ausland. Immer noch führen unterschiedliche nationale Gesetze, Normen, Analyseverfahren und Deklarationsvorschriften zu Handelshemmnissen. Damit ist auch der Bedarf an länderübergreifenden Normen gestiegen.

Ein einheitliches europäisches Normenwerk führt

- zur Reduktion von Handelskosten,
- zur Erleichterung von Vertragsvereinbarungen,
- zum Abbau von Handelshemmnissen und
- zu mehr Markttransparenz.

Voraussetzung hierfür ist, dass einheitlich nach solchen Normen gearbeitet wird.

Auf europäischer Ebene ist das Europäische Komitee für Normung, CEN (Comité Européen de Normalisation), dessen Mitglieder die nationalen Normungsinstitutionen der EU- und EFTA-Staaten sind, für die Schaffung europäischer Normen zuständig; in Deutschland übernimmt das DIN diese Aufgabe.

Das CEN hat 1990 das Technische Komitee TC 223 ‚Bodenverbesserungsmittel und Kul-

tursubstrate‘ eingerichtet, dessen Aufgabe es ist, für beide Produktgruppen Normen zu erarbeiten und regelmäßig zu überarbeiten. Eine Europäische Norm (EN) ist mit der Verpflichtung verbunden, auf nationaler Ebene übernommen zu werden, indem ihr der Status einer nationalen Norm gegeben wird und ihr entgegenstehende nationale Normen zurückgezogen werden (s. Kap.3.1.1).

Vom CEN TC 223 wurden bisher die in Tabelle 3 gelisteten Europäischen Normen bzw. Fachberichte erarbeitet und vom CEN veröffentlicht. Sie sind als Normenwerke bzw. Fachberichte aller EU- und EFTA-Staaten aufgenommen. Bei Europäischen Normen handelt es sich um Normen, die freiwillig zur Anwendung kommen, es sei denn, nationale oder europäische Regelwerke nehmen Bezug auf diese Normen, wodurch sie dann obligatorisch zur Anwendung kommen. Das ist z. B. in Frankreich der Fall, wo solche dem landwirtschaftlichen Sektor zugeordneten EN-Normen Gesetzescharakter haben.

Wenn im entsprechenden TC keine Einigung zu einem bestimmten Arbeitspunkt erreicht werden kann, so können CEN-Fachberichte veröffentlicht und in die jeweilige Landessprache übersetzt werden. Im Bereich Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate gibt es zwei Fachberichte.

Vielfach wird noch nach nationalen Normen oder Analysemethoden gearbeitet – so auch in Deutschland. Die derzeit einzige in Europa flächendeckend benutzte EN ist die EN 12580.

3.1.3 Internationale Normen

Für die Schaffung internationaler Normen ist die Internationale Normungsorganisation International Standards Organization zuständig (ISO). Die ISO ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute. Internationale Normen haben Vorrang vor europäischen und diese wiederum vor nationalen Normen. Derzeit gibt es keine internationalen Normen für Substrate oder Substratausgangsstoffe. Im Bereich Qualitätssicherung gibt es die DIN EN

Tabelle 3: Europäische Normen (EN) und Fachberichte für Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate.

Lfd. Nr.	Numerische Bezeichnung der DIN EN mit Erscheinungsjahr	Bezeichnung der deutschen Fassung der EN
1	12579:2014	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Probenahme
2	12580:2014	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der Menge
3	13037:2012	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung des pH-Wertes
4	13038:2012	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit
5	13039:2012	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung des Gehaltes an organischer Substanz und Asche
6	13040:2008	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Probenherstellung für chemische und physikalische Untersuchungen, Bestimmung des Trockenrückstandes, des Feuchtigkeitsgehaltes und der Laborschüttdichte
7	13041:2012	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der physikalischen Eigenschaften – Rohdichte (trocken), Luftkapazität, Wasserkapazität, Schrumpfungswert und Gesamtporenvolumen
8	13650:2002	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Extraktion von in Königswasser löslichen Elementen
9	13651:2002	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Extraktion von in Calciumchlorid/DTPA (CAT) löslichen Elementen
10	13652:2002	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Extraktion wasserlöslicher Nährstoffe und Elemente
11	13654-1:2002	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung von Stickstoff – Teil 1: Modifiziertes Verfahren nach Kjeldahl
12	13654-2:2002	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung von Stickstoff – Teil 2: Verfahren nach Dumas
13	15238:2007	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der Menge für Materialien mit einer Partikelgröße über 60 mm
14	15428:2007	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung
15	15761:2010	Vorgeformte Kultursubstrate – Bestimmung von Länge, Dicke, Volumen und Schüttdichte
16	16086-1:2012	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit – Teil 1: Wachstumstest mit Chinakohl im Topf
17	16086-2:2012	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit – Teil 2: Petrischalentest mit Kresse
18	16087-1:2012	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der aeroben biologischen Aktivität – Teil 1: Sauerstoffaufnahme (OUR)
19	16087-2:2012	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der aeroben biologischen Aktivität – Teil 2: Selbsterhitzungstest für Kompost
DIN-Fachberichte (deutsche Übersetzungen der CEN-Fachberichte)		
1	DIN-Fachbericht 83:1999	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Kennzeichnung, Anforderungen und Produktlisten
2	DIN-Fachbericht 90:2001	Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Leitfaden zur Sicherheit von Anwendern, der Umwelt und von Pflanzen

ISO 9001 (s. Kap. 7.7.8), die Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme festlegt; sie wird inzwischen von vielen Substrat- und Zulieferunternehmen eingesetzt. Die DIN EN ISO 14001 (s. Kap. 7.7.9) ist eine Umweltmanagementnorm, die zunehmend auch bei Sub-

stratproduzenten an Bedeutung gewinnt. Ökobilanzen für Substrate lassen sich auf Basis der DIN-EN-ISO-Normen 14040 und 14044 erstellen (s. Kap. 4.7.1).

3.1.4 Die Regelwerke des VDLUFA

Der Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) ist ein Zusammenschluss von etwa 90 landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Lehr- und Untersuchungsanstalten der Milchwirtschaft, des Bundes, anderer Untersuchungs- und Forschungseinrichtungen sowie Universitätsinstituten öffentlicher Trägerschaft. Ein Schwerpunkt der Tätigkeit des VDLUFA ist die Erarbeitung und Veröffentlichung von Methoden in diesen Bereichen. Die Arbeit wird von verschiedenen Fachgruppen des VDLUFA getragen. Die Fachgruppe II mit ihrem Arbeitskreis ‚Gärtnerische Kultursubstrate‘ ist für die Methodenentwicklung und Überarbeitung bestehender Methoden in diesem Bereich zuständig. Regelmäßige Ringanalysen werden zur Überprüfung und eventuellen Verbesserung der Methoden durchgeführt. Pflanzenbauliche Substratversuche helfen, Richt- und Grenzwerte für bestimmte Parameter festzulegen, die neben den Methodenbeschreibungen in das VDLUFA-Methodenbuch aufgenommen werden.

Das VDLUFA-Methodenbuch Band II.2 (VDLUFA 2000) enthält Methoden für ‚Die Untersuchung von Sekundärrohstoffen, Kultursubstraten und Bodenhilfsstoffen‘. Die darin beschriebenen Methoden dienen vor allem der Analyse von Stoffen, die in der Düngemittelverordnung (s. Kap. 8.1.2) beschrieben sind; dazu gehören auch Kultursubstrate, Blumenerden und deren Ausgangsstoffe. In Tabelle 4 sind die für Kultursubstrate, Blumenerden und Ausgangsstoffe wesentlichen Methoden gelistet. Die Gütesicherung nach RAL-GZ 250 bezieht sich bei den meisten Untersuchungsvorgaben auf VDLUFA-Methoden.

Bei der Angabe von physikalischen, chemischen oder biologischen Werten wird in diesem Buch entweder auf DIN-EN-Methoden, DIN-Methoden oder VDLUFA-Methoden Bezug genommen. Das ist erforderlich, da nicht alle Parameter mithilfe der Methoden einer

einzigsten Methodengruppe abgedeckt sind. Ein weiterer Grund dafür ist, dass in diesem Buch zitierte Autoren oder Quellen unterschiedliche Methoden für die ermittelten Werte angeben.

3.1.5 Methodenvorschriften der Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V.

Die Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V. (GGS) hat generell Prüfmethode des VDLUFA, DIN-EN-Methoden oder DIN-Methoden in die Gütesicherung nach RAL-GZ 250 (RAL 2015) aufgenommen. Vereinzelt sind aber spezifische GGS-Methodenvorschriften erarbeitet worden. Diese sind

- Methodenvorschrift GGS zur Bestimmung der Wassersteighöhe, Chlorid (Cl⁻), Fluorid (F⁻) und allgemeine Beschreibung der Probenvorbereitung. Vorbereitung der Probe (Trocknen, Absieben des Staubanteils) in Blähton.
- GGS Methodenvorschrift zur Bestimmung des Überkorns bei Kultursubstraten, Blumenerden und Rindenhumus

Tabelle 4: Wesentliche Substratkenngrößen und Methoden für die Analyse gemäß VDLUFA-Methodenbuch, Band II.1 (VDLUFA 2000).

Parameter	Kapitel der Verbandsmethode im Methodenbuch
Physikalische Eigenschaften	
Rohdichte _{trocken}	A 13.2.1 oder A 13.2.2
Rohdichte _{feucht}	
Chemische Eigenschaften	
pH-Wert (CaCl ₂)	A 5 1.1
Salzgehalt (Leitfähigkeitsmessung im Wasserauszug und Berechnung als KCL)	A 13.4.1
Elektrische Leitfähigkeit	Schnellmethode (1:5)
Organische Substanz	A 15.2
Lösliche Hauptnährstoffe	
Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N) im CAT-Extrakt	A 13.1.1
Phosphor (P ₂ O ₅) im CAT-Extrakt	
Kalium (K ₂ O) im CAT-Extrakt	
Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N) im CaCl ₂ -Extrakt	6.1.3.2
Phosphor (P ₂ O ₅) im CAL-Extrakt	6.1.1.1
Kalium (K ₂ O) im CAL-Extrakt	
Natrium (Na) im Wasserauszug	A 13.4.1
Chlorid (CL) im Wasserauszug	
Gesamtgehalte Nährelemente	
Stickstoff (N) Gesamtgehalt nach KJELDAHL	A 2.2.1 oder A 2.2.3
Phosphor (P) Gesamtgehalt im Königswasser-Aufschluss	A 2.4.3.1
Kalium (K) Gesamtgehalt im Königswasser-Aufschluss	
Magnesium (Mg) im Königswasser-Aufschluss	
Schwermetalle (Gesamtgehalte) im Königswasser-Aufschluss	
Arsen (As)	A 2.4.3.1
Blei (Pb)	
Cadmium (Cd)	
Nickel (Ni)	
Quecksilber (Hg)	
Thallium (Tl)	
Biologische Eigenschaften	
Pflanzenverträglichkeit (Keimpflanzentest mit Chinakohl)	10.2.1
N-Immobilisierung	A 13.5
Unkraut und austriebsfähige Pflanzenteile	A 13.5.2

4 Wertbestimmende Eigenschaften

Die Eigenschaften von Substratausgangsstoffen, Kultursubstraten und Blumenerden bestimmen die Verwendungsmöglichkeiten dieser Stoffe und Produkte. Um Kenngrößen wie den pH-Wert, Nährstoffgehalte, die physikalischen Eigenschaften oder Verunreinigungen durch Unkrautsamen zu kennen, müssen verlässliche Untersuchungsmethoden zur systematischen Bestimmung der Kenngrößenwerte zur Verfügung stehen. Der Untersuchungsprozess als solcher ist die Substratanalyse.

4.1 Probenahme

Die Probenahme steht am Beginn jeder Substratprüfung und ist mitentscheidend für das Untersuchungsergebnis, dessen Aussagekraft und Interpretation. Die Probenahme ist die Gewinnung von repräsentativen Teilmengen von Substratausgangsstoffen, Kultursubstraten und Blumenerden zur Bestimmung chemischer, physikalischer und biologischer Eigenschaften. Die Sorgfalt der Probenahme durch den Probenehmer ist daher von hoher Priorität. In den Vorgaben von Gütesicherungssystemen (z. B. der GGS oder RHP) oder Normen und Richtlinien ist festgelegt, wie die Probenahme durchzuführen ist. Diese unterscheiden sich häufig in der Vorgehensweise. Wichtig ist, dass jede von einem Substrat oder Substratausgangsstoff zu untersuchende Probe die Gesamtheit des zu beprobenden Materials repräsentiert. Alle Probenahmegeräte müssen sauber und trocken sein, damit ausgeschlossen ist, dass sie das Prüfmaterial kontaminieren. Das ist insbesondere bei der Prüfung auf Unkraut und bei mikrobiologischen Untersuchungen wichtig. Eventuell müssen Probenahmegeräte vorher sterilisiert werden. Alle Probenahmeschritte sind zügig durchzuführen, um Veränderungen während der Probenahme (z. B. Austrocknung) möglichst zu vermeiden.

4.1.1 Probenahme aus verpacktem Material und losen Lieferungen

Die DIN EN 12579 (DIN 2014) definiert Begriffe, die mit der Probenahme nach dieser Norm verbunden sind. Danach (gekürzt)

- ist eine **Partie** die Produktmenge, die demselben Herstellungsprozess unterliegt, gleiche Beschriftung aufweist und dieselben Eigenschaften haben soll.
- ist eine **Lieferung** die Produktmenge, die gleichzeitig versendet oder empfangen wird. Die Lieferung ist mittels Vertrag oder Lieferdokument dokumentiert.
- ist die **beprobte Menge** die maximale Menge eines Materials oder Fertigprodukts aus derselben Partie. Aus der beprobten Menge wird die Sammelprobe entnommen.
- sind **Probenahmepunkte** die Stellen einer Lieferung, an denen Einzelproben entnommen werden.
- ist eine **Einzelprobe** die Materialmenge eines Probenahmepunktes.
- ist eine **Sammelprobe** die Gesamtmenge aller Einzelproben der beprobten Menge.
- ist die **Endprobe** der repräsentative Anteil der Sammelprobe, der aus der beprobten Menge hergestellt wird – eventuell durch Teilung der Sammelprobe.
- ist die **Laborprobe** der repräsentative Anteil der Endprobe, die untersucht wird.

Die Begrenzungen der beprobten Menge, also die maximale Menge des beprobten losen Materials in m³ bzw. die maximale Anzahl an Packungen desselben Materials von derselben Lieferung, sind in der DIN EN 12579 (DIN 2014) wie auch in anderen Probenahmeverordnungen festgelegt. Die Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V. und die niederländische RHP legen außerdem die Häufigkeit der Probenahme in Abhängigkeit von der produzierten Menge fest.

Für die Durchführung von Analysen gemäß den VDLUFA-Verbandsmethoden ist die Pro-

benahme wie im VDLUFA-Methodenbuch Band II.2 beschrieben durchzuführen.

Die Probenahme für die amtliche Düngemittelüberwachung, die auch Kultursubstrate erfasst, erfolgt gemäß der Verordnung über Probenahmeverfahren und Analysemethoden (BMELV 2006).

4.1.2 Probenahme aus Töpfen und Containern

In der Regel werden Proben von Substraten aus stehenden Kulturen nur für chemische Analysen genommen. Für chemische Analysen liegt die benötigte Menge an Probenmaterial bei etwa 2 bis 3 Litern; manchmal genügt auch weniger. Obwohl es für die Probenahme aus Töpfen, Containern oder anderen Gefäßen keine ISO-, EN- oder DIN-Norm gibt, ist die erforderliche Sorgfalt sehr wichtig. Prinzipiell gelten dieselben Begriffe und eine ähnliche Vorgehensweise wie in Kap. 4.1.1 dargelegt, um eine repräsentative Laborprobe zu erhalten. Grundsätzlich gilt: Je mehr Einzelproben gezogen werden, desto repräsentativer ist die zu analysierende Probe.

Für die Probenahme kann die Pflanze ausgepflückt werden und am Wurzelballen hängendes Substrat abgeschüttelt werden. Das geht am besten bei nicht zu hohem und nicht zu niedrigem Feuchtigkeitsgehalt des Substrats. Mehrfach wiederholt, bekommt man so eine Sammelprobe. Ähnlich kann bei Multizellenplatten vorgegangen werden, wobei nicht zu vermeiden ist, dass viele Pflanzen verworfen werden müssen. Bei größeren Töpfen und Containern ist ein Bohrstock zweckmäßig, der vertikal in das Topfsubstrat bis zum Topfboden eingeführt wird. Auch können Substratkeile aus dem Substrat herausgeschnitten werden. Wichtig ist, dass Einzelsubstratproben aus dem gesamten zu beprobenden Pflanzenbestand genommen werden. GRANTZAU (1999) empfiehlt, bei Kapillar-Bewässerungssystemen die oberen 1 bis 2 cm des Topfballens zu verworfen, um Verfälschungen zu vermeiden, da es durch die Kapillarkwirkung in dieser Substratschicht zu einer Salzanreicherung kommt.

4.2 Allgemeine Pflanzenverträglichkeit

Grundsätzlich muss ein Kultursubstrat/eine Blumenerde für den jeweiligen Bestimmungszweck geeignet sein. Alle positiven wie auch negativen chemischen, physikalischen und biologischen Substrateigenschaften bestimmen als Ganzes die Eignung des Substrats und damit seine allgemeine Pflanzenverträglichkeit. So besagt das Mitscherlich-Gesetz vom abnehmenden Ertragszuwachs (Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren), dass der Pflanzenertrag durch die Steigerung eines jeden Wachstumsfaktors (Produktionsfaktors) erhöht wird, und zwar proportional zu dem am Höchstertrag fehlenden Ertrag. Das heißt, bei gleichbleibender Zunahme eines Wachstumsfaktors (z. B. Stickstoff, besser geeigneter pH-Wert, günstigerer Luft- und Wasserhaushalt) verringert sich der Ertragszuwachs langsam. Die Ertragskurve strebt schließlich einem Höchstertrag zu und sinkt nach Überschreiten des Optimums eines Wachstumsfaktors oder mehrerer Wachstumsfaktoren wieder ab.

Bei der Prüfung auf Pflanzenverträglichkeit können bestimmte Schadstoffe wie Schwermetalle im Vordergrund stehen. Es wird bei der Prüfung der Pflanzenverträglichkeit aber generell festgestellt, ob eine Substratmischung geeignet ist oder nicht. Ändert sich der Einsatzbereich z. B. durch das Kultivieren anderer Pflanzenarten, andere Kulturverfahren, geänderte Klimabedingungen oder einen anderen Standort, muss angenommen werden, dass eine andere Substratrezeptur besser geeignet ist, um die Pflanzenverträglichkeit zu gewährleisten.

Der Substrathersteller stellt vor Auslieferung die Eignung des Substrats sicher, um Pflanzenschäden beim Gärtner oder Endverbraucher, Reklamationen, Eigenschaden und Imageverlust abzuwehren. Chemische und physikalische Analysen stehen dabei ebenso zur Verfügung wie auch Tests zur Prüfung auf Unkräuter. Auch gehören spezielle Behandlungen wie das Dämpfen einzelner Torfher-

künfte oder die optimale Verrottung von Inputstoffen bei der Kompostierung zur Gewährleistung der Pflanzenverträglichkeit dazu. Pflanzenversuche leisten einen wichtigen Beitrag zur praktischen Prüfung der Eignung von Substraten. Die Prüfung der allgemeinen Pflanzenverträglichkeit erfolgt in der Regel mit Keimpflanzentests, da die Keim- und Keimlingsstadien die empfindlichsten Phasen des Wachstums sind. Dafür stehen Standardmethoden zur Verfügung.

Gossow et al. (1995a und 1995b) betonen, dass es mithilfe spezifisch empfindlicher Testpflanzen möglich ist, bestimmte Schadfaktoren wie zu niedrigen und zu hohen pH-Wert, Spurennährstoffmangel und -überschuss, zu hohe Schwermetallgehalte und Kontamination mit Herbiziden in Substraten nachzuweisen (Tabelle 5). So erwiesen sich die Testpflanzen Chinakohl, Petunie, Tomate, Blumenkohl, Ziertabak und Tagetes aufgrund ihrer breiten Empfindlichkeit gegenüber ungünstigen pH-Werten und Mangel/Überschuss an Spurennährstoffen als am geeignetsten. Als Testpflanzen zur Substratprüfung auf Schwermetalle stellten sich Chinakohl und Petunie als sehr geeignet heraus. Herbizidrückstände lassen sich am besten mit Chinakohl, Herbstrübe und Kresse nachweisen (Gossow et al. 1995b). Es gibt unter den Testpflanzen ‚Generalisten‘ und ‚Spezialisten‘. Chinakohl hat sich als die Art erwiesen, die bei den meisten Schadstofffaktoren durch eine sehr gute Empfindlichkeit aufgefallen ist.

Aus diesem Grund ist Chinakohl als Standardtestpflanze in die entsprechende VDLUFA Methodenvorschrift und später in die DIN EN 16086-1 aufgenommen worden.

Die DIN EN 16086-1 (DIN 2012e) beschreibt eine Methode zur Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit mit Chinakohl im Topf. Gemäß dieser Norm wird Pflanzenverträglichkeit definiert als: „Abweichung in der Pflanzenkeimung und/oder dem -wachstum, wenn die Aussaat und das Wachstum in einem Kultursubstrat, Bodenverbesserungsmittel oder in einem Ausgangsstoff davon oder in einem aus diesen

Materialien erhaltenen Extrakt erfolgt.“ Dazu werden nach genauen Methodenvorgaben 20 Korn Chinakohl in einen mit Prüfsubstrat gefüllten 12-cm-Topf gesät (3 Wiederholungen) und die Keimrate während der Keimphase und das Frischgewicht nach ca. 3 Wochen ermittelt. Bei Verdacht auf Kontamination mit selektiv wirkenden Herbiziden gegen Einkeimblättrige muss zusätzlich Sommergerste zur Aussaat kommen. Kontrollsubstrat ist ein Substrat mit einem Torfanteil von 100 % (v/v). Grenzwerte für die Beurteilung der Pflanzenverträglichkeit wurden nicht festgelegt. Solche Festlegungen werden z. B. von Güteorganisationen bestimmt.

Bei den meisten Ausgangsstoffen kann die allgemeine Pflanzenverträglichkeit wie oben grob beschrieben durchgeführt werden. Bei grobkörnigen Materialien, die eine geringe Wasserkapazität haben und ohne Zumischung wasserhaltender Stoffe für sich oder miteinander gemischt als Substrate verwendet werden (z. B. Rinde, Blähpelrit, Blähton, Bims), muss Substratextrakt aufgefangen werden, um damit die Testpflanzen zu gießen. Die genaue Vorgehensweise ist in der Norm nachzulesen.

Weiter heißt es in der DIN EN 16086-1: „Faktoren, die ein negatives Pflanzenwachstum bewirken, können durch Anwendung dieses Verfahrens weder identifiziert noch quantifiziert werden.“ Das bedeutet, dass im Keimpflanzentest von der Kontrolle negativ abweichendes Pflanzenwachstum nicht eindeutig auf Schadensursachen wie Schwermetalle, Herbizide, Selbsterhitzung, organische Schadstoffe, Nährstoffmangel oder -überschuss etc. hinweist. Der geübte Versuchsansteller kann aber mithilfe des Ergebnisses gezielt und differenziert nach konkreten Schadensursachen suchen.

Tabelle 5: Eignung von Testpflanzen zum Erkennen von Herbizidrückständen, Schwermetallen, Mangel und Überschuss an Nährstoffen sowie zu niedrigem und zu hohem pH-Wert (zusammengestellt nach Gossow et al. 1995a und Gossow et al. 1995b) (farbige Kästchen = Testpflanze zum Erkennen des jeweiligen Schadfaktors geeignet).

Testpflanze	Schadfaktor																															
	pH-Wert		Mikronährstoffe									Schwermetalle						Herbizidrückstände														
			Mangel				Überschuss											Hemmung der					Wuchsstoff-herbizid									
	niedrig	hoch	Eisen (Fe)	Zink (Zn)	Bor (B)	Alle Mikronährstoffe	Eisen (Fe)	Mangan (Mn)	Zink (Zn)	Kupfer (Cu)	Bor (B)	Alle Mikronährstoffe	Quecksilber (Hg)	Chrom (Cr)	Blei (Pb)	Nickel (Ni)	Cadmium (Cd)	Allgemeine Schwermetallbelastung	Photosynthese					Atmung und Photosynthese		Aminosäuresynthese		Zellteilung				
																			Metribuzin	Metamitron	Chloridazon	Methabenzthiazuron	Linuron	Phenmedipham	Prosulfocarb	Amitrol+Diuron	Paraquat	Glufosiat	Glyphosat	Metazachlor	Propyzamid	Dicamba+MCPA
Chinakohl																																
Kresse																																
Tomate																																
Blumenkohl																																
Salat																																
Spinat																																
Herbstrübe																																
Grünkohl																																
Gerste																																
Hafer																																
Rotklee																																
Lein																																
Ziertabak																																
Tagetes																																
Impatiens																																
Sinningia																																
Petunie																																

Die DIN EN 16086-2 (DIN 2012f) beschreibt eine Methode zur Bestimmung der Pflanzenverträglichkeit im Petrischalentest mit Kresse. Diese Methode ist zwar weniger zeit- und arbeitsaufwendig, aber nicht so aussagekräftig wie der Test mit Chinakohl. Von dieser Methode wird zur Prüfung der Pflanzenverträglichkeit in Deutschland deutlich weniger Gebrauch gemacht.

Gasförmige Schadstoffe (s. Kap. 10.8) können mit dem Kresstest im Einweckglas nachgewiesen werden. Aber auch hier gilt, dass Faktoren, die ein negatives Pflanzenwachstum bewirken, durch Anwendung dieser Untersuchung weder identifiziert noch quantifiziert werden können. Gemäß dieser Methode wird Kressesamen auf einen angefeuchteten Wattebausch aufgebracht und der Bausch im Luftraum über dem zu prüfenden Substratausgangsstoff oder Substrat mittels eines Fadens aufgehängt. Tägliche Bonituren geben Auskunft über mögliche gasförmige Schadstoffe im Substrat.

4.3 Physikalische Eigenschaften

Den physikalischen Substrateigenschaften kommt große Bedeutung zu, da sie im Gegensatz zu den chemischen Eigenschaften während der Kultur kaum gezielt beeinflusst werden können. Die Zugabe von flüssigen Netzmitteln zur Verbesserung der Wasseraufnahme während der Kultur ist in diesem Zusammenhang eine Ausnahme. Art und Menge der verwendeten Ausgangsstoffe sowie deren Partikelgröße (Kenngröße für organische Materialien) bzw. Korngröße (Kenngröße für mineralische Materialien), deren Form und Dichte bestimmen die physikalischen Eigenschaften des Substrats. Wertangaben der physikalischen Eigenschaften von Substratausgangsstoffen und Substraten durch den Hersteller beziehen sich immer auf das Material unmittelbar nach dessen Herstellung und nicht auf das Substrat während der Kultur. Je länger eine Kultur dauert, desto größer sind die zu erwartenden (meist unerwünschten) Veränderungen. Rück-

schlüsse auf Veränderungen der physikalischen Eigenschaften während der Kultur sind nur sehr bedingt möglich. Sie sind abhängig von den Ausgangsstoffen, dem Standort der Kultur, Wetterbedingungen (insbesondere bei Gefäßkulturen im Freiland), Kulturbedingungen und damit den chemischen/ biologischen/ physikalischen Wechselwirkungen im Substrat, die vielfach noch unerforscht sind.

Da die physikalischen Eigenschaften zunehmend nach europäischen Methoden bestimmt werden, wird nachfolgend vornehmlich auf EN-Normen Bezug genommen.

4.3.1 Struktur und Strukturstabilität

Oft werden Substrate als locker, rieselfähig, maschinenfreundlich, gut dränierend, vergießfest oder formstabil (z. B. bei Presstopferden) beschrieben. Die Substratstruktur bestimmt solche Eigenschaften.

Grob unterteilt besteht ein Substrat aus Festsubstanz, Wasser und Luft. Dabei treten diese Kenngrößen natürlich nicht geschichtet auf, sondern sind miteinander vermengt. Abgeleitet von der bodenkundlichen Definition, kann die Substratstruktur als die räumliche Anordnung der organischen und mineralischen Substratbestandteile definiert werden. Wo synthetische Ausgangsstoffe eingesetzt werden, gilt dies auch für solche Anteile. Die Teilchen der Substratfestsubstanz haben dabei zueinander Kontakt und bilden ein Gefüge. Bei rein mineralischen Substraten (z. B. Blähton oder Bläherperlite) ändert sich dieses Gefüge während der Kulturzeit kaum. Substrate, die nur aus mehr oder weniger starren organischen Ausgangsstoffen bestehen (z. B. Pinienrinde), ändern ihre Struktur im Kulturverlauf wenig. Die Struktur und das Gefüge sind somit recht stabil, bis ihre Zersetzung voranschreitet.

Die meisten Kultursubstrate und Blumenerden bestehen jedoch aus hohen Anteilen organischer Substanz. Organische Materialien sind bei Einwirken von äußeren Einflüssen (z. B. Topfen, Gießen, Niederschlag, Transport) weniger strukturstabil. Hinzu kommt die Einwir-

kung der Wurzeln, die mit zunehmendem Wachstum die Struktur und das Gefüge ändern. Die Strukturstabilität eines Substrats steht auch in direktem Zusammenhang mit seiner mikrobiellen Zersetzung (s. Kap. 4.5.2). Ausgangsstoffe mit leicht abbaubarer organischer Substanz wie Komposte, Holzfaserstoffe oder Rindenumus sind Strukturveränderungen eher ausgesetzt als Kokos oder stark zersetzter Torf. Wenig zersetzter Torf oder getrocknetes Torfmoos enthalten mehr leicht abbaubare Kohlenstoffquellen und unterliegen eher der mikrobiellen Zersetzung als stark zersetzter Torf. Ferner führen Schrumpfung und Quellung eines Substrats zu Änderungen der Strukturstabilität (s. Kap. 4.3.5.2).

Abhängig von der Form und Größe der Partikel/Körner bilden diese unterschiedlich große Hohlräume, also Poren im Substrat. Die Substratstruktur ist demnach eine Folge des Anteils an sogenannten Fein-, Mittel- und Grobporen im Substrat. In der Regel wird die Substratstruktur als fein, mittel und grob angegeben.

Durch geeignete Gewinnungsverfahren der Rohstoffe, vor allem aber durch die weitere Verarbeitung mittels Mahlen, Fraktionierung und Mischen geeigneter Ausgangsstoffe kann die Struktur eines Substrats gezielt eingestellt werden. Für eine Containerkultur mit langer Standzeit wird man ein Substrat mit grober Struktur herstellen, um das schnelle Abfließen überschüssigen Wassers sicherzustellen. Ein Aussaatsubstrat wird eine feine Struktur haben, um gute Fließeigenschaften des Substrats zur Befüllung von z. B. Multizellenplatten zu gewährleisten sowie ein optimales Keimbett sicherzustellen.

4.3.2 Partikelgrößenverteilung

Die Festsubstanz eines Substrats besteht entsprechend den Ausgangsstoffen aus organischen und mineralischen (ggf. auch aus organisch-synthetischen) Partikeln. Bei mineralischen Rohstoffen und Substratausgangsstoffen spricht man von Korngrößen, bei organi-

schen Materialien von Partikelgrößen. Da mit den entsprechenden Methoden sowohl bei organischen wie bei mineralischen Materialien Siebe verwendet werden, wird nachfolgend nur der Begriff ‚Partikelgröße‘ verwendet. Partikel liegen in unterschiedlicher Größe und Form vor. Die Partikelgröße und der Anteil verschiedener Größen im Substrat – die Partikelgrößenverteilung – sind eine entscheidende wertbestimmende Kenngröße von Substraten und deren Ausgangsstoffen. Die Partikelgrößenverteilung wirkt sich auf weitere wichtige Parameter aus:

- Gesamtporenvolumen (Je mehr grobe Partikel im Substrat enthalten sind, desto größer ist das Porenvolumen zwischen den Partikeln und umso besser die Dränwirkung.)
- Porengröße und Porengrößenverteilung (Stehen in direktem Zusammenhang mit der Partikelgröße und der Partikelgrößenverteilung.)
- Wasserkapazität (Steht in direkter Beziehung zur Porengrößenverteilung. Die Wasserkapazität nimmt bei feinen Substraten zu, da die Wasserverteilung und -bindung im Substrat verbessert wird; insbesondere mit steigendem Anteil an Partikeln < 1 mm.)
- Luftkapazität (Höhere Luftkapazität bei größeren Substraten.)
- pH-Wert (Kalkgaben bewirken bei feinen Torfen oder anderen feinen Ausgangsstoffen schneller eine pH-Anhebung als bei grob fraktionierten Materialien.)

Die Partikelgröße stellt einen entscheidenden Parameter bei der Substratherstellung dar und bestimmt das Erscheinungsbild des Substrats mit. Die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung und das Verständnis ihrer Auswirkungen auf das Substrat sind bei der Substratherstellung und für die spätere Verwendung entscheidend.

Die Partikelgrößenverteilung von Substraten und Substratausgangsstoffen wird durch Sieb-

verfahren bestimmt. Gemäß DIN EN 15428 (DIN 2007b) wird eine luftgetrocknete Probe unter Verwendung einer dreidimensional arbeitenden mechanischen Siebvorrichtung mit vorgegebenen Prüfsieben gesiebt und die Verteilung der massebezogenen Fraktionen bestimmt. Die in der Norm vorgegebenen Prüfsiebe haben Maschenweiten von 31,5, 16, 8, 4, 2 und 1 mm. Weder diese Methode noch andere Standards legen Einteilungen für die Partikelgröße fest. So liegt es im Ermessen des Substratherstellers, seine Produkte in sehr feine, feine, mittlere, grobe oder andere Kategorien festzulegen. Somit kann die Partikelgrößenverteilung je nach Hersteller unterschiedlich kategorisiert werden. Dieser versucht immer, die für die jeweilige Kultur optimale Partikelgrößenverteilung einzustellen.

4.3.3 Rohdichte (Volumengewicht)

Bei der Rohdichte werden zwei Grundeigenschaften des Substrats in Relation zueinander gesetzt: das Gewicht und das Volumen. Daher wird die Rohdichte auch als Volumengewicht bezeichnet. Die Rohdichte kann man beziehen auf das Substrat in feuchtem Zustand (in der Regel der aktuelle Feuchtigkeitsgehalt bei Probenanlieferung); dann wird sie als Rohdichte_{feucht} bezeichnet. Auf das Material in trockenem Zustand bezogen (0 % Feuchtigkeitsgehalt nach Trocknung bei $105 \pm 2 \text{ °C}$) spricht man von Rohdichte_{trocken}.

Nach VDLUFA-Methode ist die Rohdichte_{trocken} (Volumengewicht_{trocken}) die Masse einer nach standardisierten Bedingungen eingerüttelten Probe nach Trocknung bei 105 °C bezogen auf ein Volumen, angegeben in g/l.

Gemäß DIN EN 13041 (DIN 2012d) ist die Rohdichte_{trocken} der Quotient aus Trockenmasse und Volumen einer Probe in g/l oder anders ausgedrückt: die Masse einer bei -10 hPa entwässerten und bei 105 °C getrockneten Probe in g/l.

In Deutschland und vielen anderen Ländern wird die Rohdichte in g/l angegeben; manchmal liest man auch die Einheiten g/ml, g/m³ oder kg/l. Die ermittelte Rohdichte ist immer

abhängig von der Art (organisch oder mineralisch) sowie der Größe und Form der Partikel. Zudem spielen äußere Kräfte bei der methodischen Bestimmung der Rohdichte eine wesentliche Rolle und haben Einfluss auf das Messergebnis. Solche Kräfte können ein auf das Substrat gesetztes Gewicht (DIN EN 13040) oder das Einrütteln des Substrats in ein Behältnis (VDLUFA-Methode) sein. Beide Vorgehensweisen sollen die in der gärtnerischen Praxis durch Topfen oder ähnliche Gebrauchsvorgänge eingestellte Lagerungsdichte nachempfinden, spiegeln diese aber nicht exakt. Das Messergebnis ist die jeweils methodenbedingte Rohdichte_{feucht}.

Gemäß DIN EN 13040 (DIN 2008) ist die Laborschüttdichte (D_{BD}) die unter festgelegten Bedingungen ermittelte Dichte einer verdichteten Probe, angegeben in g/l. Die Laborschüttdichte ist im Prinzip gleichzusetzen mit der Rohdichte_{feucht}. Die Bezeichnung Laborschüttdichte wurde gewählt, um von der Schüttdichte nach DIN EN 12580 (DIN 2014b) zu differenzieren. Die Laborschüttdichte ist die Grundlage für die Substrateinwaage für die Bestimmung des pH-Wertes, des EC-Wertes, der wasserlöslichen und der CAT-löslichen Nährstoffe nach Europäischen Normen (s. Tabelle 8).

Wichtig ist die Rohdichte als Bezugsgröße bei der Angabe von löslichen bzw. verfügbaren Nährstoffgehalten. Ferner steht das Gesamtporenvolumen in einem bestimmten Verhältnis zur Rohdichte: Je höher die Rohdichte, desto niedriger ist das Gesamtporenvolumen und umgekehrt. Die Rohdichte spielt für den Substratproduzenten bei der Auswahl von Ausgangsstoffen, Herstellung, Abpackung und dem Transport eine große Rolle. Je leichter ein Substrat ist, desto einfacher die Handhabung und der Transport in allen relevanten gartenbaulichen Einsatzbereichen. Zudem führen hohe Rohdichten zu höheren Transportkosten. Hohe Rohdichten verbessern die Standfestigkeit von Pflanzen in Töpfen und Containern.

4.3.4 Gesamtporenvolumen

Der Ausgangsstoff und dessen Partikelgröße und -form wirken sich auf das Gefüge des Substrats aus. Hinzu kommen Einflüsse durch Topfvorgänge, Befüllen von Anzuchtkisten, Wurzelwachstum, den Transport innerhalb des Betriebs, Bewässerungsvorgänge und andere äußere Einwirkungen auf das Substrat. Die Partikel bilden Brücken, zwischen denen Hohlräume entstehen; das Volumen ist also nie vollständig durch feste Substanz ausgefüllt. Diese Hohlräume werden Poren genannt. Ausgangsstoffe mit großen oder sperrigen Partikeln wie Reisspelzen, Pinienrinde, Kokosfasern oder grob fraktioniertem Torf bilden Grobporen. Kleinere Partikel, wie in fein fraktionierten Torfen, Kokosmark oder Schwarztorf für Presstopferden, bilden Mittel- und Kleinporen. Grobporen enthalten überwiegend Luft. Mittelporen sind eher mit pflanzenverfügbarem Wasser gefüllt. Das in den Klein- und Kleinstporen befindliche Wasser ist zum größten Teil nicht pflanzenverfügbar. Luft- und Wasserhaushalt im Substrat sind somit von den Anteilen der unterschiedlich großen Poren abhängig.

Da sich der Porenanteil auf ein Volumen bezieht, wird er in % (v/v) angegeben. Die Poren zwischen den Partikeln bilden das äußere und die in den Partikeln das innere Porenvolumen. Zusammen ergeben sie das Gesamtporenvolumen (P_s). Das nach DIN EN 13041 (DIN 2012d) bestimmte P_s ist eine Momentaufnahme für diese Kenngröße und gibt nur den Wert zum Zeitpunkt der Messung wieder, der sich während der Kultur, wie in Kap. 4.3.1 und 4.3.2 erläutert, immer verändert. P_s ist demnach

keine konstante Größe während des Kulturverlaufs. Das Gesamtporenvolumen ist immer mit

Luft und/oder Wasser gefüllt. Erreicht ein Substrat den Maximalwert der Wassersättigung, so liegt das Luftvolumen bei 0 %. Die Anteile an Luft und Wasser in den Poren hängen ab von der Kapazität des Substrats, Luft und Wasser zu speichern. Hierbei gibt es große Unterschiede zwischen den Ausgangsstoffen sowie durch ihre Aufbereitung, wie z. B. den Vermahlungsgrad, die Absiebung, den Zersetzungsgrad (bei Torf) oder den Rottegrad (bei Komposten oder Rindenhumus). Wie Tabelle 8 zu entnehmen ist, ist das Gesamtporenvolumen (P_s) bei den meisten organischen Substratausgangsstoffen hoch und liegt bei etwa 94 % (v/v). Zusammen ergeben Wasserkapazität (W_v) und Luftkapazität (A_v) das Gesamtporenvolumen. Das Gesamtporenvolumen lässt aber keine verlässlichen Rückschlüsse auf die Wasser- und Luftkapazität zu. So kann P_s bei Reisspelzen 94 % (v/v) betragen, die Wasserkapazität aber nur bei 14 % (v/v) und die Luftkapazität bei 80 % (v/v) liegen. Bei gleichem P_s -Wert kann die Wasserkapazität von Kokosmark bei 66 % (v/v) und die Luftkapazität bei 28 % (v/v) liegen.

4.3.5 Wasser- und Lufthaushalt

BOHNE (2006) betont, dass ein Substrat nie zu viel Wasser enthalten kann – vorausgesetzt, es enthält gleichzeitig genug Luft, weshalb Wasser- und Lufthaushalt eines Substrats nie unabhängig voneinander beurteilt werden dürfen. Wie schwierig es ist, Wertangaben verschiedener Autoren, die nach unterschiedlichen Methoden arbeiten, zu beurteilen und zu vergleichen, zeigt Tabelle 6 auf.

Tabelle 6: Kennzahlen der für Kultursubstrate empfohlenen Luftkapazität (aus BOHNE 2006).

Empfohlene Luftkapazität (% v/v)	Quelle
10-20	Bailly, F. (1989), Brückner, U. (1994)
15-20	Anderkerk, T. (1993)
15-25	Handreck, K. A. (1983)
20-25	Anderkerk, T. (1988), Handreck, K. A. und Black (1989)
20-30	Bik, A. (1973)
30-40	Penningsfeld, F. (1988), Verdonck, O. et al. (1981)

Tabelle 7 enthält wesentliche Definitionen physikalischer Parameter gemäß DIN EN 13041. Diese Europäische Norm ist bereits Grundlage der Kennzeichnung physikalischer Substrateigenschaften in manchen EU-Ländern. Sie könnte auch die Basis der Kennzeichnung entsprechend der zukünftigen EU-Verordnung für diese Produktgruppen werden. In diesem Buch wird nicht auf andere Analyseverfahren zur Bestimmung der physikalischen Eigenschaften eingegangen.

Pflanzenwurzeln benötigen im Wurzelraum Wasser und Luft: Wasser, um alle pflanzenphysiologischen und wasserabhängigen Vorgänge (z. B. Turgeszenz, Transport von Nährstoffen) zu gewährleisten; Luft (Sauerstoff), um die Gasdiffusion im Wurzelraum zu gewährleisten. Grobporige Substrate können aufgrund ihrer großen und/oder sperrigen Partikel nicht

viel Wasser speichern – ihre Wasserkapazität ist eher gering und ihre Luftkapazität hoch. Entsprechend werden z. B. Containersubstrate hergestellt, die überschüssiges Niederschlagswasser schnell abfließen lassen. Bei üblichen Anstauverfahren, wie der Ebbe-Flut-Bewässerung, muss überschüssiges Wasser nach der Wasserzufuhr schnell abfließen können, um Staunässe zu vermeiden. Häufig enthalten solche Substrate Bläherlit oder ähnlich wirkende Ausgangsstoffe. Schlecht entwässernde Substrate sind also zu vermeiden. Auch Hobbyerden sollten gut dränierende Eigenschaften haben, da gerade im Privathaushalt eher großzügig mit der Bewässerung umgegangen wird.

Hohe Anforderungen werden an das Substrat gestellt, Luft austauschen zu können. Eine gute Luftführung im Substrat beeinflusst das

Tabelle 7: Definitionen wesentlicher Parameter des Wasser- und Lufthaushaltes von Kultursubstraten und Blumenerden gemäß DIN EN 13041 (DIN 13041d) und von in dieser Norm festgelegten Bedingungen abgeleitete Definitionen.

Parameter (Abk.)	Einheit	Definition
Rohdichte _{trocken} (D_{BD}) ¹⁾	kg m ⁻³	Der Quotient aus Trockenmasse und Volumen der Probe in Gramm je Liter.
Teilchendichte oder Partikeldichte (P_D) ¹⁾	kg m ⁻³	Der Quotient aus der Gesamtmasse der ofengetrockneten festen Teilchen (Minerale, org. Substanz) und dem Volumen dieser Teilchen. (Das geschlossene Porenvolumen dieser Teilchen und Porenräume zwischen den Teilchen sind hiervon ausgenommen.)
Gesamtporenvolumen (P_S) ¹⁾	% (v/v)	Der unter den in der Norm festgelegten Bedingungen, besonders unter einer definierten Saugspannung (von z. B. –10 cm Wassersäule (= –1 kPa Saugspannung) ermittelte gesamte mit Wasser und/oder Luft gefüllte Porenraum.
Luftkapazität (A_V) ¹⁾	% (v/v)	Der unter den in der Norm festgelegten Bedingungen, besonders unter einer definierten Saugspannung (von z. B. –10 cm Wassersäule (= –1 kPa Saugspannung) ermittelte mit Luft gefüllte Volumenanteil der Probe.
Wasserkapazität (W_V) ¹⁾	% (v/v)	Der unter den in der Norm festgelegten Bedingungen, besonders unter einer definierten Saugspannung (von z. B. –10 cm Wassersäule (= –1 kPa Saugspannung) ermittelte mit Wasser gefüllte Volumenanteil der Probe.
Verfügbares Wasser*	% (v/v)	*Der Wasseranteil, den eine Probe zwischen –10 und –100 cm Wassersäule speichern kann.
Leicht verfügbares Wasser*	% (v/v)	*Der Wasseranteil, den eine Probe zwischen –10 und –50 cm Wassersäule speichern kann.
Schrumpfungswert (S) ¹⁾	%	Der durch Trocknen einer feuchten Probe entstehende Volumenverlust.

¹⁾ In der deutschen Fassung der Norm sind die Abkürzungen direkt aus dem Englischen übernommen: A_V = air volume; D_{BD} = dry bulk density; P_S = pore space; S = shrinkage; W_V = water volume; P_D = particle density.

* Definition abgeleitet von den in der DIN EN festgelegten Bedingungen. Die Norm selbst beinhaltet keine Definition.

Pflanzenwachstum positiv. Sowohl durch die Atmung der Wurzeln als auch durch mikrobielle Abbauprozesse der organischen Substanz wird Kohlendioxid (CO_2) im Substrat freigesetzt. Um Sauerstoffmangel im Wurzelbereich zu vermeiden, muss ein Luft-/Gasaustausch im Substrat gewährleistet sein. Ein ausreichendes Luftvolumen vor allem im unteren Wurzelbereich des Containers oder Topfes ist daher wichtig. Durch eine ausreichende Luftkapazität und entsprechende Wasserdurchlässigkeit des Substrats wird das erreicht.

Bei der Produktion von Kultursubstraten und Blumenerden werden die Ansprüche der Kulturpflanze in der gärtnerischen Praxis wie auch die nicht produktionstechnisch ausgerichteten Anforderungen an Substrate für die Anzucht und Kultur grundsätzlich erfüllt. Die Ansprüche von Kulturpflanzen an den Wasser- und Lufthaushalt sind jedoch unterschiedlich. So benötigen typischerweise (in der Natur) epiphytisch lebende Orchideen mit ihren Luftwurzeln eine deutlich größere Luftkapazität im Substrat [A_v bei 30 bis 60 % (v/v)] als beispielsweise Jungpflanzen, die in Presstöpfen mit einer wesentlich geringeren Luftkapazität auskommen [A_v etwa 8 % (v/v)]. Die Ausgewogenheit zwischen Luft- und Wasserkapazität kann somit kein starres Verhältnis sein, sondern bewegt sich immer in Wertebereichen, die recht groß sein können. Die Kulturführung, vor allem die Bewässerung, kann etwaige ungünstige Verhältnisse in Wasser- und Lufthaushalt teilweise ausgleichen.

Kultursubstrate und Blumenerden werden üblicherweise in Töpfe, Container, Tröge oder andere Gefäße gefüllt. Jedes Substrat übt aufgrund seiner Adsorptions- und Kapillarkräfte eine bestimmte Saugspannung auf das Wasser im Substrat aus. Die wasserbindenden Kräfte sind dabei in Feinporen stärker als in Grobporen. Die Wassermenge, die bei einer bestimmten methodisch angelegten Saugspannung in einem Substrat vorliegt, ist vom Gesamtporenvolumen und von der Porengrößenverteilung abhängig. Der Verlauf der Beziehung zwischen Wassermenge und Saugspannung ist daher für jedes Substrat und je-

den Ausgangsstoff charakteristisch. Die Saugspannung wird in cm Wassersäule gemessen. Der Verlauf wird als Wasserspannungskurve oder pF-Kurve bezeichnet. Das p im pF-Wert steht für Potenz, das F für die ‚Freie Energie‘ des Wassers. Der pF-Wert (= $\log$ cm Wassersäule) beschreibt anschaulich die Wasserbindung im Substrat, denn jedem Wert steht eine bestimmte Wassermenge gegenüber. Die pF-Kurve eines Substrats stellt eine Summenkurve der Porengrößenverteilung dar. Will man eine pF-Kurve erstellen, muss bei mehreren Saugspannungen die Wasserkapazität ermittelt werden.

Gemäß DIN EN 13041 (DIN 2012d) wird die Wasserkapazität bei genormten Bedingungen ermittelt, meistens bei –10 cm Wassersäule. So ist u. a. die Höhe des Messzylinders vorgeschrieben, die dem eines 5-cm-Topfes entspricht. Die Wassermenge, die zwischen Saugspannungen von –10 und –50 cm gemessen wird, ist für die Pflanze leicht verfügbar. Wasser, das zwischen Saugspannungen von –50 und –100 cm ermittelt wird, ist schwer verfügbar.

Bei pF 0 sind praktisch alle Poren mit Wasser gefüllt, das Substrat ist völlig wassergesättigt. pF 1 entspricht einer Saugspannung von –10 cm. Eine Saugspannung von –60 cm entspricht pF 1,8. Der sogenannte Permanente Welkepunkt liegt bei pF 4,2. Je höher die Saugspannung, desto trockener das Substrat.

WEVER et al. (1997) führen die Wasserleitfähigkeit und Hysterese (griechisch hysteros = hinterher, später) – das Zurückbleiben einer Wirkung hinter der sie verursachenden Veränderunglichen Kraft – als weitere wesentliche Eigenschaften für Substrate und Ausgangsstoffe auf. Sowohl die horizontale als auch die vertikale Verteilung von Wasser mit den darin gelösten Nährstoffen ist für ihren schnellen Transport zu den Wurzeln wichtig. Bewässerungsverfahren wie die Tröpfchenbewässerung und das Ebbe-Flut-Verfahren stellen hierbei hohe Anforderungen an das Substrat. Das Zurückbleiben der Wasserleitfähigkeit schränkt die Durchfeuchtung des Substrats

ein, was letztendlich eine schlechtere Wasser- und Nährstoffversorgung und eventuell vermindertes Pflanzenwachstum zur Folge haben kann.

Bei Substraten mit hohen Anteilen von gut Wasser aufnehmenden Ausgangsstoffen wie Kokosmark ist der Zusatz eines Netzmittels kaum erforderlich. Auch bei häufigem Austrocknen nimmt Kokosmark leicht Wasser auf. Anders verhält sich Torf, der bei zunehmender Austrocknung zunehmend wasserabweisend wirkt. Bei reinen Torfsubstraten arbeiten Substrathersteller häufig mit Netzmitteln, um die Wasseraufnahme und -verteilung zu optimieren (s. Kap. 4.3.5.3 und 6.3).

4.3.5.1 Feuchtigkeitsgehalt (Wassergehalt)

Der Feuchtigkeitsgehalt einer Probe gibt an, welche Menge an Feuchtigkeit (Wasser) darin enthalten ist. Gemäß DIN 13040 (DIN 2008) ist die Abkürzung für den Feuchtigkeitsgehalt W_m und wird in % Massenanteil (% m/m) angegeben. Entsprechend dieser Norm wird W_m durch Trocknung bei 105 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz durchgeführt; nach VDLUFA-Methode bei 103 °C. Sprachgebräuchlich ist die Bezeichnung ‚Wassergehalt‘ nach wie vor verbreitet.

Das Gesamtporenvolumen ist in wechselnden Anteilen mit Wasser und Luft gefüllt. Bei Wassersättigung enthält das Substrat keine Luft – das Gesamtporenvolumen ist vollständig mit Wasser gefüllt. Auch luftgetrocknete Substrate enthalten noch Wasser. So enthalten beispielsweise an der Luft getrocknete Torfproben in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit bei der Trocknung noch immer 14 bis 18 % (m/m) Wasser. Der W_m -Wert luftgetrockneter Proben hängt aber immer vom Substratausgangsstoff selbst ab.

Der Feuchtigkeitsgehalt eines Substrats ist entscheidend für den Kulturerfolg. Ist ein Substrat zu nass oder zu trocken, treten Wachstumshemmungen auf. Die Kulturfeuchte bezeichnet den Feuchtigkeitsgehalt eines Sub-

strats, bei dem es ‚eintopffähig‘ ist. „Ein Substrat ist eintopffähig, wenn es sich beim kräftigen Zusammendrücken in der Faust feucht anfühlt, dabei aber kein Wasser austritt“ (VDLUFA 2000). Die optimale Kulturfeuchte wiederum ist nicht für alle Substratmischungen und Kulturen gleich. Bei Substraten aus wenig zersetztem Hochmoortorf liegt der Feuchtigkeitsgehalt bei der Herstellung meistens zwischen 55 und 65 % (m/m). Nach der Bewässerung in der Kultur liegt der Feuchtigkeitsgehalt meistens bei 70 bis 80 % (m/m). Bei Substraten mit mineralischen Anteilen wie z. B. Kompost oder Sand liegen die Werte deutlich niedriger. [Anmerkung: Bei Komposten ist der mineralische Anteil meistens deutlich höher als der der organischen Substanz, oft < 30 % (m/m).]

Der Feuchtigkeitsgehalt hat auch Auswirkungen auf die Substratmenge, die geliefert wird. Bei organischen Substratausgangsstoffen wie Torf oder Kokosmark ist bei niedrigen wie auch hohen Feuchtigkeitsgehalten das nach DIN EN 12580 bestimmte Volumen geringer als bei einer mittleren Feuchtigkeit (s. Kap. 7.4.1). So weisen manche Substrathersteller darauf hin, dass das Substrat erst angefeuchtet werden muss, um das gekennzeichnete Volumen ermitteln zu können.

Tabelle 8: Durchschnittliche Wertebereiche einiger physikalischer und chemischer Eigenschaften von organischen Substratausgangsstoffen, ermittelt nach Europäischen Normen. (In Abhängigkeit von den Probeneigenschaften, wie Struktur, Feuchtigkeitsgehalt und Verunreinigungen, können abweichende Werte auftreten.) (SCHMILEWSKI, BARTELS und EMMEL, unveröffentlicht) (k. A.)

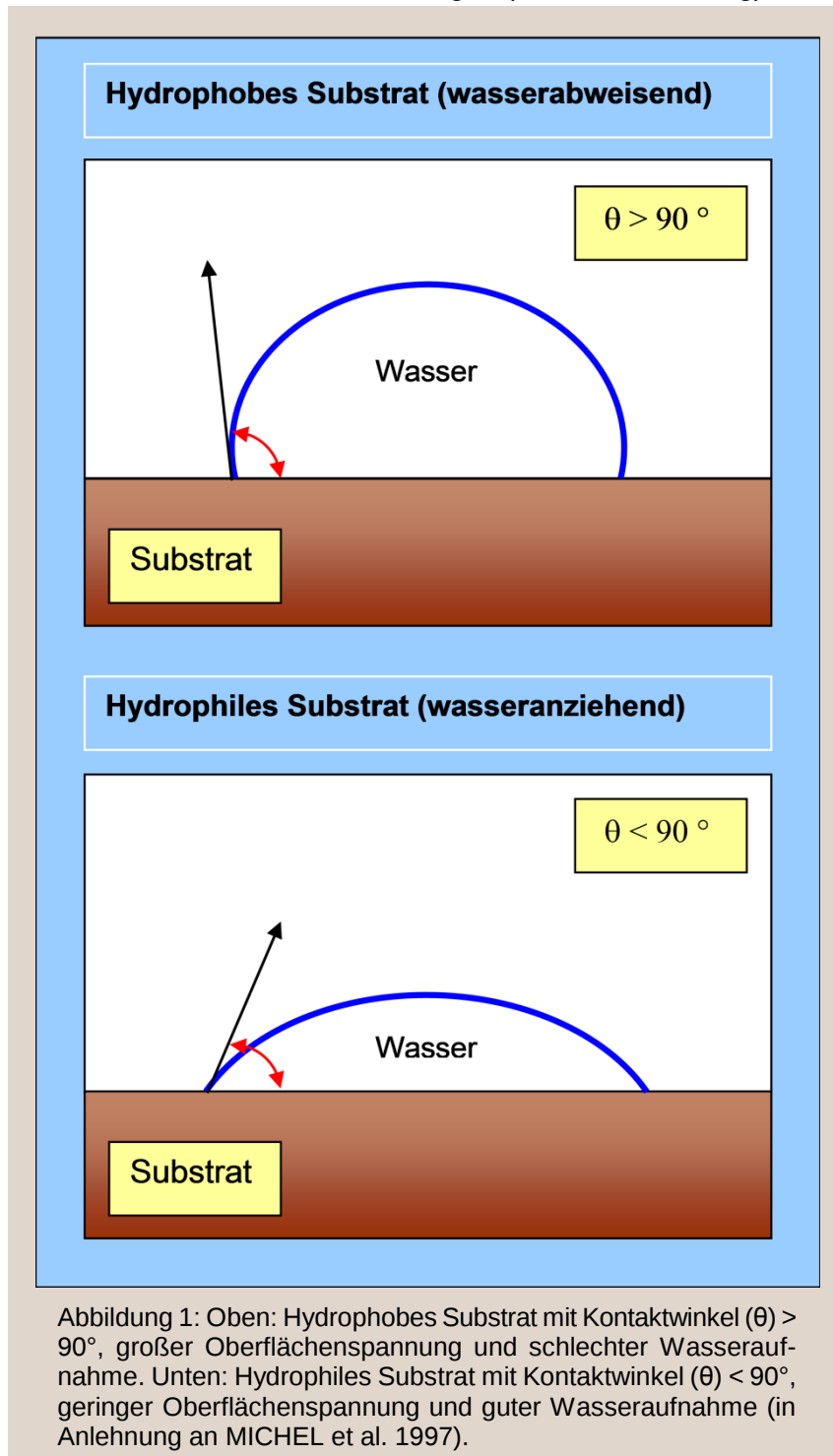
Eigenschaft	Methode	Einheit	Hochmoortorf		Kokos (gepuffert)		Holz- faser- stoffe	Substrat- kompost	Rinden- humus	Pinien- rinde (5-15 mm)	Reis- spelzen	Flachs- schäben	Faser- xylit	Torfmoos (luft- trocken, groß- blättrig)
			(H3-5)	(H6-8)	-mark 1)	-fasern								
Org. Substanz W_{om}	EN 13039	% (m/m)	94-99	94-99	88-94	94-97	96-99	20-35	65-80	92-95	80-85	91-94	85-95	94-99
Laborschüttdichte L_D	EN 13040	g/l	150-200	350-450	250-350	70-100	90-120	500-600	350-450	300-400	90-110	90-110	400-520	30-50
Rohdichte _{trocken} D_{BD}	EN 13041		80-120	130-180	70-90	60-80	70-90	400-500	170-230	160-180	75-80	60-70	250-360	30-60
Wasserkapazität ²⁾³⁾		g/100g TR	420-1.000	370-640	600-800	200-270	410-550	250-350	260-295	155-175	155-180	280-330	120-170	1.200-2.000
Gesamtporenvolumen P_S ³⁾		% (v/v)	93-95	89-92	85-95	95-98	93-96	60-70	75-88	85-90	93-96	92-96	80-85	92-98
Wasserkapazität W_V ³⁾			50-80	67-83	60-70	8-12	40-45	40-40	50-60	26-30	12-15	22-28	30-60	38-47
Luftkapazität A_V ³⁾			15-45	9-25	15-35	83-90	48-56	20-30	15-38	55-64	78-84	64-74	20-42	45-60
Schrumpfungswert ³⁾			25-35	35-50	15-22	5-12	4-12	10-20	15-20	10-15	1-4	1-5	15-40	10-20
pH-Wert	EN 13037		3,5-4,5	3,5-4,5	4,5-6,0	4,5-5,5	5,0-6,0	7,0-8,5	5,0-6,0	5,5-6,5	5,3-6,0	5,2-5,6	5,2-6,0	3,7-4,2
Elektrische Leitfähigkeit	EN 13038	mS/m	1,5-5,0	2,5-7,0	0,20-1,00	0,06-0,30	0,15-0,30	55-85	20-35	k. A.	k. A.	k. A.	8-20	3,5-4,5
N (NH ₄ -N + NO ₃ -N)	EN 13651 (CAT)	mg/l	10-40	10-40	10-40	5-20	30-50*	50-200	100-250	k. A.	k. A.	k. A.	5-25	10-25
P			10-20	10-20	10-30	5-20	20-30	100-200	80-200	k. A.	k. A.	k. A.	5-20	8-25
K			10-20	10-20	250-600	60-100	50-80	400-1.000	20-500	k. A.	k. A.	k. A.	10-40	80-200
N-Bindung (Brutversuch) ⁴⁾⁵⁾	(Zöttl)	mg N/l	0-50 ⁵⁾	0-50 ⁵⁾	20-80 ⁵⁾	20-100 ⁵⁾	80-250 ⁵⁾	10-150 ⁵⁾	10-100 ⁵⁾	unbek.	20-80	bis 500 ⁵⁾	40-80 ⁵⁾	0-50 ⁵⁾

¹⁾ Mit einem Faseranteil von ca. 10 % (v/v) nach Rekonstitution von gepresstem Kokosmark.
²⁾ Die Berechnung der Wasserkapazität in g/100 g Trockenrückstand erfolgte auf Basis der nach DIN EN 13041 ermittelten Werte.
³⁾ Ermittelt bei einer Saugspannung von pF 1.
⁴⁾ Beim Brutversuch nach Zöttl handelt es sich nicht um eine Europäische Norm.
⁵⁾ Werte ermittelt von M. EMMEL.
* Ohne N-Zusatz.

4.3.5.2 Sackung, Schrumpfung und Quellung

Sackung ist die durch den Druck oberer Schichten im Substrat auf darunter liegende Schichten verursachte Setzung des Substrats. Sackung ist nicht identisch mit Schrumpfung. Je länger die Standzeit des Substrats, desto größer ist in der Regel die Setzung. Ein Substrat aus 100 % Bläherpilz

beispielsweise sackt aufgrund seines festen inerten Gefüges kaum, da der im Container ausgeübte Druck durch das sperrige Granulat aufgefangen wird und nicht zu Formveränderungen führt. Ein in der Struktur eher nachgebendes Material, wie Kompost, Torf, Kokosmark oder Holzfaserstoffe, hat eine vergleichsweise instabilere Struktur, bei der sich der Eigendruck und äußere Einwirkungen (z. B. Bewässerung) stärker auf die Sa-



ckung auswirken als bei mineralischen Produkten. Bei reinen Holzfaserstoffen kann eine Sackung von 20 bis 30 % auftreten. Düngungsmaßnahmen und mikrobieller Abbau der organischen Substanz führen zu weiterer Sackung des Substrats. Für die Bestimmung der Sackung gibt es keine einheitliche Methode. Sackungsmessungen werden in der Regel von Hand mithilfe eines Zollstocks durchgeführt.

Nach BLUME et al. (2010) wird Schrumpfung durch Kohäsion und Oberflächenspannung des Wassers einerseits und durch Adhäsion zwischen Wasser und den festen Partikeln andererseits bedingt. Schrumpfung setzt ein, sobald Partikel Wasser verlieren. Das wiederum führt zu einer Kontraktion und Annäherung der Substratpartikel. Austrocknung des Substrats führt also zu seiner Schrumpfung. So kann es zu Schrumpfungsrissen und -spalten im Substrat kommen. Ein stark geschrumpftes Substrat kann zu erheblichen Problemen bei der Wiederbefeuchtung des Substrats führen und diese stark einschränken oder verhindern. Der Grad der Schrumpfung ist von der jeweiligen Zusammensetzung des Substrats abhängig. Die Bestimmung der Schrumpfung wird gemäß DIN EN 13041 (DIN 2012d) durchgeführt. Sie liegt beispielsweise bei Reisspelzen, Kokosfasern und Holzfasern sehr niedrig (um 7 %) und bei stark zersetztem Hochmoortorf sehr hoch (um 40 %) (s. Tabelle 8).

Während Feuchtigkeitsverlust zu Schrumpfung führt, leitet die Wiederbefeuchtung des Substrats die Entspannung der geschrumpften Partikel und die Quellung des Substrats ein. Wie die Schrumpfung ist die Rückquellung abhängig von der Substratzusammensetzung. Stoffe, die sich nach starker Austrocknung leicht wiederbenetzen lassen (z. B. Kokosmark, mineralische Ausgangsstoffe), erlauben eine rasche Rückquellung. Bei stark geschrumpftem Torf kann sich eine vollständige Rückquellung über Tage hinziehen oder gar nicht vollzogen werden. Wachstumseinschränkungen können die Folge sein. Bei schrumpfanfälligen Substratausgangs-

stoffen und -mischungen ist der Zusatz von Netzmitteln oder feinem Ton hilfreich.

4.3.5.3 Benetzbarkeit

Viele Substrate weisen bei starker Ab- oder Austrocknung Wasser ab, d. h., sie nehmen es nicht oder nur schwer auf. Bei manchen ausgetrockneten Substraten, etwa bei Torfsubstraten, ist bei Zugabe von Wasser die Grenzfläche zwischen Substrat und Wasser nicht sehr aktiv, so dass das Wasser aufgrund seiner Grenzflächenspannung nicht in das Substrat eindringt, sondern abperlt (NIGGEMANN 1970). Werden Netzmittel dem Substrat zugesetzt, setzen diese die Grenzflächenspannung des Wassers herab. Dadurch kann das Wasser die Substratpartikel vollständig benetzen und in Grob- und Feinporen eindringen.

Wasserabweisung (Hydrophobizität) ist eine Eigenschaft, die Wasser daran hindert, ungestört in das Substrat einzudringen und sich vertikal und horizontal auszubreiten. Bei NIGGEMANN (1970) ist nachzulesen, dass folgende Faktoren für eine erschwerte Benetzungsbereitschaft von trockenem Torf verantwortlich sind:

- Wachse, Harze, Fette und ähnliche Bestandteile des Torfes
- die Ausbildung von Lufthüllen um die Torfpartikel
- mit Luftadsorption gepaarte „irreversible“ Schrumpfung organischer Kolloide beim Trocknen des Torfes
- Anwesenheit von Eisenhumat

Die wohl wichtigste Ursache für die schlechte Benetzbarkeit ist die bei der Austrocknung des Torfes kaum reversible Schrumpfung der Torfteilchen. So sollen sekundäre Bindungen, etwa das Zusammenkleben von Torfteilchen, das Aufquellen der Torfteilchen behindern. Das führt dazu, dass sich beim Versuch, trockenen Torf anzufeuchten, die Wassertropfen nicht ausbreiten wie bei feuchtem Torf. Vielmehr bildet sich zwischen

Torf und Wasser, das nicht in den Torf eindringen kann, sondern inaktiv als Tropfen auf der Substratoberfläche verbleibt, ein deutlicher Winkel von 90° oder mehr. Nach SCHWEIKLE (1990) ist dieses Verhalten besonders bei niedrigen pH-Werten ausgeprägt und lässt trockenen Torf besonders hydrophob werden.

Den Winkel zwischen der Substratoberfläche und dem Wasser bezeichnet man als Kontaktwinkel (θ). Materialien, mit denen Wasser einen Kontaktwinkel $< 90^\circ$ ausbildet, werden als hydrophil (wasserfreundlich) und solche, mit denen Wasser einen Kontaktwinkel $> 90^\circ$ ausbildet, als hydrophob (wasserfeindlich) bezeichnet. Je kleiner θ ist, desto stärker ist der hydrophile Charakter des Substratausgangsstoffes oder Substrats. Direkte Winkelmessungen mithilfe eines optischen Goniometers oder Messungen der geometrischen Dimensionen sind möglich (FINK 1970; CHASSIN 1979). Der Kontaktwinkel beeinflusst somit die Benetzbarkeit und damit die Wasserkapazität des Substrats und die Wasserverteilung im Substrat. Lange ist bekannt, dass besonders stark zersetzte Torfe eher zu schlechter Benetzbarkeit neigen als schwach zersetzte Torfe. Durch den Zusatz von Netzmitteln wird der Kontaktwinkel verkleinert und die Wasseraufnahme und -verteilung im Substrat verbessert.

In der Kultur tritt schlechte Substratbenetzung vor allem dann auf, wenn das Substrat zu Kulturbeginn zu spät befeuchtet wird oder die nachfolgenden Gießintervalle zu lang sind. Die Folgen sind schlechte Wasseraufnahme und -verteilung bei gleichzeitiger Bildung von „Trockentaschen“, schlechte Wurzelbildung in diesen Bereichen und letztendlich vermindertes Pflanzenwachstum. Die vorsorgliche Beimischung von Netzmitteln in Substrate ist bei vielen Substratherstellern daher häufige Praxis und insbesondere bei trockener Kulturführung im Gartenbaubetrieb empfehlenswert (s. Kap. 6.3).

4.3.6 Mechanische Eigenschaften

4.3.6.1 Fließeigenschaften

Unter Fließen versteht man den kontinuierlichen Transport der Masse Substrat innerhalb einer Zeiteinheit am Einsatzort, z. B. an Füllmaschinen. Dieser Fließtransport tritt ein, sobald die treibende Kraft, in der Regel die Schwerkraft, die Haftreibung zwischen den Substratteilchen bzw. zwischen diesen und ihrer Unterlage übersteigt. Die Fließfähigkeit von Substraten ist vor allem bei ihrer Handhabung und maschinellen Verwendung von Bedeutung. So muss ein Aussaatsubstrat leicht beim Befüllen kleinster Einheiten von Multizellenplatten rieseln können oder ein Topfsubstrat ohne Störung alle Vorgänge in einer Topfmaschinenanlage durchlaufen können.

Mit Ausnahme von vorgefertigten Kultursubstraten wie Mineralwolle-Matten oder vorgefertigten Plugs sind Kultursubstrate und Blumenerden sowie Substratzusätze Schüttgüter. Im Gegensatz zu Flüssigkeiten wird die Fließeigenschaft eines Substrats nicht allein durch die stoffliche Zusammensetzung bestimmt. Nach SCHULZE (2014) wird mit dem Begriff ‚gute Fließfähigkeit‘ ausgedrückt, dass ein Schüttgut leicht zum Fließen zu bringen ist. Im Gegensatz dazu bedeutet ‚schlechte Fließfähigkeit‘, dass ein Schüttgut schwer zum Fließen zu bringen ist, was auch durch die Verdichtung des Substrats beim Verpacken in Ballen, Großballen und anderen Gebindeformen oder nach langer Lagerung eintreten kann. Daher muss bei der Bestimmung der Menge nach DIN EN 12580 verdichtetes Material aufgelockert werden, bevor die Schüttdichte ermittelt wird (s. Kap. 7.4.1). Bei gut fließenden, trockenen Substraten mit harten Partikeln (z. B. Bläherlit) wird die Schüttdichte kaum zunehmen. Die weniger guten Fließeigenschaften mancher Materialien (z. B. Rinde) sind der Grund, warum das Messgefäß gemäß DIN EN 12580 zylindrisch und nicht kubisch ist, da grobe Stoffe zur Brückenbildung in eckigen Gefäßen neigen.

Tabelle 9: Einteilung der Fließfähigkeit von Schüttgütern nach SCHULZE (2009) mit ergänzender Zuordnung einiger Substratausgangsstoffe (SCHMILEWSKI).

Fließfähigkeit (ff_c)	Kennzeichnung	Beispiele für Substratausgangsstoffe und -zusätze
< 1	verhärtet mit Festkörpereigenschaften	gefrorenes Substrat, Kokosmark in Blockform
1 bis < 2	sehr kohäsiv, nicht fließend	moorfrischer Torf, völlig vernässtes Substrat
2 bis < 4	kohäsiv	schlecht durchfrorener Schwarztorf, grobe Holzhäcksel, Holzstücke, sehr feuchter Sand, grober Torf
4 bis < 10	leicht fließend	wenig feuchter Sand, mittelfeuchter Torf, mittelfeuchtes Kokosmark
> 10	frei fließend (rieselfähig)	trockener Sand, Bläherperlite, relativ trockener und feiner Torf, Mineraldünger

Abgeleitet von Angaben nach SCHULZE (2014) hängen die Fließeigenschaften von Substraten ab von:

- Partikelgrößenverteilung
- Partikelform (z. B. fest, nachgebend, rund, länglich, glatt oder raue Oberfläche)
- Zusammensetzung der Partikel (Anteile der verschiedenen Ausgangsstoffe im Substrat)
- Substratfeuchtigkeit
- Substrattemperatur

Aus der Vielzahl von Veröffentlichungen zu physikalischen Substrateigenschaften geht nicht hervor, wie die Fließeigenschaften von Substraten zu bestimmen sind. Fließeigenschaften von Sand, Ton und anderen Bodenarten werden mit geeigneten Messgeräten bestimmt, da in der Bodenkunde die Kenntnis der Fließfähigkeit ff_c (etwa beim Straßenbau) von großer Bedeutung ist. Dabei gilt: Je größer ff_c ist, desto besser fließt ein Material. Die nach SCHULZE (2009) vorgeschlagene Einteilung von Schüttgütern ist in Tabelle 9 mit Ergänzungen bezüglich der Zuordnung von Substratausgangsstoffen und -zusätzen angeführt.

4.3.6.2 Bindigkeit

In manchen Einsatzbereichen müssen Substrate eine eigene Bindigkeit aufweisen, damit ihre Formstabilität gewährleistet ist. So müssen Presstopfsubstrate für die Jungpflanzen-

anzucht vieler Gemüse- (z. B. Kohl- und Salatarten) und mancher Zierpflanzenarten (z. B. *Viola* spp.) plastisch und formbar sein, um daraus Presstöpfе herzustellen. Zum Zeitpunkt der Aussaat lässt der Kultivator die Presstöpfе antrocknen, damit sie nicht auseinanderbrechen. Das Presstopfsubstrat muss dabei eine feine Struktur haben, um die Formgebung der Presslinge (z. B. 3 cm x 3 cm x 3 cm) zu ermöglichen. Stabilität wird durch die Bindigkeit des Substrats erreicht. Daher wird seit der Entwicklung von Presstöpfen in den 1970er Jahren mit stark zersetztem Hochmoortorf als Hauptkomponente von Presstopfsubstraten gearbeitet (FIKUART 1979). Meistens wird hierbei dem gut durchfrorenen Schwarztorf eine gewisse Menge an weniger gut durchfrorenem, eher klebrigem/plastischem Schwarztorf beigemischt. DULTZ et al. (2012) haben gezeigt, dass auch mit der Beimischung von feinst vermahlenden Tonen die notwendige Plastizität und Stabilität eingestellt werden kann. Dabei ist auf die Tonart, die Feinheit des Tons und die zugegebene Tonmenge zu achten (s. Kap. 5.2.1.3.2). Durch Druckmessungen an Presstöpfen kann die Stabilität der Presstöpfе geprüft werden.

Neben der notwendigen Fließfähigkeit von fein fraktionierten Aussaatsubstraten für die Befüllung von Multizellenplatten müssen auch diese Aussaatsubstrate über eine ausreichende Bindigkeit verfügen, wenn nicht die Wurzeln selbst für die Stabilität und den Zusammenhalt des Wurzelballens sorgen. Dies kann insbe-

sondere bei weniger guten Wachstumsbedingungen, etwa in den Wintermonaten der Fall sein. So ist das Umsetzen von Jungpflanzen mit Pikierrobotern ohne nennenswerte Ausfälle nur möglich, wenn das Auseinanderfallen der Wurzelballen verhindert oder deutlich vermindert wird. Auch hier hat sich der Zusatz von Tonen und anderen als Bindemittel dienenden Substanzen wie Stärke, Cellulose oder Polyacrylaten als hilfreich erwiesen (SCHMILEWSKI 2003).

4.4 Chemische Eigenschaften

Die chemischen Substrateigenschaften haben seit jeher einen hohen Stellenwert bei der Substratproduktion und -verwendung. Zum einen bestimmen die volumenbildenden Ausgangsstoffe vornehmlich die physikalischen Eigenschaften des Substrats; sie beeinflussen aber auch die Substratchemie durch ihre stofflichen Bestandteile. Somit bestimmen sie den Gehalt an Makro- und Mikronährstoffen, den pH-Wert, den Salzgehalt, das Pufferungsvermögen, das C/N-Verhältnis etc. mit. Diese Substrateigenschaften werden meist durch Zusätze wie Kalk, Düngemittel, Ton etc. bei der Substratproduktion optimiert. Insbesondere pH-Wert und Nährstoffgehalt haben eine ausgeprägte und sichtbare Wirkung auf das Pflanzenwachstum.

Chemische Eigenschaften wie pH-Wert und Nährstoffgehalt haben auch einen Einfluss auf die mikrobiologischen Eigenschaften des Substrats. Sie können die komplexe Zusammensetzung der Mikroflora und -fauna ändern und dadurch den Abbau und die Zersetzung organischer Substanz beeinflussen (s. Kap. 4.5.2). Diese Wechselwirkungen sind jedoch nur schwer zu kontrollieren und noch zu wenig erforscht.

Die Untersuchung der chemischen Substrateigenschaften lässt sich anders als bei den physikalischen Eigenschaften auch während der Kultur leicht durchführen. Entsprechende Korrekturmaßnahmen wie z. B. Düngung, Auswaschung von Salzen in stehenden Pflanzenbeständen oder Kalkgaben können durchgeführt

werden. Weiterführende Literatur zu chemischen Substrateigenschaften, Analysemethoden und deren Bewertung ist bei BOHNE et al. (2005) zu finden.

4.4.1 pH-Wert

Der pH-Wert des Substrats ist ein Parameter mit erheblicher Bedeutung für das Gedeihen von Pflanzen. Bei falsch eingestelltem pH-Wert des Substrats oder bei starken pH-Änderungen während der Kultur ist mit Nährstoffmangelsymptomen oder Überschysssymptomen sowie bei sehr niedrigem pH-Wert auch mit einem gehemmten Wurzelwachstum der Kulturpflanzen zu rechnen, es sei denn, der pH-Wert kann im Kulturverlauf rechtzeitig korrigiert werden.

Die Abkürzung pH wird vom lateinischen ‚pondus Hydrogenii‘ abgeleitet, was so viel bedeutet wie das Gewicht des Wasserstoffes. Man spricht manchmal auch nur vom pH des Substrats. Chemisch-mathematisch gemäß DIN 11540 (DIN 2005) ist der pH-Wert eine „dimensionslose Zahl, die den pH als Maß für die saure oder basische Reaktion einer wässrigen Lösung charakterisiert und dem mit (-1) multiplizierten dekadischen Logarithmus der molaren Wasserstoffionenaktivität, geteilt durch die Einheit der Molarität entspricht“ oder kurz definiert: Der pH ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenaktivität. Die Fähigkeit einer Blumenerde oder eines Kultursubstrats, die Wasserstoffionenkonzentration der Lösung zu beeinflussen, wird als Azidität oder Substratreaktion bezeichnet. Beim pH-Wert handelt sich um eine dimensionslose Zahl. Die lineare pH-Skala umfasst Maßzahlen (pH-Einheiten) von 0 bis 14, wobei Werte < 7 saure Reaktionen und Werte > 7 alkalische Reaktionen anzeigen. Ein pH von 7 definiert eine neutrale Reaktion. Pro pH-Einheit nimmt die saure oder alkalische Wirkung um einen Faktor 10 zu, d. h., die H^+ -Konzentration sinkt oder steigt um das Zehnfache. Der Unterschied der H^+ -Konzentration beispielsweise zwischen 4 und 5 ist größer als zwischen 5 und 6. Das bedeutet, dass, um den pH von 4

auf 5 zu erhöhen, 100-mal mehr H^+ -Ionen neutralisiert werden müssen als von pH 5 auf 6.

Die Messung des pH-Wertes erfolgt in einer Substratsuspension. Der gemessene pH-Wert ist methodenabhängig, da je nach Methode unterschiedliche Anteile der Substratreaktion erfasst werden. In Deutschland wird der pH-Wert von Substraten meistens in einer 0,01-molaren $CaCl_2$ -Lösung gemessen. Labore in anderen Ländern verwenden andere Methoden. Daher ist die Angabe der Methode, die das Extraktionsverhältnis (Substratmenge zur zugegebenen Menge an Extraktionsmittel) und das Extraktionsmittel ($CaCl_2$ oder Wasser) festlegt, bei Wertangaben sehr wichtig. Grundsätzlich erfolgt die Wertangabe mit einer Stelle hinter dem Komma. In der EU wird zunehmend gemäß der EN 13037 gemessen. Für die pH-Messung führt die elektrochemische Messung mit einer pH-Messkette zu den genauesten Ergebnissen. Im Gartenbaubetrieb kann die Messung mit einfachen pH-Metern erfolgen, die jedoch abweichende Werte ergeben können.

Unterschiedliche Substratausgangsstoffe können große Unterschiede in ihren pH-Werten aufweisen, aber auch innerhalb einer Ausgangsstoffkategorie kann der pH-Wert schwanken (Tabelle 10). Der Standort der Entstehung (z. B. bei Torfen, Holz- und Rindenprodukten), die botanische Zusammensetzung

(z. B. bei Torfen), die Behandlung vor der Verwendung (z. B. die Pufferung von Kokosmark) oder die Inputstoffe (z. B. von Komposten) sind dabei entscheidend. Der pH-Wert des Substrats hat wesentlichen Einfluss auf die pflanzliche Verfügbarkeit von Makro- und Mikronährstoffen. Die Nährstoffverfügbarkeit ändert sich mit der Veränderung des pH-Wertes des Substrats. Bei sehr hohen oder sehr niedrigen pH-Werten werden Nährstoffe im Substrat festgelegt und stehen den Kulturpflanzen nur unzureichend zur Verfügung, was zu entsprechenden Schadsymptomen führt.

Die meisten gärtnerischen Kulturpflanzen bevorzugen pH-Werte im schwach bis sehr schwach sauren Bereich von 5,5 bis 6,5 (Tabelle 10). Bestimmte Pflanzengruppen, wie Azerca-Pflanzen (Moorbeetpflanzen) oder die meisten Insektivoren (fleischfressende Pflanzen), ziehen ein saures bis schwach saures Milieu (pH 3,5 bis 5,0) vor.

Der Einfluss des pH-Wertes auf das Pflanzenwachstum ist vor allem wichtig, sobald die Nährstoffmenge in den Minimumbereich kommt. Jedoch verliert der pH-Wert in begrenztem Maße an Bedeutung, wenn für eine ständige Versorgung (Nachdüngung) während der Kultur gesorgt wird. Insbesondere ist hierbei die Spurenelementversorgung sehr wichtig. Bei höheren pH-Werten geht die Verfügbarkeit der meisten Spurenelemente (ausgenommen Molybdän) zurück.

Tabelle 10: Zuordnung einiger Ausgangsstoffe nach ihren pH-Werten gemäß DIN EN 13037.

pH-Wert	Reaktionsbezeichnung	Ausgangsstoff
1	Extrem sauer	Keine
2	Stark sauer	Keine
3	Sauer	Hochmoortorf
4	Sauer bis schwach sauer	Hochmoortorf, Torfmoos
5	Schwach sauer	Hochmoortorf, Torfmoos, Kokos, Niedermoortorf
6	Sehr schwach sauer	Niedermoortorf, Holzfaserstoffe, Rindenhumus, Reisspelzen, Xylit
7	Neutral	Niedermoortorf, Komposte, Rindenhumus, Bläherperlite
8	Sehr schwach alkalisch	Komposte
9	Schwach alkalisch	Komposte
10	Schwach alkalisch bis alkalisch	Keine
11	Alkalisch	Keine
12	Alkalisch bis stark alkalisch	Keine
13	Stark alkalisch	Keine
14	Extrem alkalisch	Keine

Der pH-Wert lässt sich nur schwer auf eine Stelle hinter dem Komma genau einstellen oder während der Kultur genau halten, was auch nicht erforderlich ist. Wichtig ist, dass der für die Pflanzenart optimale pH-Bereich eingehalten wird. Hierbei ist z. B. die Härte des Gießwassers zu beachten: Weiches Wasser wirkt pH-senkend, hartes Wasser pH-steigernd. Auch spielt die Stickstoffform bei der flüssigen Düngung eine Rolle (s. Kap.

4.4.5.2). Kulturpflanzen, die in Substraten mit ungünstigem pH-Wert stehen und deshalb schlecht wachsen, sind krankheitsanfälliger als Pflanzen, die im optimalen pH-Bereich gedeihen.

In Kapitel 6.2 wird ausführlich auf den Zusatz von Kalken bei der Substratherstellung eingegangen.

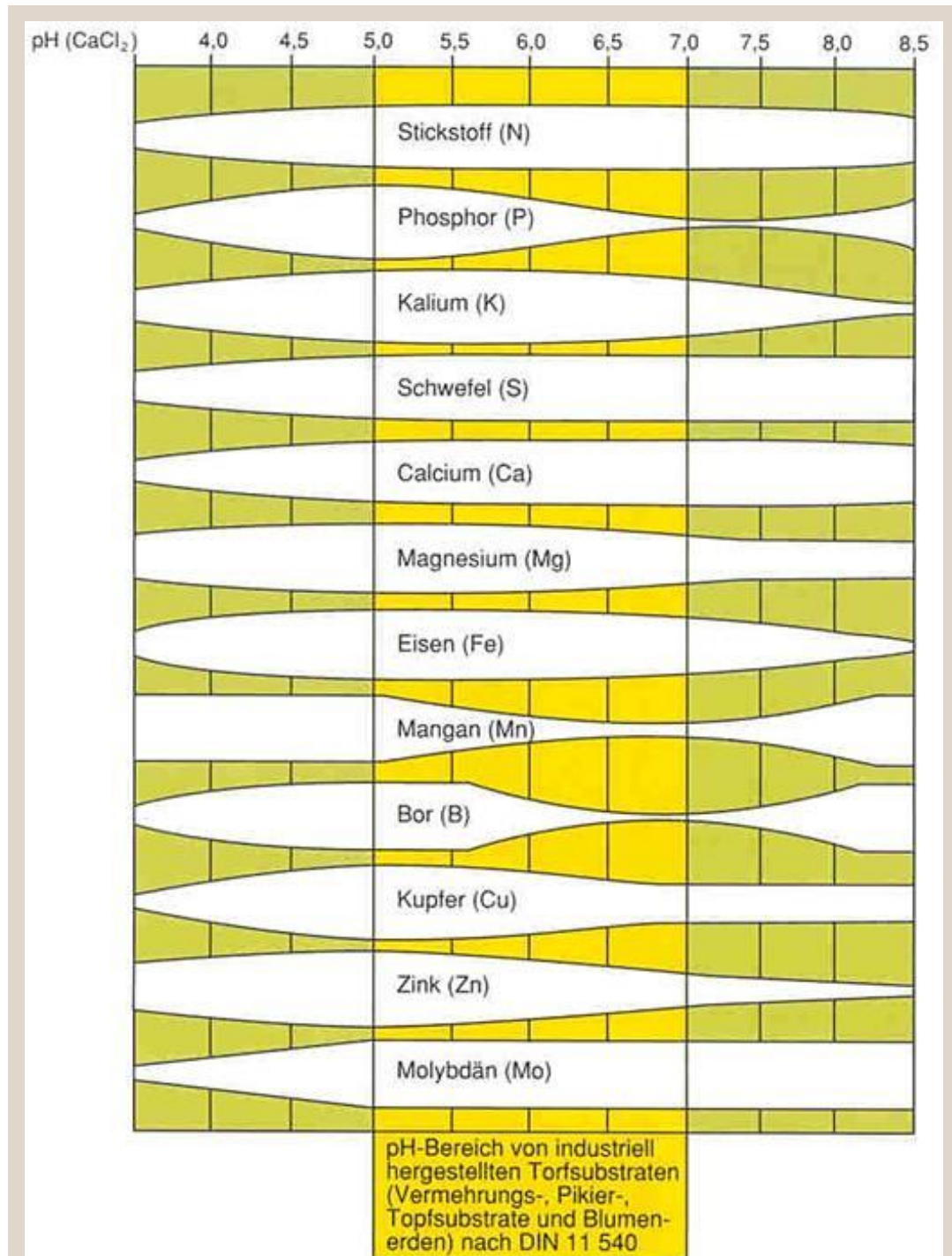


Abbildung 2: Einfluss des pH-Wertes auf die Verfügbarkeit von Pflanzennährelementen (In Anlehnung an K. HANDRECK und N. BLACK).

4.4.2 Nährstoffe und Nährstoffgehalt

Alle Pflanzen benötigen mindestens 15 Nährelemente, um zu gedeihen, wobei diese je nach Wachstumsstadium in optimaler Konzentration zur Verfügung stehen müssen. Je nach Pflanzenart können weitere Elemente nützlich sein. Kohlenstoff (C) wird den Pflanzen aus dem Kohlendioxid (CO₂) der Luft geliefert, Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O₂) werden aus dem Wasser im Substrat zugeführt. NELSON (1996) gibt an, dass typischerweise 89 % der Pflanzentrockenmasse aus diesen drei Elementen besteht. Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff sind demnach keine über Düngemittel zu verabreichenden Nährelemente. Die übrigen sechs Haupt- und sechs Spurenelemente (Tabelle 11) werden

über das Substrat von den Wurzeln in Form von Ionen oder Verbindungen aufgenommen. Hauptnährelemente werden in größeren, Spurenelemente in kleinen Mengen von der Pflanze benötigt. Dem Zusatz von N, P, K, Mg und Ca sowie Fe, Mn, Zn, Cu, B und Mo kommt bei der Herstellung von Kultursubstraten und Blumenerden besondere Bedeutung zu. Calcium wird in der Regel als kohlensaurer Kalk (CaCO₃) zugegeben und nicht als Teil eines Düngemittels. Schwefel ist meist ein Nebenbestandteil der üblicherweise zugemischten Mehrnährstoffdünger und wird kaum gesondert zugegeben.

Tabelle 12 zeigt Richtwerte zur Beurteilung der Nährstoffgehalte in Substraten und Hochmoortorfen auf.

Tabelle 11: Nährelemente, die Kultursubstraten und Blumenerden zugegeben werden, und ihre Bedeutung für die Pflanze.

Nährelement (chem. Symbol)	Aufnahme in Nährstoffform als	Bedeutung des Nährelements für Pflanzen	Typischer Gehalt in Pflanzen (% TM) ¹⁾
Hauptnährelemente			
Stickstoff (N)	NH ₄ ⁺ /NO ₃ ⁻	Baustein von Eiweiß und Enzymen; als Baustein von Chlorophyll an Photosynthese beteiligt	4,0
Phosphor (P)	PO ₄ ²⁻	Baustein der Zellmembranen; fördert die Wurzelbildung und die Reife	0,5
Kalium (K)	K ⁺	verbessert den osmotischen Druck und reguliert die Wasseraufnahme; verbessert Widerstand gegen Frost und Trockenheit	4,0
Calcium (Ca) ²⁾	Ca ²⁺	stabilisiert das Pflanzengewebe und fördert Bildung, Wachstum, Teilung der Zellen	1,0
Magnesium (Mg)	Mg ⁺	fördert die Photosynthese und die Assimilation von CO ₂ sowie die Eiweißsynthese; stabilisiert Zellwände; aktiviert viele Enzyme	0,5
Schwefel (S)	SO ₂ ²⁻	Baustein der Aminosäuren; fördert die Eiweißsynthese	0,5
Spurenelemente			
Eisen (Fe)	Fe ²⁺	wichtig für Bildung von Eiweiß und Chlorophyll	0,02
Mangan (Mn)	Mn ²⁺	sehr wichtig für die Chlorophyllbildung und CO ₂ -Assimilation sowie N-Stoffwechsel	0,02
Bor (B)	HBO ₃ ²⁻	fördert die Meristemabildung; als Zellwandbestandteil fördert es den Transport von Kohlenhydraten; unterstützt Assimilation und Blütenbildung	0,006
Zink (Zn)	Zn ³⁺	ähnlich wie Mg und Mn; beeinflusst die Stärkebildung und RNS und dadurch die Eiweißbildung	0,003
Kupfer (Cu)	Cu ²⁺	wichtiger Chlorophyllbestandteil; an der Bildung von Kohlenhydraten und Eiweiß beteiligt	0,001
Molybdän (Mo)	MoO ₄ ²⁻	unentbehrlich für die Nitratreduktase, je höher die NO ₃ -N-Düngergabe, desto größer der Mo-Bedarf	0,0002

¹⁾ Nach NELSON (1996).

Mehrere Faktoren bestimmen die Menge der aufgenommenen Nährstoffe:

- die Menge der zugeführten Nährstoffe
- die Nährstoffform
- der pH-Wert
- das Wachstumsstadium der Pflanze
- die Temperatur bei der Kultur

Drei Nährstoffformen können unterschieden werden:

- Liegen Nährstoffe als Ionen oder Moleküle in der Substratlösung vor, so spricht man von gelösten Nährstoffen, die sofort pflanzenverfügbar sind.
- An der Festschubstanz des Substrats adsorbierte Nährstoffe sind austauschbare Nährstoffe, da sie gegen andere Ionen ausgetauscht werden können. Man spricht von Kationen- bzw. Anionenaustauschkapazität (s. Kap. 4.4.5.1). Dabei gehen sie in Lösung und sind pflanzenverfügbar.
- Gebundene Nährstoffe tragen praktisch nicht zur Nährstoffversorgung der Pflanzen bei (eventuell bei Langzeitkulturen). Sie sind Bestandteil stabiler organischer,

aber insbesondere anorganischer Verbindungen. (Hinweis: Der im Torf gebundene Stickstoff wurde bei der früheren Moorbrandkultur erst durch das Brennen der getrockneten Mooroberfläche freigesetzt; anschließend konnte Buchweizen angebaut werden.)

Die Verwendung von vollwasserlöslichen Mehr-, Zwei- oder Einzelnährstoffdüngern mit Spurenelementen ist üblich. Die Kombinationsmöglichkeiten sind dabei fast unendlich, müssen aber immer dem Bedarf und Zweck angepasst sein. Bei der Herstellung von Substraten für Langzeitkulturen spielen langsam fließende Dünger und umhüllte Depotdünger eine wichtige Rolle. Deren Freisetzungsraten sind in Abhängigkeit von der Temperatur des Substrats zu beachten, auch der Feuchtigkeitsgehalt des Substrats spielt dabei eine Rolle.

Daneben werden Analysen aber noch nach anderen Methoden durchgeführt. Die Bedeutung Europäischer Normen nimmt aufgrund der zunehmenden Verwendung dieser Normen in anderen EU-Ländern und der internationalen Vermarktung von Kultursubstraten zu.

Tabelle 12: Richtwerte nach DIN 11540 zur Beurteilung handelsüblicher Hochmoortorfe, Kultursubstrate und Blumenerden (DIN 2005).

Produkt	Roh-dichte trocken g/l	pH-Wert H ₂ O	Elektrische Leitfähigkeit (mS/m)	Pflanzenverfügbare Nährstoffe (CAT) (mg/l)		
	DIN EN 13041	DIN EN 13037	DIN EN 13038	DIN EN 13651		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Torf zur Herstellung von Kultursubstraten	bis 220	3,5 bis 5,0	1,0 bis 7,0	bis 50	bis 30	bis 40
Null-Substrat ¹⁾			5,0 bis 10,0			
Vermehrungs- und Pikier-substrat (niedrig aufgedüngt)		5,5 bis 7,0	10,0 bis 30,0 ²⁾	50 bis 200	30 bis 150 ²⁾	40 bis 300 ²⁾
Topfsubstrat (hoch aufgedüngt) und Blumenerde			30,0 bis 60,0 ²⁾	150 bis 400	50 bis 300 ²⁾	250 bis 500 ²⁾
Moorbeetpflanzensubstrat		4,0 bis 5,0	5,0 bis 30,0	80 bis 160	30 bis 120	60 bis 160

¹⁾ Aufgekaltet und meist mit Spurenelementen aufgedüngtes Produkt ohne die Hauptnährstoffe N, P, K.

²⁾ Bei Zugabe bestimmter Ausgangsstoffe (z. B. Kompost, Rindenhumus, Kokos) können die P₂O₅- und K₂O-Werte sowie die elektrische Leitfähigkeit deutlich über den angegebenen Richtwerten liegen.

So bezieht sich die DIN 11540 nicht auf VDLUFA-Methoden, sondern auf EN-Normen, soweit sie die entsprechenden Parameter abdecken (Tabelle 12).

Die Volumenanteile der eingesetzten Ausgangsstoffe müssen bei der Zugabe von Düngemitteln berücksichtigt werden, um Fehlmischungen zu vermeiden. Hochmoortorf enthält praktisch keine Nährstoffe. Wird ein reines Torfkultursubstrat hergestellt, so wird dem Torf genau die Nährstoffkombination und -menge zugesetzt, die für die jeweilige Kultur und das Wachstumsstadium der Kulturpflanze benötigt wird. Wird beispielsweise Substratkompost als Substratbestandteil mit eingesetzt, müssen insbesondere die Kalium- (K_2O) und Phosphat-Gehalte (P_2O_5) berücksichtigt werden, da diese meist in nicht unerheblicher Menge im Kompost enthalten sind. Das bedingt eine Analyse der Nährstoffgehalte des Komposts vor dem Mischen. Gleiches gilt für Rindenhumus, Kokosmark, Holzfaserstoffe und andere Materialien.

4.4.2.1 Nährstoffbedürfnis und Salzverträglichkeit

Das Nährstoffbedürfnis und somit die Salzverträglichkeit gärtnerischer Kulturen kann sehr unterschiedlich sein. Man unterteilt daher in Pflanzengruppen mit geringem (salzempfindlich), mittlerem (weniger salzempfindlich), hohem (salzverträglich) und eventuell noch sehr hohem Nährstoffbedarf (salzunempfindlich), wobei die Übergänge fließend sind.

Substrate mit niedrigem Nährstoffgehalt werden beispielsweise bei der Aussaat, für die Stecklingsvermehrung oder zum Pikieren eingesetzt. Es gibt Pflanzengruppen, die einen niedrigen Nährstoffbedarf haben und zu den salzempfindlichen Gattungen gezählt werden. Einen mittleren Nährstoffbedarf haben die meisten Zierpflanzen. Aber auch manche Gemüsearten werden in mäßig aufgedüngten Substraten kultiviert. Nährstoffbedürftige Pflanzen, wie manche Balkonpflanzen, werden in Substraten mit hohen Nährstoffgehalten getopft und im Kulturverlauf entsprechend ge-

düngt. Grundsätzlich wird die Höhe des Salzgehaltes von der Höhe der Düngerzugabe bestimmt. Des Weiteren sind die Substratausgangsstoffe selbst dafür mitbestimmend.

Der allgemein favorisierte niedrige Nährstoffvorrat bei der Substratbevorratung beträgt 150 bis 200 mg Stickstoff pro Liter Substrat, was etwa 20 bis 30 % des Gesamtnährstoffbedarfs eines Alpenveilchens (*Cyclamen persicum*) im 11-cm-Topf entspricht (HENRIKS & SCHARPF 1992). Betriebseigene Mischungen mit z. B. betriebseigenen Komposten, die einen hohen Phosphat- und vor allem Kaliumvorrat haben, aber auch industriell hergestellte Substrate mit hoher Nährstoffbevorratung, sind bei Kulturmethoden mit Kapillarbewässerungssystemen (Gießmatte, Anstautisch) nicht zu empfehlen. Durch den kapillaren Aufstieg der im Wasser gelösten Nährstoffe reichern sich diese auf der Substratoberfläche von Töpfen an. Die Nährstoffe und Salze sind deshalb im Substrat nicht gleichmäßig verteilt. Junge Triebe und Blätter können somit Verbrennungen erleiden, die umso stärker sind, je höher die Nährstoffbevorratung und der damit einhergehende Salzgehalt im Substrat sind.

Substrate, wie Ton- oder Rindenkultursubstrate, mit guter Pufferkapazität sind bei der Aufdüngung und im Kulturverlauf bezüglich eventueller Nährstoffübersorgung weniger kritisch zu betrachten als reine Torfsubstrate. Regelmäßige Substratanalysen während der Kultur geben Aufschluss über vorzunehmende Düngungsmaßnahmen.

EVERS (1998) hat den oben genannten Bedarfsgruppen Richtwerte für die Nährstoffversorgung von Topfpflanzen zugeordnet, die hier erweitert worden sind (Tabelle 13). Dabei ist anzumerken, dass in der heutigen Praxis eher mit niedrigen Aufdüngungswerten gearbeitet wird als früher.

4.4.3 Organische Substanz und Asche

Organische Substanz (W_{om}) ist der Anteil an Kohlenstoffverbindungen im Substrat, die frei

von Wasser und anorganischer (mineralischer) Substanz sind. Entsprechend der DIN EN 13039 (DIN 2012c) ist Asche (W_{ash}) der anorganische Rückstand, der nach Zerstörung der organischen Substanz durch kontrolliertes Verbrennen zurückbleibt. Die organische Substanz wird auch als Glühverlust bezeichnet. Die meisten organischen Substratausgangsstoffe haben hohe Gehalte an organischer Substanz mit Werten zwischen 75 und 99 % (m/m). Für Substratkomposte liegen die Werte deutlich niedriger bei meistens 20 bis 30 % (m/m) (s. Tabelle 8). Die in Substraten natürlich vorkommenden Organismen (z. B. saprophytische Pilze, Bakterien, Nematoden etc.) zählen nicht zur organischen Substanz, obwohl sie bei der kontrollierten Verbrennung miterfasst werden. Bodenkundlich wird die organische Substanz auch als Humus bezeichnet (BLUME et al. 2010).

Die meisten Substrate bestehen größtenteils aus organischer Substanz. Daneben werden

im Produktionsgartenbau aber auch Substrate eingesetzt, die praktisch zu 100 % aus anorganischen Ausgangsstoffen wie Bläherperlite, (vorgeformter) Mineralwolle oder Tongranulat bestehen. Diese können allerdings aufgrund ihrer Beschaffenheit nicht in allen gartenbaulichen Einsatzbereichen verwendet werden.

Der organischen Substanz des Substrats fällt in erster Linie die Versorgung des Wurzelraumes mit Luft und Wasser zu. Die Struktur und Stabilität der organischen Substanz ist für die größtmögliche Sicherstellung der physikalischen Eigenschaften wichtig, vor allem bei Langzeitkulturen. Ein mikrobiell stark belebtes Substrat mit leicht abbaubarer organischer Substanz (z.B. Kompostsubstrat) kann zu Kulturen völlig andere physikalische Eigenschaften aufweisen als zu Kulturbeginn. Hier sei angemerkt, dass jede organische Substanz in Substraten, ob als Bestandteil von Torf, Kokos, Holzfaserstoffen, Rindenhumus, Kompost oder anderen organischen Ausgangsstoffen,

Tabelle 13: Richtwerte für Nährstoffbedarfsgruppen von Zierpflanzen im Endtopf; Analysewerte für Topfsubstrate bei Kulturbeginn (nach EVERS 1998, erweitert).

Nährstoffbedarfsgruppe (Salzverträglichkeit)	Richtwerte (mg/l) für N und Mg (CaCl_2) sowie P_2O_5 und K_2O (CAL)	Salzgehalt (g/l)
Gering (salzempfindlich) <i>Adiantum</i> , <i>Begonia tuberhybrida</i> , <i>B. semperflorens</i> , <i>Erica gracilis</i> , Farne, <i>Paphiopedilum</i> , <i>Phalaenopsis</i> , <i>Primula acaulis</i> , <i>Saintpaulia ionantha</i> u. a.	N: 30-80 P_2O_5 : 30-100 (150) K_2O : 30-150 (200) Mg: 20-50	0,7
Mittel (weniger salzempfindlich) <i>Achimenes</i> , <i>Antirrhinum</i> -Hybriden, <i>Asparagus plumosus</i> , <i>Begonia-Rex</i> -Hybriden, <i>Bellis perennis</i> , <i>Calceolaria</i> -Hybriden, <i>Campanula isophylla</i> , <i>Chlorophytum</i> , <i>Coleus-blumei</i> -Hybriden, <i>Dracaena</i> , <i>Gardenia jasminoides</i> , <i>Impatiens</i> -Hybriden, <i>I. walleriana</i> , <i>Lantanen</i> -Hybriden, <i>Marantha</i> -Arten, <i>Nephrolepis</i> , <i>Primula malacoides</i> , <i>Primula vulgaris</i> , <i>Rhododendron simsii</i> , <i>Salvia splendens</i> , <i>Senecio bicolor</i> , <i>Streptocarpus</i> , <i>Verbena</i> -Hybriden, <i>Vriesea splendens</i> u. a.	N: 50-100 P_2O_5 : 80-200 (300) K_2O : 100-300 (500) Mg: 40-100	1,0
Hoch (salzverträglich) <i>Ageratum</i> , <i>Alamanda</i> , <i>Begonia-Elatior</i> -Hybriden, <i>Beg.-Lorraine</i> -Hybriden, <i>Beloperone guttata</i> , <i>Bougainvillea glabra</i> , <i>Cineraria maritima</i> , <i>Cissus antarctica</i> , <i>Clerodendron</i> , <i>Codiaeum</i> , <i>Sinningia</i> -Hybriden, <i>Crossandra</i> , <i>Cyclamen</i> , <i>Dieffenbachia</i> , <i>Euphorbia pulcherima</i> , <i>Ficus</i> -Arten, <i>Fuchsia</i> -Arten, <i>Ganzania</i> -Hybriden, <i>Hedera</i> -Arten, <i>Hibiscus rosa sinensis</i> , <i>Kalanchoe</i> -Hybriden, <i>Petunien</i> -Hybriden, <i>Tagetes erecta</i> u. a.	N: 100-200 P_2O_5 : 150-300 (600) K_2O : 300-500 (800) Mg: 80-200	2,0
Sehr hoch (salzunempfindlich) <i>Chrysanthemum indicum</i> , <i>Hydrangea macrophylla</i> , <i>Pelargonium peltatum</i> , <i>P. zonale</i> u. a.	N: 200-400 P_2O_5 : 200-500 K_2O : 500-700 Mg: 150-300	3,0

durch mikrobielle Zersetzung Treibhausgasemissionen verursacht (s. Kap. 4.7.1.1).

4.4.3.1 C/N-Verhältnis (Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis)

Bei Boden, organischen Materialien wie Abfällen und Humus sowie organischen Substratausgangsstoffen wird manchmal das C/N-Verhältnis als Parameter herangezogen, beispielsweise als Kennwert für die Beurteilung von Inputstoffen für die Kompostierung. Das C/N-Verhältnis ist das Massenverhältnis von C (Kohlenstoff) zu N (Stickstoff), also der Quotient aus beiden Elementen. Kohlenstoff steht dabei stellvertretend für die organische Substanz eines Ausgangsstoffes oder Substrats.

Für die Verhältnisangabe wird N = 1 gesetzt. C und N liegen organisch gebunden vor und werden von Mikroorganismen zersetzt, was zur Mineralisierung führt. N wird dabei pflanzenverfügbar. Das C/N-Verhältnis ist ein Kennwert für die mikrobielle Abbaubarkeit der organischen Substanz und für die N-Dynamik, d. h. die N-Verfügbarkeit eines organischen Materials bei dessen Abbau.

Ein enges C/N-Verhältnis weist auf eine hohe mikrobielle Aktivität hin. Für viele Pflanzenarten steht ab einem C/N-Verhältnis < 20 genügend Stickstoff zur Verfügung. Ab einem C/N-

Verhältnis > 25 beginnt sich die mikrobielle Aktivität infolge von N-Mangel zu verlangsamen. Schwer zersetzbare Stoffe haben ein weites C/N-Verhältnis und werden demnach langsam abgebaut. Leicht zersetzbare Stoffe haben ein enges C/N-Verhältnis und werden demnach schneller abgebaut (Tabelle 14). Das C/N-Verhältnis kann in einem Zahlenverhältnis (z. B. 1 : 20) oder als einfache Zahl (z. B. 20) angegeben werden. In der Gütesicherung nach RAL-GZ 250 (2015) wird nur für Rindenmulch die Bestimmung des C/N-Verhältnisses verlangt. Für Komposte nach RAL-GZ 251 (2007) ist die Angabe des C/N-Verhältnisses nicht erforderlich. Für Kultursubstrate und Blumenerden wird die Angabe nach der Düngemittelverordnung nicht verlangt.

4.4.3.2 Stickstoff (N)-Immobilisierung

N-Immobilisierung (= N-Festlegung) ist die Umwandlung von mineralischen N-Verbindungen wie Ammonium (NH_4^+), Ammoniak (NH_3), Nitrat (NO_3^-) und Nitrit (NO_2) durch Mikroorganismen in organische N-Verbindungen. Dabei wird der Mineralstickstoff von den Mikroben verzehrt, in ihren Körpern festgelegt und steht somit der Pflanze nicht mehr zur Verfügung. N-Immobilisierung ist der entgegengesetzte Prozess zur Mineralisierung organisch gebundener Nährstoffe (wie z. B. der Humifizierung/Mineralisierung des im Torf gebundenen Stickstoffes, vgl. Kap. 5.1.1.2).

Manche Ausgangsstoffe mit hohem Gehalt an organischer Substanz, wie Rinden, Holzfaserstoffe, Komposte oder nachwachsende Rohstoffe, neigen dazu, Stickstoff zu immobilisieren bzw. zu mobilisieren (freizusetzen). Bei zu hoher Immobilisierung kann nicht ausgeglichener N-Mangel zu Mangelsymptomen an Kulturpflanzen führen. N-Immobilisierung ist vom C/N-Verhältnis eines Ausgangsstoffes und von der mikrobiellen Abbaubarkeit abhängig. Um N-Festlegung und -Mangel in der Pflanzenkultur zu vermeiden, ist es wichtig, möglichst N-stabile Ausgangsstoffe und Substrate zu verwenden. Gemäß der Bestimmung der Stabilität des N-Haushaltes organischer

Tabelle 14: Das C/N-Verhältnis einiger organischer Materialien (BUNT 1988, GUTSER & EBERTSEDER 2002, BLUME et al. 2010).

Material	C/N-Verhältnis
Humus	10
Gülle	10-20
Bioabfallkomposte	12-20
Grüngutkomposte	15-30
Küchenabfälle	20-25
Waldbodenstreu	25-40
Hochmoortorf	40-60
Rindenhumus	< 45
Stroh	50-100
Rohrinde	60-150
Mäßig zersetzter Hochmoortorf	60-100
Holzfaserstoffe	80-120
Reisspelzen	100-120
Kokosmark	150-250
Sägemehl	250-500

Tabelle 15: Richtwerte zur Einstufung der Stabilität des N-Haushaltes organischer Substratausgangsstoffe wie Komposte, Baumrinden und Holzfaserstoffe (VDLUFA 2007).

Maximaler Unterschied (mg N)	Einstufung des N-Haushaltes		Richtwerte für den maximalen Volumenanteil (%) in Substraten*
0 bis 50	Immobilisierung	stabil	100
51 bis 125		leicht instabil	40
126 bis 250		instabil	20
> 250			0
0 bis -50	Mineralisierung	stabil	100
-51 bis -125		leicht instabil	40
-126 bis -250		instabil	20
< -250			0

* Vorausgesetzt, die anderen verwendeten Ausgangsstoffe sind stabil.

Materialien nach VDLUFA-Methodenbuch I (VDLUFA 2007) kann beurteilt werden, ob der N-Haushalt eines organischen Substratausgangsstoffes stabil ist oder nicht. Dabei wird den zu untersuchenden feuchten Proben Ammoniumnitrat zugegeben und 14 bis 20 Tage (manchmal länger) bei 25 °C bebrütet. Durch die Bestimmung der $\text{NH}_4\text{-N}$ - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalte im Verlauf der Bebrütung kann festgestellt werden, in welchen Mengen $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ mobilisiert bzw. immobilisiert werden. N-Immobilisierung ist häufig der Grund dafür, dass manche (potentielle) Substratausgangsstoffe nicht verwendet werden, nur in geringen Anteilen dem Substrat zugemischt werden oder kompostiert werden müssen, bevor sie verwendet werden.

4.4.4 Elektrische Leitfähigkeit und Salzgehalt

Alle Kultursubstrate, Blumenerden und deren Ausgangsstoffe enthalten lösliche Stoffe, die, wenn sie mit Wasser in Berührung kommen, in Lösung gehen. Mit Ausnahme von sehr reinem, entmineralisiertem Wasser enthalten alle Wässer bestimmte Mengen an Salzen – so auch das Substratwasser. Manche Salze haben eine vorteilhafte Wirkung auf das Pflanzenwachstum und sind lebensnotwendig. Eine nachteilige Wirkung tritt auf, wenn diese Salze in zu hohen Konzentrationen auf Pflanzen einwirken, d. h. von diesen aufgenommen werden und zu Überschusssymptomen führen. Jedoch reagieren die verschiedenen Pflan-

zenarten sehr unterschiedlich auf die Salzkonzentration im Substrat (Tabelle 13). Je nach Wachstumsstadium, ob Keimling, Jungpflanze oder ausgewachsene Pflanze, ist die Empfindlichkeit der Pflanzen unterschiedlich.

Hierbei sind Salzverbindungen von Bedeutung, die in Wasser löslich sind und dabei ganz oder teilweise in

Kationen (z. B. NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+} , Na^+) und

Anionen (z. B. NO_3^- , PO_4^- , MoO_4^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^-) zerfallen.

Die im Substrat enthaltenen löslichen Salze, ob natürlich vorhanden oder als Nährsalze zugegeben, lassen sich nur durch eine chemische Analyse genau bestimmen. In manchen Fällen sind solche Analysen zu zeitaufwendig und kostspielig. Daher wird oft über die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit der Salzgehalt ermittelt. Hierbei nutzt man die Eigenschaft der Ionen, elektrische Ladungen zu transportieren, und bestimmt mittels der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit eines Wasserextraktes oder einer Aufschwemmung den Salzgehalt des Substrats. Gemäß den Normen DIN 11540 (DIN 2005) und DIN EN 13038 (DIN 2012b) wird die elektrische Leitfähigkeit definiert als die Fähigkeit eines wässrigen Extraktes einer Probe, als Funktion der Ionenkonzentration Strom zu leiten. Das Symbol G steht für ‚elektrische Leitfähigkeit‘. Im angelsächsischen Raum spricht man von ‚Electrical

Conductivity', weshalb dort wie auch in anderen Ländern häufig die Abkürzung ‚EC‘ verwendet wird.

Bei der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit (G) wird der elektrische Widerstand mit einer Leitfähigkeitsmesszelle gemessen. Über die Messzelle wird eine Spannung zwischen zwei Elektroden erzeugt. Die eigentlich gemessene Spannung wird nicht angezeigt, sondern es erfolgt eine sofortige Umrechnung in den Grad des Widerstandes bezogen auf die erzeugte Spannung. Man rechnet also mit dem Kehrwert des spezifischen Widerstandes. Mit zunehmender Ionenkonzentration der Lösung wird der spezifische Widerstand kleiner.

Die Angabe der elektrischen Leitfähigkeit (G) erfolgt nach obigen Normen in Millisiemens pro Meter (mS/m). In Deutschland wird meistens die Einheit Mikrosiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) verwendet. Dabei sind beispielsweise $100 \mu\text{S/cm} = 10 \text{ mS/m}$.

Nachteil der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit ist, dass der gemessene Wert keine Auskunft über die Art der vorhandenen Anionen oder Kationen gibt. Auch werden neben den rein düngenden („nützlichen“) solche erfasst, die meist als unerwünscht beurteilt werden (z. B. Cl und Na). Ferner werden bei der Messung die organischen Säuren von Torf, Kompost, Rindenhumus etc. erfasst. Enthält ein Substrat oder Ausgangsstoff hohe Konzentrationen solcher Säuren, so wird ein höherer G-Wert gemessen, der nicht einem Äquivalent an mineralischen Salzen entspricht. Die Huminsäuren des Torfes beispielsweise können bei der G-Messung und der Umrechnung in den Salzgehalt zu Fehlinterpretationen führen; je höher die Menge an Huminsäuren, desto höher fällt der Wert für die elektrische Leitfähigkeit aus. Vielfach wird der Salzgehalt mit dem Nährstoffgehalt des Substrats korreliert, was grob auch nachvollziehbar ist. Jedoch ist die Interpretation des Salzgehaltes aus genannten Gründen schwierig.

Gemäß den oben genannten Normen ist die Berechnung des Salzgehaltes mithilfe des

Tabelle 16: Grobe Einstufung von Produkten entsprechend ihrem elektrischen Leitfähigkeitswert (G), gemessen bei 20°C.

Elektrische Leitfähigkeit (G) ($\mu\text{S/cm}$)	Ausgangsstoff/Produkt
bis 175	Schwach und stark zersetzter Torf ohne Zusätze
200 bis 400	Vermehrungs- und Pikiersubstrate
300 bis 700	Topfsubstrate

ermittelten G-Wertes nicht vorgegeben. Entsprechend dem VDLUFA-Methodenbuch Band II.2 (2002/2008) ist die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit nach VDLUFA-Methode und die Umrechnung des EC-Wertes in den (Gesamt-)Salzgehalt festgelegt. Der Salzgehalt wird als KCl/I-Substrat oder Ausgangsstoff angegeben.

Für die Produktionskontrolle im Betrieb wird in der Regel das Volumenverfahren des VDLUFA zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit verwendet. Gemäß dieser Schnellmethode werden sowohl Ausgangsstoffe als auch Fertigprodukte geprüft. Dabei wird eine Suspension von Substrat zu entmineralisiertem Wasser im Verhältnis 1 : 3,6 angesetzt. Anhand der gemessenen Werte lassen sich Proben, wie in Tabelle 16 gelistet, grob einstufen.

4.4.5 Pufferungsvermögen

Kultursubstrate wie auch Blumenerden können puffernd (puffern = auffangen, abfangen, ausgleichen) auf die Nährstoffkonzentration im Substrat und auf den pH-Wert wirken. Man spricht von Nährstoffpufferung bzw. pH-Pufferung.

4.4.5.1 Nährstoffpufferungsvermögen

Alle pflanzenverfügbaren Nährstoffe im Substrat sind entweder a) in der Substratlösung gelöst und unmittelbar pflanzenverfügbar oder b) an den Oberflächen der organischen bzw. anorganischen Substratteilchen adsorbiert, aber austauschbar gebundene Nährstoffe, die mittelbar pflanzenverfügbar sind. In Wasser gelöste Nährstoffe stehen mit den austausch-

bar gebundenen Nährstoffen in einem Gleichgewicht. Bei der Nährstoffaufnahme durch die Pflanze werden die Nährstoffe der Substratlösung entzogen. Die Folge davon ist, dass eine äquivalente Menge austauschbar gebundener Nährstoffe in Lösung geht, sie werden desorbiert.

Durch Düngung mit wasserlöslichen Nährstoffen wird der Vorgang umgekehrt; es kommt zur Adsorption der zugeführten löslichen Nährstoffe an den Oberflächen der Substratteilchen, wo sie austauschbar gebunden werden. Diese Eigenschaft bezeichnet MEINKEN (1992) als Nährstoffpufferung, die durch Kationen- und in geringerem Maße durch Anionenaustausch bedingt ist.

Bei einem nicht gepufferten Substrat (z. B. 100 % Bläherperlite) liegen alle pflanzenverfügbaren Nährstoffe in gelöster Form vor. Im anderen Extremfall sind alle pflanzenverfügbaren Nährstoffe austauschbar gebunden. Nährstoffe, die als Kationen oder Anionen aufgenommen werden, werden nicht gleich stark adsorbiert.

Nach BLUME et al. (2010) ist Ionenaustausch die unspezifische Adsorption von Ionen an entgegengesetzt geladene Oberflächen. Die Adsorption geschieht vor allem durch elektrostatische Kräfte. Da die negative Oberflächenladung von (Böden und) Substraten überwiegt, ist der Kationenaustausch bedeutender als der Anionenaustausch.

Eine hohes Nährstoffpufferungsvermögen senkt das Kulturrisiko bei zu hohen Düngergaben, da ein Teil der gegebenen Nährstoffe austauschbar ist und so der Pflanze nicht unmittelbar zur Verfügung steht.

4.4.5.1.1 Kationenaustauschkapazität (KAK)

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) eines Substrats ist seine Fähigkeit, Nährstoffe zu speichern und wieder abgeben zu können. Nach Blume et al. (2010) genauer definiert ist die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) die Summe der austauschbaren Hauptkationen

(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, Al³⁺, H⁺) der organischen und anorganischen Substratkolloide mit der Substratlösung, gemessen beim aktuellen pH-Wert. Manche Analysemethoden schreiben die Messung in gepufferten Lösungen vor. Tone haben eine große spezifische Oberfläche (= die zum Kationenaustausch fähige Oberfläche) und deshalb eine hohe KAK. Die KAK wird in mol_c/kg⁻¹ oder mmol_c/kg⁻¹ angegeben. Ältere Werte, angegeben in mval, können praktisch in mmol_c/kg⁻¹ übernommen werden. Als Faustregel gilt, dass die KAK in folgender Reihenfolge ansteigt:

Sand → Bläherperlite → Reisspelzen → Rindenumus → Blähervermiculite → schwach zersetzter Torf → stark zersetzter Torf → 2-Schicht-Tonminerale → 3-Schicht-Tonminerale (Chlorite → Illite → Vermiculite → Smectite)

Der überwiegend aus Quarz bestehende Sand hat eine sehr geringe spezifische Oberfläche (ca. 0,1 m²/g) und deshalb ein schlechtes Wasserhaltevermögen sowie eine sehr niedrige KAK. Bis zum 8.000-fachen höher ist der Wert für 3-Schicht-Tonminerale (BLUME et al. 2010).

Substrate mit hoher KAK können die Kaliumkonzentration im Substrat gut puffern und die kontinuierliche Kaliumversorgung der Pflanze besser gewährleisten. Auch ist die Phosphatkonzentration in der Substratlösung gepuffert, weil das Anion Phosphat an variablen Ladungen gebunden werden kann, die zu hohen Anteilen auf Fe-Oxide zurückzuführen sind (SCHELLHORN et al. 2013). Bekannt ist auch, dass die P-Verfügbarkeit im Substrat dazu genutzt werden kann, kompaktere Pflanzen zu erzeugen.

Die organische Substanz von Substraten, aber vor allem Tone (s. Kap. 5.2.1) haben die Fähigkeit zur Adsorption/Desorption von Nährstoffen. Dabei sind Art und Menge dieser Stoffe entscheidend.

Die KAK ist pH-abhängig, wobei die KAK der organischen Substanz stärker vom pH-Wert beeinflusst wird als die von Tonen. Bei steigendem pH-Wert steigt die KAK an. Je höher das

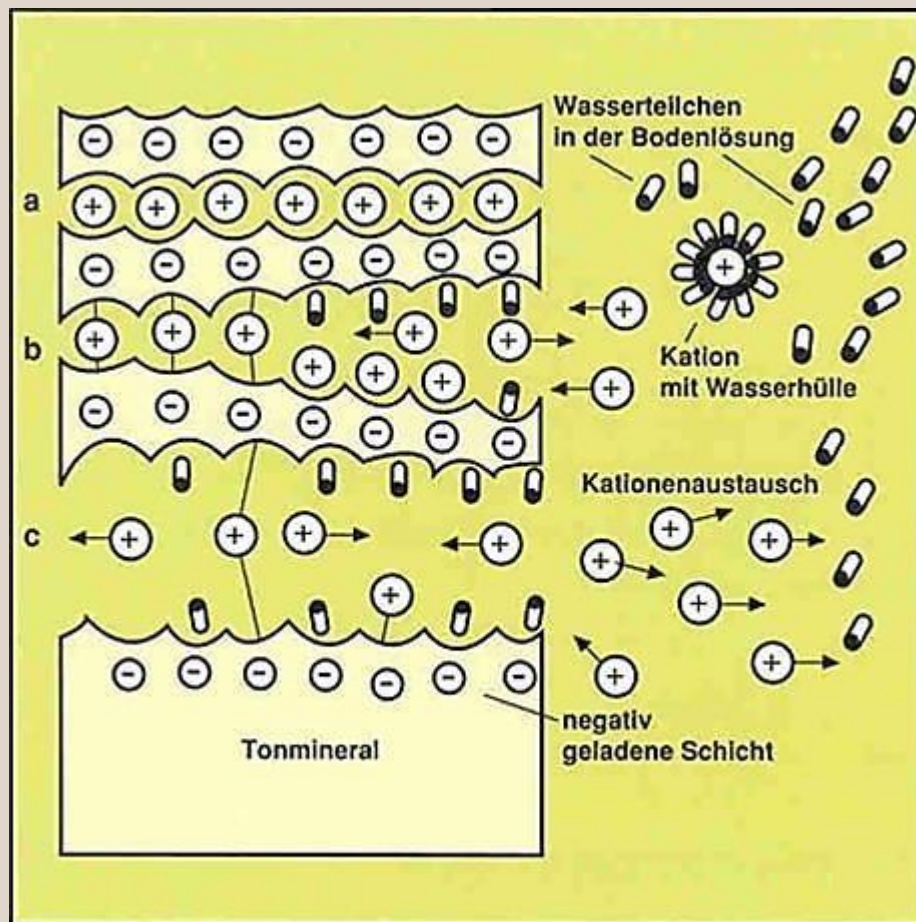


Abbildung 3: Mehrschichtiges Tonmineral (WITT 1987).

a = nicht aufgeweitet, geschrumpft

b = teilweise aufgeweitet, geringer Austausch von Kationen

c = völlig aufgeweitet, gequollen durch Wasser, starker Austausch von Kationen

Pufferungsvermögen eines Substrats, desto geringer ist die Gefahr unerwünschter Nährstoffkonzentrationen in der Substratlösung (DULTZ et al. 2012). Gut gepufferte Substrate tragen somit zu einer ausgeglichenen Nährstoffversorgung der Pflanzen bei und vermindern das Kulturrisiko. Bei zu hohen Düngergaben werden Salzsäden eher vermieden, weil weniger Nährstoffe unmittelbar der Pflanze zur Verfügung stehen. Gleiches gilt bei der Verwendung von salzhaltigem Gießwasser. Neben dem Schutz vor Verlusten durch Nährstoffauswaschung kann eine Nährstoffpufferung bei

- salzempfindlichen Pflanzen,
- Kulturen mit langer Standzeit und

- Kulturen mit weniger intensivem Betreuungs- und Kontrollaufwand das Kulturergebnis günstig beeinflussen (MEINKEN 1992)

4.4.5.1.2 Anionenaustauschkapazität (AAK)

Die Anionenaustauschkapazität, d. h. die Anlagerung von Nährstoffen, die als Anionen vorliegen (z. B. Nitrat, Sulfat, Molybdat, Borat), spielt bei der Substratherstellung eine untergeordnete Rolle. Bekannt ist aber, dass die P-Konzentration in der Substratlösung auch gepuffert ist, weil das Anion Phosphat an variablen Ladungen gebunden werden kann, die zu hohen Anteilen auf Fe-Oxide zurückzuführen sind (SCHELLHORN et al. 2013). Die P-Verfüg-

Tabelle 17: pH-senkende und pH-anhebende Mittel.

pH-senkend	pH-anhebend
• carbonatarmes (weiches) Gießwasser • ammoniumbetonte (NH_4^+) Dünger • die Mehrzahl der wasserlöslichen Mehrnährstoffdünger • schwefelsaures Ammoniak • Schwefel • Ammoniumsulfat (Alaun) zum Blaufärben von Hortensien • Zitronensäure	• carbonatreiches (hartes) Gießwasser • nitratbetonte (NO_3^-) Dünger • Kalkmilch (zum Gießen in stehenden Pflanzenbeständen)

barkeit im Substrat kann dazu genutzt werden, kompaktere Pflanzen zu erzeugen.

4.4.5.2 pH-Pufferungsvermögen

Die Fähigkeit eines Bodens, Substrats oder Substratausgangsstoffes, auf den pH-Wert ausgleichend zu wirken, wenn alkalische (pH-anhebende) oder sauer wirkende (pH-senkende) Mittel auf das Substrat einwirken, nennt man pH-Pufferung (MEINKEN 1992, BLUME 2010, DULTZ 2012). Ein hohes pH-Pufferungsvermögen im Substrat ist anzustreben. Spurenelementmangel (insbesondere Fe-Mangel), hervorgerufen durch einen zu hohen pH-Wert, kann nur durch chelatisierte Spurenelementdünger und durch pH-absenkende Mittel (z. B. ammoniumstickstoffbetonte Dünger) behoben werden. Die Wirkung der in Tabelle 17 gelisteten Mittel hängt zum einen vom pH-Wert des Mittels, zum anderen vom Pufferungsvermögen des Substrats ab. Im Substrat natürlich vorkommende Substanzen können pH-puffernd wirken. Huminstoffreiche Substrate haben ein gutes pH-Pufferungsvermögen, da sie einen hohen Anteil variabler Ladungen besitzen und somit pH-senkende Wasserstoffionen gut binden können (MEINKEN 1992). Rindenhumus und Schwarztorf können als gut pH-puffernd angesehen werden. Die Autorin führt weiter aus, dass der Carbonatgehalt eines Substrats sich auf den pH-Wert auswirkt, da Carbonate Wasserstoffionen neutralisieren. Auch sollen Säuren, die beim Abbau organischer Substanzen entstehen, einer pH-Anhebung entgegenwirken.

4.5 Biologische Eigenschaften

Biologische Eigenschaften werden bestimmt durch das Vorkommen aller floristischen und faunistischen Organismen in und auf Kultursubstraten und Blumenerden. Dabei spielen deren Aktivität und Wechselwirkungen eine sicherlich große, aber dennoch häufig unklare Rolle. Der negative Einfluss von Unkräutern, Moos- oder Algenbewuchs auf der Substratoberfläche von z. B. Topfkulturen auf den Verkaufswert ist eindeutig. Welche Bedeutung die im Substrat vorhandenen Mikroorganismen haben, ist vielfach nicht geklärt und stellt den Substratproduzenten wie auch den Produktionsgärtner vor Fragen.

4.5.1 Keimfähige Samen und austriebsfähige Pflanzenteile

Das Vorhandensein von keimfähigen Unkrautsamen und austriebsfähigen Pflanzenteilen im Substrat ist unerwünscht, mindert die Qualität des Kultursubstrats oder der Blumenerde und führt möglicherweise zu kostenintensivem Jäten im Produktionsbetrieb. Alle einer natürlichen Lagerstätte entnommenen Ausgangsstoffe können lebensfähige Unkrautsamen oder austriebsfähige Pflanzenteile enthalten, wobei die Gefahr einer solchen Kontamination ganz unterschiedlich sein kann. Im Freien offen gelagertes, vorher unkrautfreies Material kann durch z. B. Windverfrachtung leicht mit Unkraut verunreinigt werden. Kompostierungs-Inputstoffe müssen während des Kompostierungsprozesses durch ausreichend hohe Temperaturen kontrolliert hygienisiert werden, um als unkrautfrei zu gelten.

Werden Ausgangsstoffe eingesetzt, die durch Erhitzung hergestellt werden (z. B. Blähvermiculit, Blähperlith, Blähthon), die einen Prozess durchlaufen, bei dem Hitze indirekt erzeugt wird (z. B. Holzfaserstoffe), oder werden ausreichend gedämpfte organische Materialien (z. B. Torf) eingesetzt, so ist eine Erstbelastung mit Unkrautsamen oder austriebsfähigen Pflanzenteilen praktisch ausgeschlossen.

In der Praxis ist es häufig schwierig, den Ursprungsort von Unkraut im Substrat zu bestimmen, da in der Regel mehrere Möglichkeiten in Betracht kommen. Diese Fragestellung ergibt sich bei Reklamationen. Eine Verunreinigung mit Unkraut kann z. B. bei der Torfgewinnung, während oder nach einem Kompostierungsprozess, während des Transports des Ausgangsstoffes oder Fertigprodukts, bei der Substratlagerung, beim Gärtner über geöffnete Lüftungsfenster oder im Freilandquartier erfolgen. Wenn Binse (*Juncus* spp.) oder Sauerampfer (*Rumex acetosella*) in der Kultur festgestellt werden, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass diese Unkräuter mit Torf eingeschleppt wurden. Ackerunkräuter oder Weiden können durch Samenflug oder mechanische Verschleppung in Kulturen gelangen. ZEVENHOVEN (2011) gibt eine sehr gute praktische Beschreibung von Wildkräutern, die auf Torfgewinnungsflächen (und anderswo) vorkommen können.

Für gütegesicherte Kultursubstrate und Torf nach RAL-GZ 250 (RAL 2015) liegt der zulässige Wert für keimendes Unkraut oder austriebsfähige Pflanzenteile bei maximal einer Einheit je Liter Kultursubstrat; für Blumenerden liegt der Wert bei drei Einheiten. Nach RAL-GZ 251 (RAL 2007) dürfen Substratkomposte maximal 0,5 keimfähige Samen bzw. austriebsfähige Pflanzenteile je Liter beinhalten.

4.5.2 Mikrobielle Aktivität

Die Mikrobiologie von Kultursubstraten (und Blumenerden) nimmt heute einen deutlich höheren Stellenwert ein als noch vor einigen Jahren. Leben ist in Kultursubstraten und Blumenerden allgegenwärtig. SCHLECHTE &

SCHMILEWSKI (2010) stellen fest: „Alle heute im Gartenbau eingesetzten Substrate sind in mehr oder weniger starkem Umfang von Mikroorganismen (Algen, Bakterien, Pilzen, Protozoen) besiedelt. Auch die zur Herstellung verwendeten Substratausgangsstoffe sind durchweg Träger mikrobieller Keime, wobei mineralische und synthetische Ausgangsmaterialien diese nahezu ausschließlich in der Form von kaum stoffwechselaktiven (Ruhe-)Stadien mit sich führen. Im Ergebnis wird hiermit klar belegt, dass es in einer nicht sterilen Umwelt auch keine keimfreien Kultursubstrate geben kann.“

Die Substratmikrobiologie befasst sich nach SCHMILEWSKI (1999) mit dem,

- was ein Substratausgangsstoff oder ein Substrat an biologischen Eigenschaften aufweist (autochthon vorkommende oder eingeschleppte Organismen),
- was dem Substrat gezielt zugegeben werden kann, um die mikrobiologischen Eigenschaften zu verbessern (z. B. mikrobiologische Präparate, bestimmte Ausgangsstoffe), und mit
- der Behandlung von Ausgangsstoffen (z. B. Dämpfen von Torf oder Gammabestrahlung von importierten Torfmoosen), um bestimmte Eigenschaften (z. B. Freiheit von Unkräutern und Pathogenen) zu gewährleisten.

Je nach Ausgangsstoff kann der Grad der mikrobiellen Belegung sehr hoch (z. B. Kompost, Rindenhumus, Kokosmark), gering (z. B. Torf) oder sehr niedrig sein (z. B. Blähperlith, Blähthon). Im Herstellungsprozess durch Erhitzung erzeugte Stoffe wie Blähperlith, Blähvermiculit oder Mineralwolle sind zwar unmittelbar nach der Herstellung unbelebt, werden aber spätestens bei der Verwendung mit Mikroorganismen belebt. Festzustellen ist auch, dass sich die Zusammensetzung der Mikroflora- und -fauna eines Substrats stetig ändert, was von allen das Leben im Substrat beeinflussenden Umweltbedingungen abhängig ist. Demnach haben Licht, Wärme, Feuchtigkeitsge-

halt, pH-Wert, Salzgehalt, Nährstoffgehalt, die organische Substanz, physikalische Eigenschaften, Hygiene, Pflanzenschutzmaßnahmen und andere Faktoren ihren jeweiligen Einfluss auf die Mikrobiologie des Substrats. Die Wechselwirkungen der Mikrobiologie mit der Substratchemie und Substratphysik sind vielfach noch unbekannt und die Black Box in der Substratforschung.

4.5.2.1 Mikroorganismen und Produkthaftung

Die European Peat and Growing Media Association (EPAGMA) hat die oben beschriebenen mikrobiellen Gegebenheiten in Substraten in den Internationalen Verkaufsbedingungen (EPAGMA 2006) ihrer Mitglieder berücksichtigt und die zwei nachfolgenden Textpassagen vereinbart, die so oder in anderem Wortlaut von den Mitgliedsfirmen der EPAGMA in ihre allgemeinen Geschäftsbedingungen aufgenommen werden können.

1. „Unsere Kultursubstrate, insbesondere die organischen Substrate, sind frei von human- oder phytopathogenen Mikroorganismen. Sie sind jedoch nicht steril, sondern mikrobiell belebt. Mikroorganismen können autochthon sein oder während der Lagerung oder der Pflanzenkultur in Abhängigkeit der Jahreszeit und der Kulturbedingungen Substrate besiedeln. Der weitaus größte Teil aller Kultursubstrate enthält hohe Anteile organischer Substanz, die zwangsläufig der mikrobiellen Zersetzung durch Pilze, Bakterien und andere Organismen ausgesetzt ist. Saprophytische Nematoden sind in geringer Anzahl in Substraten vorhanden. Das Aufdüngen der Kultursubstrate für das Pflanzenwachstum fördert ferner das Wachstum von saprophytischen Organismen. Das Vorhandensein saprophytischer Organismen und deren Folgen, wie z. B. Verpilzung, stellen daher keinen Produktmangel dar.“
2. „Wir übernehmen keine Haftung für Sach- und Vermögensschäden, die durch eine

Besiedlung von ubiquitären Mikroorganismen sowie von einem ubiquitären Vorkommen saprophytischer Organismen verursacht werden, wie z. B. durch eine Verpilzung des Substrats. Dieser Haftungsausschluss gilt nicht für den Fall, dass die Substrate bei Gefahrübergang anthropogen mit einer unnatürlich bzw. untypisch hohen Anzahl saprophytischer Organismen oder Mikroorganismen verunreinigt sind und wir bzw. unsere Vertreter oder unsere Erfüllungs- und Verrichtungsgehilfen diese anthropogene Verunreinigung vorsätzlich oder grob fahrlässig verursacht haben.“

4.5.2.1.1 Saprophytische Mikroorganismen

Saprophyten sind keine Krankheitserreger. Sie betreiben weder Photo- noch Chemosynthese; ihr natürliches Habitat ist tote organische Substanz, wo sie sich ausschließlich heterotroph, also von toter Materie ernähren (KAYSER et al. 2010). Sie bauen energiereiche Stoffe ab und wandeln diese in anorganische Stoffe um, die wiederum von Pflanzen aufgenommen werden können.

4.5.2.1.2 Saprophytische Pilze (Substratpilze)

Saprophytische Pilze ernähren sich ausschließlich von abgestorbener organischer Substanz und beziehen so die für ihr Wachstum benötigten Kohlenstoffverbindungen. Substratpilze zeigen manchmal starkes Wachstum in Form von lockeren Myzelgespinsten, stark stäubenden Sporenlagern, kugel- bis becherförmigen Fortpflanzungsorganen oder Fruchtkörpern, gegliedert in Stiel und Hut (SCHLECHTE & SCHMILEWSKI 2010). Dieselben Autoren ordnen saprophytischen Pilzen folgende Beeinträchtigungen des Substrats, des Pflanzenwachstums oder der Gesundheit zu, die aber nicht immer und nicht bei allen Verpilzungen auftreten:

- a. Festlegung von Nährstoffen (insbesondere Stickstoff) in der pilzlichen Biomasse;

- b. Bindung von Wasser und Entfaltung einer wassersperrenden Wirkung durch ausge dehnte hydrophobe Myzelnerster;
- c. Behinderung des Luftaustausches durch oberflächlich ausgebreitete Myzellager;
- d. Minderung der Strukturstabilität (Verdichtung) von Substratkomponenten infolge des Abbaus pflanzlicher Gerüstsubstanzen wie Cellulose oder Lignin;
- e. Freisetzung potentiell pflanzentoxischer Verbindungen;
- f. Initiierung von Selbsterwärmungsprozessen im Rohstoff- bzw. Substratlager mit nachhaltiger Einflussnahme auf zahlreiche wertbestimmende Eigenschaften;
- g. Erhöhung des Allergierisikos durch z. B. beim Gießen verstärkt freigesetzte Sporenwolken;
- h. Herabsetzung der Verkaufsqualität der produzierten Pflanzen aufgrund sichtbarer Myzelgeflechte und anderer pilzlicher Strukturen;
- i. und im Ausnahmefall: Ausbildung ansehnlicher Pilzfruchtkörper mit giftigen Inhaltsstoffen, die speziell für Kinder gefährlich werden können.

Die in Kultursubstraten und Blumenerden am häufigsten auftretenden Substratpilze sind:

- *Peziza ostracoderma* (mit seinem Schimmelstadium *Chromelosporium fulvum*) = Torf-Becherling;
- *Athelia turficola* = Torfhäutchenpilz;
- *Leucocoprinus birnbaumii* = Gelber Fal tenschirmling;
- verschiedene *Trichoderma*-Arten (ohne deutschen Namen).

Sichtbare Substratverpilzungen kommen nicht zwangsläufig vor, auch wenn der Pilz im Substrat über labortechnische Untersuchungen nachgewiesen wird. LOHR et al. (2015a) wiesen darauf hin, dass Ergosterin als Indikator für die Bestimmung der Biomasse von Pilzmycel dienen kann. Dieses Mycosterin kommt in

der Zellmembran von Pilzen vor. Aus der Ergosterin-Bestimmung können allerdings keine vorbeugenden oder kurativen Maßnahmen abgeleitet werden. LOHR et al. (2015b) führen aus, dass mithilfe der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) die hydrolysierbaren C-Anteile in Substraten verlässlich analysiert werden können. Da die biologische Abbaubarkeit von Kohlenstoff eine Kenngröße für den möglichen Befall von saprophytischen Pilzen ist, leiten die Autoren das potentielle Verpilzungsrisiko hiervon ab: Je höher der Anteil hydrolysierbarer C-Anteile, desto höher das Verpilzungsrisiko durch *P. ostracoderma* und andere saprophytische Pilze.

Meistens sind äußere Bedingungen bei der Substratlagerung oder Kulturbedingungen für einen sichtbaren Ausbruch bestimmend. So können die Substratzusammensetzung, Feuchtigkeitsbedingungen, Temperatur, Nährstoffgehalte, Verpackungsart, Lagerungsdauer sowie Wechselwirkungen zwischen diesen Faktoren, die derzeit nicht eindeutig zu erklären sind, den Ausschlag für eine Substratverpilzung geben. Diese ganzheitlich zum Zweck der Vermeidung von Verpilzungen zu beeinflussen, ist nicht möglich. Durch umfassende Betriebshygiene und möglichst optimale Lagerungsbedingungen kann jedoch die Ansiedlung, Verbreitung und Überdauerung von Substratpilzen eingedämmt werden.

4.5.2.1.3 Saprophytische Nematoden

Nematoden (Fadenwürmer oder Älchen) sind eine der zahlreichsten Gruppen im Tierreich. Die meisten Nematodenarten schädigen Kulturpflanzen nicht und sind nützlich, da sie sich von anderen Organismen oder organischer Substanz ernähren, sie werden überbegrifflich als freilebende Saprophyten bezeichnet. Sie ernähren sich vornehmlich von Bakterien, Pilzen und Algen, die sie mit der sich zersetzenden organischen Substanz aufnehmen. Entsprechend ihren Nahrungsquellen können sie in fünf Gruppen unterteilt werden (INGHAM 2000): Predatoren (fressen andere Nematoden, Protazoa, andere Kleinlebewesen), Omnivoren (fressen meist andere Kleinlebewe-



Abbildung 4: Etwa 3 cm in das Substrat eingedrungenes Myzelgeflecht eines Basidiomyceten mit auffälliger wassersperrender Wirkung (© H. Limbers).

Abbildung 5: *Chromelosporium fulvum*: Verbreitung der Konidiosporen durch Gießen (© G. Schmilewski).



sen), Mykophagen (stechen Zellwände von Pilzen an und saugen das Innere aus), Bakteriophagen (fressen Bakterien) und Phytophagen (stechen Zellwände von Wurzeln oder anderen Pflanzenteilen an und schädigen die Pflanze) (s. Kap. 10.6.2).

Die wichtigste Bedingung für die Entwicklung aller Nematoden ist Feuchtigkeit. Organische Ausgangsstoffe und Substrate, die in der Re-

gel immer feucht sind, sind geeignete Lebensräume für Älchen. Bei anhaltender Substrattrockenheit gehen sie in ein Ruhestadium, aus dem sie bei wiederkehrender Feuchtigkeit erwachen.

Von den Tausenden von Nematodenarten konnten nur 43 Arten ausschließlich in Mooren nachgewiesen werden (BURMEISTER 1990). Die Autoren betonen: „Es fehlen Schadne-

matoden, die Pflanzenteile anstechen.“ (Sie haben keinen Mundstachel.) Im Vergleich zu Ackerböden enthalten natürliche Moorböden deutlich weniger Nematoden, was durch das Milieu des Moores bedingt ist. Es handelt sich dabei ausschließlich um Saprophyten.

Saprophytische Nematoden können in mehr oder weniger großer Anzahl in allen organischen Substraten und Ausgangsstoffen vorkommen. Belebte Stoffe wie Kompost oder Rindenumus bieten beste Lebensbedingungen für saprophytische Nematoden. Aber auch jeder verarbeitete Torf kann saprophytische Nematoden enthalten. Wichtig ist die Unterscheidung zu Schadnematoden, die selten in Substraten nachgewiesen werden.

4.5.3 Krankheitssuppressivität und Krankheitskonduktivität

Suppressive Substrate, Substratausgangsstoffe (und Böden) sind durch eine schwache Entwicklung von bodenbürtigen Krankheiten charakterisiert, obwohl virulente Pathogene und empfängliche Wirtspflanzen vorhanden sind. Solche Substrate unterdrücken bodenbürtige Krankheitserreger wie *Fusarium* spp., *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Rhizoctonia* spp. u. a. Man spricht von einem antiphytopathogenen Potential des Substrats. Allerdings ist dieses Potential nicht genau voraussagbar und hängt auch von Faktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit und mikrobiellen Gegenspielern ab. Suppressivität ist vorbeugend und nicht kurativ wie chemische Mittel.

Im Gegensatz zu krankheitssuppressiven Substraten bzw. Ausgangsstoffen gibt es solche, welche die Entwicklung von bodenbürtigen Krankheitserregern eher fördern, sie sind krankheitsfördernd (pathogenkonduktiv). Dies sind in der Regel Substrate, die wenig oder gar nicht belebt sind. Der Erreger der ‚hairy root‘-Krankheit (*Rhizobium rhizogenes*) ist beispielsweise in Mineralwollplatten nur schwer zu kontrollieren. Mineralwolle ist nicht wie organische Ausgangsstoffe von einer spezifischen Mikroflora besiedelt, hat somit keine natürlichen Gegenspieler zum Bakterium und

ist eher als konduktiv zu beurteilen. Sowohl biotische Gegebenheiten (Mikroflora) als auch abiotische Faktoren (physikalische und chemische Parameter) tragen zu der jeweiligen Eigenschaft bei. Die Fachwelt ist sich jedoch einig, dass in erster Linie die biologischen Eigenschaften, d. h. die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Mikroflora, eine Substratsuppressivität bedingen.

Die antiphytopathogene Wirkung von Substraten kann durch Zusatz bestimmter Mikroben zum Substrat verstärkt werden (s. Kap. 6.5). Dabei eignen sich weniger belebte Ausgangsstoffe (z. B. Torf) besser als mikrobiell bereits stark belebte Ausgangsstoffe, da die zugesetzten Mikroorganismen weniger Konkurrenz vorfinden.

Suppressivität von Böden wird durch Zugabe von organischer Substanz mit hoher mikrobieller Aktivität gefördert (WELLER et al. 2002). So wird vielfach von einem antipathogenen Potential insbesondere bei Komposten, aber auch bei Rindenumus berichtet. TRÄNKER & DEHNE (2002) schreiben, dass mithilfe von Komposten mit aktiven Mikrofloren in Kultursubstraten ein wachstumsförderndes und antiphytopathogenes Potential aufgebaut werden kann. Aus Komposten wurden Bakterien der Gattungen *Bacillus*, *Paenibacillus* und *Pseudomonas* isoliert, die sich durch ihre Konkurrenzkraft gegenüber anderen Mikroben auszeichnen und eine vitalisierende Wirkung auf verschiedene Pflanzenarten zeigen.

Bereits 1982 konnte TAHVONEN (1982) von der suppressiven Wirkung von schwach zersetzten finnischen Hochmoortorfen berichten. Sechs verschiedene Torfe reagierten jedoch ganz unterschiedlich suppressiv, nachdem aus ihnen hergestellte Substrate mit *Rhizoctonia solani* bzw. *Phoma lingam* inokuliert wurden. WOLFFHECHEL (1988) hat ebenfalls bei manchen untersuchten *Pythium* spp. Suppressivität festgestellt, bei anderen nicht. WOHANKA (2010a und 2010b) stellt fest, dass vor allem die unterschiedliche natürliche Besiedlung von Torfen mit Actinomyceten (z. B. *Streptomyces*-Arten) und bestimmten saprophytischen Pilzar-

ten (z. B. *Trichoderma* spp.) bei der Unterdrückung von bodenbürtigen Pathogenen eine Rolle zu spielen scheint. Möglicherweise ist aber auch generell eine hohe Aktivität der gesamten Substratmikroflora für eine gute Suppressivität mit verantwortlich. In weiteren Versuchen haben WOHANKA et al. (2012) nachgewiesen, dass neun von elf geprüften Torfen eine signifikant suppressive antipathogene Wirkung gegen *Pythium aphanidermatum* zeigten. Dabei konnte eine Abhängigkeit der Wirkung von der Gesamtkeimzahl der Bakterien festgestellt werden; je höher die Keimzahl, desto besser war die Suppressivität gegen den Pilz. Auch wird angenommen, dass neben der Zusammensetzung der Mikroflora auch der Humositätsgrad des Torfes eine Rolle spielt – je weniger zersetzt ein Torf ist, desto eher hat er krankheitssuppressive Eigenschaften, da die leicht abbaubaren Torfgerüstsubstanzen Cellulose und Hemicellulose in größeren Mengen als bei stark zersetzten Torfen zur Verfügung stehen und dadurch die mikrobielle Aktivität eher fördern.

4.6 Wirtschaftliche Faktoren

Entscheidend für die Wahl eines Substratausgangsstoffes beziehungsweise eines Substrats sind neben den physikalischen (s. Kap. 4.3), chemischen (s. Kap. 4.4) und biologischen Eigenschaften (s. Kap. 4.5) wirtschaftliche Faktoren. Ebenso wie einzelne gartenbauliche Kennwerte, die sich negativ auf das Pflanzenwachstum auswirken und das Kulturrisiko erhöhen, können einzelne wirtschaftliche Faktoren die gleiche Bedeutung bei der Entscheidung für oder gegen ein Material oder Produkt haben.

4.6.1 Pflanzenansprüche und Kulturverfahren

Heute wird eine kaum übersehbare Anzahl verschiedener Pflanzenarten kultiviert. Die verschiedensten Wachstumsbedingungen wie die Bewässerung, Düngungsmaßnahmen, Licht- und Temperaturverhältnisse sowie Luftfeuchtigkeit müssen kontrolliert und gesteuert werden. Je nach Kulturstadium, ob Aussaat,

Stecklings-, Pikier- oder Topfstadium, ob Gewächshaus- oder Freilandkultur, die Ansprüche der Kulturpflanze setzen bestimmte Kulturverfahren voraus und diese bedingen bestimmte Kultursubstrate für den Produktionsgartenbau. Wichtig ist auch die Abstimmung des Substrats auf die Art der Substratverarbeitung, z. B. mit Fülllinien oder automatisiertes Topfen und Pikieren. Prinzipiell können diese Ansprüche auf die Erfordernisse im Hobbygartenbau übertragen werden, wenn auch nicht auf gleichem Niveau. Daher müssen für die verschiedensten Einsatzbereiche teilweise sehr unterschiedliche Substrate formuliert werden. Allerdings kann ein und dasselbe Substrat zu verschiedenen Pflanzenqualitäten in verschiedenen Betrieben führen, wenn es bei unterschiedlichen Bedingungen eingesetzt wird. Die Herstellung von Standardsubstraten reduziert den Kosten- und Lagerungsaufwand beim Substrathersteller. Spezialsubstrate, die für Einzelbetriebe produziert werden, sowie Mischungen für Sonderkulturen erhöhen die Komplexität beim Substrathersteller durch die Beschaffung und Lagerung von mehr Substratausgangsstoffen und -zusätzen. Allein die daraus resultierende hohe Anzahl an Substratrezepturen, die in die Tausende gehen kann, und der interne Verwaltungsaufwand sind betriebswirtschaftlich zu berücksichtigende Faktoren.

4.6.2 Qualitätsbeständigkeit

In Kapitel 1 ist die Qualität von Substraten definiert. Der Kultivateur muss sich auf die Qualität des bestellten Industriesubstrats verlassen können. Bei gleichbleibendem Einsatzzweck muss das Substrat dieselben Ansprüche erfüllen wie die Lieferung zuvor. Diese Forderung kann bei Betriebserden nur dann erfüllt werden, wenn auch die Substratausgangsstoffe und -zusätze wiederholt gleich sind.

Der Vorteil mineralischer Substratausgangsstoffe, die bei sehr hohen Temperaturen hergestellt werden, ist ihre sehr hohe Qualitätsbeständigkeit. Durchaus anders kann das bei organischen Ausgangsstoffen sein, da sie natürlichen Ursprungs sind und aufgrund der

Standort- und Wachstumsbedingungen oder botanischen Zusammensetzung höhere Schwankungsbreiten ihrer Eigenschaften mitbringen können. So ist kein Torf wie der andere, kein Kompost wie im Vorjahr und keine Kokosmarktlieferung identisch mit der zuvor gelieferten. Es liegt im Ermessen des Substratherstellers, vorkommende Qualitätsunterschiede (-mängel) bei einem Ausgangsstoff (z. B. unzureichende Wasser- und Luftkapazität von Schwarztorf als Folge unzureichender Durchfroston) durch die Verwendung höherer Volumenanteile eines anderen Ausgangsstoffes auszugleichen, um die gekennzeichneten Produktangaben einstellen zu können. Dies sollte allerdings in vertretbarem Rahmen und in Abstimmung mit dem Abnehmer geschehen.

4.6.3 Verfügbarkeit

Kultur- und Terminpläne sind in Gartenbaubetrieben feste Bestandteile der Kulturführung. Ob automatisiert oder noch manuell durchgeführt, sind Aussaat, Stecken, Pikieren und Topfen Kulturmaßnahmen, die entsprechend der Kultur, den Kulturmethoden, der Jahreszeit und den Kundenbestellungen festgelegt werden. Der reibungslose innerbetriebliche Kulturablauf muss stimmen. Kultursubstrate sind in den zigtausenden gartenbaulichen Produktionsbetrieben allein in Deutschland ebenso fest eingeplante Betriebsmittel wie Wasser, Dünger, Pflanzenschutzmittel oder Computer zur Klimasteuerung. Kultursubstrate müssen in der gewünschten Menge produziert werden und auf Abruf bereitstehen.

Kein Substratausgangsstoff steht bedingungslos zur Verfügung. Wenige sind sekundäre Rohstoffe, die ohne Aufbereitung anfallen (z. B. Reisspelzen). Manche sekundäre Rohstoffe (z. B. Grünabfälle, Kokos und Rinde) müssen aufwendige Verarbeitungsprozesse durchlaufen, ehe sie substratfähig sind. Andere Rohstoffe (z. B. Torf, Perlit, Ton, Basaltgestein für Mineralwolle, Vermiculit) müssen ihren natürlichen Lagerstätten entnommen werden und dürfen erst abgebaut werden, wenn allen erforderlichen abbaurechtlichen

Gesetzen und Verordnungen nachgekommen wird.

Ging man früher davon aus, dass Torf praktisch unbegrenzt zur Verfügung steht, so trifft das für Deutschland und andere Länder in Europa nicht mehr zu. Die Kritik an der Verwendung von Torf hat schon lange Eingang in die Politik gefunden, die, unterstützt von Nichtregierungsorganisationen (NROs oder engl. abgekürzt NGOs), den Torfabbau einschränken oder stoppen will. Inzwischen wird auch der Abbau von Perlit, Basalt und anderen anorganischen Rohstoffen kritisch betrachtet. Die Verwendung von Kokos wird vom BUND insbesondere deshalb kritisiert, weil die Transportwege lang sind und deshalb der Energieverbrauch hoch ist. Grünabfälle enthalten für die Kompostherstellung wertvolles holziges Ausgangsmaterial, das inzwischen seit Jahren abgesiebt wird, in die energetische Verwertung gelangt und nicht mehr ausreichend der stofflichen Verwertung in Komposten zur Verfügung steht. Davon betroffen sind die Kompostqualität und die Verfügbarkeit von Substratkompost. Rinde, Ausgangsmaterial für die Herstellung des Substratausgangsstoffes Rindenhumus, steht ebenso unter energiepolitischen und damit auch preislichen Zwängen.

Die Hauptkomponente der meisten Kultursubstrate und Blumenerden – Torf – wird infolge politischer Entscheidungen zukünftig weniger eingesetzt werden als bisher. Ein Verzicht auf Torf würde allerdings auch die Verwendung alternativer Stoffe einschränken, da Torf als verdünnende Mischkomponente für andere Ausgangsstoffe dient und ihre nachteiligen Substrateigenschaften ausgleichen kann. Die Verfügbarkeit von Torf ist gartenbaulich auf nicht absehbare Zeit weiterhin notwendig. Ebenso müssen Grünschnittgut, Holzhackschnitzel, Rinde, Kokosprodukte und andere Materialien verfügbar sein, um der Substratwirtschaft die Produktion von Kultursubstraten und Blumenerden in den für den Gartenbau benötigten Mengen zu ermöglichen.

4.6.4 Preis

Industriell hergestellte Kultursubstrate und Blumenerden werden in großer Vielfalt angeboten und unterliegen dem preislichen Konkurrenzdruck vieler Anbieter. Der Preis ist ein Entscheidungskriterium für den Kauf eines Kultursubstrats oder einer Blumenerde. Der Substrateignung der Substratausgangsstoffe und -zusätze und daraus hergestellter Substrate ist in jedem Fall mehr Bedeutung beizumessen als dem Substratpreis. Da im gärtnerischen Produktionsbetrieb das Betriebsmittel Substrat nur wenige Prozent der Produktionskosten ausmacht, sollte der Preis nicht das Hauptkriterium für die Kaufentscheidung sein. Die Preisgestaltung ist vorrangig abhängig von den Einkaufskosten für Ausgangsstoffe und Zusätze sowie allen Produktions- und Verarbeitungskosten und Kosten für Transport und Warendistribution. Zudem muss der Verkaufspreis einen Gewinn beinhalten, um die nachhaltige Unternehmensentwicklung mit abzusichern.

4.6.4.1 Konkurrierende Nutzungen

Die Substratwirtschaft ist für manche Ausgangsstoffe nicht der alleinige Kundenbereich, sondern steht im Wettbewerb mit anderen Wirtschaftsbereichen, wie der Energiewirtschaft. So können staatliche Subventionen die Preisfindung beeinflussen, wie es für Holz, Rinde und holzige Kompost-Inputstoffe seit Inkrafttreten des Erneuerbare-Energien-Gesetzes am 29. März 2003 der Fall ist. Es ist nicht nur der Marktpreis für Holz und Rinde als Rohstoffe gestiegen, dadurch ist auch die verfügbare Menge dieser Ausgangsstoffe für die Verwendung in Substraten zurückgegangen. Bei mineralischen Düngemitteln spielt die weltweite Rohstoffsituation eine wichtige Rolle, denn bei Rohstoffknappheit und hoher Nachfrage steigt der Einkaufspreis, was sich auf den Substratpreis auswirken kann.

4.6.4.2 Produktionskosten

Substratausgangsstoffe bzw. -rohstoffe müssen der natürlichen Lagerstätte entnommen

(z. B. Torf, Ton, Perlit, Vermiculit, Sand) oder getrennt gesammelt und behandelt werden (z. B. Grünkompost, Holzfasern, Kokosmark und Rindenhumus) und durchlaufen unterschiedliche Aufbereitungs- und Verarbeitungsprozesse (z. B. Mahlen, Fraktionieren, Sieben, Expandieren). Diese Prozesse fließen als Investitions-, Verarbeitungs- und Energiekosten in jede Preiskalkulation. Werden Ausgangsstoffe betriebsintern vom Substrathersteller produziert (z. B. Komposte, Holzfaserstoffe, Torf), sind die Kosten meist niedriger als beim Zukauf.

Kultursubstrate und Blumenerden werden in automatisierten Anlagen produziert, deren Bedienung und Wartung ein hohes Maß an Fachwissen sowie Maschinenkenntnisse verlangt. Je nach Produktionsstandort (z. B. In- oder Ausland) fallen entsprechend dem dortigen Lohnkostenniveau und vereinbarten Sozialleistungen unterschiedliche Kosten für die Mitarbeitervergütung an.

4.6.4.3 Kosten der Gütesicherung

Aufgrund der gartenbaulichen Ansprüche ist der Aufwand für die Qualitätssicherung des Substrats sehr hoch. Interne Produktionskontrollen wie auch die externe Überwachung und Prüfung gemäß den jeweiligen Qualitätssicherungssystemen, den verschiedenen Richtlinien für den ökologischen Anbau, der Unternehmenszertifizierung nach Qualitätsmanagementnormen der Normenreihe ISO 9001, der Umweltmanagementnorm ISO 14001 oder anderen Zertifizierungssystemen wirken sich unweigerlich auf den Substratpreis aus (s. Kap. 1).

4.6.4.4 Fracht- und Transportkosten

Fracht- und Transportkosten nehmen aufgrund der Kraftstoffpreise einen großen Anteil der Gesamtkosten ein, sowohl beim Transport von Ausgangsstoffen zum Werk als auch bei der Distribution zum Kunden. Der Standort des Produktionswerkes ist daher ein wichtiger Faktor bei der Kostenstruktur. Transportkosten wirken sich umso mehr aus, je höher die

Schüttdichte eines Ausgangsstoffes oder Substrats ist. So hat Grünkompost beispielsweise eine etwa 6-fach höhere Schüttdichte (ca. 600 kg/m³ nach EN 12580) als Holzfaserstoffe (ca. 100 kg/m³), wodurch die Transportkosten je Volumeneinheit Kompost deutlich höher liegen als bei Holzfasern. Substratzusätze wie Kalk, Dünger und Netzmittel werden vom Substratproduzenten in der Regel als Fertigprodukte zugekauft. Bei Zusätzen ist die Kostenspanne sehr groß und reicht je nach Produkt von Cent-Beträgen bis zu mehreren Euro je m³ Fertigungssubstrat. Die Transportkosten für Substratzusätze je m³ Substrat können daher stark variieren, wirken sich aber deutlich weniger aus.

4.7 Ökobilanzen

Jedes Produkt hat bei seiner Herstellung sowie den vor- und nachgelagerten Prozessen einen Einfluss auf die Umwelt. Das gilt für Autos, Computer, Pflanzen, Lebensmittel ebenso wie für Kultursubstrate und Blumenerden.

Verantwortliche Produzenten von Kultursubstraten und Blumenerden erkennen die Notwendigkeit und Vorteile verantwortlichen Verhaltens gegenüber der Gesellschaft. Dabei ist nachhaltige Entwicklung, getragen durch ökologisch, ökonomisch und sozial verantwortungsvolles Handeln, das übergeordnete Ziel allen Handelns. Ökobilanzen können dabei Wege aufzeigen, wie verantwortliches Verhalten in bestehende Firmenstrategien, Verfahrensweisen, Gewinnungs- und Verarbeitungsprozesse sowie Transport von Substratausgangsstoffen und Produkten integriert werden kann.

Gemäß DIN EN ISO 14044 (DIN 2006) ist eine Ökobilanz die „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges.“ Dabei ist die Wirkungsabschätzung der „Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf des Lebensweges des Produkts dient.“ Dementsprechend will man bei der Erstellung von Ökobilanzen für Substrate und Substratausgangsstoffe die Auswirkungen der Nutzung dieser Materialien auf die Umwelt ermitteln und vergleichen, um den unternehmerischen ökologischen Fußabdruck zu minimieren.

4.7.1 Die Quantis-Studie

Die weltweit wohl umfassendste Studie mit Bezug auf Substratausgangsstoffe und Substrate wurde von QUANTIS (2012) erstellt, einem der weltweit führenden Beratungsbüros für die Erstellung von Ökobilanzen. In dieser Studie „Comparative life cycle assessment of horticultural growing media based on peat and

other growing media constituents“ wurden Ökobilanzen für die neun Substratausgangsstoffe Rinde, Kokosmark, Grüngutkompost, Mineralwolle, Schwarztorf, Weißturf, Bläherlit, Reisspelzen und Holzfasern erstellt. Quantis hat des Weiteren Ökobilanzen für aus diesen Ausgangsstoffen empirisch formulierte Substrate (Referenzmischungen) erstellt.

Die Studie wurde gemäß den methodischen Vorgaben der ISO-Normen 14040 und 14044 durchgeführt. Substrate weisen je nach Anwendungsbereich unterschiedliche Eigenschaften auf. Fünf Anwendungsbereiche wurden festgelegt:

- Fruchtgemüse (wie Tomaten, Paprika, Schlangengurken)
- Topfpflanzen
- Jungpflanzenproduktion in Multizellenplatten
- Kultur von Baumschulpflanzen in Containern
- Blumenerden für den Hobbymarkt

Nur Mischungen innerhalb eines Anwendungsbereichs können direkt miteinander verglichen werden, da diese ähnliche Eigenschaften aufweisen. Einzelne Ausgangsstoffe dürfen nur dann miteinander verglichen werden, wenn sie für sich allein im selben Anwendungsbereich verwendet werden können. So können z. B. Weißturf und Kokosmark miteinander verglichen werden, wenn sie zu je 100 % als Ausgangsmaterial für die Herstellung eines Topfsubstrats verwendet werden, nicht aber Reisspelzen oder Kompost, da diese nicht für sich eingesetzt werden können. Allerdings geben alle ermittelten Werte eine Orientierung für den Einfluss der einzelnen Ausgangsstoffe auf die Umwelt. Bei der Studie handelt es sich ausschließlich um eine Studie über die Umweltauswirkungen der oben genannten Substratausgangsstoffe – die Substrattauglichkeit/Pflanzenverträglichkeit und soziale Aspekte (z. B. Arbeitsbedingungen bei der Produktion) werden in Ökobilanzen nicht berücksichtigt. Im Rahmen der Quantis-Studie

wurden alle Prozesse der neun Ausgangsstoffe über ihren gesamten ‚Lebenszeitraum‘ erfasst. Dazu gehören:

- **Produktion:** alle Aktivitäten zum Abbau oder Anbau (z. B. die maschinelle/technische Ausstattung und die Infrastruktur für die Moorentwässerung, Torfernte und Folgenutzung; für Rinde die Holzernte; für Kokosmark die Kokosnussernte)
- **Lieferung:** Transport per Lkw, Zug oder Schiff von der Produktionsstätte zu den Verarbeitungs- und Mischbetrieben
- **Aufbereitung und Substratproduktion:** Energie- und Wasserverbrauch; Zusatz von Kalk und Düngemitteln
- **Vertrieb:** Transport der Substrate zum Kunden per Lkw, Zug oder Schiff
- **Verwendung:** Zersetzung (der organischen Substanz) der Substrate während der Kultur
- **Lebensende (End-of-Life):** Zersetzung (der organischen Substanz) der Substrate nach der Kultur bis zur Mineralisierung

4.7.1.1 Auswirkungen der Substratausgangsstoffe auf umweltrelevante Wirkungskategorien

Die für Substrate umweltrelevanten Wirkungskategorien (Indikatoren) sind Klimawandel, Ökosystemqualität, Ressourcenverbrauch und menschliche Gesundheit. Als funktionelle Einheit dient der Kubikmeter Substrat bzw. Ausgangsstoff nach EN 12580; alle Ergebnisse basieren auf dieser Einheit.

Die Indikatoren, die sich auf die Ökobilanz von Kultursubstraten und Blumenerden auswirken und in der Quantis-Studie analysiert wurden, sind nachfolgend definiert. Die Abbildungen 6 bis 9 vergleichen die ermittelten Ergebnisse der untersuchten Ausgangsstoffe hinsichtlich der vier Indikatoren miteinander.

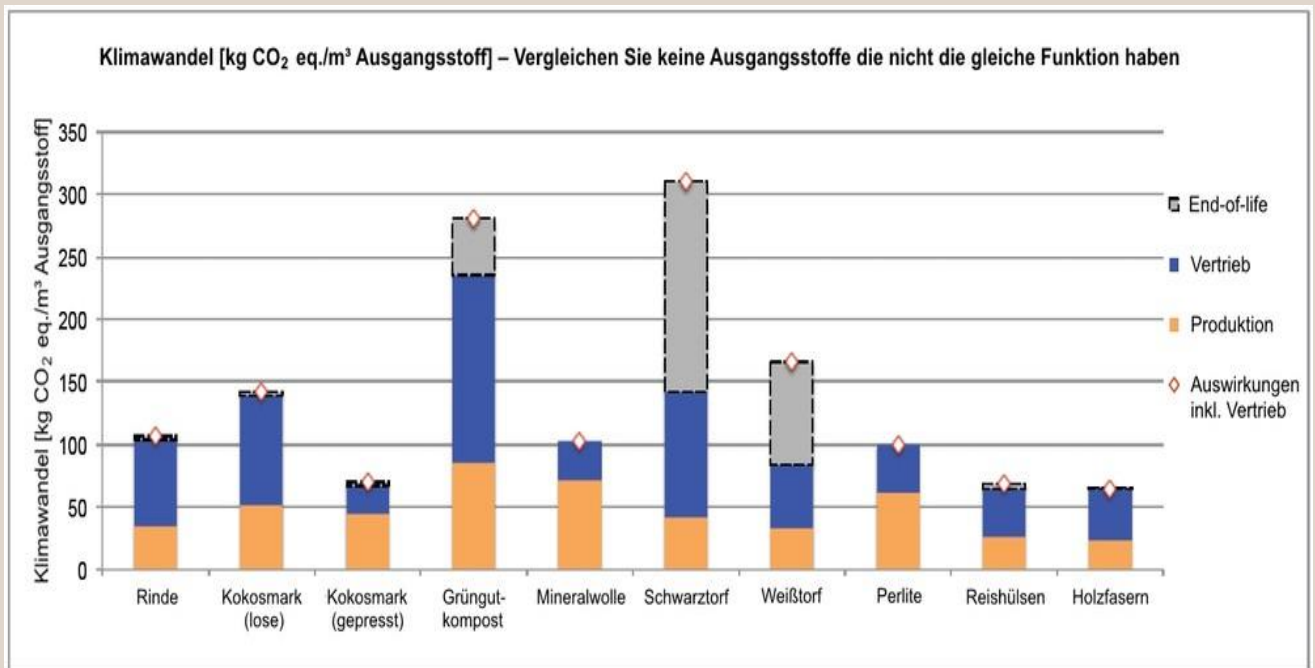


Abbildung 6: Ergebnisse für die Wirkungskategorie „Klimawandel“ (QUANTIS 2012).

4.7.1.1.1 Klimawandel

Der Indikator *Klimawandel* umfasst die im Lebenszeitraum eines Substrats/ Substratausgangsstoffes (oder jedes anderen Produkts) entstandenen CO₂-Emissionen. Dabei wird eine 100-Jahre-Spanne angesetzt.

Neben CO₂ sind Methan (CH₄) und Stickoxid (NO₂) die wesentlichen Treibhausgase (THG). Bei der Berechnung des Einflusses der THG hat Methan einen 24-fach stärkeren Effekt als

CO₂. Der Faktor für NO₂ liegt bei 225. Daher spricht man bei den ermittelten Werten in Bezug auf den Klimawandel von kg CO₂- Äquivalenten/m³ Substratausgangsstoff oder Substrat. Je größer der Einfluss der THG, desto höher ist der ermittelte Wert für den Einfluss auf den Klimawandel.

4.7.1.1.2 Ökosystemqualität

Dieser Indikator quantifiziert den Einfluss menschlicher Prozesse auf das Vorkommen

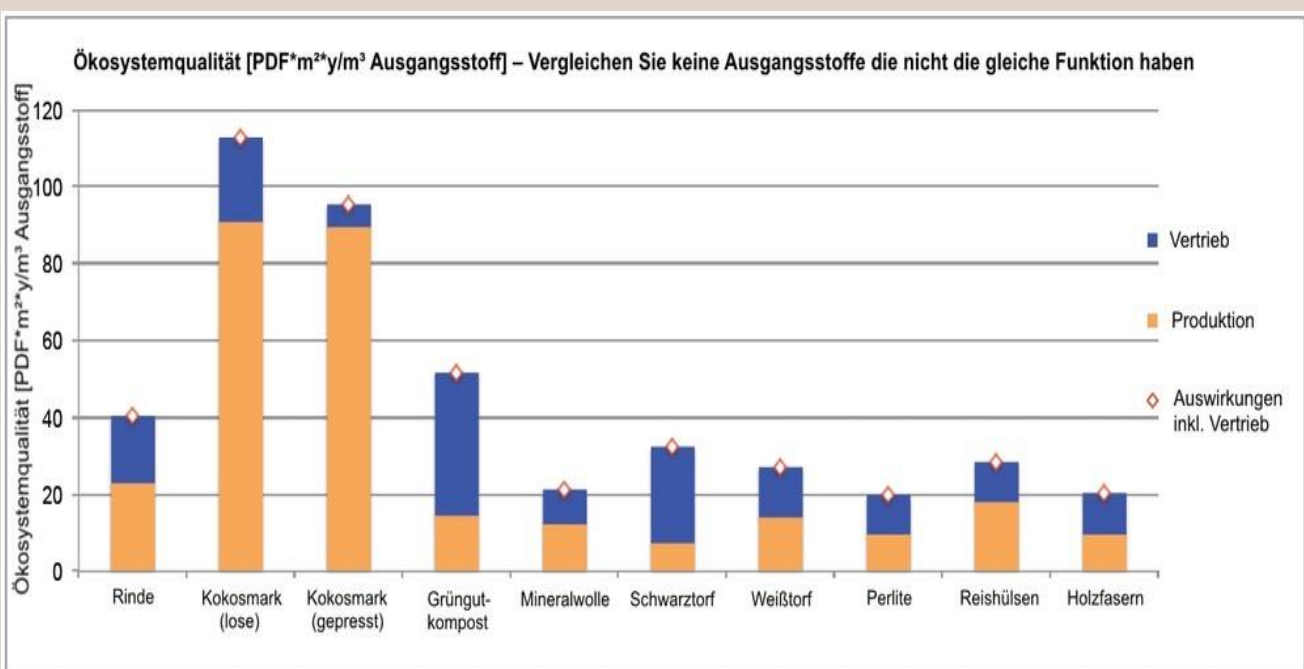


Abbildung 7: Ergebnisse für die Wirkungskategorie „Ökosystemqualität“ (QUANTIS 2012).

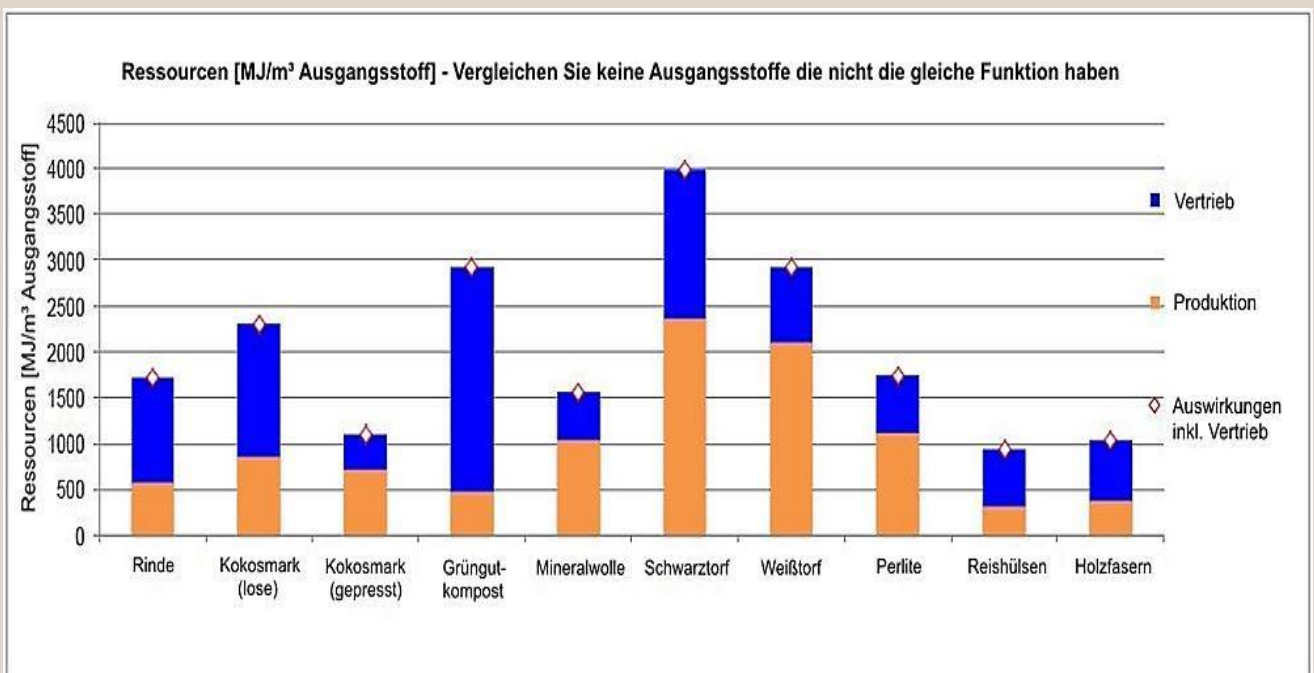


Abbildung 8: Ergebnisse für die Wirkungskategorie „Ressourcenverbrauch“ (QUANTIS 2012).

von Pflanzen- und Tierarten. Erfasst wird dies durch den potentiellen Rückgang von Arten (**P**otentially **D**isappeared **F**raction of species = PDF) auf einer definierten Fläche über einen bestimmten Zeitraum. In der Quantis-Studie ist die Flächeneinheit der Quadratmeter (m^2) und der Zeitraum ein Jahr (year = y). Die Ökosystemqualität wird somit angegeben als PDF m^2 y/ m^3 Substrat oder Substratausgangsstoff. Für den potentiellen Artenrückgang verantwortlich sind Einflüsse wie Eutrophierung, Versauerung, Landnutzung, aquatische und terrestrische Ökotoxizität bzw. Versauerung. Je größer der Einfluss dieser Faktoren, desto höher ist der ermittelte Wert für den Einfluss auf die Ökosystemqualität.

4.7.1.1.3 Ressourcenverbrauch (Rohstoffverbrauch)

Zur Ermittlung des Wertes für den Verbrauch an Ressourcen werden zwei Kenngrößen betrachtet: der Verbrauch an Substratausgangsstoffen und der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieträgern wie Erdöl, Diesel und Benzin. Je größer die ermittelten Mengen, desto größer ist der Einfluss auf den Ressourcenverbrauch.

4.7.1.1.4 Menschliche Gesundheit

Hierbei werden Faktoren wie Humantoxizität (z. B. krebserregende Substanzen), Einflüsse auf die Atemwege, ionisierende Strahlung und Abbau der Ozonschicht erfasst. Die Einheit, in der der ermittelte Wert für den Einfluss auf die menschliche Gesundheit angegeben wird, ist DALY/ m^2 . DALY steht für **D**isability **A**ddjusted **L**ife **Y**ears. DALY drückt somit die krankheitsspezifische Gesundheitsbelastung aus, die ein Produkt verursacht, und somit die Anzahl an Lebensjahren, die einem Menschen verloren gehen. Je größer der Einfluss, desto höher ist der ermittelte Wert für die menschliche Gesundheit.

4.7.1.2 Betrachtung der Ergebnisse der Quantis-Studie

Ökobilanzstudien basieren zum einen auf Fakten, z. B. wie viel Diesel ein Fahrzeug für eine bestimmte Strecke benötigt; zum anderen auf Annahmen, welche die zu ermittelnden Ergebnisse ebenfalls stark beeinflussen. So kann die angesetzte Rohdichte_{frisch} oder der angenommene C-Gehalt eines Ausgangsstoffes, mit dem gerechnet wird, zu einem besseren oder schlechteren Resultat für den Indikator Klimawandel beitragen. Daher wurden in der

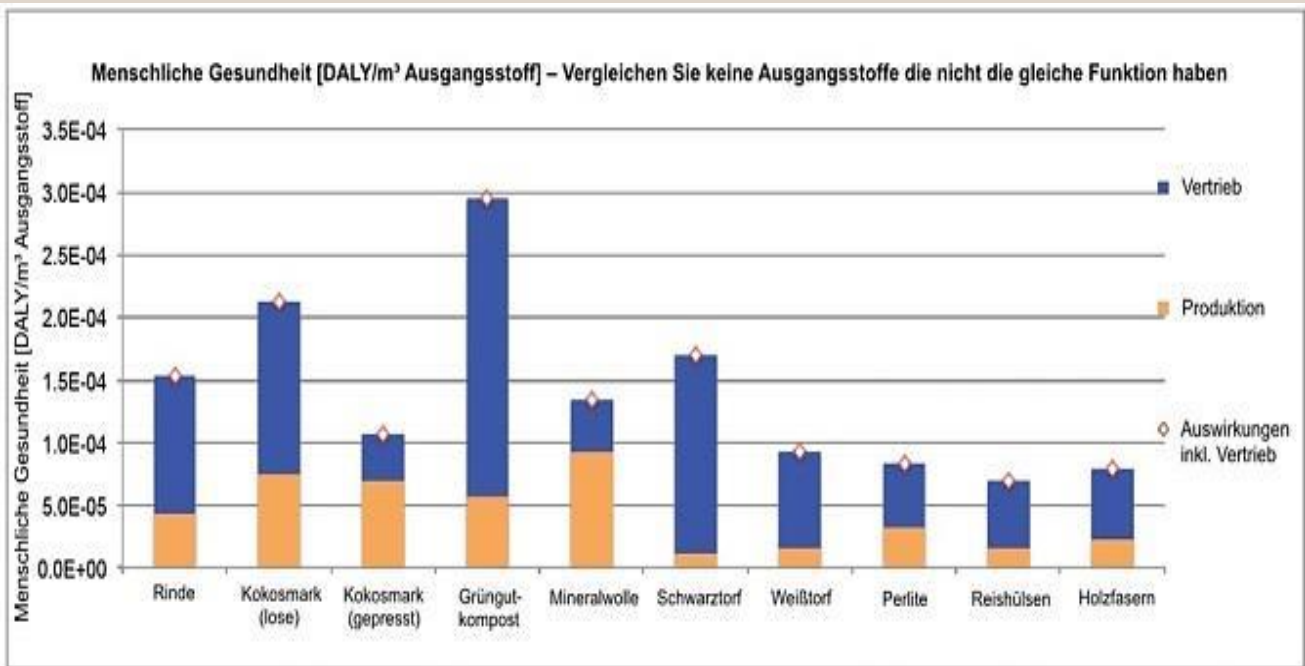


Abbildung 9: Ergebnisse für die Wirkungskategorie „Menschliche Gesundheit“ (QUANTIS 2012).

Quantis-Studie entsprechend den ISO-14044-Vorgaben systematische Fehlereinschätzungen zur Quantifizierung der Unsicherheit in den Zwischenergebnissen durchgeführt und in die Ergebnisse mit aufgenommen.

Die Studie zeigt, dass alle Substratausgangsstoffe und alle Substrate Einfluss auf die oben genannten umweltrelevanten Wirkungskategorien und somit einen ökologischen Fußabdruck haben, jedoch mit unterschiedlicher Gewichtung.

Dabei kann kein Substrat identifiziert werden, das für alle vier Wirkungskategorien die höchsten oder geringsten Auswirkungen hat. So hat von den untersuchten Substratausgangsstoffen

- ... Torf die höchsten Auswirkungen auf den Klimawandel (Abbildung 6) und Ressourcenverbrauch (Abbildung 8). Substratmischungen, die einen relativ hohen Torfanteil enthalten, haben somit eine größere Auswirkung auf diese Indikatoren.
- ... Kokosmark die höchsten Auswirkungen auf die Ökosystemqualität (Abbildung 7). Substrate, die einen hohen Anteil an Kokosmark besitzen, haben die größte Auswirkung auf diesen Indikator.

- ... Kompost die höchsten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (Abbildung 9). Substrate, die einen hohen Anteil an Grüngutkompost haben, weisen eine größere Auswirkung auf diesen Indikator auf.

Bei der Betrachtung und Beurteilung der Umweltauswirkungen einzelner Substratausgangsstoffe spielen die oben genannten Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zum Lebensende des jeweiligen Substrats eine wichtige Rolle.

4.7.1.2.1 Torf

Hochmoortorf besteht fast ausschließlich aus organischer Substanz, also Kohlenstoff (C). Während der gesamten Lebensphase des Torfes wird dieser zersetzt, wodurch CO₂ freigesetzt wird. Damit ist die wesentliche Auswirkung von Torf (etwa 50 % bei Weißtorf) auf den Indikator Klimawandel zu begründen. Da stark zersetzter Torf eine höhere Rohdichte und somit einen höheren C-Gehalt hat, ist der Einfluss von Schwarztorf auf den Klimawandel größer als der von Weißtorf. Durch die Oxidation (Zersetzung) des Torfes in der Torfabaufläche fallen dort etwa 60 % der Auswirkungen auf die Wirkungskategorie Ressourcenverbrauch. Torfabbau wirkt sich zu über

30 % auf die Ökosystemqualität aus, was durch den hohen Energieverbrauch begründet ist. Der Vertrieb von Torfprodukten hat auf die menschliche Gesundheit Einfluss, weil sich Partikel- und Stickoxidemissionen beim Treibstoffverbrauch auswirken.

4.7.1.2.2 Kokosmark

Auf Ressourcenverbrauch und den Klimawandel haben der Transport vom Herkunftsland (Indien, Sri Lanka) zur Substratfabrik in Europa und der damit einhergehende Treibstoffverbrauch sowie die Kokosmarkverarbeitung in der Substratfabrik mit mehr als 50 % den größten Einfluss. Ferner wirken sich die Wassernutzung bzw. die Pufferung des Kokosmarks mit Calciumnitrat negativ auf den Klimawandel und den Ressourcenverbrauch aus. Die Ökosystemqualität wird durch die Landnutzung als Kokosplantage zu 70 % beeinträchtigt. Die menschliche Gesundheit wird zu 80 % durch den langen Transportweg beeinträchtigt.

4.7.1.2.3 Grünkompst

Bei Kompost wirken sich Emissionen vor allem von NH_4 und N_2O während der Kompostierungsprozesse und durch den Transport der Inputstoffe zur Kompostierungsanlage vor allem auf die menschliche Gesundheit, den Klimawandel sowie die Ökosystemqualität aus. Hierbei hat die hohe Rohdichte des Komposts eine hohe Auswirkung.

4.7.1.2.4 Holzfaserstoffe und Rinde

Der Energieverbrauch in den Sägewerken und bei der Weiterverarbeitung sowie der Transport führen beim Ressourcenverbrauch, dem Klimawandel und der menschlichen Gesundheit zu Beeinträchtigungen. Eine Beeinträchtigung der Ökosystemqualität wird durch die Baumernte verursacht.

4.7.1.2.5 Reisspelzen

Etwa 70 % der gesamten Auswirkungen auf den Klimawandel, Ressourcenverbrauch und die Ökosystemqualität sind auf die Reiskultivierung und dabei entstehende CH_4 -

Emissionen (aus dem Boden und Düngemitteln) zurückzuführen. Der Transport vom Anbaugebiet (Po-Ebene) wirkt sich auf die menschliche Gesundheit aus. Insgesamt haben Reisspelzen eine gute Ökobilanz. Ihre Substrattauglichkeit muss allerdings hinterfragt werden.

4.7.1.2.6 Blähperlite

Bei Blähperlite trägt der Energieverbrauch beim Blähprozess zu ca. 70 % zu den Auswirkungen auf den Klimawandel bei. Für Auswirkungen auf die Ökosystemqualität (über 50 %) ist vor allem das Sprengen des Perlite-Gesteins (in Griechenland) verantwortlich. Der Transport zu und die Verarbeitung in den mitteleuropäischen Blähfabriken sind maßgeblich für Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit verantwortlich.

4.7.1.2.7 Mineralwolle

Die Gewinnung des Rohgesteins beeinflusst die Ökosystemqualität zu über 50 %. Der Schmelzprozess sowie die weitere Verarbeitung (Verspinnen, Formgebung etc.) und die dazu erforderliche hohe Energienutzung tragen zu 70 % zu den Auswirkungen auf den Klimawandel bei. Durch Feinpartikelemissionen beim Gesteinsabbau wird die menschliche Gesundheit zu mehr als 50 % und durch den Transport zu 30 % beeinträchtigt.

4.7.1.3 Fazit zu Ökobilanzen

Zu berücksichtigen ist, dass jeder Ausgangsstoff die physikalischen, chemischen oder biologischen Funktionen und somit die Funktionalität des Substrats beeinflusst. Durch die Wahl der Ausgangsstoffe werden auch die Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit der Substratproduktion beeinflussen (s. Kap. 4.6), mehr oder weniger stark beeinflusst. Die Verwendung eines Ausgangsstoffes, der alternativ für einen anderen verwendet wird, führt entweder zu keiner geänderten, einer geminderten oder gesteigerten Umweltauswirkung. Die Wahl für oder gegen einen Ausgangsstoff trifft der Substrathersteller/Gärtner vorrangig auf Basis seines

gärtnerischen Sachverstandes und der Anforderungen an das Substrat; dazu zählen die Substrateigenschaften, Kulturansprüche und -sicherheit, langfristige Verfügbarkeit und gleichbleibende Qualität.

Die Quantis-Studie basiert zum Teil auf Durchschnittswerten, die von den beteiligten Firmen oder aus Statistiken stammen, und kann gut der Orientierung zur verantwortungsvollen Verwendung von Substratausgangsstoffen dienen. Sie ist aber nicht repräsentativ für einzelne Länder, Regionen, Bundesländer oder gar einzelne Unternehmen. Im Sinne der nachhaltigen Unternehmensentwicklung haben manche Firmen der Substratbranche damit begonnen, eigene Ökobilanzen bzw. Klimabilanzen – in Anlehnung an die Quantis-Studie – zu erstellen. Transport und Vertrieb zeigen sich in der Studie als wesentliche Faktoren, die Ökobilanzen beeinflussen. Dies wird bereits in einer früheren kanadischen Studie bestätigt (CSPMA 2011).

5 Ausgangsstoffe für Kultursubstrate und Blumenerden

5.1 Organische Substratausgangsstoffe

Organische Substratausgangsstoffe bestehen nie zu 100 % aus organischem Material. Die Bezeichnung ‚organischer Substratausgangsstoff‘ und die Zuordnung eines Materials in diese Gruppe ist eine Frage der Definition. Der Gehalt an organischer Substanz kann bei landläufig als organisch bezeichneten Ausgangsstoffen erheblich schwanken. So gelten Komposte generell als organisch, obwohl sie gemäß RAL-GZ 251 (RAL 2007) nur 15 % (m/m) organische Substanz im Trockenrückstand enthalten müssen bzw. einen Gewichtsanteil an mineralischer Substanz von 85 % haben dürfen. Torfe müssen nach DIN 11540 (DIN 2005) über 30 % (m/m) organische Substanz im Trockenrückstand enthalten. Die im Substratbereich verwendeten (Hochmoor-) Torfe haben gemäß derselben Norm Gehalte an organischer Substanz zwischen 94 und 99 % (m/m). Alle anderen in Kapitel 1 beschriebenen Ausgangsstoffe haben Gehalte an organischer Substanz, die zwischen den Werten für Kompost und Hochmoortorf liegen, nämlich zwischen 15 und 99 % (m/m) des Trockenrückstandes (s. Tabelle 8).

Der Begriff ‚organisches Substrat‘ ist nicht gleichzusetzen mit dem Begriff ‚Biosubstrat‘, der andere Bedeutungen hat (s. Kap.).

5.1.1 Torf

Torf bildet sich in Mooren, und Moore bestehen aus Torf. Mit diesem Satz soll darauf hingewiesen werden, dass bei der Betrachtung von Torf als Ausgangsmaterial von gärtnerischen Substraten neben allen Aspekten seiner Gewinnung und Aufbereitung vor allem die natürliche Beschaffenheit Einfluss auf die Eigenschaften eines Torfes und der daraus hergestellten Substrate hat. Gemäß DIN 11540 ist Torf ein Moorsubstrat mit mehr als 30 % organischer Substanz in der Trockenmasse, das

aus abgestorbenen Pflanzenteilen durch Verrottung entstanden ist (DIN 2005). Die organische Komponente besteht dabei aus Resten von im Moor wachsenden Pflanzen und kolloidalen Humusstoffen in wechselnden Anteilen. Diese kurze Definition beinhaltet komplexe Zusammenhänge, die für das bessere gartenbauliche Verständnis nachfolgend durch kurze Erläuterungen des Torfbildungsprozesses der Hauptmoor- und Torftypen sowie der Eigenschaften der verschiedenen Torfarten erklärt werden.

OVERBECK (1975) definiert Torfe als subfossil und nicht als fossil, wie Torf fälschlicherweise vielfach bezeichnet wird, da Torf nicht vor Beginn des Holozäns (vor 10.000 Jahren) gebildet wurde.

5.1.1.1 Moor- und Torfbildung

Torfe entstehen durch Akkumulation von Pflanzenresten in Mooren, die aufgrund der herrschenden nassen Bedingungen bei gleichzeitigem Luftmangel von Mikroorganismen nur unvollständig zersetzt werden. In Mooren nimmt der Sauerstoffgehalt mit zunehmender Tiefe ab; Stickstoff, Wasserstoff und Kohlenstoff reichern sich an und der Zersetzungsgrad des Torfes nimmt zu (NAUCKE 1990).

Voraussetzung für die Moorbildung ist eine positive Wasserbilanz. Demnach müssen Niederschlag und Zufluss bei Moorbildung und -wachstum den Wasserabfluss, die Wasserspeicherung und -verdunstung ausgleichen können beziehungsweise höher sein (EGGELSMANN 1990). NAUCKE (1990) nennt einen bis fast zur Oberfläche reichenden Wasserspiegel als entscheidende Voraussetzung für das Wachstum eines Moores. Menge und Art der im Wasser gelösten Nährstoffe und Kalk sind entscheidend für die Ausbildung bestimmter Moortypen. In Abhängigkeit vom Klima, von der Hydrologie, den Oberflächenformen der Landschaft, der eiszeitlichen Geologie sowie dem Nährstoffgehalt des Grund- und Nieder-

schlagwassers haben sich weltweit eine Vielzahl von Moortypen entwickelt, die bei KAULE & GÖTTLICH (1990) sowie EGGELSMANN (1990) ausführlich beschrieben sind.

Aus gartenbaulicher Sicht ist es wichtig zu wissen, dass man aufgrund der zuvor genannten Gegebenheiten zwei Haupttypen von Mooren unterscheidet: Hochmoor und Niedermoor. Sogenannte Übergangsmoore stellen typologisch einen Übergang zwischen Hoch- und Niedermoor dar, in dem die ökologischen Bedingungen der beiden Hauptmoortypen ineinander übergehen. Bei Übergangsmooren kann eine Hoch- oder Niedermoorvegetation dominieren, weshalb man von hoch- oder niedermoorartigem Übergangsmoor spricht. Die Differenzierung zwischen Hoch- und Niedermoor hat nichts mit der geographischen Lage zu tun, sondern mit der unterschiedlichen Wasserversorgung dieser beiden Moortypen. Nachfolgend wird auf beide Moor- und Torftypen eingegangen, wobei unser Augenmerk aufgrund seiner gartenbaulichen Bedeutung dem Hochmoortorf gilt.

Eine Zweigliederung des Hochmoorprofils in stark und schwach zersetzten Torf ist häufig zu erkennen. Dem Gärtner sind die Bezeichnun-

gen ‚Weißtorf‘ für schwach zersetzten Torf und ‚Schwarztorf‘ für stark zersetzten Torf geläufig. Diese Begriffe kommen aus dem Sprachgebrauch der früheren Torfstecher im nordwestdeutschen Raum (RICHARD 1990). Der frisch gestochene stark zersetzte Torf bekommt an der Luft eine dunkelbraune bis schwarze Farbe, der wenig zersetzte Torf ist dann hell- bis mittelbraun.

5.1.1.2 Torfzersetzung

Die Torfzersetzung oder Vertorfung beinhaltet komplexe nebeneinander ablaufende Vorgänge der Humifizierung und Mineralisierung (ZIECHMANN 1980, GROSSE-BRAUCKMANN 1990). Bei der Mineralisierung wird organisches Material in einfache anorganische Substanzen umgewandelt, wobei die organische Substanz verschwindet und zuvor von den Pflanzen aufgenommene Nährsalze wieder frei werden. Als Humifizierung bezeichnet man die Vorgänge, durch die organisches Material in hell- oder dunkelbraun bis schwarz gefärbte Huminstoffe umgewandelt werden – in der Regel unter Verlust der ursprünglichen Zell- oder Gewebestrukturen (GROSSE-BRAUCKMANN 1990).

Tabelle 18: Humositätsgrade (H) ergänzt nach VON POST & GRANLUND (1926).

Humositätsgrad (H)	Erkennbarkeit der Pflanzenstrukturen im Torf	Zersetzung	Farbe ¹⁾	Landläufige Bezeichnung
Ohne	völlig erhalten, sehr gut	nicht zersetzt, lebend oder getrocknetes Torfmoos ²⁾	entsprechend der Torfmoosart, heller, wenn getrocknet	Torfmoos
H1	sehr deutlich	kaum	hell gelblich-braun bis bräunlich	Weißtorf
H2	sehr deutlich	sehr schwach	hell gelblich-braun bis bräunlich	
H3	deutlich	schwach	hellbräunlich	
H4	deutlich	schwach bis mäßig	hellbraun	
H5	noch deutlich	mäßig	braun	
H6	etwas undeutlich	etwas stärker	dunkelbraun	Schwarztorf
H7	noch einigermaßen	stark	dunkelbraun	
H8	sehr undeutlich	sehr stark	braun bis schwarz	
H9	fast nicht mehr	fast völlig	dunkelbraun bis schwarz	
H10	nicht mehr	völlig	fast schwarz	

¹⁾ Farbe in etwa, Abweichungen z. B. je nach Torfmoosart möglich.

Tabelle 19: Visuelle Beurteilung des Zersetzungsgrades getrockneter Torfe nach DIN 11540 (DIN 2005).

Humositätsgrad nach von Post	Ansprache des Humositätsgrades	Farbe des luftgetrockneten Torfes	Erhaltungszustand der Pflanzenstrukturen
H2 bis H4	schwach zersetzt	bleich bis hellbraun	gut
H3 bis H5	schwach bis mäßig zersetzt	hell- bis mittelbraun	gut bis mittelmäßig
H4 bis H6	mäßig zersetzt	mittel- bis dunkelbraun	mittelmäßig
H5 bis H7	mäßig bis stark zersetzt	dunkel- bis schwarzbraun	mittelmäßig bis schlecht
H6 bis H8	stark zersetzt	schwarzbraun	schlecht

Davon abgeleitet ist die Bezeichnung Humifizierungs- oder Zersetzungsgrad. Der Zersetzungsgrad von Torf ist aus substrattechnischer Sicht deshalb wichtig, weil er die chemischen, biologischen und vor allem physikalischen Substrateigenschaften mitprägt beziehungsweise den Einsatzbereich des jeweiligen Torfes mitbestimmt. Der deutsche Gesetzgeber verlangt die Angabe des Humositätsgrades (H) in der Kennzeichnung von Kultursubstraten und Blumenerden, sofern sie Torf enthalten. Die nach VON POST (1926) aufgestellte Skala für den Grad der Zersetzung an moorfrischen Proben gilt noch heute (Tabelle 18). Im Gegensatz zum Substrathersteller hat der Gärtner kaum die Möglichkeit, moorfrische Proben entsprechend der Von-Post-Skala zu beurteilen. Mit etwas Routine kann aber eine visuelle Beurteilung des H-Grades an getrockneten Torfen durchgeführt werden (Tabelle 19).

5.1.1.3 Niedermoor und Niedermoortorfe

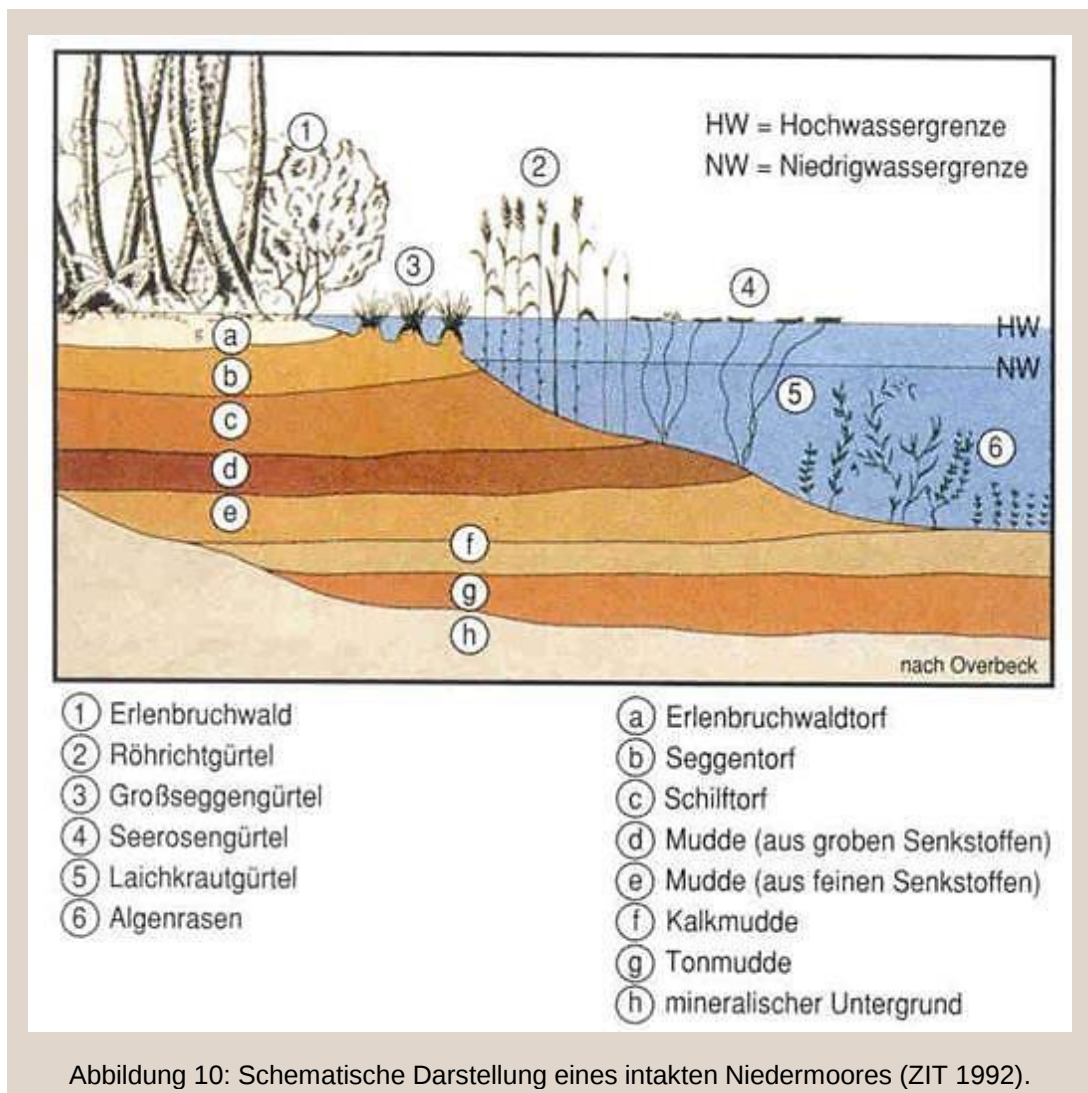
Niedermoor sind minerotroph, d. h., ihr Wasserkörper steht unter Einfluss von mineralhaltigem Grund- oder Oberflächenwasser; sie entstehen vorwiegend durch Verlandung oder Versumpfung eutropher Gewässer (OVERBECK 1975). Die Oberfläche eines Niedermoors folgt derjenigen des Grundwassers und ist daher mehr oder weniger horizontal – daher der Name ‚Niedermoor‘. Durch die zum Teil hohen Nährstoff- und Kalkgehalte bei stark saurem bis schwach alkalischem Milieu ist die Niedermoorvegetation artenreich und üppig. Die wichtigsten Torftypen der Niedermoor sind Seggen- (*Carex* spp.), Schilf- (*Phragmites* spp.) und Bruchwaldtorfe (vor allem *Salix* spp.

und *Alnus* spp.). Zur torfbildenden Vegetation der Niedermoor können ferner eine Vielzahl anderer Pflanzenarten gehören, auch *Sphagnum*-Arten.

Für Niedermoortorfe sind meist schwankende pH-Werte, mehr oder weniger hohe Nährstoffgehalte und eine heterogene Zusammensetzung typisch. Die Verwendung von Niedermoortorfen für gartenbauliche Zwecke ist in manchen Ländern üblich, so in Polen, dem Vereinigten Königreich und China. Sogar in den Niederlanden werden einige Tausend Kubikmeter Niedermoortorf für die Produktion von Blumenerden eingesetzt. Tabelle 20 zeigt die wesentlichen Unterschiede zwischen Niedermooren und Hochmooren und den in ihnen gebildeten Torfen auf.

5.1.1.4 Übergangsmoor und Übergangsmoortorf

Als Übergangsmoor werden Moore bezeichnet, die einen Übergang zwischen Nieder- und Hochmoor darstellen. Im Übergangsmoor gehen die ökologischen Bedingungen der beiden Hauptmoortypen ineinander über, was insbesondere die Moorvegetation betrifft. Übergangsmoor entstehen am Grundwasserspiegel oder unter wechselndem Wasserstand. Es überwiegen teils hoch- oder niedermoortypische Pflanzen, wobei man zwischen niedermoorartigem und hochmoorartigem Übergangsmoor unterscheidet. Die organische Substanz von Übergangsmoortorfen ist in der Regel niedriger und der Aschegehalt höher als in Hochmoortorfen (Tabelle 21).



5.1.1.5 Hochmoor und Hochmoortorfe

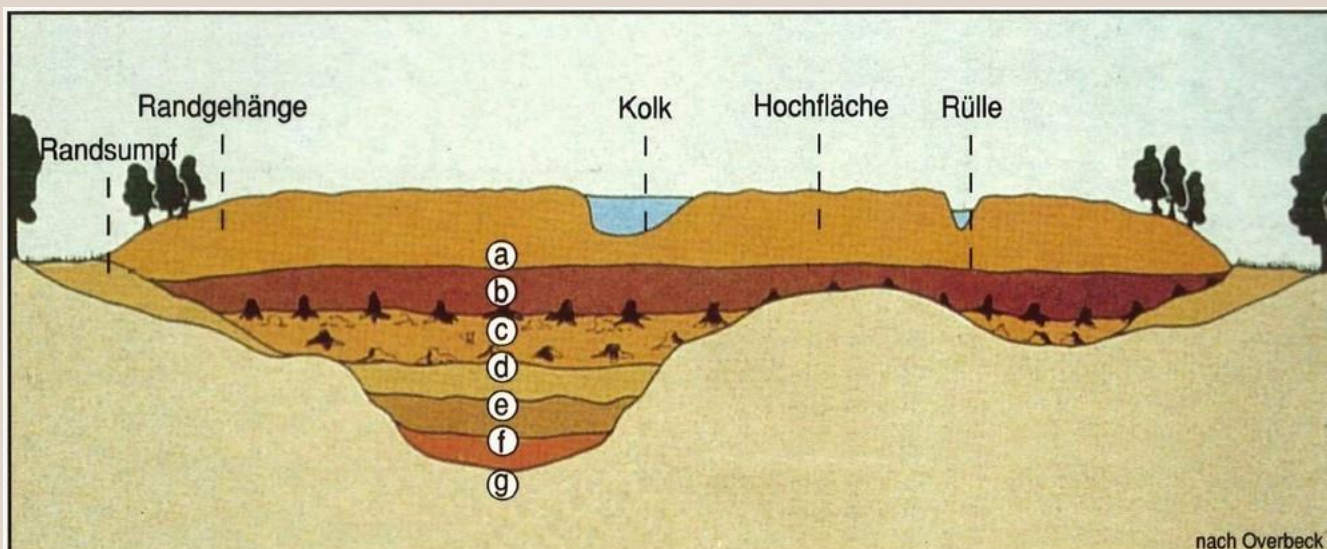
Der Hauptunterschied zu Niedermooren ist, dass Hochmoore ausschließlich von atmosphärischen Niederschlägen mit den darin enthaltenen Flugstäuben und Nährstoffen gespeist werden, weshalb sie auch Regenwassermoor oder ombrotrophe Moore genannt werden. Hochmoore wachsen auf der Basis ihres eigenen Wasserhaushaltes unabhängig von der Geländeform in Gebieten mit positiver Wasserbilanz oberhalb des Grundwasserspiegels (Abbildung 11). Konträr zu den flachen Niedermooren können sich Hochmoore, bedingt durch das Wachstum der Torfmoose, uhrglasförmig meterhoch über dem Untergrund aufwölben, daher die Bezeichnung ‚Hochmoor‘ (OVERBECK 1975).

Hochmoore sind häufig auf Niedermooren entstanden. Andererseits konnte sich über ober-

flächennahen Bodenverdichtungen, wie z. B. Ortsteinschichten, Niederschlagswasser stauen, in dem sich Moose und andere Pflanzen ansiedelten – es bildeten sich sogenannte ‚wurzelechte‘ Hochmoore (OVERBECK 1975).

Auf Hochmooren herrschen extreme Standortbedingungen wie starke Temperaturschwankungen aufgrund der wärmeisolierenden Torfschicht und Pflanzendecke, niedrige pH-Werte und sehr geringe Gehalte an mineralischen Nährstoffen. Nur anspruchslose Pflanzenarten können bei diesen Bedingungen gedeihen, weshalb die Liste der in Hochmooren lebenden und torfbildenden Arten sehr begrenzt ist.

Neben der Moosgattung *Sphagnum*, Haupttorfbildner der Hochmoore, gibt es einige andere Arten, die üblicherweise nicht auf derart extremen Standorten leben, die aber im Hochmoor noch existieren können.



- Ⓐ schwach zersetzter Sphagnumtorf (Weißtorf)
- Ⓑ stark zersetzter Sphagnumtorf (Schwarztorf)
- Ⓒ Erlenbruchwaldtorf, darüber Birken-Kiefern-Übergangswaldtorf
- Ⓓ Seggentorf
- Ⓔ Schilftorf
- Ⓕ Mudden
- Ⓖ mineralischer Untergrund

Abbildung 11: Schematische Darstellung eines intakten Hochmoores (ZIT 1992).

Im Allgemeinen spielen im Hochmoortorf neben den Resten der Torfmoose die leicht erkennbaren Blattscheidenreste von *Eriophorum vaginatum* (Scheidiges Wollgras) eine nennenswerte Rolle; diese bilden die sogenannten Torffasern. Je nach Torfherkunft können unterschiedliche Mengen an Torffasern

enthalten sein, die manchen Substraten zur Verbesserung der Luftkapazität zugegeben werden, etwa Containersubstraten. Auch verholzte Reste von *Erica* oder *Calluna* sind in manchen Torfherkünften häufig zu finden. Sie stören im Substrat aber nur dann, wenn sie z. B. für Aussaaten in Multizellenplatten nicht

Tabelle 20: Wesentliche Unterschiede zwischen Hoch- und Niedermooren und deren Torfen (in Anlehnung an BURMEISTER et al. 1990).

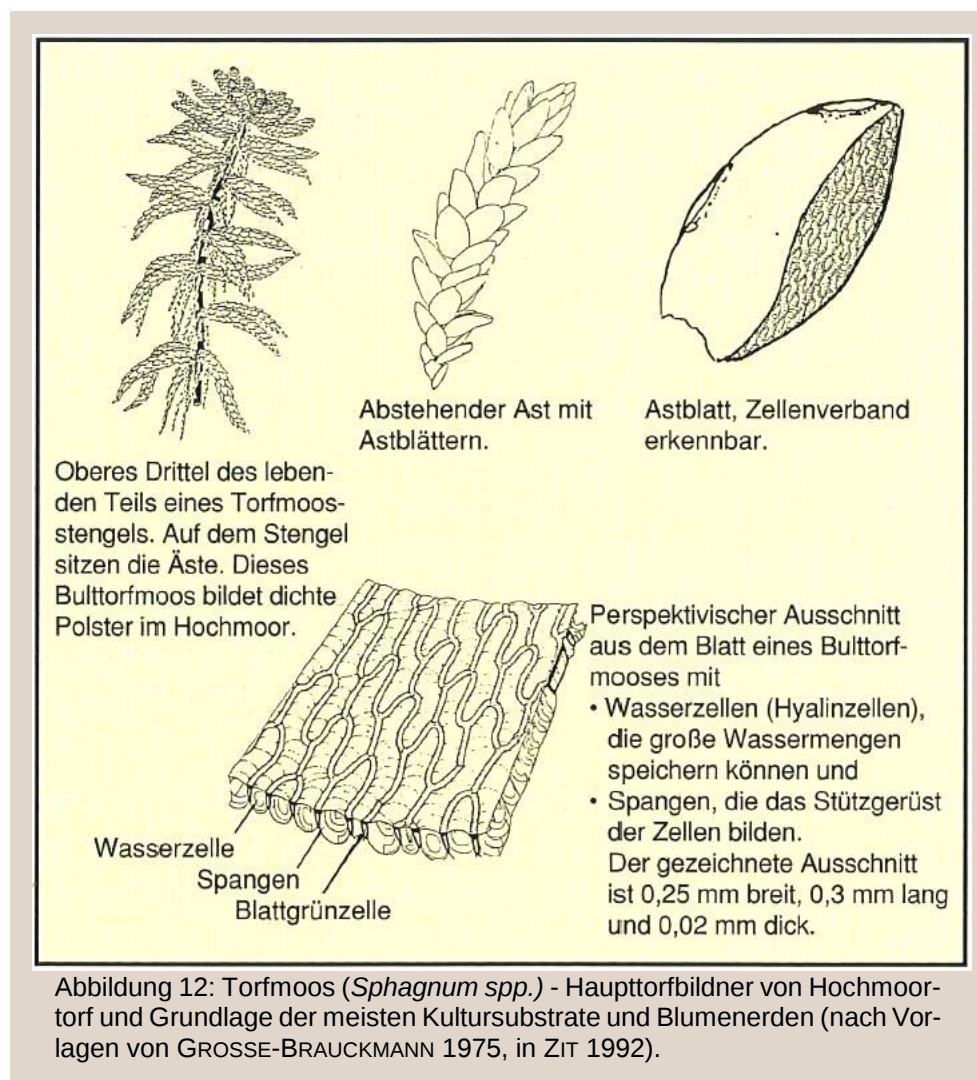
Merkmal	Niedermoor(torf)	Hochmoor(torf)
Ursprüngliche Moorform	flach oder in der Mitte gesenkt	meistens uhrglasförmig aufgewölbt
Entstehung	durch Verlandung von Gewässern oder Versumpfung	entweder über Niedermoor oder „wurzelecht“ auf wasserundurchlässigem Mineralboden
Wasserversorgung	nährstoffreiches Grund-, See- oder Oberflächenwasser und Niederschlagswasser	nur Niederschlagswasser
Nährstoffgehalt	nährstoffarm bis nährstoffreich	extrem nährstoffarm
Vegetation und Torfbildner	artenarm bis artenreich; Seggen, Schilf und Gehölze	artenarm, vorwiegend Hochmoorspezialisten wie Torfmoose
pH-Wert (EN 13037)	schwankend, meist zwischen 4,5 und 7,5	ziemlich gleichmäßig zwischen 3,5 und 5,0
Torfqualität	meist stark zersetzt, oft heterogen, gartenbaulich wenig geeignet	homogen, wenig bis stark zersetzt, gartenbaulich sehr gut geeignet

ausreichend abgesiebt wurden oder solche Reste in großen Mengen im Torf vorkommen. Moorholzstücke kommen je nach Entstehungsort des Torfes kaum bis häufig vor und werden aus dem Torf herausgesiebt. In den holzreichen Mooren Kanadas beispielsweise kommen bis zu 10-15 % (v/v) Holz im Torf vor. Größere Moorholzstücke können die maschinelle Verarbeitung des Torfes im Gartenbaubetrieb, etwa in Topfmaschinen, stören.

5.1.1.5.1 Torfmoose als Haupttorfbildner von Hochmoortorf

Die häufigsten Pflanzenreste der Hochmoore sind die der verschiedenen *Sphagnum*-Arten. Diese Torfmoose, auch Bleichmoose genannt, bestimmen wesentlich die physikalischen Eigenschaften von Substraten. Torfmoose sind unscheinbare Pflänzchen, die weder Wurzeln noch ein echtes Gefäßsystem haben

(OVERBECK 1975). Sie bestehen aus Stämmchen mit abstehenden Ästchen und Astblättern sowie den Köpfchen. Nur das Köpfchen des Torfmooses wächst, nach unten hin stirbt die Pflanze ab und vertorft. Ihre Ernährung ist unabhängig vom abgestorbenen unteren Teil. Aus gartenbaulicher Sicht wichtig sind die rippenlosen Blättchen, die aus zwei Zelltypen bestehen (GROSSE-BRAUCKMANN 1990). Ihre Hyalinzellen (Wasserzellen) liegen zwischen einem Netz schmaler Chlorophyllzellen (Abbildung 12). Je weniger der Torf zersetzt ist, desto besser lässt sich die Zellenstruktur mit einer Lupe oder einem Mikroskop erkennen. Hyalinzellen sind mit sogenannten Spangen ausgesteift, wodurch bei Wassermangel ein Zusammenbrechen der Zellen verhindert wird. In trockenem Zustand sind Hyalinzellen mit Luft gefüllt. Je nach Art können Torfmoose über das 20-Fache ihres Trockengewichts an Wasser aufnehmen. Dem Torf bleibt diese Eigen-



schaft größtenteils erhalten, jedoch mit zunehmendem Zersetzungsgrad weniger stark. Wasser- und Luftkapazität von Torf werden somit auch durch die botanische Zusammensetzung des Torfes geprägt. Die Membran der Hyalinzellen ermöglicht dem Torfmoos einen echten Ionenaustausch mit dem umgebenden Medium. Durch Kationenaustausch wird die Aufnahme von Mineralstoffen ermöglicht (RUDOLPH & BREHM 1965, BREUER 1992). BREHM (1975) führt aus, dass in den Zellwänden lokalisierte Kationenaustauscher die durch Niederschläge zugeführten Kationen binden und dafür eine entsprechende Menge Wasserstoffionen abgeben. Dieser Kationenaustausch ist bei *Sphagnum*-Arten sehr stark ausgeprägt. Torfmoose säuern dadurch ihre eigene Umgebung an und schaffen ein Milieu, das sie selbst zwar ertragen können, das für andere Pflanzenarten aber kaum eine Überlebenschance bietet. Kationenaustausch ist somit die Ursache für den extrem niedrigen pH-Wert in Hochmooren und von Hochmoortorfen.

Das Torfmooswachstum hängt von der *Sphagnum*-Art und von der Wasserversorgung ab. Mittelwerte für den Jahreszuwachs gibt OVERBECK (1975) für *S. magellanicum* mit 3,5 cm und für *S. cuspidatum* mit 30 cm an. Dieses Kenntnis ist z. B. wichtig bei der Kultur von Torfmoosen (*Sphagnum* Farming) zur Ernte und Verwendung in Substraten (s. Kap. 5.1.11).

5.1.1.6 Torfartengruppen

Torf ist nicht gleich Torf. Gemäß DIN 4047-4 (DIN 1998) werden Torfe entsprechend ihrer bodenkundlichen Torfartengruppe in Niedermoortorf, Hochmoortorf und Übergangsmoortorf eingeteilt und können entsprechend ihrem überwiegenden Pflanzengehalt, also nach ihrer Torfarteneinheit, eingeordnet werden in:

- Moostorf: geschätzter Anteil an Moosresten (*Sphagnum*-Arten oder Laubmoosarten, insbesondere *Polytrichum strictum* oder *Aulacomnium palustre*) über 50 % (v/v) und an Resten von Holz- und Zwergstrauchgewächsen unter 15 % (v/v)

- Kräutertorf: geschätzter Anteil an krautigen Pflanzenresten über 50 % (v/v) und an Resten von Holz- und Zwergstrauchgewächsen unter 15 % (v/v)
- Holztorf: geschätzter Anteil an Resten von Holzgewächsen über 15 % (v/v)
- Reisertorf: geschätzter Anteil an Resten von Zwergstrauchgewächsen über 15 % (v/v)
- amorphen Torf, der keine makroskopisch erkennbaren Pflanzenteile aufweist

Eine noch detailliertere Unterteilung machen MEIER-UHLHERR et al. (2011). Sie beschreiben sehr genau folgende Torfartengruppen:

- Torfmoostorf (Bleichmoostorf, *Sphagnum*-torf)
- Braunmoostorf (Laubmoostorf, *Byrals*-torf)
- Grobseggentorf (Radizellentorf, *Magnocarex*torf)
- Feinseggentorf (Radizellentorf, *Parvocarex*torf)
- Schilftorf (*Phragmites*torf)
- Schneidentorf (*Cladium*torf)
- Wollgrastorf (*Eriophorum*torf)
- Blasenbinsentorf (Beisentorf, *Scheuchzeria*torf)
- Schachtelhalmtorf (*Equisetum*torf)
- Salzwiesentorf (Salzweidentorf, *Juncus*-torf)
- Erlenbruchtorf (*Alnus*torf)
- Birkenbruchtorf (*Betula*torf)
- Kiefernbruchtorf (*Pinus*torf)
- Reisertorf (*Ericaceae*torf)

Der oben genannte Torfmoostorf besteht überwiegend oder vollständig aus Resten von Moospflanzen der Gattung *Sphagnum*. Auf der Basis vieler makro- und mikroskopischer Untersuchungen ist bekannt, dass Torfmoostorf,

der für die Substratherstellung verwendet wird, fast ausnahmslos Anteile anderer vertorfte Pflanzenarten enthält, mal mehr, mal weniger.

5.1.1.7 Gewinnung von wenig bis mäßig zersetztem Hochmoortorf (Weißtorf)

Eine Torfgewinnungsfläche kann eine Größe von wenigen bis vielen Hektar haben. Zu den Abtorfungsvorbereitungen gehören die Moorkundung, seine Kartierung und die Erstellung eines Abbauplanes (RICHARD 1990) sowie die Planung der Folgenutzung der Abbaufäche. Bedingung für die mechanische Torfgewinnung ist die sorgfältige Vorbereitung der Torfgewinnungsfläche. Hierzu wird bei landwirtschaftlich vorgenutzten Flächen (nur auf solchen Flächen findet in Deutschland Torfabau statt) die Kulturschicht abgeräumt.

Trägt ein Moor noch seine natürliche Vegetation (das ist in Kanada die Ausgangssituation), so muss diese vor der Torfgewinnung entfernt werden. Anschließend wird die zeitaufwändige Vorentwässerung der Fläche eingeleitet. Mit Planiermaschinen wird die Oberfläche der Torflagerstätte eingeebnet und ein Dränagesystem in den Torfkörper verlegt. Zur späteren Abfuhr des Torfes müssen Gleiswege angelegt werden. Bis der erste Torf, der oben anstehende Weißtorf, gewonnen werden kann, vergehen mehrere Jahre der Entwässerung. Zu diesem Zeitpunkt hat der Torf immer noch einen Feuchtigkeitsgehalt von ca. 90 % (m/m), d. h., 1 m³ Torf enthält noch etwa 900 Liter Wasser. Die Entwässerung der Fläche ist somit die wichtigste Voraussetzung für die Torfgewinnung.

In Abhängigkeit vom Moortyp, den vorherrschenden klimatischen Bedingungen, dem Holzanteil in der Torflagerstätte und nicht zuletzt von ökonomischen Überlegungen wird wenig bis mäßig zersetzter Hochmoortorf nach zwei Hauptgewinnungsverfahren gewonnen – dem Frästorfverfahren und dem Sodentorfverfahren. Es gibt weitere Gewinnungsverfahren, wie etwa das Klumpentorfverfahren (JESTER

1988), auf die aber wegen ihrer geringeren Bedeutung nicht eingegangen wird.

5.1.1.7.1 Produktion von Frästorf (Weißtorf)

In Ländern wie Kanada und Finnland, wo die Moore holzreich sind, wird der wenig bis mäßig zersetzte Torf in der Regel im Fräsverfahren gewonnen. Aber auch in Deutschland mit traditioneller Sodentorfgewinnung hat sich die Frästorfgewinnung aus wirtschaftlichen Gründen immer mehr durchgesetzt und ist inzwischen die wichtigste Abbaumethode weltweit. Folglich sind die Kosten für den Frästorf günstiger als die für Sodentorf. Bei diesem Verfahren wird der Torf von der Oberfläche der Lagerstätte in Schichten von 2 bis 3 cm gefräst oder mit anderen Geräten wie Kultivatoren oder Eggen aufgeraut. Mit Löffelwendern oder anderem Gerät wird der gefräste Torf mehrmals gewendet, bis er eine Verarbeitungsfeuchte von etwa 50 bis 60 % (m/m) hat. Wie die Sodentrocknung ist auch die Frästorfproduktion witterungsabhängig, jedoch ist hierbei die Intensität der Sonneneinstrahlung für eine gute und schnelle Trocknung wichtiger als der Trocknungseffekt durch Wind. Witterungsabhängig dauert der Trocknungsvorgang je gefräste Schicht in der Regel wenige Tage. Mit Schiebern oder Häuflern wird der getrocknete Torf in Wälle gebracht und mittels Übersetzer auf eine Sammelmiete zusammengelegt (Richard 1990). Von dort kommt der Torf zur Verladung und zur weiteren Verarbeitung ins Werk.

5.1.1.7.2 Produktion von Sodentorf (Weißtorf)

Sodentorf wird mit Torfstechmaschinen gewonnen. Je nach Maschinentyp werden Soden unterschiedlicher Größe gewonnen. Eventuell in der Lagerstätte vorhandenes Moorholz stört den Stechprozess und kann den Einsatz von Stechmaschinen erheblich behindern oder unmöglich machen. Damit der gestochene Torf weiter verarbeitet werden kann, muss er für



Abbildung 13: Abbau von Frästorf (© Industrieverband Garten (IVG) e.V.).

mindestens ein Jahr im Schlag trocknen. Der witterungsabhängige Trocknungsprozess, anfänglich vor allem durch die Schwerkraft, dann zunehmend durch Wind und Sonne bedingt, bewirkt eine Reduzierung des Feuchtigkeitsgehaltes auf etwa 65 bis 50 % (m/m) (Abbildung 14). Frost hat eine zusätzlich positive Wirkung auf die Sodentrocknung, da das Durchfrieren der Soden die Torfstruktur lockert, die Trocknung beschleunigt und die spätere Zerkleinerung der Soden in der Fabrik erleichtert. Maschinelles Rütteln der Soden im Schlag oder arbeitsintensives Umsetzen der Soden von Hand beschleunigen den Trocknungsprozess.

Die Torfgewinnung und die Torfqualität sind somit abhängig von den vorherrschenden Witterungsbedingungen und können sich bei anhaltend ungünstigen Trocknungsbedingungen preiserhöhend auswirken.

Der getrocknete Torf wird maschinell gesammelt, verladen und mit der Feldbahn ins Werk zur weiteren Verarbeitung beziehungsweise in die Vorratsmiete für die Produktion in den Winter- und Frühjahrsmonaten abgefahren. In der

Fabrik werden die Soden von Brechern und Walzen-Reißwölfen zerkleinert. Hierbei ist die strukturschonende Zerkleinerung wichtig, damit der Torf stückig bleibt, was ein wesentlicher Vorteil gegenüber dem Frästorf ist. Gut getrockneter Torf ergibt allgemein grobe Partikelgrößen und viel Feinanteil. Feuchtere Soden liefern feinere Partikelgrößen und weniger Feinanteil. Generell gilt auch: Je stärker der Torf zersetzt ist, desto feiner sind die Korngrößen bei der Vorzerkleinerung der Soden. Torffasern (*Eriophorum*-Blattscheiden) können abgesiebt und getrennt genutzt werden, z. B. als Strukturmaterial bei der Herstellung von Containersubstraten, oder zermahlen und dem Ausgangstorf erneut zugeführt werden. Nachgeschaltete Sternsiebe sorgen für die gewünschte Fraktionierung des Torfes in unterschiedliche Korngrößen, beispielsweise fein (0-10 mm), mittel (10-25 mm) und grob (25-40 mm). Entsprechend der jeweiligen Substratstruktur können die einzelnen Siebfractionen miteinander und mit anderen Substratausgangsstoffen aufbereitet werden.



Abbildung 14: Weißtorfsoden auf der Torfgewinnungsfläche, die bei Wind und Sonne trocknen (© Industrieverband Garten (IVG) e.V.).

5.1.1.8 Gewinnung von stark zersetztem Hochmoortorf (Schwarztorf)

Nach vorangegangener Weißtorfgewinnung kann der Abbau des darunter liegenden stark zersetzten Torfes erfolgen. Die Schwarztorfgewinnung hat in Deutschland einen höheren Stellenwert als die Weißtorfgewinnung, weil in Deutschland zunehmend die Weißtorfvorräte in abbaubaren Torflagerstätten erschöpft sind. Ferner hat die zunehmende Schwarztorfgewinnung die Verwendung von Schwarztorf in Substraten vorangetrieben.

Das von BELKA (2000) beschriebene Verfahren der Schwarztorfgewinnung mittels großer Eimerleiterbagger wird nicht mehr praktiziert. Dafür haben sich die zur Verfügung stehenden Abbauf Flächen in den letzten Jahren zu sehr verkleinert, zumal auch die Produktion von Industrietorf (früher Brenntorf genannt) für die Produktion von Aktivkohle eingestellt wurde.

FRUHSTORFER (Reichspatentamt 1944) entdeckte, dass durchfrorener stark zersetzter Torf deutlich verbesserte physikalische Eigenschaften aufweist als nicht durchfrorener Torf. Noch immer ist diese Entdeckung die Basis der heutigen Schwarztorfgewinnung.

Mittels Hydraulikbagger wird im Herbst der Schwarztorf der Torflagerstätte entnommen und gegenüber der Entnahmestelle auf dem Torffeld (180°-Drehung der Baggerschaufel) ausgesetzt. Mit einer Moor- oder Pistenraupe wird der ausgesetzte Torf in einer Auflagenstärke von 15 bis 20 cm auf demselben Torffeld verteilt. Um eine größere Torfdurchfrosts oberfläche des ausgesetzten Torfes zu erzielen, wird mittels Grubber der Torf aufgeloockert. Frost durchdringt den Torf schneller, wobei er durchfriert und seine physikalischen Eigenschaften deutlich verbessert werden.

Das Prinzip der patentierten Fruhstorfer-Entdeckung beruht auf folgendem Prinzip: Der Feuchtigkeitsgehalt des gebaggerten



Abbildung 15: Gewinnung von stark zersetztem Hochmoortorf (Schwarztorf) (© Industrieverband Garten (IVG) e.V.).

Schwarztorfes liegt zum Zeitpunkt der Ablage bei ca. 85 % (m/m). Frost dringt in den nassen Torf ein und lässt das darin enthaltene Wasser gefrieren, wodurch die kolloidale Torfmasse aufgesprengt und gelockert wird. Das Volumen des Torfes nimmt zu. Durchfrorener stark zersetzter Torf bekommt dadurch eine höhere Wasser- und Luftkapazität, was seine Eignung als Substratausgangsmaterial erheblich verbessert. Zudem wird seine Benetzungsfähigkeit verbessert. Abhängig von der Minustemperatur ist eine durchgehende Frostperiode von 1 bis 2 Wochen erforderlich, um die 15 bis 20 cm dicke gegrubberte Schwarztorfschicht ausreichend durchfrieren zu lassen. Frostmangel oder isolierende Schneedecken können dazu führen, dass der Torf unzureichend durchfriert. Schlecht durchfrorene Schwarztorfe lassen sich nach Austrocknung in der Kultur sehr schlecht wieder benetzen. Sie lassen sich durch ihr deutliches Schmierverhalten bei der Fingerprobe erkennen. Im Frühjahr wird der noch sehr feuchte durchfrorene Torf erneut gegrubbert, um die Trocknungsphase einzulei-

ten. Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von etwa 60 bis 70 % (m/m) wird der durchfrorene Schwarztorf mittels Schlepper mit speziellen Anbaugeräten, Raupen und Sammlern bearbeitet und seitlich des Ablagefeldes in Schütthaufen zusammengeschoben. Durch die Errichtung von Schütthaufen wird verhindert, dass Niederschlagswasser übermäßig in den Torf eindringt. Anschließend wird der Torf zur weiteren Verarbeitung ins Werk abtransportiert, vermahlen und gesiebt.

5.1.1.9 Eigenschaften von Hochmoortorf

In Abhängigkeit von der Moorentstehung, der Herkunft, dem Humifizierungsgrad, der botanischen Zusammensetzung, dem Gewinnungsverfahren und der Aufbereitung können sich Torfe sehr ähneln oder auch recht unterschiedliche chemische, physikalische und biologische Eigenschaften haben, die ihre Qualität, ihren Verwendungsbereich und auch ihren Preis mitbestimmen.

5.1.1.9.1 Chemische Eigenschaften

Anorganische Bestandteile

Die Pflanzen des Hochmoores ernähren sich ausschließlich von den im Niederschlagswasser und in den abgestorbenen Pflanzen enthaltenen Mineralstoffen. Daher sind Hochmoortorfe extrem arm an mineralischen Pflanzennährstoffen. Kulturpflanzen wachsen nicht in reinem Torf. Der Gesamtgehalt an Mineralstoffen (Asche) in Torfen liegt bei 1 bis 2 % (m/m) im Trockenrückstand. Sofern Torfe während ihrer Entstehung, Produktion und Verarbeitung besonderen Einflüssen ausgesetzt waren, können die Mineralstoffgehalte auch höher liegen. Solche Einflüsse können sein: Einwehungen von Salzen wie Natriumchlorid in küstennahen Mooren, Winderosion von Sand und Ton aus nahegelegenen Eintragsgebieten (NAUCKE 1990), Emissionen industrieller Anlagen oder Selbsterhitzungsprozesse während der Torfeinlagerung in Mieten. In der DIN 11540 (DIN 2005) ist ein Aschegehalt von 1 bis

6 % (m/m) im Torftrockenrückstand festgelegt (Tabelle 21). Bei der Herstellung von Substraten mit Hochmoortorf als einzigen Ausgangsstoff ist man nur selten auf eine Torfanalyse zur Berechnung der Düngeraufwandmenge angewiesen, da davon ausgegangen werden kann, dass die Nährstoffgehalte des Torfes niedrig sind und bei der Rezeptur nicht berücksichtigt werden müssen. Es wäre jedoch beispielsweise möglich, den Eisengehalt des Torfes bei der Düngerzugabe zu berücksichtigen, da dieser generell in ausreichenden pflanzenverfügbaren Mengen im Torf vorliegt. Da aber meist vollwasserlösliche Mehrnährstoffdünger mit Spurenelementen bei der Produktion von Torfkultursubstraten eingesetzt werden, wird diese Überlegung meist nicht in Betracht gezogen (TEICHER et al. 1987).

Die in Tabelle 22 angegebenen Gehalte an Haupt- und Spurennährstoffen in Hochmoortorfen stellen Gehaltsbereiche dar, die von einzelnen Torfprovenienzen noch unter- oder überschritten werden können. In der zurückge

Tabelle 21: Physikalische und physikalisch-chemische Eigenschaften von Hochmoor- und Übergangsmoortorf ohne Zusätze nach DIN 11540 (DIN 2005).

Parameter	Bestimmung nach	Ansprache des Humositätsgrades				
		schwach zersetzt	schwach bis mäßig zersetzt	mäßig zersetzt ¹⁾	mäßig bis stark zersetzt ¹⁾	stark zersetzt ¹⁾
Rohdichte _{Trocken} [D_{BD}] (kg/m ³)	DIN EN 13041	50-80	60-100	80-130	120-170	160-220
Gesamtporenvolumen [P_S] (% v/v)		95-97	94-96	92-95	90-93	87-91
Wasserkapazität [W_V] (% v/v)		42-83	46-84	55-85	63-85	71-85
Luftkapazität [A_V] (% v/v)		14-55	12-50	10-40	8-30	6-
Schrumpfungswert [S] (%)		20-30	25-35	30-40	35-45	40-50
H-Grad (nach von Post)	DIN 11540	2-4	3-5	4-6	5-7	6-8
Organische Substanz [W_{om}] (% m/m)	DIN EN 13039	98-99	94-99	(ab 90) 94-99	(ab 87) 94-99	(ab 85) 94-99
Asche [W_{ash}] (% m/m)		1-6	1-6	1-6 (≤ 10)	1-6 (≤ 13)	1-6 (≤ 15)
pH-Wert (H ₂ O)	DIN EN 13037	3,5-5,0	3,5-5,0	3,5-5,0	3,5-5,0	3,5-5,0
Elektrische Leitfähigkeit (mS/m)	DIN EN 13038	1,0-3,0	15-4,0	2,0-5,0	2,5-6,0	3,0-7,0

¹⁾ Ab H6 ist eine Frosteinwirkung notwendig, um den Wertebereich zu erreichen.

Anmerkung: Die Angaben in Klammern beziehen sich auf Übergangsmoortorf.

zogenen DIN 11540 (DIN 1989) sind für Hoch- und Übergangsmoortorfe für die Herstellung von Kultursubstraten als Richtwert für Stickstoff (N) bis zu 50 mg/l, Phosphat (P_2O_5) bis 30 mg/l und Kalium (K_2O) bis 40 mg/l festgelegt.

Manche Hochmoortorfe haben sehr niedrige, andere recht hohe Magnesiumgehalte. Es kann daher angebracht sein, kohlensaure Kalk mit niedrigen oder höheren Magnesiumgehalten einzusetzen, um den Magnesiumgehalt des Substrats zu optimieren.

Schwermetalle in Hochmoortorfen stellen aus praktischer Sicht kein Risiko dar. In der RAL-GZ 250 (RAL 2015) sind dennoch angelehnt an die Deutsche Düngemittelverordnung (BMELV 2012) Grenzwerte festgelegt worden.

Organische Bestandteile

Nach DIN 11540 (DIN 2005) liegt der Gehalt an organischer Substanz sowohl bei wenig als auch bei stark zersetzten Hochmoortorfen bei 94 bis 99 % (m/m) im Trockenrückstand.

Torfe beinhalten eine Vielzahl von chemischen Verbindungen, denen physiologische Wirkungen auf den Pflanzenwuchs zugeschrieben werden. ZIECHMANN (1980) stellt beispielsweise die Wirkung von Huminstoffen auf das Wurzelwachstum als indirekte Einwirkung dar, da Huminstoffe Enzyme „steuern“ und diese dann spezifische Wirkungen auslösen, die sich als Gesamteffekt „Veränderung des Wurzelwachstums“ darstellen. Vieles ist aber bisher

noch ungedeutet und lässt sich nur selten gezielt gartenbaulich nutzen oder vermeiden.

NAUCKE (1990) listet eine Reihe von aus Torfen extrahierten organischen Verbindungen auf:

- zahlreiche Aminosäuren
- zahlreiche Zucker (Hexosen und Pentosen)
- eine Reihe von Carbonsäuren, Dicarbonsäuren und Hydroxy-Carbonsäure
- eine große Anzahl Phenole und Phenolcarbonsäuren
- chinoiden Substanzen
- Furan-Derivate
- andere heterocyclische Stoffe
- verschiedene Verbindungen aus Wachsen und Harzen

Vorstellbar ist, dass die unterschiedlichen Konzentrationen solcher Substanzen in verschiedenen Torfherkünften zu bisher häufig beobachteten, aber ursächlich nicht zu begründenden Wachstumsunterschieden in der Kultur führen. Auch könnten manche der oben genannten Inhaltsstoffe Wirkungen auf die Zusammensetzung und Etablierung der jeweiligen Mikroflora von Torfen haben, da es hier bekannterweise zum Teil erhebliche Unterschiede z. B. in Bezug auf das Wachstum von

Tabelle 22: Gehaltsbereiche für pflanzenverfügbare Haupt- und Spurennährstoffe in schwach und stark zersetzten Hochmoortorfen (in Anlehnung an TEICHER et al. 1987).

Nährstoff	Extraktionsmethode	Gehalt in mg/l	
		Bereich	Durchschnittswert
Stickstoff (N)	$CaCl_2$	2-70	25
Phosphat (P_2O_5)	CAL	2-15	10
Kalium (K_2O)	CAL	2-20	15
Magnesium (Mg)	$CaCl_2$	20-190	60
Eisen (Fe)	EDTA	10-100	30
Mangan (Mn)	EDTA	0,5-4	1
Zink (Zn)	EDTA	0,5-5	1,5
Gesamt-Kupfer (Cu)	HNO_3	0,1-1,3	0,3
Bor (B)	Heißwasser	0,1-0,3	0,15

Algen oder saprophytischen Pilzen in und auf Substraten gibt.

5.1.1.9.2 Physikalische Eigenschaften

Die botanische Zusammensetzung von Torfen bestimmt eher Eigenschaften wie Azidität, Nährstoff- und Aschegehalt; der Humositätsgrad hingegen beeinflusst im weitesten Sinn strukturelle Eigenschaften und somit die Substratphysik ganz wesentlich (PUUSTJÄRVI & ROBERTSON 1975). So werden die physikalischen Eigenschaften von wenig zersetztem Torf vornehmlich von den noch mehr oder weniger gut erhaltenen Pflanzenresten, die von stark zersetztem Torf von dem Anteil der amorphen organischen Substanz bestimmt. Des Weiteren bestimmen das Gewinnungsverfahren, der Torftrocknungsgrad, der Grad der Durchfrostung (von stark zersetztem Torf) und nicht zuletzt das Aufbereitungsverfahren die Physik des Torfes.

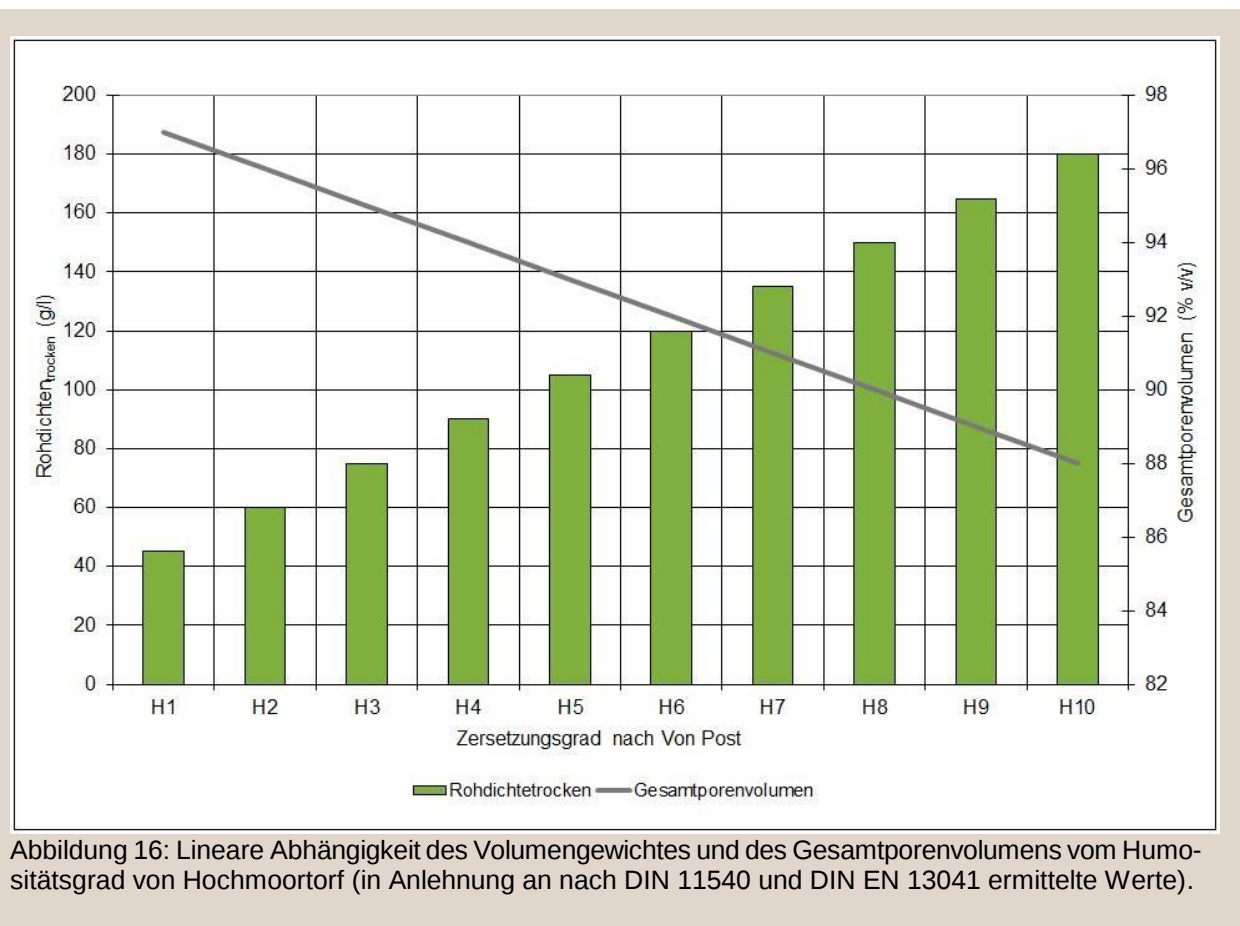
5.1.1.9.3 Einfluss des Humifizierungsgrades (Zersetzungsgrades)

Der Zersetzungsgrad eines Torfes hat erheblichen Einfluss auf seine physikalischen Eigenschaften. Dieser Bedeutung wird sowohl bei der Ansprache von Torfen als auch bei der Kennzeichnung von Torfen und torfhaltigen Substraten dadurch Rechnung getragen, dass die Humositätszahl (H) nach von Post angegeben wird (s. Kap. 5.1.1.2). Es besteht eine lineare Korrelation zwischen dem Zersetzungsgrad von Torf und seinem Volumengewicht sowie dem Porenvolumen.

Je stärker zersetzt der Torf, desto höher ist seine Rohdichte_{trocken} (Volumengewicht_{trocken}) bei Abnahme des Gesamtporenvolumens (Abbildung 16).

5.1.1.9.4 Einfluss des Gewinnungsverfahrens und des Torftrocknungsgrades

Wird wenig bis mäßig zersetzter Hochmoortorf als Sodentorf gewonnen, so kann der Torf in alle gewünschten Korngrößen fraktioniert werden. Wird derselbe Torf als Frästorf gewon-



nen, so fällt der Torf mit einem wesentlich höheren Feinanteil an, grobe Anteile sind gering. Bei sehr schneller Trocknung auf dem Torfgewinnungsfeld kann Frästorf eine andere Oberflächenbeschaffenheit aufweisen als Sodentorf. Diese von GÜNTHER (1990) als „verkorkt“ bezeichnete Oberfläche trägt dazu bei, dass Frästorfe teilweise deutliche Unterschiede zu Sodentorfen gleicher Zersetzungsgrade aufweisen: Ihr Volumengewicht ist etwas höher, ihre Wasserkapazität niedriger bei entsprechend erhöhter Luftkapazität (Tabelle 23). Der Torf fühlt sich nicht mehr elastisch, sondern strohig-hart an. Diese Verkorkung erfährt auch die Oberfläche von Sodentorf, wenn die Trocknung sehr schnell erfolgt. Das Innere des Sodens ist davon aber nicht betroffen.

Die Art der Trocknung von wenig bis mäßig zersetztem Torf, d. h. ein Wechsel in Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverhältnissen, wirkt sich bei langsamer Trocknung günstiger auf die Benetzbarkeit des getrockneten Torfes aus als die Trocknung bei gleichbleibenden Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen (NIGGEMANN 1971). Eine langsame Feldtrocknung, bei der die Wasserzellen des *Sphagnum*-Torfes schonend getrocknet werden, führt dazu, dass die Zellen nicht oder weniger stark trocknen (verkorken). Dadurch werden die physikalischen Eigenschaften des ursprünglich lebenden Torfmooses weitestgehend erhalten und eine ausgewogene Luft- und Wasserkapa-

pazität des Torfes erzielt. Bei schneller Torftrocknung, also bei intensiver Sonneneinstrahlung und starkem Wind, schrumpfen die vertorften *Sphagnum*-Zellen irreversibel. Somit spielt die Art und Intensität der Torftrocknung, d. h. der Trocknungsgrad, für die Erhaltung der physikalischen Eigenschaften von Torf eine wichtige Rolle. Da die Wetterbedingungen jedoch nicht beeinflussbar sind, kann der Trocknungsgrad nur durch die Dauer der Trocknung im Feld beeinflusst werden. Tabelle 24 zeigt deutlich den Einfluss eines zunehmenden Trocknungsgrades auf die physikalischen Torfeigenschaften auf, die mit den unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten, der Verkorkung von Torfpartikeln und der Schrumpfung des Torfes begründet werden. Diese Einflüsse bedingen

- die Erhöhung der Rohdichte_{trocken},
- die Abnahme des Gesamtporenvolumens,
- die Abnahme der Wasserkapazität,
- die Zunahme der Luftkapazität und
- die Reduzierung des Schrumpfungswertes.

In der DIN EN 11540 (DIN 2005) sind physikalische und physikalisch-chemische Richtwerte für Hoch- und Übergangsmoortorfe festgelegt worden (Tabelle 21). Weil der Zersetzungsgrad, die botanische Zusammensetzung, der

Tabelle 23: Physikalische Eigenschaften von Sodentorfen und Frästorfen bei gleichem Volumengewicht ermittelt nach DIN 11540 (DIN 1989) (GÜNTHER 1990).

Feuchtigkeitsgehalt % (m/m)	Volumengewicht g/l	Wasserkapazität g/100g Trockenrückstand	Porenvolumen % (v/v)	Wasserkapazität % (v/v)	Luftkapazität % (v/v)
Sodentorfe					
32	65	1.190	96	75	21
39	85	850	95	71	24
49	100	600	94	60	34
38	115	520	93	59	34
Ø 40	Ø 91	Ø 790	Ø 94	Ø 66	Ø 28
Frästorfe					
31	65	710	96	45	51
38	85	450	95	37	58
49	100	420	94	42	52
40	115	400	93	46	47
Ø 40	Ø 91	Ø 495	Ø 94	Ø 42	Ø 52

Feuchtigkeitsgehalt, die Intensität der Trocknung, der Durchfrostsgrad sowie die Korngrößenzusammensetzung die physikalischen Eigenschaften von Torfen beeinflussen, überschneiden sich die Werte der nebeneinanderstehenden Zersetzungsgradgruppen.

5.1.1.10 Biologische Eigenschaften

Torf ist den natürlichen Einflüssen und Abbauprozessen während der Torfbildung ausgesetzt. Somit ist Torf ein mikrobiell belebtes Material. Aufgrund der besonderen Gegebenheiten in wachsenden Mooren und Torflagerstätten (Azidität, hoher Feuchtigkeitsgehalt bei gleichzeitig niedrigem Sauerstoffgehalt) ist das Vorkommen von Mikroorganismen in Mooren, aber auch in entwässerten Lagerstätten im Vergleich zu mineralischen Böden stark eingeschränkt. In Abhängigkeit der Entstehungsbedingungen kann sich die Mikroflora und -fauna von Moor zu Moor und demnach von Torf zu Torf unterscheiden. Wenig zersetzter Torf enthält mehr mikrobiell abbaubare Stoffe, verfügbare Nährstoffe und Energiequellen als stark zersetzter Torf, dessen Gehalt an von Mikroorganismen verwertbaren Stoffen gering ist (KÜSTER 1990). Daher nimmt die Zahl der Mikroorganismen im Moor – wie auch in anderen Böden – mit zunehmender Tiefe und zunehmendem Zersetzungsgrad des Torfes ab. Es sind vor allem azidophile Pilzarten, die entsprechend dem hohen Säuregrad vorherrschen, sowie Bakterien, die mit relativ wenigen Gattungen und Arten vertreten sind. KÜSTER (1986 und 1990) nennt insbesondere folgende

Mikroorganismen, die in Hochmooren vorkommen:

- Bakterien: *Bacillus*-Arten, gramnegative *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*, *Chromobacter*, *Mycobacterium* und Myxobakterien;
- Aktinomyceten: kommen in Mooren selten vor; thermophile Aktinomyceten sind aber häufig in Torfmieten zu finden;
- Pilze: *Penicillium* (Mykorrhizapilze einiger Moorpflanzen), *Aspergillus*, *Pullularia*, *Alcurisma*, *Cladosporium*, *Cephalosporium*, *Trichoderma*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Mortierella* und *Pythium* (apathogene, d. h. nicht pflanzenschädigende Arten);
- Algen: *Euglenen*, Grünalgen und *Diatomen* (Vorkommen in Abhängigkeit des pH-Wertes)

Torfgewinnung und -verarbeitung führen zu einer Abnahme des Feuchtigkeitsgehaltes und zu einer Verbesserung des Lufthaushaltes des Torfes.

Strukturelle Änderungen werden durch die weitere Verarbeitung bewirkt. Die damit einhergehende Zunahme der mikrobiellen Aktivität ruhender Keime sowie die Neubesiedlung des gewonnenen Torfes geben Anlass, über die biologische Unbedenklichkeit von Torflieferungen nachzudenken. Obwohl das Risiko der Einschleppung von Pathogenen als extrem niedrig angesehen werden kann, sind saprophytische Pilzarten in vielen Torfherkünften zu finden (s. Kap. 4.5.2.1.2).

Tabelle 24: Substratanalysen von vier Torfproben derselben Abbaufäche, der gleichen botanischen Zusammensetzung und des gleichen Zersetzungsgrades, jedoch verschiedener Trocknungsgrade, angegeben als Feuchtigkeitsgehalt, ermittelt nach DIN EN 13041 (BARTELS 2000, unveröffentlicht).

Prüfmerkmal	Torfprobe			
	1	2	3	4
Feuchtigkeitsgehalt (% m/m)	68	64	60	55
Rohdichte _{trocken} (kg/m ³)	130	134	163	167
Wasserkapazität (g/100g Trockenrückstand)	640	590	455	395
Gesamtporenvolumen (% v/v)	92	92	90	89
Wasserkapazität (% v/v)	83	79	74	66
Luftkapazität (% v/v)	9	13	16	23
Schrumpfungswert %	38	37	32	31
Sackung des locker eingefüllten Torfes (% m/m)	31	30	25	17

Enthält Torf keimfähige Samen von Wildkräutern oder austriebsfähige Pflanzenteile, so handelt es sich hierbei grundsätzlich um unerwünschte Bestandteile (Unkraut). Es gibt eine Reihe von Möglichkeiten der Torfverunreinigung mit Unkräutern. Hierbei wird unterschieden, ob es sich um moor- bzw. torftypische oder Ackerunkräuter handelt. Als torftypisch werden Wildkräuter eingestuft, die niedrige pH-Werte und Nährstoffarmut am Standort entweder bevorzugen oder dort problemlos gedeihen können, auf Torfgewinnungsflächen häufig festgestellt werden und mit dem Torf eingeschleppt werden können. Ackerunkräuter treten in Mooren selten auf. Das schränkt das Unkrautspektrum, das Torfabbaubetrieben zugeordnet werden kann, erheblich ein. Andererseits ist es möglich, dass lose verladener Torf während des Transports, während der Lagerung beim Substratproduzenten oder Gärtner z. B. durch Luftverfrachtung von Samen verunreinigt wird. Gleiches kann natürlich in stehenden Kulturen auf Containerflächen oder im Gewächshaus passieren, was auch für andere Substratausgangsstoffe und Substrate zutrifft.

Wildkrautsamen oder austriebsfähige Pflanzenteile der folgenden Arten, gelistet nach Häufigkeit ihres Vorkommens in Torfen, werden als torftypisch betrachtet und können mit dem Torf eingeschleppt werden.

- *Rumex acetosella* (Kleiner Sauerampfer)
- *Juncus*-Arten: *J. effusus* (Flutterbinse), *J. conglomeratus* (Knäuelbinse), *J. bufonius* (Krötenbinse)
- *Betula pubescens* (Moorbirke)
- *Erica tetralix* (Glockenheide)
- *Calluna vulgaris* (Besenheide)

ZEVENHOVEN (2011) gibt eine ausgezeichnete bebilderte Übersicht der Moorflora.

Die DIN 11540 (DIN 2005) stellt fest, dass Torf von Torfkultursubstraten und Blumenerden weitgehend frei von Pflanzensamen und austriebsfähigen Pflanzenteilen ist. Eine Definition für den Begriff ‚weitgehend‘ wird dabei nicht gegeben.

Das Güte- beziehungsweise Prüfmerkmal ‚Unkrautbesatz‘ hat in den RAL-Gütebestimmungen für Hochmoortorf eine genauere Spezifikation (Tabelle 25), nämlich maximal 1 Unkraut je Liter Torf. In Deutschland ist die Ausbringung von Herbiziden auf Torfgewinnungsflächen per Gesetz untersagt. Die Prüfung des Rohstoffes Torf hinsichtlich seiner Unkrautfreiheit ist grundsätzlich unerlässlich.

5.1.1.11 Verwendung von Hochmoortorf

Kein anderer Substratausgangsstoff hat die Bedeutung des Hochmoortorfes erlangt. Nach einer Erhebung für das Jahr 2013 (SCHMILEWSKI 2017) stellt Torf ca. 75 % aller Ausgangsstoffe in der EU. Begründet ist die hohe Torfverwendung in seinen insgesamt sehr guten gartenbaulichen Substrateigenschaften. Torf kann in fast allen gartenbaulichen Anwendungsbereichen für sich oder in Kombination mit anderen Ausgangsstoffen eingesetzt werden. Torf trägt zur stärkeren Mitverwendung anderer Ausgangsstoffe wie Kompost und Rindenhumus durch seine ausgleichenden Eigenschaften bei. Sein niedriger pH-Wert und der Mangel an Nährstoffen ermöglichen die genaue Einstellung des pH-Wertes und der Nährstoffgehalte entsprechend den Pflanzenansprüchen. Durch die geeignetsten Gewinnungs- und Verarbeitungsverfahren lassen sich die physikalischen Eigenschaften des Substrats gut einstellen.

Tabelle 25: Güte- und Prüfbestimmungen für Hochmoortorf als Substratausgangsstoff — Güteermkmale mit Prüfmethode und Wertebereiche (RAL-GZ 250/5-2, RAL 2015).

Gütemerkmale		Prüfmethode	Wertebereiche				
1	Physikalische Eigenschaften						
1.1	Torftyp	--	1	2	3	4	5
1.2	Humositätsgrad nach von Post	DIN 11540	H1 bis H4	H3 bis H5	H4 bis H6	H5 bis H8	H6 bis H8
1.2.1	Ansprache des Humositätsgrades		schwach zersetzt	schwach bis mäßig zersetzt	mäßig zersetzt	mäßig bis stark zersetzt	stark zersetzt
1.2.2	Landläufige Bezeichnung		Weißtorf	Weißtorf	Torf aus dem Schwarzweiß-Kontakt	durchfrorener Schwarztorf mit Weißtorf	Schwarztorf, teilweise nicht durchgefroren
1.3	Feuchtegehalt [% m/m]	Bestimmung durch Trocknen im Trockenschrank	≤ 80				
1.4	Rohdichte _{trocken} [kg/m³]*	DIN EN 13041	50-80	60-100	80-130	120-170	160-220
1.5	Gesamtporenvol. [% v/v]*		95-97	94-96	92-95	90-93	87-91
1.6	Wasserkapazität [% v/v]*		42-83	46-84	55-85	63-85	71-85
1.7	Luftkapazität [% v/v]*		14-55	12-50	10-40	8-30	6-20
1.8	Schrumpfung [%]*		20-30	25-35	30-40	35-45	40-50
1.9	Körnung	--	wird deklariert				
1.9.1	Anteil Übergrößen [% v/v]	nach RHP (2-4-8-16-31,5 mm, Quadratlochsieb)	--				
1.9.2	Anteil Untergrößen [% v/v]	in Erarbeitung	Grenzwert in Erarbeitung				
2	Chemische Eigenschaften						
2.1	pH-Wert	CaCl ₂ -Suspension (VDLUFA-Methode A.5.1.1)	≤ 4,0 (CaCl ₂ -Auszug) bzw. ≤ 4,5 (Wasserauszug)				
2.2	Salzgehalt (g/l); alternativ: Elektr. Leitfähigkeit (µS/cm)	errechnet aus der elektrischen Leitfähigkeit im Wasserauszug (VDLUFA Methode A.13.4.1; altern. Methode RHP) Leitfähigkeitsmessung im Wasserauszug; Methode nach RHP	≤ 0,4 ≤ 175 (Extraktionsverhältnis 1 : 3,6) ≤ 500 (Extraktionsverhältnis 1 : 1,5)				
2.3	Lösliche Hauptnährstoffe (mg/l) (Liegen die Nährstoffe über den jeweiligen Richtwerten, sind sie zu deklarieren.)						
2.3.1	Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N)	CAT-Auszug, (VDLUFA-Methode A.13.1.1)	≤ 50				
2.3.2	Phosphor (P ₂ O ₅)		≤ 30				
2.3.3	Kalium (K ₂ O)		≤ 40				
2.4	Organische Substanz (% TM)	Veraschung der getrockneten und gemahlenden Probe bei 550 °C; VDLUFA-Methode A 15.2	≥ 90				
2.5	Schwermetalle (Gesamtgehalte in mg/kg Trockenmasse)						

2.5.1	Arsen (As)	Königswasser-Aufschluss, (VDLUFA-Methode A 2.4.3.1)	≤ 40
2.5.2	Blei (Pb)		≤ 150
2.5.3	Cadmium (Cd)		≤ 1,5
2.5.4	Chrom (Cr)		≤ 300
2.5.5	Nickel (Ni)		≤ 80
2.5.6	Quecksilber (Hg)		≤ 1
2.5.7	Thallium (Tl)		≤ 1
3	Biologische Eigenschaften		
3.1	Wachstumshemmende Stoffe	Keimpflanzentest mit Buchweizen, Methode GGS in Erarbeitung	frei von wachstumshemmenden Stoffen
3.2	Unkrautbesatz	Keimung der Unkräuter aus einer 2 cm dicken Torfschicht gemäß Methodenbeschreibung GGS	max. 1 keimender Samen oder austreibendes Pflanzenteil/l Torf
3.3	Sensorische Prüfung	nach Maßgabe des Güteausschusses „Rinde und Substratausgangsstoffe“	Ohne Fremdgeruch. Bei Auffälligkeiten weitere Untersuchungen auf Anordnung des Güteausschusses „Rinde und Substratausgangsstoffe“, z. B. Verpilzungstest, N-Immobilisierung (Brutversuch)
4	Weitere Anforderungen		
Bei der Lagerung ist die Temperatur in der Miete zu überwachen. Bei Temperaturen > 35 °C sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um eine weitere Erwärmung zu verhindern. Bei Temperaturen > 50 °C ist der Torf nicht mehr als Substratausgangsstoff geeignet.			
* Diese Wertebereiche stimmen mit denen der DIN 11540 (2005) überein.			

5.1.2 Kompost

Der Begriff ‚Kompost‘ ist vom lateinischen *compositum* abgeleitet und bezeichnet ‚Zusammengesetztes‘. Kompost ist ein Verrotungsprodukt aus pflanzlichen Abfällen. Tierische Exkremente können auch kompostiert werden. Solche Mistkomposte werden aber nur höchst selten in Kultursubstraten und Blumenerden eingesetzt. Der Sinn der Kompostierung liegt in der Rückführung organischer Abfälle in den Stoffkreislauf und der Verwendung von Komposten in den verschiedenen Bereichen der Landwirtschaft und des Gartenbaus. Grundlage der in Deutschland weit verbreiteten privaten und kommunalen Kompostierung ist das ‚Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen‘ (KREISLAUFWIRTSCHAFTSGESETZ 2012), in dem die Vermeidung und Verwertung von Abfällen als

vorrangig genannt wird. Auch die 2015 von der EU eingeleitete Circular Economy Strategy (Kreislaufwirtschaftsstrategie) unterstützt diese Ziele, wobei u. a. die Kompostierung in allen EU-Mitgliedsstaaten vorangetrieben werden soll.

5.1.2.1 Kompostierung

In der Natur laufen mikrobielle Umsetzungsprozesse pflanzlicher (und tierischer) Substanz fortlaufend ab. Vor allem saprophytische Pilze wie auch Bakterien und Aktinomyzeten sind an dem Kompostierungsprozess beteiligt. Bei der Kompostierung werden diese Prozesse gezielt gefördert und gesteuert. Das macht der Hobbygärtner im kleinen Maßstab, der Gärtner im eigenen Betrieb wie auch die Betreiber großer Kompostierungsanlagen, in denen tausende Kubikmeter von Inputstoffen im Großmaßstab kompostiert werden.

5.1.2.1.1 Betriebseigene Komposte

Betriebseigene Komposte werden im Gartenbaubetrieb aus der Vielzahl der im Betrieb anfallenden organischen Abfallstoffe hergestellt. Diese Komposte können sinnvoll in den betriebseigenen Kreislauf zurückgeführt werden, z. B. als Ausgangsstoff für Betriebserden. Aufgrund des hohen innerbetrieblichen Aufwands für die Eigenkompostierung und der Risiken eines nicht qualitätsgeprüften Komposts (keine kontrollierte Überwachung wie bei der Gütesicherung) ist die betriebseigene Kompostierung für die Herstellung von Betriebserden recht unbedeutend geworden. Allerdings wird die Eigenkompostierung zur Herstellung von Komposten zur Bodenverbesserung noch vielfach praktiziert. Komposthaltige Fertigsubstrate und Blumenerden enthalten in der Regel gütegesicherten Kompost nach RAL-GZ 251 aus kontrolliert betriebenen Kompostanlagen.

5.1.2.1.2 Kompostierungsverfahren

Um die Vorgaben an gütegesicherten Kompost für die Substratherstellung sicherzustellen, müssen bestimmte Verfahrensabläufe der Kompostierung gewährleistet sein. So sind für die Kompostierung erforderlich:

- Inputstoffe (Ausgangsstoffe), die zum Teil leicht abbaubar sind und zu einem weiteren Teil für eine vorteilhafte lockere Struktur sorgen (holzige Stoffe)
- Inputstoffe, die bezüglich ihrer Nährstoffe und Schadstoffe möglichst risikofreie Gehalte aufweisen
- ein ausreichender Feuchtigkeitsgehalt während der Kompostierung
- eine ausreichende Sauerstoffzufuhr

Die Inputstoffe entscheiden maßgeblich über die Qualität des Komposts. Obwohl über die getrennte Sammlung von Grünabfällen und Bioabfällen bestimmte Standards gewährleistet werden können, ist die Homogenität des Komposts von Charge zu Charge häufig schwer sicherzustellen. Bedingt wird dies durch jahreszeitliche Schwankungen in der

Zusammensetzung der Inputstoffe oder durch Inputstoffe verschiedener Herkunft. Die ausschließliche Kompostierung nur eines Inputstoffes, beispielsweise von Nadelholzrinde, erleichtert hierbei Qualitätszusicherungen. Sogenannter Müllkompost aus der Kompostierung von nicht getrennt gesammelten Haushaltsabfällen ist in diesem Zusammenhang aufgrund seiner hohen Belastung an Schwermetallen und Schadstoffen nach Bioabfallverordnung nicht einmal für die land- und gartenbauliche Bodenverbesserung erlaubt. Gärrestkomposte haben als Ausgangsstoff für die Substratherstellung ebenfalls aufgrund teils hoher Gehalte an Schad- und Nährstoffen derzeit so gut wie keine Bedeutung bei der Substratherstellung.

Beim Betrieb von Kompostierungsanlagen können Emissionen wie Gerüche, Lärm, Staub, Keime oder flüssige Emissionen wie Sicker- und Kondenswasser entstehen. Nach guter fachlicher Praxis werden diese durch bauliche und verfahrenstechnische Maßnahmen reduziert.

Neben den chemischen und physikalischen Eigenschaften des Komposts stehen die biologischen, insbesondere die human- und phytopathologischen Risiken im Vordergrund. Komposte müssen für Mensch, Tier und Pflanze unbedenklich sein. Mittels eines sachgerechten Kompostierungsprozesses wird der Kompost hygienisiert (nicht sterilisiert) und bekommt mehr oder weniger einheitliche Eigenschaften innerhalb einer Charge (z. B. einer Miete). LEIFERT (2002) nennt folgende Kompostierungsverfahren:

- offene Mietenkompostierung
- eingehauste/gekapselte Mietenkompostierung
- Boxen- oder Containerkompostierung
- Zellenkompostierung
- Tunnelkompostierung
- Brikollarekompostierung
- Trommelkompostierung

Die bei Weitem bedeutendste und am längsten betriebene Form der Anlagenkompostierung ist nach KERN (1999) die offene Kompostierung, gefolgt von der eingehausten Kompostierung und der Boxen-/Containerkompostierung. LEIFERT (2002) gibt zu diesen drei Kompostierungsverfahren nachfolgende Kurzbeschreibungen.

Offene Mietenkompostierung

- Mieten als geschüttetes Hauwerk als Trapez- oder Dreiecksmiete
- optional mit oder ohne aktive Belüftung
- natürliche Belüftung (Dreiecksmieten: maximale Schütthöhe ca. 1,5 m, regelmäßiges Umsetzen)
- Zwangsbelüftung als Saug-Unterflurbelüftung
- Umsetzung des Materials mittels Umsetzaggregaten (selbstfahrend, gezogene Umsetzgeräte, Radlader/Bagger)
- Nachrotte und Lagerung mit Überdachung vorteilhaft

Eingehauste Mietenkompostierung

- eingehaustes (in Hallen) oder gekapseltes Rottesystem mit zwangsbelüfteten Tafelmieten Belüftungssysteme in Form der Druck- oder Saugbelüftung (in der Regel gesteuert über die Mientemperatur)
- steuerbare Umsetzaggregate (Koordinatenumsetzer); Auflockerung mittels Schneckenfräswelle oder Schaufelrädern und erneute Ablage des Rotteguts zu Tafelmieten, ggf. mit Kompensation des Rotteverlustes
- kontrollierbarer und steuerbarer Luft- und Wasserhaushalt, separate Wassererfassung: Befeuchtung des Rottematerials während des Umsetzens möglich
- Verlauf der Rotte wird durch rottespezifische Parameter überwacht und durch Zuführung von Luft und Wasser gesteuert
- Rottedauer 3-4 Monate

Tabelle 26: Definitionen für Kompostprodukte entsprechend ihren Inputstoffen bzw. dem Ort ihrer Kompostierung-

Gartenkompost	aus pflanzlichen Gartenabfällen durch Eigenkompostierung im Hausgarten hergestellter Kompost
Betriebseigener Kompost	aus innerbetrieblich (Gartenbaubetrieb oder Garten- und Landschaftsbau) anfallenden pflanzlichen Abfällen durch Eigenkompostierung hergestellter Kompost; Inputstoffe können alle bei der Pflanzenproduktion anfallenden Pflanzenreste einschließlich Wurzelballen sein
Grün(gut)kompost	aus getrennt gesammelten pflanzlichen Abfällen in Kompostanlagen hergestellter Kompost; Inputstoffe sind z. B. Material aus öffentlichen Grün-/Parkanlagen, Laub von Straßenbäumen, Mähgut von Straßenbegleitgrün, Streuwiesen
Bio(abfall)kompost	aus in Haushalten getrennt gesammelten (Biotonne) organischen Küchen- und Gartenabfällen in Kompostanlagen hergestellter Kompost; Inputstoffe sind z. B. Essensreste, Gemüse- und Obstreste, Kaffee- und Teesatz, Küchenpapier, Grünpflanzen mit Topfballen, Rasen-, Strauch- und Baumschnitt, Laub
Gärrestkompost	aus Biogasanlagen gesammelte feste Rückstände, die der Kompostierung zugeführt und als Kompost meist für die Bodenverbesserung in der Landwirtschaft eingesetzt werden; Inputstoffe dürfen nur nach abfall- und düngemittelrechtlichen Vorgaben zulässige Ausgangsstoffe sein (s. RAL-GZ 256/1)

Boxen-/Containerkompostierung

- Intensivrotte erfolgt in einem geschlossenen, zwangsbelüfteten Raum mit vollständiger Abluftfassung
- temperaturgesteuerte Zwangsbelüftung des Rotteguts
- separate Erfassung von Prozess-/Sicker- und Kondensatwasser
- Entnahme des Frischkomposts aus den Rotteboxen per Radlader oder automatisches Austragsystem
- Rottedauer ca. 7-14 Tage
- Nachrotte des Frischkomposts durch offene Mietenkompostierung oder erneuter ein- bis zweimaliger Eintrag in die Boxen

Unabhängig vom Kompostierungsverfahren sind gemäß Anhang 2 der Bioabfallverordnung (BMU 2013) die Anforderungen an die hygienisierende Behandlung von Bioabfällen (thermophile Kompostierung) zur Gewährleistung der seuchen- und phytohygienischen Unbedenklichkeit festgelegt:

„Die Prozesssteuerung in Kompostierungsanlagen muss für die Hygienisierung der Bioabfälle so vorgenommen werden, dass über mehrere Wochen ein thermophiler Temperaturbereich und eine hohe biologische Aktivität bei günstigen Feuchte- und Nährstoffverhältnissen sowie eine optimale Struktur und Luftführung gewährleistet sind. Der Wassergehalt soll mindestens 40 % betragen und der pH-Wert um 7 liegen. Im Verlauf der aeroben hygienisierenden Behandlung muss eine Temperatur von mindestens 55 °C über einen mög-

lichst zusammenhängenden Zeitraum von 2 Wochen, von 60 °C über 6 Tage oder von 65 °C über 3 Tage auf das gesamte Rottematerial einwirken.“

5.1.2.2 Komposttypen und -produkte

Bei der Unterscheidung der verschiedenen Komposttypen (Tabelle 26) sind die verwendeten Inputstoffe ausschlaggebend. Dabei ist das Kompostierungsverfahren bedeutungslos.

Gemäß der Kompost-Gütesicherung RAL-GZ 251 (RAL 2007) werden folgende Kompostkategorien als gütegesicherte Produkte definiert:

Frischkompost ist hygienisiertes, in intensiver Rotte befindliches oder zu intensiver Rotte fähiges fraktioniertes Rottegut zur Bodenverbesserung und Düngung. Frischkompost entspricht Rottegrad II oder III.

Fertigkompost ist hygienisierter, biologisch stabilisierter und fraktionierter Kompost zur Bodenverbesserung und Düngung. Fertigkompost entspricht Rottegrad IV oder V.

Substratkompost ist Fertigkompost mit begrenzten Gehalten an löslichen Pflanzennährstoffen und Salzen, geeignet als Mischkomponente für Kultursubstrate.

Für alle Komposttypen sind folgende Körnungen definiert:

- Feinkörnig → bis 12 mm
- Mittelnkörnig → bis 25 mm
- Grobkörnig → bis 40 mm

Für Kultursubstrate kommen nur fein- und mittelnkörnige Komposte in Frage.

Tabelle 27: Typische Wertebereiche chemischer Eigenschaften verschiedener Komposttypen, ermittelt nach VDLUFA-Methoden (SCHMILEWSKI).

Komposttyp	pH (CaCl ₂)	Salzgehalt (g/l)	N (CaCl ₂)	P ₂ O ₅ (CAL)	K ₂ O (CAL)
			(mg/l)		
Grün(gut)kompost	6,8-8,2	1,3-3,6	50-180	580-1.600	1.550-3.450
Bio(abfall)kompost	6,1-8,5	4,0-8,6	140-560	880-2.750	3.000-7.600
Gärrestkompost	6,0-8,6	3,0-5,2	160-500	1.000-2.800	1.750-3.700

5.1.2.3 Eigenschaften von Substratkomposten

In Deutschland werden einige Millionen Kubikmeter Kompost in Kompostbetrieben hergestellt. Davon wird ein Teil nach RAL-GZ 251 als Frisch- oder Fertigkompost gütegesichert. Von den einigen Hunderttausend Kubikmetern gütegesicherten Fertigkomposten ist lediglich ein geringer Teil als Substratkompost gütegesichert, da nur diese die entsprechenden hohen Anforderungen erfüllen.

5.1.2.3.1 Chemische Eigenschaften

Das breite Spektrum der möglichen Inputstoffe bedingt u. a. die große Schwankungsbreite der chemischen Eigenschaften der Komposttypen (Tabelle 27). Diese müssen stets bei der Verwendung von Kompost als Substratausgangsstoff berücksichtigt werden. Substratkomposte nach RAL-GZ 251 müssen neben den Anforderungen an Fertigkomposte die in Tabelle 29 aufgeführten Anforderungen bezüglich des Gehaltes an Steinen, der Stickstoff-Immobilisierung, der Körnung, des Gehaltes an Nährstoffen und des maximalen Salzgehaltes erfüllen. Erst dann dürfen sie zu Volumenanteilen von maximal 20 % (Typ 1) bzw. 40 % (Typ 2) als Substratausgangsstoff eingesetzt werden.

5.1.2.3.2 Physikalische Eigenschaften

Eine Übersicht der physikalischen Eigenschaften, bestimmt nach Europäischen Normen, gibt Tabelle.

Der gemäß RAL-GZ 251 (RAL 2007) geforderte Mindestgehalt an organischer Substanz von 15 % (m/m) in der Trockensubstanz macht deutlich, wie schwer es ist, bei der getrennten Sammlung tatsächlich nur organische Inputstoffe zu sammeln. Obwohl bei Substratkomposten die Gehalte an organischer Substanz in der Regel um 30 % (m/m) liegen, darf der mineralische Anteil maximal 85 % (m/m) betragen. Solche hohen mineralischen Anteile sind vor allem durch mitgesammelte Wurzelballen aus Boden und Substrat oder anhaftende Erde zu erklären. Hohe mineralische Anteile wirken sich nachteilig auf die Wasser- und Luftkapazität des Substrats aus. Zudem tragen sie beim Transport zu höheren Kosten bei und erschweren die Handhabung der aus Komposten hergestellten Substrate.

Grün(gut)komposte, die für die Herstellung von Kultursubstraten und Blumenerden wegen ihrer offenen, lockeren Struktur geschätzt werden, sind in der Regel dann minderwertig, wenn holzige Inputstoffe herausgesiebt und als Brennstoffe in Kraftwerken verwendet werden. Mit den verbleibenden Inputstoffen kann man nicht Komposte mit genügender Wasser- und Luftkapazität herstellen. Ferner ist dann der Gehalt an organischer Substanz im Kompost niedriger.

Tabelle 28: Zuordnung von Temperaturmaxima und Atmungsaktivität zu Rottegraden und Produktbezeichnungen von Komposten nach Methodenbuch der Bundesgütegemeinschaft Kompost (BGK 2006/2013).

Rottegrad	Zuordnung des Rottegrades anhand des Temperaturmaximums $T_{\max}$ (°C) nach DIN 16087-2	Zusammenhang zwischen Rottegrad und Atmungsaktivität bei der Untersuchung von Komposten		Produktbezeichnung
		Temp.-Maximum (°C) nach Selbst-erhitzungsversuch	Atmungsaktivität nach 4 Tagen im Respiromat, Sapromat oder ähnl. Gerät	
I	> 60	> 60	> 80	Kompostrohstoff
II	50,1-60,0	60-50,1	80-50,1	Frischkompost
III	40,1-50,0	50-40,1	50-30,1	
IV	30,1-40,0	40-30,1	30-20,1	Fertigkompost
V	≤ 30	≤ 30	≤ 20	

5.1.2.3.3 *Biologische Eigenschaften*

Von großer Bedeutung ist der Rottegrad. Der Rottegrad ist ein Maß für die Reife eines Komposts und wird über den Selbsterhitzungstest nach DIN EN 16087-2 (2012) bestimmt (Tabelle 28).

Der Kompostierungsprozess muss gewährleisten, dass das Kompostprodukt praktisch frei von Unkrautsamen, humanpathogenen Krankheitserregern (s. Kap. 10.5.1) und anderen Schadorganismen ist (s. Kap. 10.6). Komposte sind von allen Substratausgangsstoffen die am stärksten belebten. Augenscheinlich treten manchmal saprophytische Pilze auf Komposten oder komposthaltigen Substraten mit ihren Myzelien oder Fruchtkörpern auf. Diese ziehen dann häufig pilzverzehrende Trauermücken an, deren Larven Wurzelschäden verursachen können.

Die suppressive, d. h. krankheitsunterdrückende Wirkung vieler Komposte ist bekannt. Dieses sogenannte antiphytopathogene Potential ist aber nicht grundsätzlich vorhanden und meist auch schwer nachzuweisen. Je nach Inputstoffen und dem daraus entstandenen Kompost gibt es erhebliche Unterschiede in der Zusammensetzung der Mikroflora von Komposten. Bakterien, Pilze und andere Mikroorganismen, die in einem bestimmten Kompost vorhanden sind, kommen nicht zwangsläufig in einem anderen Kompost vor; das beeinflusst die Suppressivität von Komposten.

5.1.2.3.4 *Verwendung von Substratkomposten*

Generell müssen Komposte – auch Substratkomposte – mit anderen Substratausgangsstoffen gemischt werden. Das liegt an einigen kritischen Eigenschaften der Komposte

(s. Tabellen 29 und 30). Diese Eigenschaften bedingen, dass vor allem Torf als Trägermaterial, aber auch Holzfasern, Kokosmark und Rindenhumus als Mischkomponenten in Frage kommen. Ziele dabei sind,

- den meist hohen pH-Wert des Komposts zu senken,
- den Salzgehalt auf ein pflanzenverträgliches Niveau zu senken,
- den hohen Gehalt von Kalium und Phosphat zu reduzieren,
- einer potentiellen Stickstoff-Immobilisierung entgegenzuwirken,
- das Substratgewicht und dadurch Transportkosten zu reduzieren und
- den Wasser- und Lufthaushalt zu verbessern.

Vorteile der Kompostverwendung in Substraten sind:

- Vermeidung, Verminderung und Verwertung von organischen Abfällen
- geringerer Bedarf an Kalk und Nährstoffen bei der Substratherstellung
- Nutzung eventuell vorhandener suppressiver Eigenschaften des Komposts im Substrat

Wie mit allen anderen Substratausgangsstoffen verhält es sich mit Komposten/Substratkomposten genauso: Grundsätzlich können Komposte in allen Bereichen der Substratherstellung eingesetzt werden – es kommt auf ihre Qualität und damit auf die Dosierung an. Je höher der Kompostanteil, desto mehr muss auf eventuelle Risiken geachtet werden.

Tabelle 29: Qualitätskriterien und Güterichtlinien für Substratkomposte nach RAL-GZ 251 (RAL 2007) mit Ergänzungen der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (2012).¹⁾

Qualitätsmerkmal und Qualitätsanforderungen		
Hygiene		
- Nachweis der seuchenhygienischen Wirksamkeit des Behandlungsverfahrens (direkte Prozess- oder Konformitätsprüfung gemäß Hygiene-Baumusterprüfsystem nach Abschnitt 1.2 der BGK e. V. oder andere vom Bundesgüteausschuss im Einzelfall bestimmte Verfahren) - Nachweis der Einhaltung der für die Hygienisierung der Produkte erforderlichen Temperaturen und Temperatur-Einwirkzeiten (indirekte Prozessprüfung) - Maximal 0,5 keimfähige Samen und austriebsfähige Pflanzenteile je Liter - Salmonellen nicht nachweisbar		
Fremdstoffe		
- Maximal 0,5 Gew.-% i. d. Trockensubstanz (TS) auslesbare Fremdstoffe über 2 mm Durchmesser - Maximal 0,1 Gew.-% i. d. TS auslesbare Fremdstoffe über 5 mm Durchmesser - Bei Fremdstoffgehalten > 0,1 Gew.-%: maximale Flächensumme der ausgelesenen Fremdstoffe 10 cm²/l Frischsubstanz (FS)		
Steine		
- Maximal 5 Gew.-% i. d. TS auslesbare Steine > 2 mm - Maximal 0,5 Gew.-% i. d. TS auslesbare Steine > 10 mm		
Pflanzenverträglichkeit		
- Pflanzenverträglichkeit im vorgesehenen Anwendungsbereich (Keimpflanzenversuch) - Frei von flüchtigen phytotoxischen Stoffen (Kressetest im geschlossenen Gefäß) - Nicht Stickstoff immobilisierend (Brutversuch oder Keimpflanzenversuch mit N-Steigerung)		
Rottegrad		
Rottegrad V		
Wassergehalt		
- Lose Ware maximal 45 Gew.-% - Sackware maximal 35 Gew.-% - Für Kompost mit mehr als 40 % Glühverlust gelten maximale Wassergehalte gemäß Anlage 2 der Güte- und Prüfbestimmungen		
Körnung		
- In allen Körnungen > 50 Vol.-% Partikel 0-5 mm - Maximalkörnung: 25 mm		
Organische Substanz		
Mindestens 15 Gew.-% i. d. TS gemessen als Glühverlust		
Schwermetallgehalte (Richtwerte in mg/kg TS)		
Blei 150 / Cadmium 1,5 / Chrom 100 / Quecksilber 1,0 / Nickel 50 (Für die Mikronährstoffe Cu und Zn bestimmt der Bundesgüteausschuss Plausibilitätswerte, die nicht überschritten werden dürfen.)		
Pflanzennährstoffe und Salzgehalt		
	Substratkompost Typ 1 (bis 40 Vol.-% empfohlener Anteil)	Substratkompost Typ 2 (bis 20 Vol.-% empfohlener Anteil)
Salzgehalt (max.)	2,5 g/l	5 g/l
min. Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N)	< 300 mg/l	< 600 mg/l
lösl. Phosphat (P ₂ O ₅)	< 1.200 mg/l	< 2.400 mg/l
lösl. Kalium (K ₂ O)	< 2.000 mg/l	< 4.000 mg/l
lösl. Chlorid	< 500 mg/l	< 1.000 mg/l
lösl. Natrium	< 250 mg/l	< 500 mg/l
Carbonate (CaCO₃)		
< 10 % i. d. TS		

¹⁾ In der RAL-GZ 251 werden keine Analysemethoden genannt; es wird darin Bezug genommen auf das mitgeltende Methodenbuch zur Analyse organischer Düngemittel, Bodenverbesserungsmittel und Substrate (BGK 2006).

Tabelle 30: Analysenmittelwerte (Probenanzahl ≥ 57) unterschiedlicher kompostierter Gärreste, ermittelt nach VDLUFA-Methoden (FISCHER & SCHMITZ 2004, gekürzt).

Kenngröße	Einheit	Mittelwert	Richtwerte Substratkompost	
			Typ 1	Typ 2
Salz (H_2O)	g/l	3,93	2,5	5,0
lösl. N (CaCl_2)	mg/l	298	< 300	< 600
lösl. P_2O_5 (CAL)		1.454	< 1.200	< 2.400
lösl. K_2O (CAL)		2.552	< 2.000	< 4.000
lösl. Mg (CaCl_2)		236	--	--
lösl. Na (H_2O)		518	< 250	< 500
lösl. Cl (H_2O)		899	< 500	< 1.000
CaCO_3 (Gesamtgehalt)	% i. d. TS	13,8	< 10 %	< 10

5.1.2.3.5 Gärrestkomposte

Die Nachkompostierung von frischen Gärresten ist erforderlich, um keimfähige Samen abzutöten und die hohe Stickstoff-Immobilisierung des Frischmaterials zu reduzieren. Vor allem die Inputstoffe haben großen Einfluss auf die Qualität des Gärrestkomposts. So sind Speiseabfälle für sehr hohe Gehalte an löslichen Nährstoffen, aber vor allem für hohe Gehalte an Na und Cl verantwortlich. Einfluss hat nach Fischer & Schmitz (2004) auch das beim Aufmaischen der Abfälle verwendete Wasser. So hat anfallendes Prozesswasser wesentlich nachteiligere Eigenschaften als salz- und ballaststoffarmes Frischwasser. Die hohen Mittelwerte in Tabelle 30 sollen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass einzelne Gärrestkomposte in angepassten Aufwandmengen durchaus in Substraten verwendbar sind.

5.1.3 Holzfaserstoffe (Holzfasern)

Holzfaserstoffe sind bei Weitem die wichtigsten aus Holz produzierten Substratausgangsstoffe. Manche andere Materialien auf Holzbasis sind in der Diskussion, werden aber in sehr geringen Mengen eingesetzt oder werden bisher nur im Ausland eingesetzt (z. B. Ganzbaum-Kiefernsubstrat, s. Kap. 5.1.4.3.4).

5.1.3.1 Holz als Basis für die Produktion von Holzfaserstoffen

Holz eignet sich grundsätzlich als Substratausgangsstoff, weil es eine Faserstruktur hat, hydrophile Grundeigenschaften besitzt, biologisch langsam abbaubar ist und keine Nährstoffe oder wachstumshemmende Stoffe (Inhibitoren) enthält, wie etwa Rinde, und praktisch schadstofffrei ist (MARUTZKY et al. 2000). Die Autoren führen weiter aus, dass die wasserfreie Holzsubstanz im Mittel 49,1 % Kohlenstoff, 44 % Sauerstoff, 6,3 % Wasserstoff und 0,6 % Mineralstoffe enthält, wovon 0,1 % Stickstoff sind. Holz hat somit ein sehr weites C/N-Verhältnis.

Für die Aufbereitung zu substratfähigen Ausgangsstoffen wird fast ausschließlich Nadelholz verwendet. Es besteht aus 45-50 % Cellulose, 25-30 % Lignin und zu 15-20 % aus Hemicellulosen (RÖMPP 1997b). Durch diese Bestandteile erhält Holz seine typische Struktur. Holz enthält zudem wenige Prozente weiterer Inhaltsstoffe wie Harze, Wachse, Terpene, Terpenoide, Phenole, Gerbstoffe, Fette und Zucker, deren Anteile standortbedingt stark schwanken können. Welche Rolle der Gehalt

dieser Holzinhaltsstoffe für das Wachstum von Kulturpflanzen spielt, ist nicht eindeutig klar (SCHWAGER & LANGE 1998).

5.1.3.1.1 Holzfasern und Holzfaserstoffe

Botanisch sind Holzfasern (hier sind nicht industriell hergestellte Holzfaserstoffe gemeint) meist tote (seltener lebende) Röhrenzellen (meist 1 bis 5 mm lang) mit verdickten Wänden, die zusammen mit anderen Zellen (Tracheiden, Tracheenglieder und Holzparenchymzellen) den Holzkörper bilden (BLUME et al. 2010). Sie sind das wesentliche Strukturelement von Holz und dienen seiner mechanischen Festigkeit.

In der holzverarbeitenden Industrie gewinnt man Holzfasern (hierbei handelt es sich um die oben beschriebenen Zellenverbände) durch mechanischen oder chemischen Aufschluss von Holz (RÖMPP 1997b). Der Begriff ‚Holzfasern‘ ist somit zweideutig. Im Substratbereich wird die Bezeichnung ‚Holzfaserstoff‘ synonym für den Begriff ‚Holzfasern‘ eingesetzt. Generell wird in diesem Buch der Begriff ‚Holzfaserstoff‘ verwendet. Dort, wo bestimmte Literaturquellen von Holzfasern sprechen, wird dieser Begriff verwendet. In der Praxis ist der Begriff ‚Holzfasern‘ üblich, aber, wie oben ausgeführt, nicht ganz korrekt.

Nach RAL-GZ 250 (RAL 2015) sind Holzfasern mechanisch-thermisch aufgefaserter und ggf. mit Konditionierungstoffen behandeltes Holz für pflanzenbauliche Zwecke. Ferner legt die Gütesicherung fest, dass nur mechanisch bearbeitete, nicht aber verleimte, beschichtete, lackierte, gestrichene oder mit sonstigen organischen oder anorganischen Stoffen behandel-

te Hölzer oder Holzabfälle als Ausgangsstoffe für Kultursubstrate zugelassen sind.

5.1.3.1.2 Produktion von Holzfaserstoffen

Das erste industriell hergestellte Holzfaserprodukt war das 1983 eingeführte französische Hortifibre®, (LEMAIRE et al. 1989). Ende der 1980er Jahre und in den 1990er Jahren wurden eine Reihe weiterer Holzfaserprodukte entwickelt. Hierzu zählen Culti-Fibre®, Torbella®, Bio-Culta®-Faser, Toresa®, Pietal® und Torbo®. Nur noch wenige davon befinden sich heute noch auf dem Markt. Zwischenzeitlich sind einige Substratproduzenten dazu übergegangen, Holzfaserstoffe selbst herzustellen. Das ist ein Trend in der Substratwirtschaft.

Überwiegend werden Holzhackschnitzel als Ausgangsmaterial und in geringerem Maße Säge- und Hobelspanfraktionen für die Herstellung von Holzfaserstoffen verwendet. Holzhackschnitzel und -späne sind das Produkt aus dem Fräsprozess der eingeschlagenen Holzstämmen im Sägewerk. Schnitzel und Späne fallen in unterschiedlicher Korngröße an. Die Hersteller von Holzfaserstoffen legen wichtige Spezifikationen für Hackschnitzel und -späne fest, um einen störungsfreien Produktionsprozess und ein homogenes Endprodukt zu haben. Die jeweiligen Spezifikationen können die Holzart, das Alter, die Form, den Anteil an Über- und Unterkorn, den Feuchtigkeitsgehalt, chemische Zusatzstoffe und den Rindenanteil der Hackschnitzel umfassen. Inzwischen verlangen die meisten Hersteller von Holzfaserstoffen, dass der Holzrohstoff zertifiziert sein muss, z. B. gemäß den Kriterien der FSC

Tabelle 31: Stickstoff-Immobilisierung von Holzfasern verschiedener Gehölzgattungen (PAULUS 1998).

Gehölzgattung (deutscher Name)	N-Bindung (mg/l)
<i>Abies alba</i> (Weißtanne)	143
<i>Pinus sylvestris</i> (Waldkiefer)	174
<i>Picea abies</i> (Gewöhnliche Fichte)	178
<i>Larix decidua</i> (Europäische Lärche)	299
<i>Fraxinus excelsior</i> (Gewöhnliche Esche)	712
<i>Populus tremula</i> (Zitterpappel)	722

(Forest Stewardship Council) oder des PEFC (Program for the Endorsement of Forest Certification).

Ein wichtiges Qualitätskriterium für Holzfaserstoffe ist die Stickstoff-Immobilisierung (s. Kap. 4.4.3.2), die, wie PAULUS (1998) verdeutlicht, von der Holzart abhängig ist. In Brutversuchen wurde die Stickstoff-Immobilisierung von Holzfaserstoffen, hergestellt von sechs Gehölzgattungen, untersucht und in Pflanzenversuchen bewertet. Es zeigte sich, dass es quantitative Unterschiede in der N-Immobilisierung zwischen den aus Nadel- und Laubhölzern hergestellten Holzfaserstoffen gibt (Tabelle 31).

Der Frischmassezuwachs der Testpflanzen stand dabei in engem Zusammenhang mit der N-Immobilisierung. Schlussfolgernd dürfte die Verwendung von *Abies alba*, *Pinus sylvestris* und *Picea abies* die geringsten Probleme verursachen. Diese Erkenntnis spiegeln die tatsächlich eingesetzten Holzarten für die Produktion von Holzfaserstoffen wider, nämlich Fichte und Kiefer, die regional auch gut verfügbar sind.

Aus Gründen der Nachhaltigkeit sollten nur zertifizierte Holzhackschnitzel (z. B. gemäß FSC- oder PEFC-Kriterien) als Rohstoffe verwendet werden. Die Auffaserung der Holzhackschnitzel erfolgt in der Regel in einem Extruder bzw. Retruder, in dem zwei gegenläufige Schneckenwellen die Holzhäcksel nach dem Prinzip der Schubumkehr schreddern. Durch die Scherkräfte beim Schreddern werden die Holzhäcksel aufgefasert, wobei Hitze entsteht. Man spricht von einer thermomechanischen Auffaserung (VOGEL 1999, GUMY 2001). Eine zusätzliche Erhitzung oder die Zufuhr von Wasser ist nicht erforderlich. Beim Austreten des aufgefaserten Holzes aus dem Extruder verdampft das im Holz enthaltene Wasser schlagartig („Dampfexplosion“), was zu einer weiteren Zerfaserung führt.

Länge und Dicke der Holzstückchen/Holzfaseren hängen zum einen vom Roh-

material selbst ab, können aber zum anderen durch Einstellung der Größe der Auslassöffnung am Extruder, die wiederum die Verweildauer im Extruder bestimmt, zusätzlich zweckorientiert beeinflusst werden (MAKAS 2001). Eine kleine Auslassöffnung verlängert die Verweildauer, die Holzpartikel werden längere Zeit geschreddert, die Fasern werden kleiner. Eine größere Auslassöffnung hat eine gröbere Fraktionierung zur Folge. Somit können gröbere Strukturen z. B. für Containerkulturen und feinere Holzfaserstoffe für Topfpflanzenkulturen oder sogar für Aussaaten hergestellt werden. Die meisten Holzfaserstoffqualitäten haben eine Länge zwischen 1 und 20 mm und werden als fein, mittel oder grob bezeichnet. Je nach Feinheitsgrad haben Holzfaserstoffprodukte einen mehr oder weniger hohen Staubanteil, der bei der Verarbeitung eine Reizwirkung beim Einatmen haben kann. Im Fertigsustrat ist das nicht von Belang.

Holzfaserstoffe haben eine große äußere und innere Oberfläche, welche den mikrobiellen Abbau und damit einhergehend eine N-Immobilisierung beschleunigt. Daher setzen manche Hersteller den Holzrohstoffen vor der Zufuhr in den Extruder langsam fließenden N-Dünger zu, um die N-Bindung zu kompensieren (GUMY 2001). Solche Stickstoffdünger wirken einer N-Immobilisierung dadurch entgegen, dass den Mikroorganismen im fertigen Produkt kontinuierlich Stickstoff zugeführt wird. Diese Stickstoffgabe dient nicht der Stickstoffversorgung der Kulturpflanzen, sondern nur dem Ausgleich der N-Immobilisierung. Bei der Herstellung von Holzfaserstoffen für die ökologische Pflanzenproduktion können organische Stickstoffdünger zugegeben werden. Um dem Holzfaserstoff ein torfähnliches Aussehen zu verleihen, kann den Holzhackschnitzeln vor der Zugabe in den Extruder ein natürliches Färbemittel zugegeben werden. Stark zersetzter Torf oder Braunkohlenstaub werden dabei bevorzugt, da sie gut wirken, verfügbar sind und keinen Fremdgeruch (wie etwa Kaffeesatz) entwickeln.

Tabelle 32: Güte- und Prüfbestimmungen für Holzfasern als Substratausgangsstoff – Gütemerkmale mit Prüfmethoden und Wertebereichen nach RAL-GZ 250/ 5-1 (RAL 2015).

Gütemerkmale		Prüfmethode	Wertebereiche
1	Physikalische Eigenschaften		
1.1	Fremdstoffe	visuelle Beurteilung	keine
1.2	Rohdichte (g/l)	standardisiertes Einrütteln (VDLUFA-Methode A 13.2.1 bzw. A 13.2.2)	wird analysiert
2	Chemische Eigenschaften		
2.1	pH-Wert	m/100 CaCl ₂ -Suspension (VDLUFA-Methode A.5.1.1)	4,5 bis 6,5
2.2	Salzgehalt (g/l)	Leitfähigkeitsmessung im Wasserauszug, Berechnung als KCL (VDLUFA-Methode A 13.4.1)	≤ 0,5
2.3	Lösliche Hauptnährstoffe (mg/l)		
2.3.1	Stickstoff (NH ₄ -N+NO ₃ -N)	0,0125 mol/l CaCl ₂ -Extrakt (VDLUFA-Methode 6.1.3.2) oder CAT-Auszug (VDLUFA-Methode A 13.1.1)	≤ 50
2.3.2	Phosphor (P ₂ O ₅)	CAL-Extrakt (VDLUFA-Methode 6.1.1.1) oder CAT-Extrakt (VDLUFA-Methode A 13.1.1)	≤ 50 (CAL) ≤ 100 (CAT)
2.3.3	Kalium (K ₂ O)		≤ 100 (CAL) ≤ 150 (CAT)
2.4	Schwermetallgehalte (Gesamtgehalte in mg/kg Trockenmasse)		
2.4.1	Arsen (As)	Königswasser-Aufschluss VDLUFA-Methode A 2.4.3.1	≤ 40
2.4.2	Blei (Pb)		≤ 150
2.4.3	Cadmium (Cd)		≤ 1,5
2.4.4	Chrom (Cr)		≤ 300
2.4.5	Nickel (Ni)		≤ 80
2.4.6	Quecksilber (Hg)		≤ 1
2.4.7	Thallium (Tl)		≤ 1
3	Biologische Eigenschaften		
3.1	N-Immobilisierung (mg N/l)	Brutversuch nach ZÖTTL (VDLUFA-Methode A 13.5)	≤ 200 mg N/l bei max. 20 % (v/v) als Mischkomponente ≤ 100 mg N/l bei max. 40 % (v/v) als Mischkomponente
3.2	Wachstums- hemmende Stoffe	Keimpflanzentest mit Chinakohl gemäß Methodenbeschreibung GGS; zu un- tersuchen ist eine Mischung aus 40 % Holzfasern und 60 % Torfkultursubstrat	frei von wachstumshemmenden Stoffen
3.3	Unkrautbesatz	Keimung in 2 cm dicker Schicht bei mind. 18 °C über 3 Wochen (VDLUFA- Methode A 13.5.2)	max. 1 keimender Samen oder austreibendes Pflanzenteil je Liter HF

5.1.3.1.3 Chemische Eigenschaften

Der pH-Wert verschiedener Produktionschargen kann leicht um eine pH-Stufe schwanken, was bei der Substrataufbereitung in Mischung mit anderen Ausgangsstoffen zu berücksichtigen ist. Der pH-Wert von Holzfaserstoffen ist leicht einzustellen.

Holzfaserstoffe haben eine geringe pH-Pufferwirkung, insbesondere gegenüber alkalischen Stoffen und pH-anhebenden Düngemitteln.

Das ist bei Holzfaserstoffanteilen von über 30 % (v/v) im Substrat zu beachten.

N-Immobilisierung kann durch unzureichende N-Nachlieferung zu Pflanzenminderwuchs und Mangelercheinungen führen. In der Vergangenheit wurde bei einigen Holzfaserstoffen, die keine Düngerbehandlung erhielten, eine N-Bindung von 500 mg/l und mehr festgestellt. Entsprechend den Grenzwerten nach RAL-GZ 250 (RAL 2015) sollen bei einer festgestellten N-Immobilisierung von ≤ 100 mg N/l maximal

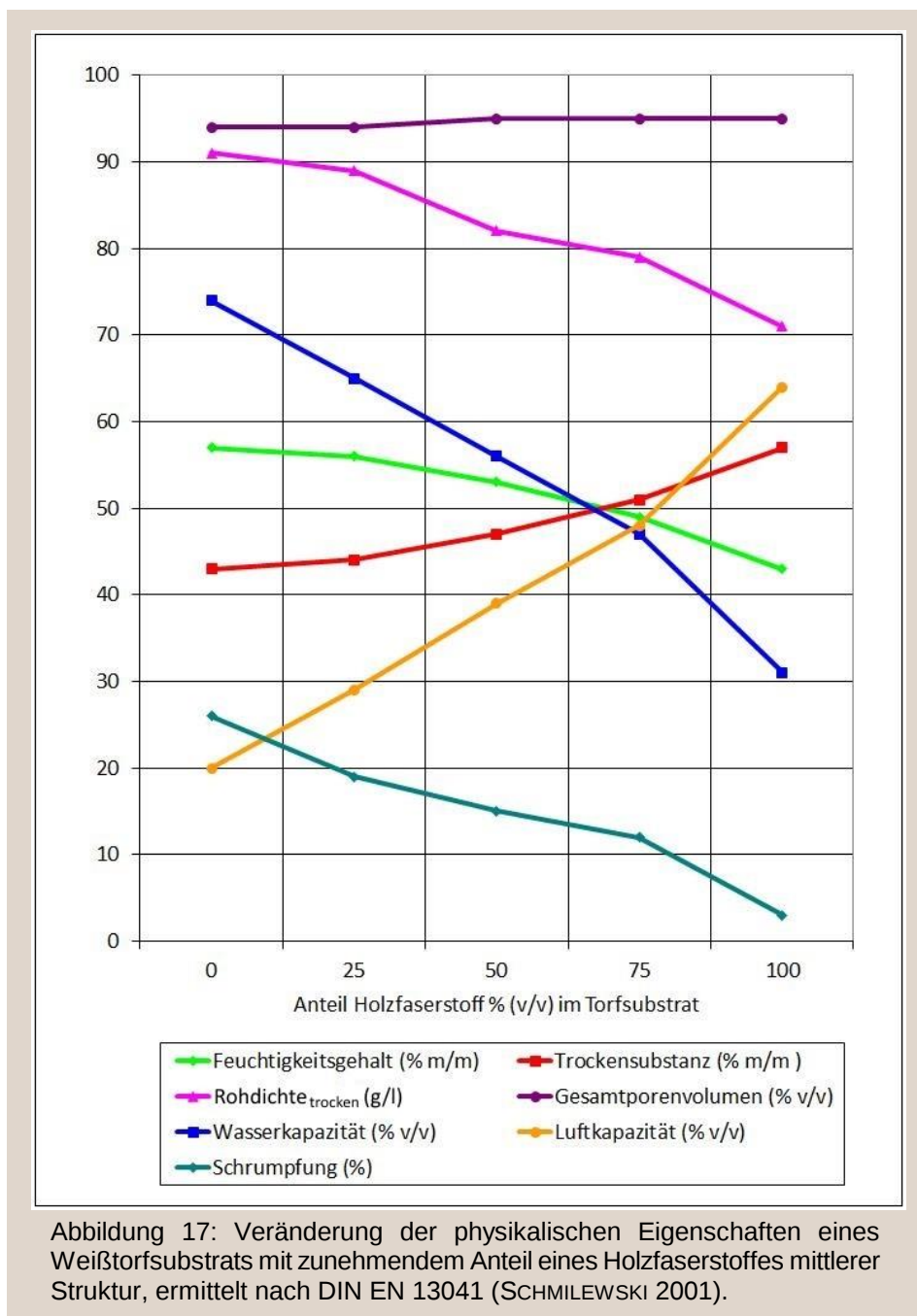
40 % (v/v) und bei ≤ 200 mg N/l maximal 20 % (v/v) dem Substrat zugemischt werden, um Kulturprobleme zu vermeiden. Die genaue Überwachung des N-Haushaltes während der Kultur ist ratsam und bei Verwendung von Holzfaserstoffen mit noch stärkerer N-Immobilisierung oder gar in höheren Volumenanteilen unerlässlich.

Die Substratgrunddüngung ist wie üblich anzusetzen, da eine N-Zugabe vor der Zerkleinerung nur der N-Kompensation des durch Mikroben festgelegten Stickstoffes dient. Die Nährstoffe P_2O_5 und K_2O sind meistens in geringen Men-

gen in Holzfaserstoffen enthalten, was bei der Substratproduktion zu berücksichtigen ist. Der Gehalt an Spurenelementen in Holzfaserstoffen ist gering und sollte grundsätzlich durch Zusatz eines entsprechenden Düngemittels sichergestellt sein.

5.1.3.1.4 Physikalische Eigenschaften

Durch den thermomechanischen Zerkleinerungsprozess haben Holzfaserstoffe eine faserige Struktur, sind porös, locker und elastisch. Je nach Herstellungs- und Behandlungsprozess können sie die natürliche Farbe von Kie-



fernholz haben, hell bräunlich-grau, hellbraun oder torffarbig sein. Wichtig ist, dass während der Zerkleinerung keine Verklumpung der Holzfasern stattfindet (was bei anderen Herstellungsverfahren eher passieren kann), die die Homogenität des Substrats beeinträchtigen kann. Der holzartige Charakter bleibt je nach Zerkleinerungsgrad mehr oder weniger erhalten. Die Schüttdichte ist sehr niedrig, was für eine Zumischung zu schwereren Ausgangsstoffen spricht; Transportgewichte können zudem so gesenkt werden.

Das Gesamtporenvolumen (Tabelle 8) ist sehr hoch und mit dem von schwach zersetzten Hochmoortorfen vergleichbar. Im Gegensatz zu Weißtorf, der Wasser in den Hyalinzellen der vertorften Moose hält, halten Holzfasern den Großteil des Wassers nur an den Fasern und nicht in den Zellen fest. Somit ist die Wasserkapazität deutlich niedriger als bei Hochmoortorf.

5.1.3.2 Verwendung von Holzfaserstoffen

Der Vorteil aller Holzfaserstoffe gegenüber manchen anderen Ausgangsstoffen liegt in der sehr hohen Luftkapazität (A_v) von etwa 50 bis 60 % (v/v), ermittelt nach DIN EN 13041. Bei Zumischung eines Holzfaserstoffes in steigenden Anteilen zu einem schwach zersetzten Frästorf mit einer A_v von 20 % (v/v) steigt die Luftkapazität proportional zur zugegebenen Menge an Holzfaserstoff. Dementsprechend nimmt die Wasserkapazität ab (Abbildung 17). Die Luftführung und Drämfähigkeit des Substrats können somit verbessert werden – eine Wirkung, die gezielt bei Ausgangsstoffen mit hohem Feinanteil, wie stark zersetztem Torf oder Kompost, genutzt werden kann. Substratanteile von bis zu 25 % (v/v) Holzfaserstoff erfordern keine wesentliche Umstellung der Bewässerung in der Kultur. Substrate mit Anteilen über 25 % (v/v) erfordern eine der geringeren Wasserkapazität angepasste Bewässerung, d. h. häufigeres Gießen.

Die Schrumpfung bei trocken gewordenen Torfen, die insbesondere bei stark zersetzten

Torfen hoch sein kann, wird durch Zumischung von Holzfasern zum Substrat vermindert. Alle Holzfaserstoffe haben einen Schrumpfungswert, der meist deutlich unter 10 % liegt.

Die Wiederbenetzbarkeit von Holzfaserstoffen ist gut. Besonders Torfe mit einem hohen Trocknungsgrad bei der Gewinnung können von der Zumischung von Holzfasern durch eine verbesserte Wiederbenetzbarkeit profitieren. Um die Wiederbenetzbarkeit, aber auch um die Wasserkapazität zu erhöhen, ist es zweckmäßig, fester zu topfen. Bei hohen Holzfaserteilen in Containersubstraten trocknet die Substratoberfläche schneller ab als bei reinen Torfsubstraten, was den Unkraut- und Moosbewuchs hemmen kann. Versuche durch BOHNE (1996) haben gezeigt, dass bei hohem Anteil von Holzfasern in Containersubstraten eine Evaporationsbarriere entsteht, welche die benötigte Beregnungswassermenge reduzieren kann.

Substrate mit Volumenanteilen um 20 % eines Holzfaserstoffes werden inzwischen von vielen Substratherstellern angeboten. In Kombination mit anderen gütegesicherten Stoffen kann dieser Anteil entsprechend dem Einsatzgebiet auch höher liegen. Eine Einschränkung bezüglich des verwendeten Bewässerungssystems (Überkopfberegnung, Anstau-, Matten- oder Rinnenbewässerung) gibt es nicht. Entschei-

Tabelle 33: Vergleich von Masse- und Volumenverlust verschiedener Substrate in unbepflanzten Containern während 12 Monaten (FISCHER & MEINKEN 1993).

Substrat	Masseverlust (% TS)	Volumenverlust (%)
Einheitserde®	6,5	14,0
Torf	8,0	3,2
Culti-Fibre®	44,9	35,7
Culti-Fibre® + Torf	24,1	18,5
Torbella®	50,0	47,4
Torbella® + Torf	30,1	32,0
Torbo®	38,5	26,8
Torbo® + Torf	25,3	21,0

dend sind die Gießintervalle, die umso kürzer anzusetzen sind, je höher der Holzfaseranteil im Substrat ist.

Bei langen Kulturzeiten kann es zu einer stärkeren Sackung von Substraten mit Holzfaserstoffen kommen als bei Substraten auf Torfbasis. Das belegt ein Langzeitversuch von FISCHER & MEINKEN (1993) mit verschiedenen Holzfaserstoffen, die sowohl ohne als auch mit Torf Beimischung geprüft wurden (Tabelle 33). Die Autoren folgern, dass eine unerwünschte Sackung mit einhergehendem Masse- und Volumenverlust während der Kultur auf mikrobielle Zersetzung der organischen Substanz zu Kohlendioxid und Wasser beruht. Durch die Abbauprozesse kommt es zudem zu einer Abnahme des Anteils an Grobporen und einer Zunahme an Feinporen, was wiederum zur Senkung der Luftkapazität führt.

Die Intensität der Sackung mit allen Nebenwirkungen ist abhängig vom Volumenanteil Holzfaserstoff im Substrat, dem Auffaserungsgrad des Holzfaserstoffes (größere Ober- und Angriffsfläche für Mikroorganismen bei hohem Feinanteil) und der N-Düngermenge bei der Herstellung. Holzfaserstoffe sind inzwischen in vielen Substraten ein wichtiger Substratausgangsstoff. Vor allem die niedrige Schüttdichte, die hohe Luftkapazität und die gute Dränfähigkeit erlauben ihren Einsatz in allen gartenbaulichen Sektoren und bei allen Kulturverfahren und unabhängig vom Bewässerungsverfahren. Volumenanteile von 20 bis 30 % sind üblich.

Es ist davon auszugehen, dass in der Zukunft mehr Holzfaserstoffe eingesetzt werden. Dabei ist der Trend, die Eigenproduktion von Holzfaserstoffen im eigenen Substratwerk durchzuführen, deutlich. Mit Schwankungen des Marktpreises für geeignete Holzhäcksel durch konkurrierende Abnehmer (energetische Verwertung) ist zu rechnen.

5.1.3.3 Weitere Ausgangsstoffe auf Holzbasis

Die Verwendung von Nebenprodukten der Holzverarbeitung, wie Hackschnitzel, Sägespäne, Hobelspäne oder Frässpäne, ist in der Substratproduktion sehr beschränkt. Inhomogene strukturelle Eigenschaften, ihre N-Immobilisierung, die mangelnde Verfügbarkeit gleichbleibender Qualitäten und fehlende Qualitätsrichtlinien sind hierbei ausschlaggebend. Wenn diese Materialien ohne Aufbereitung eingesetzt werden, überschreitet ihr Anteil im Substrat selten 10 bis 20 % (v/v). In erster Linie kommen Containerkulturen oder Beet- und Balkonpflanzen für die Kultur in solchen Substraten in Frage.

5.1.3.3.1 Holzhäcksel

Holzhäcksel sind mit schneidenden Holzhäckselmaschinen zerkleinertes Holz (nicht geschreddertes Holz). Als Mulchmaterial sind sie eher bekannt als als Substratausgangsstoff. Meistens wird als Rohstoff minderwertiges Holz oder Sägereistholz aus der Holzverarbeitenden Industrie dabei verwertet, überwiegend Fichtenholz. Holzhäcksel haben eine Partikelgröße von 2 bis 20 mm und kommen somit eher für den Einsatz in der Containerkultur in Frage. Durch ihre im Vergleich zu Holzfasern kleinere Oberfläche dauert ihr mikrobieller Abbau sehr lange, was sie strukturstabil macht. Auch ist dadurch die Gefahr einer starken N-Bindung geringer. Bei Volumenanteilen von 20 bis 30 % im Substrat macht sich ihre niedrige Wasserkapazität bemerkbar, denn kürzere Gießintervalle sind erforderlich. Ihr pH-Wert (CaCl_2) liegt bei 4,0. Ihr Nährstoffgehalt und Salzgehalt ist niedrig. Vereinzelt sind Substrate mit Holzhäckseln auf dem Markt.

5.1.3.3.2 Holzige Anteile aus der Kompostierung

Bei der Grünschnittkompostierung fallen Holzreste aus dem Siebüberlauf als Überkorn an. Diese können mechanisch aufgefaserter werden und mit Sternsieben auf die gewünschte Faserlänge fraktioniert werden. Dieses Material

kann z. B. in Baumschulsubstraten, aber auch in Substraten für Beet- und Balkonpflanzen sowie Gruppenpflanzen Verwendung finden. In empfindlichen Kulturen und Vermehrungssubstraten werden diese zerkleinerten Holzreste meist nicht eingesetzt, da eine N-Immobilisierung um 300 mg/l nicht selten ist. Entsprechend niedrig muss ihr Anteil im Substrat sein. Anzumerken ist, dass dieses Überkorn schon seit Jahren für die energetische Nutzung sehr wertvoll ist und der stofflichen Verwertung kaum noch zur Verfügung steht.

5.1.3.3 Holzplattenreste

Untersuchungsergebnisse zur Gewinnung von Substraten aus Spanplatten- und MDF-Resten (Mitteldichte Faserplatten), die mit stickstoffhaltigen Bindemitteln verleimt sind, finden sich bei MARUTZKY et al. (2000). In Brutversuchen wurde eine N-Freisetzung der Spanplatten-späne von durchschnittlich 500 mg N/l festgestellt. Durch Zugabe der N-zehrenden Komponente Sägemehl konnte daraus durch Kleinbehälter-Kompostierung ein Endprodukt hergestellt werden, das gute physikalische Eigenschaften bei gleichzeitig hoher Strukturstabilität, guter Wiederbenetzbarkeit und geringem Volumenverlust hatte. Bis heute haben solche Ausgangsstoffe keine Marktrelevanz erreicht.

5.1.3.4 Ganzbaum-Kiefernsubstrate (Pine tree substrates)

JACKSON et al. (2010) berichten, dass die im Südosten der USA weit verbreitete Weihrauch-Kiefer (*Pinus taeda*) zu einem Substratausgangsstoff verarbeitet werden kann. Auch soll sich die ‚white pine‘ (*Pinus strobus*) eignen. Nach der Ernte des Baumes wird dieser maschinell gehäckselt – mit oder ohne Rinde, Zweige und Nadeln. Die Hackschnitzel werden in einer Hammermühle gemahlen. Dabei kann der Vermahlungsgrad je nach Einsatzbereich so eingestellt werden, dass die Partikelgröße dem geforderten Luft- und Wasserhaushalt der Kultur Rechnung trägt. Betont wird, dass eine Kompostierung nicht notwendig ist und die Bäume an einem Tag verarbeitet und am nächsten Tag als Substrat verwendet werden

können. Eine der Kultur gerechte Aufdüngung und Kalkung des Substrats ist erforderlich. Kulturversuche mit bis zu 100 % (v/v) des Ganzbaumkiefernsubstrats in verschiedenen Baumschul- und Zierpflanzenkulturen haben nach Autorenangaben im Vergleich zu Torfsubstrat oder Rindenhumussubstrat ähnlich gute Wuchsergebnisse gezeigt. Bei der Verarbeitung von frisch geschlagenen Bäumen ist die N-Immobilisierung recht hoch. Die kann durch Lagerung des aufbereiteten Holzes reduziert werden. Ein Ausgleich für die N-Immobilisierung ist notwendig.

5.1.4 Kokosprodukte

Bei Substratausgangsstoffen dieser Produktgruppe kommt es immer wieder zu mehrdeutigen Definitionen. Kokosprodukte stammen von der Steinfrucht der Kokospalme, *Cocos nucifera*. Die Kokospalme wächst in tropischen Ländern etwa zwischen dem nördlichen und südlichen Wendekreis (NOGUERA 2001). Sri Lanka und Indien sind die Hauptlieferländer für gartenbauliche Kokosprodukte nach Europa, aber auch die Elfenbeinküste und andere Länder exportieren Kokos-Substratausgangsstoffe.

Nach SITTE et al. (2002) besteht die Steinfrucht von außen nach innen aus folgenden Schichten:

- Exokarp: äußerste glatte Wandschicht der Frucht
- Mesokarp: dicke, lufthaltige und daher schwimmfähige mittlere Schicht der Fruchtwand, welche die Kokosfasern und das zwischen den Fasern liegende weiche, schwammige Fruchtgewebe enthält; das Mesokarp ummantelt die Kokosnuss
- Endokarp: innerste, sehr harte, widerstandsfähige Schicht der Fruchtwand (Nussschale), die das Fruchtfleisch (Kopra) und die Kokosmilch enthält

Nur die Fasern des Mesokarps dürfen als Kokosfasern bezeichnet werden. Das restliche schwammige Gewebe des Mesokarps wurde früher Kokosmehl oder Kokosstaub genannt; die heutige Bezeichnung ist Kokosmark. Die Marketing-Bezeichnung ‚Kokostorf‘ oder im Englischen ‚cocopeat‘ für den Ausgangsstoff Kokosmark ist absolut irreführend, da sich Torf nur in Mooren bildet, und kein Teil der Kokossteinfrucht hat sich in Mooren gebildet! Kokosfasern und Kokosmark sind inzwischen übliche Substratausgangsstoffe. Werden Kokosfasern und -mark nicht getrennt und das Mesokarp als solches in Stücke geschnitten, spricht man von Kokos-Chips oder Kokos-häckseln.

5.1.4.1 Die Gewinnung von Kokosmark, -fasern und Kokos-Chips

Die zähen Kokosfasern werden zur Herstellung von Seilwaren, Matten, Besen, Drainagerohrummantelungen, Autopolsterung etc. verwendet. Der Fasergewinnung geht ein Aufbereitungsprozess voran, bei dem die Kokosfrüchte in Wasser eingeweicht werden, damit sich die Fasern besser von der Kokosnuss trennen lassen. Vor der zunehmenden Verwendung von Kokosmark im europäischen Gartenbau Anfang der 1990er Jahre erfolgte das Einweichen nicht nur in Süßwasser, sondern auch in Brackwasserlagunen mit zum Teil sehr hohen Natriumchloridgehalten. Das Einweichen der Früchte (manchmal inkorrekt als ‚Mazeration‘ bezeichnet, d. h. mit Wasser oder anderen Lösungsmitteln bei 20 °C hergestellte Extrakte von Drogen oder Zellaufschlüsse, RÖMPP 1997) dauert mehrere Wochen. Es folgt das maschinelle oder manuelle Auskämmen des Marks. Die dabei gewonnenen langen Kokosfasern werden vorwiegend zu den oben genannten Produkten weiterverarbeitet. Für die Verwendung in Substraten werden sie entweder im Herkunftsland auf eine vorgegebene Länge geschnitten, verdichtet und verpackt oder zu Seilware verarbeitet, die dann der Kunde selbst maschinell auf die gewünschte Länge schneidet.

Das Kokosmark ist ein Nebenprodukt der Fasergewinnung. Es enthält prozessbedingt immer einen gewissen Anteil an kurzen Fasern (< 20 mm), der je nach Intensität der Auskämmung und Aussiebung 2 bis 20 % (v/v) ausmacht. Erhältlich sind aber auch gezielt zusammengestellte Mischungen von Fasern und Mark.

VAN DOREN (2001) beschreibt die Abfolge der kontrollierten Gewinnung der Kokosfasern und des Kokosmarks von frisch geernteten Kokosfrüchten wie folgt:

- Auskämmen: Trennung des Mesokarp-Gewebes in Kokosfasern und Kokosmark

durch Auskämmen und anschließendes Sieben.

- Alterungsprozess: Das Kokosmark wird mindestens sechs Monate gelagert. Während der Alterung werden die leichter abbaubaren Bestandteile des Kokosmarks mikrobiell abgebaut, wodurch die Strukturstabilität verbessert wird und das Risiko einer N-Immobilisierung sinkt. Betonierte Bunker als Lagerplätze vermindern Verunreinigungen z. B. durch Wildkrautsamen. (Anmerkung: Heute ist die Lagerdauer häufig kürzer.)
- Waschen: Um den Salzgehalt zu reduzieren, wird das Kokosmark mit Süßwasser gespült.
- Siebung: Vor dem Trocknen werden weitere Faseranteile abgesiebt.
- Trocknung: Das Kokosmark wird auf Betonböden unter Dach oder im Freien an der Luft getrocknet; der Feuchtigkeitsgehalt beträgt danach etwa 20 % (m/m).
- Verdichten: Nach dem Trocknen wird das Kokosmark aus Transportkostengründen zu Briketts, Blöcken oder anders geformten Presslingen unterschiedlicher Größe gepresst. Der Abnehmer muss das gepresste Kokosmark mit Wasser rekonstituieren (bewässern und auflockern), damit es zu Substrat verarbeitet werden kann.

Der Waschprozess kann als wesentlicher Teil bei der Gewinnung von Kokosfasern und -mark für gartenbauliche Zwecke betrachtet werden. Bei nicht kontrollierten Herkünften ist es möglich, dass das Kokosmark, das als Nebenprodukt in Schütthaufen vor Ort deponiert wird, einem natürlichen Rotteprozess von bis zu einigen Jahren ausgesetzt wird. Diese Art der Deponierung bei den natürlich vorherrschenden hohen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit hat erhebliche Auswirkungen auf den Grad der Verrottung. Je länger der Verrottungsprozess, desto dunkler das Kokosmark, desto höher der Feinanteil und desto niedriger die Luftkapazität. Auch die Unkrautart der Schütthaufen nimmt zu, die

Gefahr der Kontamination mit phyto- und humanpathogenen Keimen sowie Pflanzenschädlingen (z. B. Nematoden) steigt und die Homogenität des Materials ist nicht gegeben, da über Jahre hinweg immer neues Kokosmark auf den gleichen Schütthaufen deponiert wird. Somit ist die Prüfung des verwendeten Kokosmaterials vor Verwendung erforderlich. Inzwischen sind viele Kokosmark- und Kokosfaserausgangsstoffe nach den Bestimmungen der Gütegemeinschaft Substrate e. V. oder der niederländischen Stiftung R.H.P. gütegesichert.

5.1.4.2 Chemische Eigenschaften von Kokosmark und -fasern

Nach Angaben von MOREL et al. (2000) haben Kokosfasern einen Ligningehalt zwischen 35 und 70 % (m/m); der Cellulosegehalt liegt nach deren Angaben zwischen 23 und 43 % (m/m). VAN DOREN (2001) nennt für Kokosmark einen Wert von etwa 45,5 % Lignin. Das C/N-Verhältnis liegt bei etwa 1 : 100. Der hohe Ligningehalt verhindert einen raschen Abbau der organischen Substanz; die Strukturstabilität von Kokosmark und insbesondere von Kokosfasern ist daher hoch bis moderat.

Je nach Herkunft, Alterungsgrad und Aufbereitungsprozess können die chemischen und physikalischen Substrateigenschaften von Kokosmaterial stark schwanken. So weist NOGUERA (2001) darauf hin, dass die Partikelgröße, die maßgeblich vom Alterungsprozess abhängt, einen nicht unerheblichen Einfluss auf den Salzgehalt und den Gehalt an pflanzenverfügbaren Haupt- und Spurenelementen hat: Je feiner das Kokosmark, desto höher sind die gemessenen Gehalte. Zurückzuführen ist dies auf den Zersetzungs- und Mineralisierungsprozess des Materials im Schütthaufen nach der Fasergewinnung.

Kokosmark und -fasern können, bedingt durch hohe Gehalte an Kalium, Natrium und Chlorid, einen hohen Salzgehalt aufweisen. Das kann mehrere Ursachen haben. Kokospalmen wachsen häufig in Küstennähe. Standortbedingt nimmt die Kokospalme mehr oder weniger an diesen Elementen auf und speichert sie

im Mesokarp der Frucht. Wird vor dem Auskäumen zu kurz oder nicht in Süßwasser eingeweicht oder nach der Lagerung nicht gewaschen, so werden diese Salze nicht ausreichend ausgespült.

Kokosmaterial von frisch geernteten Kokosfrüchten enthält nicht näher definierte pflanzenschädliche Substanzen, weshalb empfohlen wird, einen Alterungs-/Rotteprozess von 4 bis 6 Monaten einzuhalten (VERDONCK & DE VLEESCHAUWER 1982, VAN DOREN 2001, ANDERKERK et al. 2002). Gleichzeitig wird durch den Alterungsprozess das weite C/N-Verhältnis von etwa 1 : 100 (NOGUERA 2001) dadurch eingengt.

Da Stickstoff- und Phosphatgehalt von Kokosfasern und -mark praktisch so niedrig wie bei Hochmoortorf sind, müssen bei der Substratherstellung stickstoff- und phosphathaltige Dünger zugemischt werden. Kokosmark hat

einen hohen Kaliumgehalt (s. Tabelle 34, Tabelle 35), es sei denn, das Material wurde einer Pufferung unterzogen. Dieser ist bei der Formulierung von Substraten zu berücksichtigen und der Anteil Kokosmark im Substrat dem Einsatzbereich anzupassen. Natrium- und Chloridgehalte können je nach Herkunft des Rohkokosmaterials sehr hoch sein – je nach Wuchsstandort der Palme und der Art des verwendeten Wassers zum Einweichen und Waschen. Es sind sogar bei Roh-Kokosmarkherkünften 2.000 mg/l Chlorid und mehr gemessen worden – ein deutlicher Hinweis darauf, dass das Material nicht sachgerecht aufbereitet wurde. Dort, wo Kokos der alleinige Substratausgangsstoff ist, sind die chemischen Eigenschaften umso mehr zu beachten.

Stickstoff-Immobilisierung kann bei Kokosmark unter Umständen zu Problemen führen, wenn

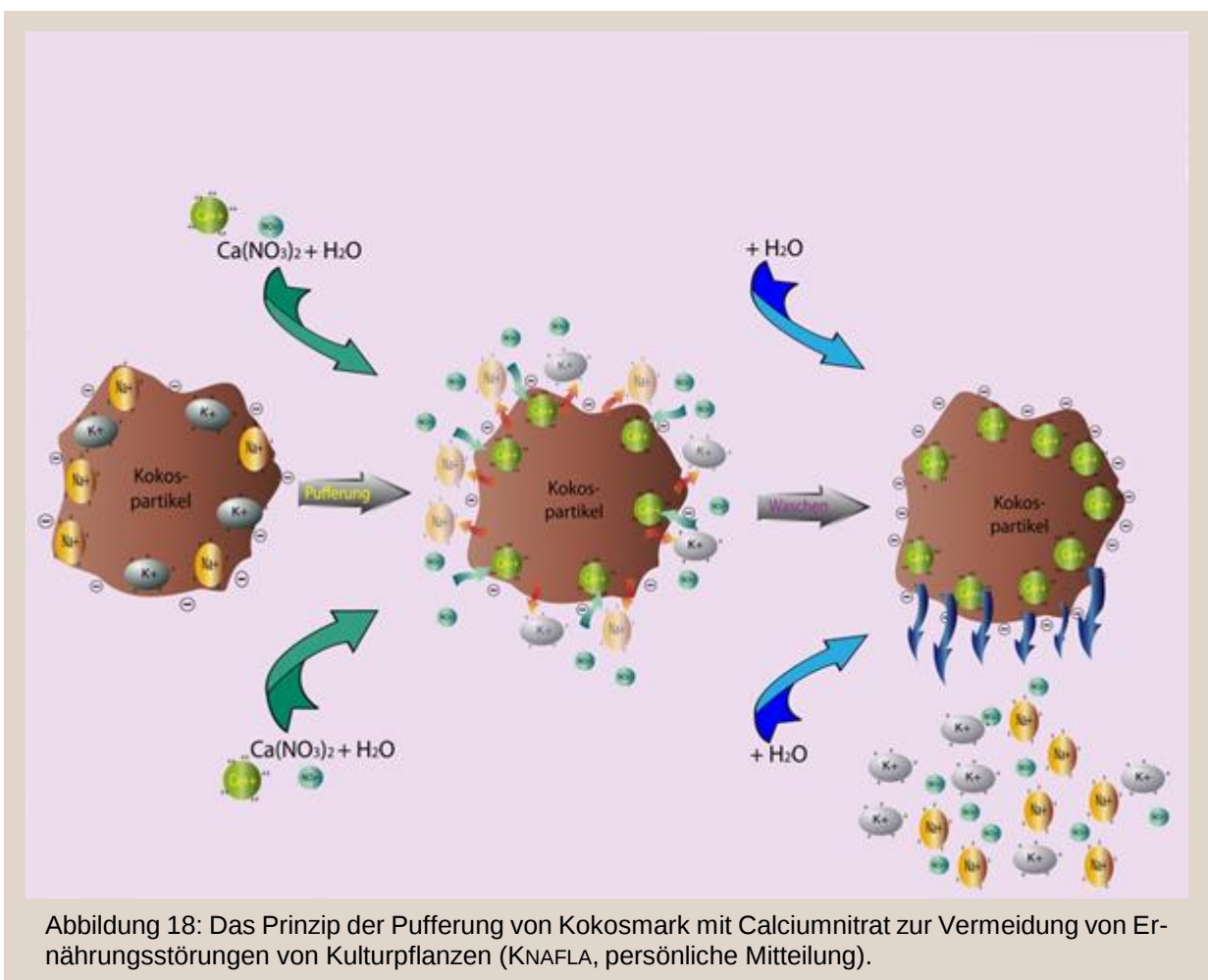


Abbildung 18: Das Prinzip der Pufferung von Kokosmark mit Calciumnitrat zur Vermeidung von Ernährungsstörungen von Kulturpflanzen (KNAFLA, persönliche Mitteilung).

Tabelle 34: Ausgewählte chemische Eigenschaften von Kokosmark unterschiedlicher Aufbereitungsstufen (EMMEL 2014).

Art der Aufbereitung des Kokosmarks	pH-Wert	Lösliche Nähr- und Ballaststoffe (mg/l)							Salz- gehalt (g/l)
	(CaCl ₂)	(CAT-löslich)				(H ₂ O-löslich)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	B	Na	Cl	
Roh-Kokosmark ohne Aufbereitung	6,1	15	59	1.560	130	0,95	712	1,93	4,04
Gewaschen mit Frischwasser	6,0	3	13	355	121	0,81	145	329	0,68
Gepuffert (Magnesiumsulfat) für Bio- anbau	5,7	3	10	230	132	0,96	135	271	0,58
Gepuffert (Calciumnitrat) konventionell	5,7	< 1	4	9	70	0,60	40	149	0,30

die N-Immobilisierung hoch ist und das Kokosmark als alleiniger Ausgangsstoff eingesetzt wird. So führen GRANTZAU et al. (1993) Immobilisierungswerte zwischen 47 und 274 mg N/l an. In Mischungen mit Hochmoortorf bis 50 % (v/v) sei eine N-Immobilisierung um 100 mg N/l vertretbar. Generell, aber insbesondere bei höherer N-Bindung, ist eine rechtzeitig angepasste Stickstoffdüngung erforderlich.

5.1.4.2.1 Pufferung von Kokosmark

In der Kultur und insbesondere bei Kapillarbewässerungssystemen, wie z. B. Ebbe-Flut-Bewässerung, kann der hohe Kalium- und Natriumgehalt zu einem unausgewogenen Nährstoffverhältnis im Wurzelraum führen, wenn lösliches Calcium und Magnesium gegen adsorbiertes Kalium und Natrium ausgetauscht werden. Dadurch wurde vielfach Calcium- und Magnesiummangel sowie Kalium- und Natriumüberschuss hervorgerufen (VERHAGEN 1999). Um dieses Kulturrisiko zu minimieren, verwenden Substrathersteller vielfach Kokosmark, dem bei der Aufbereitung ein Ca- oder Mg-Salz zugesetzt wurde. Dadurch werden Kalium und Natrium vom Austauschverdrängt, so dass sie nicht mehr unkontrolliert während der Kultur abgegeben werden. Bei Sättigung des Austauscherkomplexes spricht man von gepuffertem Kokosmark (Abbildung 18). Für den konventionellen Anbau wird für die Pufferung Calciumnitrat und für den Bioanbau Magnesiumsulfat eingesetzt. EMMEL (2014) führt wesentliche chemische Eigenschaften von Kokosmark nach verschiedenen Aufbereitungsprozessen auf (Tabelle 34). Der-

selbe Autor weist darauf hin, dass die hohen Borgehalte von Kokosmark zu Borüberschuss-symptomen bei empfindlichen Kulturen wie Poinsettien führen können.

Der pH-Wert von Kokosfasern und -mark liegt meist zwischen 5,0 und 6,0 (CaCl₂), je nach Herkunft und Aufbereitungsprozess. Entsprechend ist dies bei der Aufkalkung des Substrats zu beachten.

5.1.4.3 Physikalische Eigenschaften von Kokosmark und -fasern

Kokosausgangsstoffe werden fast ausschließlich als gepresste Briketts (z. B. 20 x 10 x 5 cm) oder in Blockform (z. B. 30 x 30 x 15 cm) geliefert. Sowohl der Substrathersteller wie auch der Hobbygärtner, dem solche Presslinge auch angeboten werden, müssen das Material rekonstituieren, d. h. mit Wasser benetzen und auflockern, bevor es eingesetzt wird. Trotz des niedrigen Feuchtigkeitsgehaltes der Presslinge von ca. 15 bis 20 % (m/m) nimmt Kokosmark Wasser sehr schnell auf. Sogar wasserfreies Kokosmark [$W_m = 0$ % (m/m)] nimmt Wasser vorzüglich auf – ein erheblicher Vorteil gegenüber ausgetrocknetem Torf. Durch dieses hygroskopische Verhalten können Kokosmark oder -fasern in Mischungen mit Torf dessen Benetzungswiderstand nach starker Austrocknung herabsetzen, die Kapillarität des Substrats verbessern und eine gleichmäßigere Wasserverteilung im Substrat bewirken. Da insbesondere die Verwendung von Kokosmark bei der industriellen Substratproduktion in den letzten Jahren zugenommen

Tabelle 35: Güte- und Prüfbestimmungen für Kokosprodukte (Kokosmark, -fasern und Kokos Chips) als Substratausgangsstoffe — Güteermkmale mit Prüfmethode und Wertebereiche nach RAL-GZ 250/5-4 (RAL 2015).

Gütemerkmale		Prüfmethode	Wertebereiche	
			Mischkomponente für Substrate	
			max. 100 Vol.-%	max. 50 Vol.-%
1 Physikalische Eigenschaften				
1.1	Partikelgröße/Faserlänge (mm)	Siebung; Methode in Erarbeitung	Vereinbarungssache; 10 % Abweichung von der definierten Körnung	
1.2	Rohdichte (g/l)	standardisiertes Einrütteln (VDLUFA-Methode A 13.2.1 bzw. 13.2.2 mit großem Zylinder)	wird analysiert	
2 Chemische Eigenschaften				
2.1	pH-Wert	m/100 CaCl ₂ -Suspension (VDLUFA-Methode A.5.1.1)	< 6,5	
2.2	Salzgehalt (g/l); alternativ: elektrische Leitfähigkeit (µS/cm)	Leitfähigkeitsmessung im Wasserauszug, Berechnung als KCL (VDLUFA-Schnellmethode 1:5 v/v H ₂ O)	≤ 0,5	< 1,0
2.3 Lösliche Hauptnährstoffe (mg/l)				
2.3.1	Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N)	0,0125 mol/l CaCl ₂ -Extrakt (VDLUFA-Methode 6.1.3.2) oder CAT-Auszug (VDLUFA-Methode A 13.1.1)	< 50	< 50
2.3.2	Phosphor (P ₂ O ₅)	CAL-Extrakt (VDLUFA-Methode 6.1.1.1) oder CAT-Extrakt (VDLUFA-Methode A 13.1.1)	< 50	< 50
2.3.3	Kalium (K ₂ O)		< 400	< 800
2.3.4	Magnesium (Mg)		--	
2.4	Natrium (Na)	Wasserauszug (VDLUFA-Methode A 13.4.1)	< 75	< 150
2.5	Chlorid (Cl)		< 150	< 300
2.6 Schwermetalle (Gesamtgehalte in mg/kg Trockenmasse)				
2.6.1	Arsen (As)	Königswasser-Aufschluss VDLUFA-Methode A 2.4.3.1	≤ 40	
2.6.2	Blei (Pb)		≤ 150	
2.6.3	Cadmium (Cd)		≤ 1,5	
2.6.4	Chrom (Cr)		≤ 300	
2.6.5	Nickel (Ni)		≤ 80	
2.6.6	Quecksilber (Hg)		≤ 1	
2.6.7	Thallium (Tl)		≤ 1	
2.7	Insektizidrückstände	Rückstandsmonitoring 360 Wirkstoffe (Methode § 64 LFGB L00.113-115)	keine	
3 Biologische Eigenschaften				
3.1	Unkraut	Keimung in 2 cm dicker Schicht bei mind. 18 °C über 6 Wochen (VDLUFA-Methode A 13.5.2)	max. 1 Samen bzw. austriebsfähiges Pflanzenteil je Liter	
3.2	Wachstumshemmende Stoffe	Keimpflanzentest mit Chinakohl gemäß Methode GGS; zu untersuchen ist eine Mischung aus 50 % Kokosfasern und 50 % aufgedüngtem und aufgekalktem Torf. Kokosmark wird zu 100 % eingesetzt.	nach Keimpflanzentest frei von pflanzenschädigenden Stoffen	
3.3	N-Immobilisierung (mg N/l)	Brutversuch nach Zöttl (VDLUFA-Methode A 13.5.1)	Δ N ≤ 50	Δ N ≤ 100
3.4	Phytopathogene Nematoden	Nasssiebmethode	keine	
3.5 Humanpathogene Keime				
3.5.1	Salmonellen	DIN 38414 Teil 13	keine	
3.5.2	<i>E. coli</i>	DIN 38411 Teil 6	< 1.000 KBE/g*	
4 Weitere Anforderungen				
4.1	Fremdstoffe	optische Prüfung	keine artfremden Stoffe	
4.2	Fremdgerüche	sensorische Prüfung	frei	
4.3	Staubanteil < 1 mm	Siebung (trocken)	< 2 Gew.-%	

* KBE/g = koloniebildene Einheiten je Gramm

hat, bieten verschiedene Hersteller Kokosmühlen zum Zerkleinern der trockenen Presslinge und Blöcke an.

Dabei wird entweder vor oder nach dem Mahlgang die erforderliche Wassermenge zugegeben. Je nach Grad der Zersetzung des Kokosmarks liegt der Anteil an organischer Substanz bei 85 bis 95 % (m/m). (Anmerkung: Erfolgt die Trocknung des Kokosmarks im Ursprungsland auf nicht befestigten Flächen, so kann es zu einer Verunreinigung des Kokosmarks kommen, wodurch der Anteil an organischer Substanz reduziert wird.) Das Gesamtporenvolumen (P_s), ermittelt nach DIN EN 13041, ist mit 85 bis 95 % (v/v) sehr hoch (Tabelle 8). Wasserkapazität (W_v) und Luftkapazität (A_v) liegen je nach Aufbereitungszustand mit 60 bis 70 bzw. 15 bis 35 % (v/v) in Bereichen von schwach bis mäßig zersetztem Hochmoortorf. Der Schrumpfungswert kann zwischen 15 und 25 % schwanken und ist somit torfähnlich. Ein signifikanter Einfluss der Partikelgrößenverteilung auf die Wasser- und Luftkapazität wurde von NOGUERA (2001) festgestellt: Je größer das Korn, desto höher die Luftkapazität, desto niedriger die Wasserkapazität und desto geringer das leicht verfügbare Wasser. Solche Beobachtungen wurden vielfach auch bei anderen Substratausgangsstoffen wie Hochmoortorf gemacht. Folglich ließen sich für Kokosmark bestimmte Werte für W_v und A_v durch gezielte Fraktionierung einstellen, allerdings ist die Korngrößenverteilung von Kokosmark grundsätzlich auf recht feine Partikel beschränkt.

PRASAD (1997) stellt eine mäßige Sackung von Kokossubstraten fest, die zwar nicht so stark ist wie bei Holzfasern, aber deutlich stärker als bei Hochmoortorf. Er äußert daher Bedenken gegen die Verwendung von Kokossubstraten für Langzeitkulturen. In der Praxis haben sich diese Bedenken beispielsweise bei der Sackkultur von Rosen oder Erdbeeren nicht bestätigt.

5.1.4.4 Biologische Eigenschaften von Kokosmark und -fasern

Erste Lieferungen von Kokosmark nach Europa Ende der 1980er Jahre waren zum Teil hochgradig mit tropischen Wildkräutern verunreinigt; das ist heute die Ausnahme. Die Kokosfrüchte sind frei von bodenbürtigen Krankheitserregern. Lange und offen gelagertes Kokosmaterial war jedoch einer möglichen Verunreinigung durch pilzliche und bakterielle Keime (z. B. *E. coli* und Salmonellen) sowie Zuflug von Wildkrautsamen ausgesetzt. Dies war der Grund, warum in den 1980er Jahren Methylbromid-Behandlungen vor dem Export durchgeführt wurden. Aufgrund der strengeren Qualitätskontrollen in den Herkunftsländern und des Anwendungsverbots von Methylbromid sind heutige Lieferungen nicht mit Methylbromid belastet.

Wie andere organische Ausgangsstoffe werden auch Kokossubstrate von saprophytisch lebenden Pilzen befallen. *Leucocoprinus*-Arten scheinen dabei häufiger vorzukommen.

5.1.4.5 Verwendung von Kokosmark und -fasern

Kokosmark ist bereits bei vielen Substratherstellern ein etablierter Substratausgangsstoff für die Verwendung in Topf-, Gemüse-, Stauden- oder Baumschulsubstraten. Der Einsatz in Pflanzbeuteln (Grow Bags) mit 100 % Kokos ist in manchen Einsatzbereichen praxisüblich und steht in Konkurrenz zu Mineralwolle-Matten oder Pflanzbeuteln mit Torfsubstrat. Bei der Kultur in Pflanzbeuteln mit 100 % Kokos wird entweder bereits vom Hersteller gewaschenes und gepuffertes Kokosmaterial verwendet oder Pufferung und Waschen erfolgen im Betrieb mit Calciumnitrat-Gaben über die Tröpfchenbewässerung und anschließendes Durchspülen mit reinem Wasser. Kokosfasern haben nicht den erdähnlichen Charakter wie Kokosmark, weshalb ihre Substratverwendung nicht so vielseitig ist wie die von Kokosmark. Kokos-Chips werden für die Kultur

von Grünpflanzen oder luftbedürftigen Topfpflanzen wie z. B. Orchideen oder Bromelien eingesetzt.

Kokosfasern wie auch Kokosmark haben sich bei Einhaltung vor allem der chemischen Qualitätsrichtwerte als sehr gut zu verwendende Substratausgangsstoffe bewährt. Ihre sehr gute Wiederbenetzbarkeit, die extrem hohe Luftkapazität und niedrige Wasserkapazität der Fasern, aber auch die recht ausgewogene Luft-/Wasserführung des Kokosmarks erlauben eine gezielte Verwendung in allen Bereichen der Substratherstellung. Kokosmark kommt den Eigenschaften von Torf sehr nahe und wird in Zukunft trotz seines höheren Preises einen wachsenden Markt finden.

5.1.5 Rindenumus

Gemäß RAL-GZ 250 (RAL 2015) ist Rindenumus fermentierte, zerkleinerte und fraktionierte Rinde mit oder ohne Nährstoffzusätze. Rindenumus wird als Substratausgangsstoff und Bodenverbesserungsmittel eingesetzt. Im Gegensatz dazu ist Rindenmulch nicht fermentierte, abgelagerte, zerkleinerte und fraktionierte Rinde ohne Zusätze. Rindenmulch dient nur als Mulchmaterial und ist als Ausgangsstoff für Substrate ungeeignet.

5.1.5.1 Herstellung von Rindenumus

Nadelholzrinde ist die in der Regel verwendete Rohrinde für die Produktion von Rindenumus. Die Gewöhnliche Fichte (*Picea abies*) und die Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) stellen in Deutschland den größten Anteil dieser Rohrinde. Wurde Baumrinde noch bis Anfang der 1990er Jahre als Abfallprodukt der Holzverarbeitenden Industrie bezeichnet, so ist Rinde heute ein wertvoller sekundärer Rohstoff, der sowohl (hauptsächlich) energetisch wie (nachrangig) stofflich verwertet wird. Das Schälrinaufkommen in Deutschland beträgt einige Millionen Kubikmeter, wobei aufgrund des Preisdrucks nur ein geringer Teil stofflich zu Rindenumus verarbeitet wird.

Laut RAL-GZ-250-Definition (RAL 2015) ist Fermentierung ein Synonym für Kompostierung und bezeichnet mikrobiologisch-biochemische Verfahren, die a) zum Abbau wachstumshemmender Inhaltsstoffe und b) zur Stabilisierung der Stickstoffdynamik führen. ZÖTTL (1988) macht dagegen einen Unterschied zwischen Fermentation und Kompostierung und begründet ihn damit, dass beim Rotteprozess der Rinde kein großer Massechwund (wie bei der Kompostierung von Grüngut) vorkommt. Somit wären Fermentation und Kompostierung keine Synonyme. Wichtig ist, dass die zu Mieten aufgeschichtete Rinde ausreichend feucht gehalten und mehrmals umgesetzt wird, um optimale Bedingungen für die die organische Substanz zersetzenden Pilze, Bakterien, Actinomyceten und anderen Organismen zu haben. Zudem muss

sichergestellt sein, dass ausreichend hohe Temperaturen für die Hygienisierung der Rinde erreicht werden.

Warum Rohrinde fermentiert (kompostiert) werden muss:

- **Wachstumshemmende Stoffe.** Naturgegeben enthalten Rinden Harze, Gerbstoffe, Wachse, Tannine und Phenole, die den lebenden Baum vor Schaderregern schützen. Im Rindenmulch unterdrücken diese Stoffe das Auflaufen von Wildkräutern. Im Substrat können sie zu Wuchsdepressionen führen. Durch den Fermentationsprozess werden diese unerwünschten Stoffe mikrobiell ab- oder umgebaut und stellen dann kein Kulturrisiko mehr dar.
- **Stickstoff-Immobilisierung.** ZÖTTL (1988) nennt Stickstoff das Problemelement der Rinde, da diese extrem arm an pflanzenverfügbarem Stickstoff ist, dieser vollständig organisch gebunden ist und nur sehr schwer mikrobiell verfügbar ist. Auch ist der Stickstoff mikrobiell nur sehr schwer verfügbar, obwohl das C/N-Verhältnis der Rinde bei 60 bis 100 : 1 liegt. Daher erfolgt der Abbau nur langsam. Grundsätzlich hat Rinde aber eine latent hohe mikrobielle Aktivität. Beschleunigt werden kann der mikrobielle Ab- und Umbau der organischen Substanz durch Zugabe von Mineralstickstoffdünger (meistens 1 bis 2 kg/m³ in Form von Harnstoff) als Nahrungsquelle für Mikroorganismen. Erst wenn das C/N-Verhältnis auf < 45 sinkt, kann davon ausgegangen werden, dass nur noch wenig Stickstoff durch den Rindenhumusanteil im Substrat gebunden wird (ZÖTTL 1988). Von einer N-Stabilisierung wird ausgegangen, wenn gemäß VDLUFA-Methode ein Wert von $\Delta N \leq 120$ vorliegt. Nicht N-stabilsierter Rindenhumus kann infolge von N-Mangel zu Wuchsdepressionen der Kulturpflanzen führen.

5.1.5.2 Eigenschaften von Rindenhumus

Durch die Fermentierung der Rohrinde werden nicht nur wachstumshemmende Toxine abgebaut und der N-Haushalt stabilisiert, es werden auch andere chemische sowie physikalische Eigenschaften verbessert. Wesentliche Eigenschaften sind in Tabelle 8 aufgeführt. Tabelle 36 zeigt sowohl die Güte- und Prüfbestimmungen als auch die festgelegten Wertebereiche der entsprechenden Parameter gemäß RAL-GZ 250 (RAL 2015) für Rindenhumus auf.

5.1.5.2.1 Chemische Eigenschaften

Schon MEINKEN & SCHARPF (1988a) weisen auf die hohen Gehalte an verfügbarem Kalium in Baumrinden hin. So können manchmal Gehalte von 800 mg K₂O /l (CAL) und mehr in Rindenhumus vorkommen. Bei der Substratherstellung ist auch der Gehalt an Stickstoff und Phosphat mit jeweils bis zu 400 mg/l (CAL) zu berücksichtigen. Die Nährstoff- und pH-Pufferung von Rindenhumus ist gut.

Die Spurennährstoffgehalte von Rindenhumus können sehr hoch sein. Insbesondere der Spurennährstoff Mangan, dessen Gehalt durchaus 250 mg/l und mehr betragen kann, ist zu beachten. So kann es nach MEINKEN & SCHARPF (1988b) zu induziertem Eisenmangel und entsprechenden Symptomen an Pflanzen durch erhöhte Manganaufnahme kommen, wenn der Rindenhumusanteil im Substrat zu hoch ist. Eine pH-Einstellung auf 6,0 (CaCl₂) und die Vermeidung einer starken pH-Absenkung während der Kultur können der Mn-Aufnahme entgegenwirken.

Als Folge des Fermentierungsprozesses hat Rindenhumus gegenüber Rohrinde eine höhere Pufferungskapazität, was durch die Zunahme des Anteils an Huminstoffen bedingt ist. Auch die Zunahme der Dunkelfärbung von der Rohrinde zum Rindenhumus wird durch die Steigerung des Huminstoffgehaltes verursacht.

Tabelle 36: Güte- und Prüfbestimmungen für Rindenhumus als Substratausgangsstoff – Wertebereiche und Prüfmethode gemäß RAL-GZ 250 (RAL 2015).

Gütemerkmale		Prüfmethode	Wertebereiche
1	Physikalische Eigenschaften		
1.1	Körnung (mm)	Siebung gemäß Methodenbeschreibung GGS	≤ 20 Der Hersteller deklariert innerhalb der zulässigen Spanne den für das jeweilige Produkt gültigen Bereich, dessen Einhaltung im Rahmen der Gütesicherung überprüft wird. Hierbei beträgt der zulässige Anteil Überkorn ≤ 10 Vol.-%.
1.2	Artfremde Stoffe	visuelle Beurteilung	keine
1.3	Rohdichte _{feucht} (g/l)	VDLUFA-Methode A 13.2.1 bzw. A 13.2.2	wird analysiert
1.4	Rohdichte _{trocken} (g/l)		
1.5	Trockenmasse (Gew.-%)	VDLUFA-Methode A 2.1.1	
2	Chemische Eigenschaften		
2.1	pH-Wert	CaCl ₂ -Suspension (VDLUFA-Methode A.5.1.1)	5,0 bis 7,0 ¹⁾
2.2	Salzgehalt (g/l)	Leitfähigkeitsmessung im Wasserauszug (Berechnung als KCL) (VDLUFA-Methode A 13.4.1)	≤ 1,5
2.3	Hauptnährstoffe, Gesamtgehalte (% Trockenmasse)		
2.3.1	Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N)	KJELDAHL-Analyse VDLUFA-Methode A 2.2.1 oder A 2.2.3; Elementaranalyse DIN EN 13654-2	wird analysiert
2.3.2	Phosphor (P ₂ O ₅)	Königswasser-Aufschluss (VDLUFA-Methode A 2.4.3.1)	
2.3.3	Kalium (K ₂ O)		
2.3.4	Magnesium (Mg)		
2.4	Lösliche Hauptnährstoffe (mg/l)		
2.4.1	Stickstoff (NH ₄ -N+NO ₃ -N)	0,0125 mol/l CaCl ₂ -Extrakt (VDLUFA-Methode 6.1.3.2) oder CAT-Auszug (VDLUFA-Methode A 13.1.1)	≤ 400
2.4.2	Phosphor (P ₂ O ₅)	CAL-Extrakt (VDLUFA-Methode 6.1.1.1) oder CAT-Extrakt (VDLUFA-Methode A 13.1.1)	≤ 150 (CAT) ≤ 400 (CAL)
2.4.3	Kalium (K ₂ O)		≤ 600 (CAT) ≤ 800 (CAL)
2.5	Schwermetallgehalte (Gesamtgehalte in mg/kg Trockenmasse)		
2.5.1	Arsen (As)	Königswasser-Aufschluss VDLUFA-Methode A 2.4.3.1	≤ 40
2.5.2	Blei (Pb)		≤ 150
2.5.3	Cadmium (Cd)		≤ 2,5
2.5.4	Chrom (Cr)		≤ 300
2.5.5	Nickel (Ni)		≤ 80
2.5.6	Quecksilber (Hg)		≤ 1
2.5.7	Thallium (Tl)		≤ 1
2.6	Organische Substanz (% TM)	Veraschen der getrockneten und gemahlten Probe bei 550 °C (VDLUFA-Methode A 15.2)	wird analysiert
3	Biologische Eigenschaften		
3.1	N-Stabilisierung (mg N/l)	Brutversuch bei 25 °C, Analyse auf NH ₄ -N und NO ₃ -N nach 0, 7 und 14 Tagen (VDLUFA-Methode A 13.5)	Δ N ≤ 120
3.2	Wachstumshemmende Stoffe	Keimpflanzentest gemäß Methodenbeschreibung GGS	frei von wachstumshemmenden Stoffen
3.3	Unkrautbesatz	Keimung in 2 cm dicker Schicht bei mind. 18 °C über 3 Wochen (VDLUFA-Methode A 13.5.2)	max. 1 keimender Samen oder austreibendes Pflanzenteil je Liter Rindenhumus
3.3	Humanpathogene Keime	DIN 38414, Teil 15	keine Salmonellen nachweisbar
3.3	Quarantäne Schädlinge (z. B. Nematoden)	Die staatliche Überprüfung ist bei der Fremdprobe vorzulegen.	nicht nachweisbar

¹⁾ Niedrigere pH-Werte sind in Absprache mit dem Güteausschuss dem Kunden mitzuteilen.

5.1.5.2 Physikalische Eigenschaften

Rindenumus hat einen niedrigen Anteil Feinporen, der Anteil an Grob- und Mittelporen ist entsprechend höher. Seine Luftkapazität liegt je nach Dauer der Fermentierung und Fraktionierung meistens zwischen 20 und 35 % (v/v), die Wasserkapazität in der Regel zwischen 45 und 55 % (v/v). Die Luftkapazität ist umso höher, je gröber die Fraktion ist. Der Schrumpfungswert ist geringer als bei Torf, vergleichbar mit Kokosmark, aber höher als bei Pinienrinde oder Reisspelzen.

5.1.5.3 Verwendung

Die hohen Nährstoffgehalte von Rindenumus schränken seine anteilige Verwendung in Substraten ein; zwangsläufig dient meistens Torf als Verdünnungskomponente. Als ‚Rindenkultursubstrate‘ bezeichnete Produkte müssen mindestens 50 % (v/v) Rindenumus enthalten, wenn das Substrat aus zwei Ausgangsstoffen besteht. Wurde es aus mehr als zwei Ausgangsstoffen hergestellt, muss der Rindenumusanteil mindestens ein Drittel sein, wobei Rindenumus unter den Einzelausgangsstoffen den größten Anteil stellen muss (RAL 2001, Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzenbau e. V. ohne Jahresangabe).

In Baumschulkulturen und salzverträglichen Zierpflanzenkulturen kann der Rindenumusanteil 50 % (v/v) und mehr betragen. Je höher der Rindenumusanteil im Substrat, desto kürzer sind die Gießintervalle zu setzen. Um einer möglichen N-Immobilisierung entgegenzuwirken, sollte N-betont gedüngt werden. Je nach Topf-/Containergröße und Kulturdauer wird Rindenumus in verschiedenen Partikelgrößenfraktionen (meist 0-10 mm oder 0-20 mm) eingesetzt.

5.1.6 Pinienrinde

Pinienrinde wird zum einen als Mulchmaterial im Hausgarten oder Garten- und Landschaftsbau eingesetzt, zu anderem ist sie ein Substratausgangsstoff, der insbesondere in Orchideenkulturen und anderen Kulturen, die eine hohe Luftkapazität im Wurzelraum benötigen, eingesetzt wird. Aus der Pinienrinde der Strandkiefer werden auch medizinische Produkte hergestellt (SCHÜTT et al. 2002). Die Rinde hat eine rotbraune bis weinrote Farbe und ist sehr hart.

5.1.6.1 Herkunft und Aufbereitung

In Deutschland verwendete Pinienrinde stammt von der im westlichen Mittelmeerraum beheimateten Strandkiefer (*Pinus pinaster*). Hauptlieferländer sind Frankreich und Portugal sowie Spanien. Die Pinienrinde wird vom Baumstamm geschält. Da die Pinienrinde plattig am Baum sitzt, fällt die Rinde stückig an und wird nur in verschiedene Partikelgrößen fraktioniert. Eine Partikelgröße von 5 bis 15 mm ist für die Substratverwendung typisch. Größere, teilweise auch feinere Fraktionen werden meistens als dekoratives Mulchmaterial eingesetzt.

Im Gegensatz zu einheimischer Rinde, die für die Aufbereitung zu Rindenumus einen Fermentierungsprozess durchlaufen muss (s. Kap. 5.1.6.1), kann Pinienrinde ohne weitere Behandlung als Substratausgangsstoff eingesetzt werden. Begründet wird dies durch den sehr langsamen mikrobiellen Abbau der Rinde, wodurch Pinienrinde ihre hohe Langlebigkeit im Substrat behält (AMBERGER-OCHSENBAUER 2009, FISCHER 2010).

5.1.6.2 Physikalische und chemische Eigenschaften, Verwendung

In Tabelle 8 sind die physikalischen Eigenschaften von Pinienrinde (5 bis 15 mm Partikelgröße) gelistet. Die Wasserkapazität ist aufgrund der Beschaffenheit der Pinienrinde (hart, ohne nennenswerten inneren Poren-

raum) extrem niedrig. Dafür ist die Luftkapazität bedingt durch den hohen Grobporenanteil sehr hoch, was der Verwendung bei Kulturen mit luftbedürftigen Wurzeln sehr entgegenkommt. Pinienrinde ist für die Orchideenkultur der wichtigste Substratausgangsstoff, entweder als 100%iger Bestandteil des Substrats oder in Mischung mit Torf, Holzfaserstoffen, Torfmoosen oder anderen Ausgangsstoffen.

Pinienrinde hat nur sehr niedrige Gehalte an löslichem Stickstoff und Phosphat. Auch die Kaliumgehalte sind sehr moderat, was dem niedrigen Nährstoffbedürfnis von Orchideen entgegenkommt (Tabelle 37). Die Beimischung anderer Ausgangsstoffe mit höherem pH-Wert oder der Zusatz von grobem Kalk können je nach Pflanzenkultur nötig sein.

Tabelle 37: Eigenschaften von Pinienrinde (AMBERGER-OCHSENBAUER 2008).

pH (CaCl ₂)	Salzgehalt (H ₂ O) g/l	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		(CAT) mg/l		
3,9-4,3	0,03-0,25	1-9	0-11	41-167

5.1.7 Reisspelzen

In den tropischen, subtropischen und mediterranen Anbaugebieten von Reis (*Oryza sativa*) fallen Reisspelzen in großen Mengen als Nebenprodukt der Rohreisaufbereitung an. In Deutschland eingesetzte Reisspelzen kommen meist aus der italienischen Po-Ebene.

5.1.7.1 Aufbereitung von Reisspelzen

Nur die Verwendung von Reisspelzen, die von Reis stammen, der nach dem Parboiled-Verfahren gewonnen wird, gewährleistet, dass die Spelzen steril aufbereitet und somit frei von keimfähigen Reiskörnern und Unkrautsamen sind. Nach der Reisernte werden im Parboiled-Verfahren die noch bespelzten Reiskörner gedroschen, wassergesättigt und durch Boiler mit 150 °C heißem Dampf geleitet. Anschließend werden die Körner bei hoher Temperatur getrocknet. Nach einer Abkühlphase werden die Reiskörner geschält, d. h., es erfolgt die Trennung von Korn und Spelze (ANONYM 1990). Nicht nach dem Parboiled-Verfahren aufbereiteter Reis ist nicht hygienisiert. Dessen Spelzen eignen sich nicht als Substratausgangsstoff.

5.1.7.2 Chemische Eigenschaften von Reisspelzen

Reis gehört wie die anderen Getreidearten botanisch zu der Familie der Gräser. Die Blätter und Spelzen der Reispflanze enthalten viel Silicium (SiO₂) (RÖMPP 1999). Die Gerüstsubstanz der Reispflanze enthält nach GÖTZ (1987) 5,8 % SiO₂ und fördert die Halmstabilität von Gramineae und deren Standfestigkeit. Der hohe Siliciumgehalt soll auch für die Strukturstabilität der Reisspelze im Boden oder Substrat verantwortlich sein. Nach PAETZKE (1988) dauert der Abbau von Reisspelzen im Substrat mehrere Jahre.

Chemisch betrachtet sind Reisspelzen ein fast idealer Substratausgangsstoff. Lediglich der Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium, der durchaus Größenordnungen von 400 mg/l (CAL) erreichen kann, muss bei der Aufdün-

gung berücksichtigt werden. Alle anderen Nährstoffe können in den gleichen Mengen wie bei Torfsubstraten zugegeben werden.

Obwohl der recht hohe Mangangehalt von etwa 5 bis 10 mg/l den Pflanzenbedarf an Mangan deckt, können ohne dessen Berücksichtigung für die Substratgrunddüngung übliche Mehrnährstoffdünger eingesetzt werden.

Reisspelzen haben ein sehr weites C/N-Verhältnis, das nach Angaben von GÖTZ (1987) bei 98 : 1 bzw. nach HANDREK & BLACK (1999) bei 140 : 1 liegt. Demzufolge müssten Reisspelzen in der Kultur Stickstoff immobilisieren – eine Vermutung, die nach GRANTZAU (1986), der keine nennenswerte Stickstoff-Immobilisierung in Brutversuchen nach Zöttl feststellen konnte, nicht zutrifft. Die Vermutung liegt nahe, dass der langsame Abbau der organischen Substanz mit dem Siliciumgehalt der Reisspelzen zusammenhängt.

Der pH-Wert von Reisspelzen liegt im schwach sauren Bereich; eine Aufkalkung des Anteils Reisspelzen im Substrat ist deshalb nicht erforderlich.

5.1.7.3 Physikalische Eigenschaften von Reisspelzen

Durch den oben erwähnten Trocknungsvorgang sind Reisspelzen bei Anlieferung lufttrocken [$W_m = 10\text{--}20\text{ \% (m/m)}$], was das homogene Mischen mit anderen, feuchteren Ausgangsstoffen wie Torf leicht macht.

Bei Betrachtung der physikalischen Eigenschaften von Reisspelzen (Tabelle 8) fällt die niedrige Roh- bzw. Schüttdichte und die hohe Luftkapazität von 78 bis 84 % (v/v) auf. Sowohl das geringe Gewicht wie auch die extrem hohe Luftkapazität sind auf die gekrümmte strukturgebende Form der Reisspelze zurückzuführen. Das Gesamtporenvolumen setzt sich fast ausschließlich aus Grobporen zusammen. Das wiederum bedingt eine recht niedrige Wasserkapazität [$W_m = 12\text{--}15\text{ \% (m/m)}$]. Hiervon kann abgeleitet werden, dass Reisspelzen prädestiniert sind, die Luftführung und Drainage anderer Ausgangsstoffe, z. B. von stark zersetztem

Hochmoortorf, zu verbessern. Andererseits wird man aufgrund der geringen Wasserkapazität nie Reisspelzenanteile von über 50 % (v/v) ins Substrat einbringen. Aus physikalischer Betrachtung sind Anteile von 20 bis 30 % (v/v) bei Zierpflanzen- oder Containerkulturen problemlos.

Der nach DIN EN 13041 ermittelte Schrumpfungswert von Reisspelzen liegt deutlich niedriger als bei Hochmoortorf und hat mit 4 bis 8 % etwa die gleiche vorteilhafte Größenordnung wie der von Holzfaserstoffen.

5.1.7.4 Verwendung von Reisspelzen

Generell eignen sich Reisspelzen als Substratausgangsstoff. Im Zierpflanzenbau sind Mischungen aus Hochmoortorf und Reisspelzen für Ebbe-Flut-Systeme, Rinnenbewässerung oder Anstauverfahren gut geeignet. SCHMILEWSKI & HÄRIG (1994) berichten von guten Wuchsergebnissen mit Reisspelzenanteilen von 15 bis 20 % (v/v) zu Torf bei Rhododendron. Nach GRANTZAU (1989) können Mischungen auf Torfbasis mit 20 bis 30 % (v/v) Reisspelzen als Container- und Moorbeetpflanzensubstrat Verwendung finden. Von guten Kulturerfolgen berichtet GÖTZ (1987) bei Poinsettien mit bis zu 30 % (v/v) Reisspelzen, gemischt mit mindestens 45 % Torf und 25 % Rindenhumus, und bei der Kultur von Anthurien, Azaleen, Bromelien, Lewisia und Orchideen. KÄMPF & JUNG (1991) berichten über gute Erfolge mit verschiedenen Mischungen mit Reisspelzen bei der Kultur von *Lobularia*, *Tagetes*, *Viola* und Tomate in Brasilien.

In manchen Ländern werden auch kompostierte oder mit Hammermühlen gemahlene Reisspelzen angeboten (HANDRECK & BLACK 1999). Durch die Kompostierung erhofft man sich den Abbau pflanzenschädigender Stoffe (SCHMIDTJANS & SCHENK 1991). Durch die Vermahlung wird die Wasserkapazität von Reisspelzen verbessert bei gleichzeitiger Reduzierung der Luftkapazität. Ein Phänomen, das bisher nicht befriedigend geklärt wurde, ist die Wuchsbeeinträchtigung bestimmter Pflanzenarten bei Zumischung von Reisspelzen. Berichten aus

der Praxis, denen zufolge Saintpaulien Schäden durch Substrate mit Reisspelzen erlitten, folgten Exaktversuche mit dem Ziel, die Schadensursache zu ergründen. SCHMIDTJANS & SCHENK (1991) demonstrierten bei Elatior-Begonien ein mit zunehmendem Volumenanteil an Reisspelzen (20 und 40 %) im Torfsubstrat deutlich vermindertes Sprosswachstum (jedoch ohne Schadsymptome) und ein gehemmtes Längenwachstum der Wurzeln bei gleichzeitiger Förderung der Wurzelverzweigung. Zudem waren die Wurzelspitzen verdickt. Teilweise wuchsen die Wurzeln dem Geotropismus entgegengesetzt nach oben. Auch bei Saintpaulien bestätigten die Autoren das bereits in der Praxis beobachtete deutlich verminderte Wurzel- und Sprosswachstum mit Interkostalchlorosen an den Blatträndern. Die Autoren vermuten, dass aus den Pelzen freigesetzte organische Hemmstoffe, z. B. phenolische Verbindungen, für die beobachteten Schäden verantwortlich sind. Bereits GUENZI et al. (1967) berichten von Phenolen, die beim Abbau von Stroh und Pelzen nachgewiesen wurden. Da, wie oben erwähnt, Reisspelzen nur langsam abgebaut werden, ist die „Phenolhypothese“ nur nachvollziehbar, wenn solche Verbindungen innerhalb von mehreren Wochen freigesetzt werden. Ob dies so ist oder andere Stoffe für die wiederholt beobachteten Schäden verantwortlich sind, ist nicht ausreichend geklärt. Substrathersteller empfehlen aus genannten Gründen, Substrate mit Reisspelzen für Gesneriaceen wie Saintpaulien sowie Elatior-Begonien nicht zu verwenden.

5.1.8 Xylit (Braunkohlefaserholz, Faserxylit)

Laut RÖMPP (1999) ist ‚Xylit‘ zum einen Synonym für Lignit und zum anderen ein Synonym für 2,4,6-Trinitro-*m*-xylol, das ein Explosivstoff ist. Um Verwechslungen zu vermeiden, sollte man den Begriff ‚Faserxylit‘ oder ‚Xylitfasern‘ (s. Kap. 5.1.9.1) verwenden. Lignit ist eine „geologisch junge Braunkohlenart (Weichbraunkohle) aus einer erdigen Grundmasse, die oft holzige Elemente enthält (lateinisch: lignum = Holz)“ (RÖMPP 1997). In der gartenbaulichen Literatur wie auch im Substratbereich hat sich allerdings Xylit als Bezeichnung für diesen Substratausgangsstoff durchgesetzt, weshalb auch in diesem Buch der Begriff ‚Xylit‘ (griechisch: xylon = Holz) verwendet wird. Xylit wird auch als Braunkohlenxylit bezeichnet. Xylit ist somit eine Einzelstufe im Jahrmlionen dauernden Inkohlungsprozess (Kohleentstehung). Im Verlauf dieses Prozesses werden aus Pflanzenmaterial Huminsäuren und Torf (s. Kap. 5.1.1.2), die dann zu Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit und Graphit inkohlen können. Xylit ist nicht vollständig inkohlt.

5.1.8.1 Gewinnung von Faserxylit

Faserxylit wird als Nebenprodukt im Braunkohleletagebau gewonnen. Die jungtertiären (3,6 bis 23 Millionen Jahre alten) Lausitzer Braunkohlen enthalten hohe Anteile an Faserxylit, der intensiv mit der Kohlegrundmasse verwachsen ist. Aber auch in der Braunkohle aus dem rheinischen Braunkohlerevier sind gewisse Anteile an Faserxylit zu finden. NAUNDORF (2001) führt weiter aus, dass mit einer speziellen Zerkleinerungs-/Klassifizierungstechnologie der Faserxylit von der Kohlegrundmasse abgetrennt wird, wodurch er nahezu kohlefrei wird. Seine holzige Struktur ist fast immer zu erkennen; seine Farbe ist dunkelbraun bis fast schwarz.

Tabelle 38: Wesentliche physikalische Eigenschaften von Xylit (nach HORTICON 2014).

Eigenschaft	Methode	Einheit	Faserxylit		
			0-5mm	0-15 mm	5-15 mm
Org. Substanz W_{om}	EN 13039	% (m/m)	87-95		
Rohdichte _{trocken} D_{BD}	EN 13041	g/l	280-360	280-340	200-300
Gesamtporenvolumen P_s	EN 13041 ¹⁾	% (v/v)	79	80	86
Wasserkapazität W_v			50-65	45-60	35-50
Wasserkapazität ²⁾		g/100 g TR	170-190	150-180	180-220
Luftkapazität A_v		% (v/v)	20	27	42
Schrumpfungswert		%	15-20	12-16	14-18

¹⁾ Ermittelt bei einer Saugspannung von pF 1.

²⁾ Die Berechnung der Wasserkapazität in g/100 g Trockenrückstand erfolgte auf Basis der nach DIN EN 13041 ermittelten Werte.

5.1.8.2 Eigenschaften von Faserxylit

Weder die Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V. noch die Regelung Handels Potgronden (RHP) haben festgelegte Gütekriterien für Xylit. Hingegen hat die Fa. Horticon an der Weiterentwicklung von Xylitfasern als Substratausgangsstoff gearbeitet und Datenblätter für verschiedene Xylitprodukte veröffentlicht. Einige wichtige Kenngrößen sind nachstehend wiedergegeben. Die meisten Eigenschaften von Xylit lassen die Vermutung zu, dass er sich als Substratausgangsstoff eignet.

5.1.8.2.1 Physikalische Eigenschaften

Nach NAUNDORF et al. (2002) befindet sich das Gesamtporenvolumen zwischen den Fasern. Die Schüttdichte des Rohfaserxylits beträgt 50 bis 100 kg/m³ (Bestimmungsmethode nicht genannt). Je nach Typ (grob- oder feinstängelig) und Feinheit kann die Schüttdichte des

Xylits durch Zerkleinerung in der Mühle auf 150 bis 240 kg/m³ erhöht werden (s. Tabelle 38). Xylit soll stark hygroskopisch mit hoher Wasserkapazität sein (SCHRÖDER et al. 2005).

Xylit enthält keine Fremdstoffe wie Glas, Kunststoff, Metall oder Steine.

5.1.8.2.2 Chemische Eigenschaften

Der pH von Faserxylit liegt in einem Bereich, der meist nur eine geringe oder keine pH-Anhebung des Faserxylitanteils im Substrat erfordert (Tabelle 39). Die Gehalte an Stickstoff, Phosphat und Kalium liegen so niedrig wie bei Hochmoortorf. Die Gehalte der Schwermetalle Blei (Pb), Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg) und Thallium (Ti) liegen deutlich unter den Grenzwerten der Düngemittelverordnung von 2012. Auch die Gehalte an Chrom, Kupfer und Zink, die nicht von der DüMV erfasst sind, sind unbedenklich.

Tabelle 39: Wesentliche chemische Eigenschaften von Xylit (HORTICON 2014).

Eigenschaft	Methode	Einheit	Xylit		
			0-5mm	0-15 mm	5-15 mm
Chemische Eigenschaften					
pH-Wert	VDLUFA	CaCl ₂	5,5-6,0	5,0-5,9	5,1-5,8
Salzgehalt (H ₂ O) Normbereich ¹⁾		g KCl/l	0,3-1,0	0,2-0,9	0,1-1,0
N	EN 13651 (CAT)	mg/l	0-25	5-30	5-15
P ₂ O ₅			5-15	5-20	5-15
K ₂ O			20-60	20-45	10-35
Mg			150-350	200-350	50-200
SO ₄	VDLUFA (CaCl ₂)		100-150	100-300	70-400
Cl	VDLUFA (H ₂ O)		5-60	0-70	30-100
Na			90-250	80-250	50-300
C/N-Verhältnis			70-150	100-150	120-200
N-Bindung (Brutversuch)	Zöttl	mg N/l	< 100	< 150	< 100

¹⁾ Salzgehalte (in Wasser) schwanken zwischen 0,5 und 1,5 g/l.

5.1.8.2.3 Biologische Eigenschaften

SCHRÖDER et al. (2005) beschreiben Faserxylit als stark elastisch und fest. Seine hohe Resistenz gegenüber biologischem Abbau begründen die Autoren damit, dass Faserxylit hauptsächlich aus dem Lignin und den (kristallinen) Cellulosen des ursprünglichen Pflanzenmaterials entstanden ist. Alle leicht abbaubaren Stoffgruppen sind im Verlauf des Inkohlungsprozesses, vor allem in der Torfbildungsphase, abgebaut worden. Ferner enthält Faserxylit Gerbstoffe, Harze und Wachse der ursprünglichen Pflanzen, die den Abbau verhindern. Daher ist trotz des weiten C/N-Verhältnisses von 70 bis 200 die N-Immobilisierung von Faserxylit nur mäßig. Aufgrund seiner Entstehung ist Faserxylit frei von Unkraut und austriebsfähigen Pflanzenteilen und wenig belebt.

5.1.8.3 Verwendung von Faserxylit

Bei Faserxylit mit einer N-Immobilisierung < 100 wird ein maximaler Volumenanteil im Substrat oder der Blumenerde von 40 % empfohlen. Bei Werten < 150 sollte der maximale Volumenanteil 30 % nicht überschreiten.

Die Verwendung von Xylitfasern ist nicht sehr geläufig, obwohl verschiedene Autoren dessen Verwendung als Substratausgangsstoff sehr positiv darstellen. BRAGG (1998) sieht die Verwendung von Xylit als Ersatz für Bims oder andere mineralische Stoffe. KNAFLA (2005) hebt hervor, dass sich torffreie Produkte in Kombination mit Kompost, Rindenumus und Holzfasern gut realisieren lassen. SCHRÖDER et al. (2005) berichten von guten Kulturergebnissen bei der Xylitverwendung in Baumschulsubstraten bei 20 verschiedenen Sträucher- und Koniferenarten. Allerdings werden solche Produkte und Torf-/Xylitmischungen eher im Hobbybereich angeboten. Nach Versuchen mit Primeln berichten KOCH & DEGEN (2006) von leichter N-Immobilisierung durch die Xylitbeimischung, was zu kompakterem Pflanzenaufbau führte. Bei 25 % Volumenanteil Xylit war die Feinwurzelbildung intensiver. LOHR & MEINKEN (2007) bescheinigen Xylit einen problemlosen Einsatz als Substratkom-

ponente in Balkonkastensubstraten. ROTH-KLEYER (2008) hebt vor allem die Schadstofffreiheit von Xylit als Ausgangsstoff für Dachsubstrate hervor.

Möglicherweise liegt die relativ geringe Verwendung von aufbereitetem Xylit in der mangelnden heimischen Verfügbarkeit des Rohmaterials Braunkohlefaserxylit, der nur anteilig in der Braunkohle vorkommt.

5.1.9 Flachsschäben

Lein (*Linum usitatissimum*) wird im allgemeinen Sprachgebrauch auch Flachs genannt. Flachs gehört wie Hanf, Jute, Sunn, Kenaf, Urena, Rosella und Ramie zu den Bastfasern (DIN 60001-1, 2001).

Flachsschäben bestehen aus dem sekundären Holz des Flachsstängels und fallen bei der Fasergewinnung an. Flachs wird in maritimen Gebieten angebaut. Die in Deutschland für Kultursubstrate verwendeten Flachsschäben stammen meistens aus Schleswig-Holstein, Belgien oder Nordfrankreich.

5.1.9.1 Gewinnung von Flachsschäben

Zur Verarbeitung werden die Pflanzen mit den Wurzeln kurz vor der Samenreife ausgerissen und auf dem Feld für ca. 5 bis 8 Wochen getrocknet. Durch sogenanntes Riffeln werden die Blätter, Seitenäste und Früchte beseitigt. (Leinöl wird aus den Leinsamen gewonnen.) Danach erfolgt das sogenannte Taurösten (Auflösung der mikrobiell leicht abbaubaren Substanzen wie Pektine und hemicellulosehaltigen Substanzen durch Mikroorganismen) der Flachsstängel in Verbindung mit Regen, Tau und Sonneneinwirkung zu Röststroh. Anschließend werden die Pflanzen durch mechanisches Brechen, Schwingen und Hecheln vom holzigen Abfall und Flachswerg (wirre oder kurze Fasern) befreit (RÖMPP 1997). Beim für die Flachsfasergewinnung wichtigen Schwingen werden die Fasern aus dem Röststroh herausgearbeitet, wobei der Flachsstängel mit seinem verholzten Teil in kleine Stücke, die sogenannten Schäben, gebrochen wird. Die Schäben werden in der Schwinganlage

ausgeschlagen, wobei man die Flachsrohfasern gewinnt. Etwa 50 % des Flachsstrohs sind verholzt. Der Anteil der Flachsschäben als Nebenprodukt ist demnach relativ groß. Flachsschäben haben eine Länge von ca. 6 bis 15 mm und eine Breite von ca. 1 mm. Vor dem Einsatz als Substratausgangsstoff werden Flachsschäben gedämpft, um eventuell enthaltene Unkraut- und Leinsamen sicher abzutöten (SCHACHT & HÖRMANDIGER 1993).

5.1.9.2 Eigenschaften von Flachsschäben

5.1.9.2.1 Chemische Eigenschaften

Flachsschäben haben einen für die meisten Substrate günstigen pH-Wert (CaCl_2) von 5,0 bis 6,5. Der Schäbenanteil im Substrat muss bei der Aufkalkung somit nicht berücksichtigt werden. Der Salzgehalt der Schäben liegt niedrig zwischen 0,1 und 0,3 g/l und resultiert vor allem aus dem Kaliumgehalt, der bis zu 400 mg/l (CAL) betragen kann (Tabelle 40). Lösliches Phosphat ist mit rund 80 mg/l recht niedrig vorhanden. Extrem niedrig ist der Gehalt an pflanzenverfügbarem Stickstoff mit etwa 5 mg/l.

Flachsschäben neigen aufgrund ihres weiten C/N-Verhältnisses dazu, Stickstoff in der Kultur zu binden. Allerdings wurde die in Brutversuchen nach Zöttl ermittelte Stickstoff-Immobilisierung der Flachsschäben in Pflanzenversuchen mit Kultursubstraten mit bis zu 40 % (v/v) Flachsschäben nicht immer bestätigt (GRANTZAU & TER HELL (1993).

GRAF & KREß (1996a) führen Ergebnisse eines Bebrütungstests an, von denen sie ableiten, dass in den ersten beiden Wochen mit einer

Tabelle 40: Chemische Eigenschaften von Flachsschäben, ermittelt nach VDLUFA-Methoden (TEMMING, unveröffentlicht).

Eigenschaft	Methode	Einheit	Wertebereich
pH-Wert	CaCl_2		5,0-6,5
Salzgehalt	H_2O	g/l	0,1-0,3
N	CaCl_2	mg/l	0-20
$\text{NO}_3\text{-N}$			0-20
$\text{NH}_4\text{-N}$			0-20
P_2O_5	CAL		40-120
K_2O			150-400

N-Immobilisierung von 5 bis 10 % zu rechnen ist und eine weitere Zunahme der Festlegung zu erwarten ist. Daher ist es zur Vermeidung von Stickstoffengpässen in der Kultur empfehlenswert, Anteile von 20 % (v/v) Flachsschäben im Substrat nicht zu überschreiten und zum Stickstoffausgleich neben dem Mehrnährstoffdünger einen Stickstoff-Langzeitdünger einzumischen. In Pflanzenversuchen von GRANTZAU & ter Hell (1993) mit *Impatiens* führte die Beimischung von Flachsschäben zu Substraten auf Torfbasis zu einer verbesserten pH-Pufferung. So sanken die pH-Werte bei Substraten mit Flachsschäbenanteil im Verlauf der Kultur weniger stark ab als im reinen Torfsubstrat.

5.1.9.2.2 Physikalische Eigenschaften

Die wesentlichen physikalischen Eigenschaften von Flachsschäben enthält Tabelle 8. Flachsschäben zeichnen sich durch eine sehr geringe Rohdichte aus. Da sie hierdurch im Produktionswerk leicht durch Wind weggeweht werden können, werden sie im Substratwerk vor der Verwendung häufig mit schwereren Substratausgangsstoffen wie z. B. Hochmoortorf vorgemischt. Flachsschäben weisen ein sehr hohes Gesamtporenvolumen mit einer mäßigen Wasserkapazität um 15 % (v/v) und einer sehr hohen Luftkapazität um 70 % (v/v) auf. Dies hängt in erster Linie mit der lockeren Struktur und dem hohen Grobporenanteil der Flachsschäben zusammen. Durch die starre Wachsschicht der Schäben wird zudem wirkungsvoll verhindert, dass Wasser in die Schäben eindringen kann. Der hohe Wachsanteil von 1,5 bis 3 % ist eine Besonderheit der Flachsschäben, die als Ursache für ihre vergleichsweise gute Strukturstabilität angesehen wird (GRANTZAU & TER HEL 1993).

5.1.9.3 Verwendung von Flachsschäben

Bislang haben Flachsschäben als Substratausgangsstoff eine nur geringe Bedeutung erlangt. Die oben beschriebenen Eigenschaften von Flachsschäben erlauben ihre Anwendung in Anteilen von bis zu 20 % (v/v) als

Mischkomponente für Substrate für Freilandkulturen in Stauden- oder Baumschulbetrieben, da hier drämfähige und strukturstabile Kultursubstrate gefordert werden.

Sie eignen sich aber auch als Ausgangsstoff für Zierpflanzensubstrate. So führten GRANTZAU & TER HEL (1993) Versuche mit Flachsschäben in Substraten bei *Impatiens* durch und empfehlen, den Anteil auf maximal 20 % (v/v) zu begrenzen. In Versuchen mit Topfgerbera an der Forschungsanstalt für Gartenbau in Weißenstephan wurden auch bei sehr hohem Flachsschäbenanteil im Substrat bis 50 % (v/v) keine negativen Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum festgestellt. Allerdings muss dann aufgrund der hohen Stickstoff-Immobilisierung der Flachsschäben während der gesamten Kulturdauer auf eine stets ausreichende Stickstoffversorgung der Pflanzen geachtet werden (JAUCH 2009a). Neue Einsatzbereiche haben sich in den letzten Jahren auch im Bereiche der Biosubstrate ergeben, wo sie beispielsweise als Torfersatzstoff für Substrate für Topfkräuter wie z. B. Basilikum eingesetzt werden. Hier ist dann auf einen Stickstoffausgleich mit organischen Stickstoffdüngern zu achten.

Flachsschäben sind im Vergleich zu anderen Ausgangsstoffen wie Torf, Kompost, Holzfasern oder Kokosmark unbedeutend. Wie bei anderen nachwachsenden Rohstoffen hängt eine Zunahme der Verwendung von allen in Kap. 4 besprochenen Kriterien ab. Zu berücksichtigen ist hierbei auch, dass dieser Reststoff auch anderen Einsatzbereichen wie der Brikettierung zu Brennstoff, dem Einstreu oder der Herstellung von Spanplatten oder Dämmstoffen zugeführt wird (GRAF & KREß 1996b). Es besteht keine gartenbauliche Gütesicherung für Flachsschäben.

5.1.10 Torfmoos (*Sphagnum*)

Torfmoose (Gattung *Sphagnum*) sind die Haupttorfbildner in Hochmooren (s. Kap. 5.1.1.5.1). Die Gattung ist nach MICHAELIS (2011) in die nachfolgenden 13 Sektionen unterteilt. In Klammern dahinter sind Arten aufgeführt, die in Literaturquellen mit Bezug auf ihre gartenbauliche Verwendung bzw. ihre Kultivierung für gartenbauliche Zwecke stehen.

- Sericea
- Lapasensis
- *Sphagnum* (*S. imbricatum*, *S. magellanicum*, *S. palustre*, *S. papillosum*)
- Rigida
- Insulosa
- Acutifolia (*S. capillifolium*, *S. fimbriatum*, *S. fuscum*)
- Squarrosa
- Polyclada
- Subsecunda
- Isocladus
- Hemitheca
- Cuspidata (*S. cuspidata*, *S. fallax*)
- Mollusca

Nach MICHAELIS (2011) enthalten diese Sektionen 286 Torfmoosarten, die weltweit in verschiedenen Regionen vorkommen. Nur etwa 40 Arten davon kommen in Deutschland vor und nur ein Teil davon ist für die früher weitläufigen Moorlandschaften (vor allem Norddeutschlands) verantwortlich. Heute stehen in Deutschland alle natürlichen und naturnahen Moore unter Naturschutz. Ganz spezifisch stehen laut Anlage 1 zur Bundesartenschutzverordnung alle heimischen Torfmoosarten unter Naturschutz, was ihre Entnahme verbietet. Allerdings hat der Gartenbau schon vor Jahrzehnten erkannt, dass sich neben dem Torf auch Torfmoos als Substratausgangsstoff für die Kultur von Pflanzen eignet.

5.1.10.1 Import von getrockneten Torfmoosen

Da ihre Entnahme aus Naturschutzgebieten in Deutschland nicht erlaubt ist (Ausnahmegenehmigungen sind eventuell möglich), müssen Torfmoose bislang importiert werden. Importe aus Chile oder Neuseeland sind die bekanntesten. Die Torfmoose werden im Herkunftsland lebenden Mooren in der Regel von Hand entnommen, an der Luft und von der Sonne getrocknet, verpackt und verschifft. Bei den aus Chile kommenden Torfmoosen handelt es sich überwiegend um *S. magellanicum* – ein sogenanntes großblättriges Torfmoos mit außergewöhnlich hoher Wasserkapazität (s. Tabelle 8). In Finnland wurden Versuche zur maschinellen Ernte von Torfmoosen in lebenden Mooren durchgeführt (REINIKAINEN et al. 2012).

Lieferformen sind üblicherweise Großballen oder Kleinballen mit gepresstem Torfmoos. Das Torfmoos wird in verschiedenen Längen angeboten, wobei es entweder seine ursprüngliche Länge wie nach der Ernte hat oder maschinell gekürzt wurde. Unterschiedliche Längen sind erforderlich, um den verschiedenen Ansprüchen der Kultur und der Topfgröße gerecht zu werden. Gepresst erhältlich sind auch Torfmoosplättchen (3 x 2 x 0,5 cm), die nach Wasserzugabe aufquellen. Die Plättchen werden z. B. für die Kultur von in vitro vermehrten Orchideen benutzt. Auch größere (z. B. 10 x 10 x 2 cm) quellfähige Einheiten sind erhältlich.

Derzeit wird die Kultivierung von Torfmoosen für gartenbauliche Zwecke intensiv diskutiert. Diese wird in Kapitel 13 angesprochen.

5.1.10.2 Eigenschaften von Torfmoosen

Nur die Stiftung Regeling Handels Potgronden (RHP) hat für einige chemische und biologische Parameter festgelegte Güte- und Prüfbestimmungen für getrocknetes Torfmoos. Auf einzelne Vorgaben wird unten eingegangen.

Tabelle 41: Wesentliche physikalische und chemische Eigenschaften eines großblättrigen Torfmooses (INSTITUT FÜR TORF- UND HUMUSFORSCHUNG GMBH, unveröffentlicht).

Eigenschaft	Methode	Einheit	Torfmoos (<i>S. magellanicum</i>) ¹⁾	
			Nicht geschreddert (5-10 cm lange Stämmchenstücke)	Geschreddert (5-10 mm)
Physikalische Eigenschaften				
Feuchtigkeitsgehalt (W_m) bei Anlieferung	EN 13040	% (m/m)	17	17
Org. Substanz (W_{om})	EN 13039	% (m/m)	98	98
Rohdichte _{trocken} (D_{BD})	EN 13041	g/l	20	24
Gesamtporenvolumen (P_S)	EN 13041 ¹⁾	% (v/v)	99	99
Wasserkapazität (W_V) ²⁾			41	46
Wasserkapazität ³⁾		g/100 g TR	2.050	1.935
Luftkapazität (A_V)		% (v/v)	58	53
Schrumpfungswert (S)		%	0	2
Schüttdichte	EN 12580	g/l	17	35
Laborschüttdichte	EN 13040	g/l	28	35
Chemische Eigenschaften				
pH-Wert	VDLUFA- Methoden	CaCl ₂	3,3-3,5	
Elektrische Leitfähigkeit		µS/cm	30-40	
Salzgehalt		g KCl/l	0,250-0,350	
N (CaCl ₂)		mg/l	5-10	
P ₂ O ₅ (CAL)			5-15	
K ₂ O (CAL)			50-90	
Ca (Formiat)			20-40	
Mg (CaCl ₂)			20-30	

¹⁾ Torfmoos für den Gartenbau enthält in der Regel gewisse Anteile an Zwergsträuchern, Binsen und krautigen Pflanzen, die abgestorben oder austriebsfähig sein können, wenn der Ausgangsstoff nicht hygienisiert wurde.

²⁾ Ermittelt bei einer Saugspannung von pF 1.

³⁾ Die Berechnung der Wasserkapazität in g/100 g Trockenrückstand erfolgte auf Basis der nach DIN EN 13041 ermittelten Werte.

5.1.10.2.1 Physikalische Eigenschaften

Importiertes Torfmoos ist lufttrocken, d. h., sein Feuchtigkeitsgehalt liegt bei 15 bis 18 % (m/m). Je nach Torfmoosart und Aufbereitung kann Torfmoos eine extrem hohe Wasserkapazität haben, die die aller anderen Ausgangsstoffe übertrifft (Tabelle 41, Tabelle 8). Besonders großblättrige Arten wie *S. magellanicum* sind hier zu nennen, die aufgrund ihrer Zellenstruktur viel Wasser und Luft speichern können. So kann dieses Torfmoos je 100 g Trockenrückstand ca. 2.000 g Wasser speichern.

Für die organische Substanz legt die RHP in ihren Gütekriterien einen Gehalt von > 90 % fest, der üblicherweise aber deutlich höher liegt.

5.1.10.2.2 Chemische Eigenschaften

Die Nährstoffgehalte sind durch die Wachstumsbedingungen des Torfmooses sehr niedrig und ähnlich denen von Weißtorf (s. Tabelle 41; Kap. 5.1.1.5.1). Da praktisch alle notwendigen pflanzenverfügbaren Haupt- und Spurenelemente fehlen, ist eine Aufdüngung des Anteils an Torfmoos im Substrat unerlässlich. Ebenso ist der Zusatz von Kalk erforderlich, um den pH-Wert einzustellen. Torfmoos ist nach chemischen Kriterien beurteilt ein unbelasteter Substratausgangsstoff. Dennoch verlangt die R.H.P., dass die elektrische Leitfähigkeit (EC) < 0,6 mS/cm (1 : 1,5 Suspension) ist. Für Schwermetalle liegen RHP-Grenzwerte in mg/kg Trockenmasse vor:

Zn < 73, Pb < 65, Cr < 50, Cu < 24, Ni < 10, As < 5, Cd < 0,72 und Hg < 0,23.

5.1.10.2.3 Biologische Eigenschaften

Da Torfmooslieferungen aus lebenden Mooren stammen, können sie mit anderen moortypischen Pflanzen oder Wildkräutern kontaminiert sein. Diese Unkräuter stellen ein gartenbauliches Problem in der Pflanzenkultur dar. Auch bestimmte saprophytische Pilzarten wurden in importierten wie auch heimischen Torfmoosen festgestellt. In der Vergangenheit waren manche Lieferungen erheblich kontaminiert. Daher fordert die RHP, dass Torfmoos als Substrat Ausgangsstoff hygienisiert werden muss. Die Hygienisierung muss durch Gammabestrahlung oder ein anderes (vom technischen Ausschuss der RHP genehmigtes) Verfahren erfolgen und durch Nachweis der Abtötung des Tomatenmosaikvirus und von Samen einer Kulturpflanze (z. B. Tomate, die dem Torfmoos vor der Behandlung zugesetzt wurden) nachgewiesen werden. Die Dämpfung des Torfmooses ist eine solche Alternative. Es ist für Unkräuter und Nematoden eine Nulltoleranz festgelegt.

BØRSHEIM et al. (2001) weist darauf hin, dass Torfmoose eine antibakterielle und wundheilende Wirkung haben. Diese Wirkung ist wahrscheinlich auf das in Sphagnum vorhandene Sphagnum zurückzuführen, ein pektinähnliches Polysaccharid, das in den Hyalinzellen der Torfmoose vorkommt. Ob die Suppressivität von schwach zersetztem Hochmoortorf auf manche Schadorganismen auf Sphagnum zurückzuführen ist, ist unklar (s. Kap. 4.5.3).

5.1.10.3 Verwendung von Torfmoos

Da Torfmoose in lebenden Mooren bzw. bei der Torfmooskultivierung immer die oberste Vegetationsschicht bilden, sind sie immer dem Zuflug von Wildkrautsamen und dem Bewuchs von Wildkräutern ausgesetzt. Im Verlauf des Verrotungsprozesses (s. Kap. 5.1.1.1) sterben Samen und Pflanzen ab. Das ist bei frisch geernteter Torfmoosbiomasse nicht gegeben. Vorausgesetzt, es besteht keine Verunreinigung mit Unkräutern, ist Torfmoos für viele Substratbereiche gut geeignet. Entsprechend dem jeweiligen Einsatzgebiet muss es fraktio-

niert/geschreddert werden. Vor allem kann die Wasserkapazität eines Substrats durch Zugabe von Torfmoos verbessert werden. So wird Torfmoos in unterschiedlichen Fraktionen manchen Orchideensubstraten auf Rindenbasis zugemischt. Auch im Zierpflanzenbau kann Torfmoos erfolgreich eingesetzt werden (EMMEL 2008). REINIKAINEN et al. (2012) berichten von erfolgreichen Versuchen, sowohl Weißtorf als auch Mineralwolle-Platten bei der Kultur von Tomaten und Gurken zu ersetzen, und von der gelungenen Anzucht von Kopfsalatjungpflanzen. BLIEVERNICH et al. (2012) berichten von der erfolgreichen Verwendung von Torfmoosen bei Weihnachtssternen und anderen Zierpflanzen bei einem Anteil von bis zu 75 % (v/v) Torfmoos. UEBER & GAUDIG (2014) berichten über den Torfmooseinsatz bei Azar-Kulturen und unterstreichen die gute Verwendbarkeit als Substratbestandteil.

Aufgrund der hohen Kosten und ihrer eingeschränkten Verfügbarkeit werden Torfmoose nicht in großer Menge eingesetzt. JOBIN et al. (2005) heben hervor, dass in Kanada Torfmooskultivierungsversuche zwecks Ersatz von Bläherlit und mäßig zersetztem (H5) Hochmoortorf – der als qualitativ minderwertig bezeichnet wird – durchgeführt wurden. AUBÉ et al. (2015) führen aus, dass in Kanada Substratversuche mit *Sphagnum* als Ersatz für Bläherlit und Blähervermiculit durchgeführt wurden. Ziel ist es, eine Alternative zu diesen importierten mineralischen Stoffen zu bekommen.

5.1.11 Weitere organische Ausgangsstoffe in der Diskussion

5.1.11.1 Hanfschäben

Hanf (*Cannabis sativa*) dient der Gewinnung von Hanffasern, die in einem maschinellen Verfahren durch Entholzung des Pflanzenstängels (Dekortikation) gewonnen werden. Sie sind ein Nebenprodukt der Hanffasergewinnung. Hanffasern werden in Deutschland hauptsächlich in der Automobilindustrie zur Verkleidung von Armaturen und Türen benötigt. Auch werden daraus Seile, Textilien sowie Dämm- und Isolierstoffe hergestellt. Somit ist der Hanfanbau weitgehend von diesen Industrien abhängig. Hanfschäben werden vor allem als Einstreu bei der Tierhaltung sowie als Brennstoff oder Bau- und Dämmstoff eingesetzt. Im Jahr 2004 fielen in der EU etwa 5.000 Tonnen Hanfschäben an, in der EU knapp 47.000 Tonnen (CARUS et al. 2008).

HESCH et al. (1996) erklären den Aufbau und die Gewinnung von Hanfschäben wie folgt: „Die Sprossachse des Hanfes besteht von außen nach innen gesehen aus Rinde, Bastgewebe sowie den darin enthaltenen Bastfasern und dem Holzgewebe. Um die Bastfaser zu gewinnen, wird das Hanfstroh entholt. Dabei wird das Holzgewebe gebrochen. Die dabei entstehenden Bruchstücke, die in der Regel wenige Zentimeter lang sind, werden Schäben genannt.“

5.1.11.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Hanfschäben ähneln denen von Flachsschäben sehr (s. Tabelle 8). In Versuchen (unveröffentlicht) hat sich gezeigt, dass Hanfschäben im Substrat zu Verpilzungen neigen und eine hohe N-Bindung aufweisen. Dafür verantwortlich ist höchstwahrscheinlich der hohe Gehalt an leicht abbaubaren Verbindungen (34,5 % Cellulose und 17,8 % Hemicellulose). Der Gehalt an Lignin liegt bei 20,8 %; übrige Stoffe machen 18,1 % aus (HESCH et al. 1996). Soweit bekannt ist, wer-

den Hanfschäben nicht in Fertigsubstraten verarbeitet. Hanfschäben stehen zudem nicht in nennenswerten Mengen zur Verfügung.

5.1.11.2 Pflanzenkohlen (Biokohlen) und Hydrokohlen

In der Natur dauern Verkohlungsprozesse (Inkohlungsprozesse) Jahrtausende bis Jahrmillionen. Durch technische Verkohlungsprozesse (Pyrolyse, hydrothermale Karbonisierung) wird die natürliche Verkohlung praktisch innerhalb von Stunden nachgeahmt. Auch Holzkohle (z. B. Grillkohle) ist eine Pflanzenkohle, sie wird aber ausschließlich aus Holz hergestellt und danach benannt. Nach Meyer-Kohlstock (ANONYM 2014) werden weltweit Millionen von Tonnen Holzkohle produziert, jedoch werden nur 827 Tonnen Pflanzenkohle für das Produktionsjahr 2013 genannt.

5.1.11.2.1 Pflanzenkohlen

Pflanzenkohlen – auch Biokohlen genannt – werden gemäß den Richtlinien des Europäischen Pflanzenkohle Zertifikats (EBC 2012) durch Biomasse-Pyrolyse hergestellt. In den Richtlinien ist eine Positivliste zulässiger Biomassen zur Herstellung von Pflanzenkohlen aufgeführt. Holz, holzige Reststoffe und andere pflanzliche Reststoffe wie Grüngut, Stroh, Rinde, Gärreste, Oliventrester, Weintrester, Reisspelzen, Kleie, Kerne und Obstgehäuse werden darin gelistet. Laut EBC (2012) ist Biomasse-Pyrolyse die thermochemische Zersetzung organischer Stoffe bei stark reduziertem Sauerstoffgehalt von unter 2 % und bei Temperaturen zwischen 350 °C und 1.000 °C. Entsprechend dieser Richtlinie sind Torrefaktion, hydrothermale Karbonisierung und Verkokung weitere Verkohlungsprozesse; ihre Endprodukte dürfen nach EBC-Definition aber nicht als Pflanzenkohlen bezeichnet werden. Wie von SOHI et al. (2013) beschrieben, werden bei der Biomasse-Pyrolyse Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff aus dem zu verkohlenden Material herausgetrieben, was zu einer thermochemischen Spaltung der organischen Verbindungen führt.

5.1.11.2.2 Hydrokohlen

Hydrokohlen – abgekürzt HTC-Kohlen genannt – werden durch hydrothermale Karbonisierung (wässrige Verkohlung) von Biomasse produziert, ein Verkohlungsprozess bei erhöhter Temperatur, der ein Produkt ergibt, das in seiner Zusammensetzung natürlich entstandener Braunkohle ähnlich ist (FUNKE 2012). Dabei wird das zu verkohlende Material in einem Druckbehälter unter Zugabe von Wasser bei Luftabschluss und hohem Druck (15-35 bar) einer Temperatur von 200 °C bis 250 °C ausgesetzt. Es entsteht ein Kohleschlamm, der mechanisch entwässert und dann getrocknet wird. Aufgrund des Herstellungsprozesses ähneln Hydrokohlen ihrem Inputmaterial weniger als Pflanzenkohle.

5.1.11.2.3 Eigenschaften und Verwendung von Pflanzenkohlen und Hydrokohlen

Im Jahr 2012 liefen über 500 Forschungsprojekte zur Produktion und Verwendung von Pflanzenkohlen (EBC 2012). Derzeit laufen immer noch viele Projekte dazu. Die Verwendung zur Bodenverbesserung und Bindung von Kohlenstoff (C) in landwirtschaftlichen Böden steht dabei im Vordergrund.

Die Verwendung von Pflanzen- und Hydrokohlen in Substraten wird nicht vordringlich untersucht, gewinnt aber an Interesse. SANTIAGO & SANTIAGO (1989) berichten von der Verwendung von Holzkohlesubstraten in tropischen Gebieten (Malaysia) für die Freilandkultur von Grünpflanzen, Zierpflanzen und Fruchtbäumen. FORNES et al. (2015) vertreten die Meinung, dass Pflanzen- und HTC-Kohlen das Potential haben, das Kultursubstrat der Zukunft zu werden, jedoch sei man erst am An-

fang der Entwicklungsphase mit hohem Forschungsbedarf.

Die Eigenschaften von Pflanzenkohlen werden von der Art und Partikelgröße des Inputmaterials, der Temperatur während des Verkohlungsprozesses und der Dauer der Behandlung beeinflusst (SUN et al. 2014). Eine anschließende Fraktionierung oder Vermahlung kann die Eigenschaften des Endprodukts weiter verändern. In ihrer Struktur ähnelt die erzeugte Pflanzenkohle dem Inputmaterial sehr. Farblich sind Pflanzen- und die bekannten Grillholzkohlen gleich. Pflanzenkohlen sind porös, haben einen hohen Kohlenstoffgehalt, sind durch die thermische Behandlung steril und werden mikrobiell nicht zersetzt (SOHI et al. 2013).

Obwohl die Verwendung von Pflanzenkohlen in Substraten immer wieder als mögliches Einsatzgebiet genannt wird, gibt es nur wenige Untersuchungen nach Methoden der Substratforschung. Angaben von SOHI et al. (2013) sind allgemein gehalten und ohne Wertangaben. MEINKEN (2013) hat zwei HTC-Kohlen chemisch nach Standardmethoden charakterisiert (Tabelle 42). Die gegebenen pH-Werte, Nährstoffgehalte und das C/N-Verhältnis deuten auf kein potentiell pflanzenbauliches Risiko hin; physikalische Analysewerte liegen nicht vor.

FORNES et al. (2015) ermittelten für drei Pflanzenkohlen:

- pH-Werte gemäß EN 13037 von 8,6 bis 9,7
- EC-Werte gemäß EN 13038 von 0,7 bis 9,2 dS/m (= 700 bis 9.200 µS/cm)
- org. Substanz (W_{om}) gemäß DIN EN 13039 von 73 % bis 79 % (m/m)

Tabelle 42: Chemische Eigenschaften von HTC-Kohlen (MEINKEN 2013).

HTC-Kohle aus ...	Rohdichte _{feucht} g/l	pH (CaCl ₂)	Salz (H ₂ O) g/l	N CAT mg/l	K ₂ O (CAT) mg/l	P ₂ O ₅ (CAT) mg/l	C _{org} %	C/N
verholztem Schnittgut	640	6,4	0,45	3	30	61	57,3	58 : 1
verholztem Schnitt- und Grüngut	635	5,8	0,44	3	138	91	59,6	56 : 1

Diese Werte verdeutlichen, mit welchen Unterschieden bei der Verwendung von Pflanzenkohlen zu rechnen ist.

MEINKEN (2013) weist auf unterschiedliche Literaturquellen zur Pflanzenverträglichkeit von Pflanzenkohlen hin. Demnach rufen manche HTC-Kohlen Wuchsdepressionen hervor, deren Ursachen begründet sein können durch:

- polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs)
- flüchtige Stoffe (Essig-/Ameisensäure)
- hohe Aschegehalte (Schwermetalle)
- hohe Gehalte an gelöstem C_{org}
- N-Immobilisierung

In Keimpflanzentests und trotz ausreichender N-Ausgleichsdüngung nahm das Wachstum von Chinakohl mit zunehmendem Volumenanteil der geprüften HTC-Kohlen deutlich ab. In weiteren Versuchen von LOHR & MEINKEN (2015) konnte der Stickstoffhaushalt bei einzelnen HTC-Kohlen durch eine mehrwöchige Co-Kompostierung mit einem Fertigkompost zum Teil stabilisiert und phytotoxische Substanzen abgebaut werden.

Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der kostspieligen technischen Herstellung von Pflanzenkohlen und HTC-Kohlen, der qualitativen Unzulänglichkeiten und nicht zuletzt der mangelnden Verfügbarkeit in absehbarer Zeit nicht mit einer nennenswerten Verwendung von Pflanzen- und HTC-Kohlen zu rechnen ist, obwohl bereits ganz vereinzelt Substratmischungen mit niedrigen Volumenanteilen von Pflanzenkohle vermarktet werden. Zudem eignen sich manche der Ausgangsstoffe wahrscheinlich besser in ihrer ursprünglichen Form (z. B. Reisspelzen) als durch Pyrolyse oder durch eine andere Aufbereitung (z. B. Holzhackschnitzel zu Holzfaserstoffen) hergestellte Pflanzenkohle.

Die Fragestellung einiger Forschungsprojekte war/ist, ob Pflanzenkohle helfen kann, aus Substraten freigesetzte Treibhausgase zu reduzieren (KAMMANN et al. 2010). FERNES et al.

(2015) folgern aus ihren Untersuchungen, dass alkalische Pflanzenkohle CO_2 bindet und dass Hydrokohle Stickstoff nicht immobilisiert. SOHI et al. (2013) verweisen auf die Möglichkeit, verbrauchte organische Substrate durch Verkohlung wiederzuverwenden.

5.1.11.3 Kork

Der allbekannte Kork ist ausschließlich das Produkt der Korkeiche (*Quercus suber*) und aus vielen Bereichen des täglichen Lebens bekannt. Verarbeitet wird Kork beispielsweise zu Flaschenkorken, Bodenbelägen, Pinnwänden und in Schuhen. Als Substratausgangsstoff findet er nur geringe Verwendung. Die Korkeiche kommt vor allem im mediterranen Raum vor. Den weitaus größten Teil der Weltproduktion liefert Portugal gefolgt von Spanien und anderen Mittelmeerländern.

Kork (Phellem) ist die oberflächlich zwischen Epidermis und Rinde liegende Zellschicht an Stängeln, Zweigen, Ästen und Stämmen und wird vor allem an den Stellen gebildet, wo die Epidermis und die Rinde der Umfangserweiterung beim Dickenwachstum nicht nachkommen. Die Bildung der Korkzellen geschieht durch Einlagerung von Suberin in den Zellwänden, wodurch diese für Luft und Flüssigkeiten praktisch undurchlässig werden (BRENSKY et al. 2008).

5.1.11.3.1 Korkgewinnung

Die Korkeiche bildet im Korkkambium des Baums zentimeterdicke Korkschichten. Im Alter von etwa 25 Jahren hat der Baum eine Korkschicht zwischen 2 und 25 cm; es erfolgt die erste Korkernte. Diese sogenannte Jungfernrinde ist harzreich und kommerziell kaum

verwertbar. Danach kann ca. alle 9 Jahre die harzarme Korkkruste bis zu einem Baumalter von ca. 140 Jahren geschält werden (ANONYM 2001). Die geschälte Korkschicht muss mindestens 6 Monate im Freien trocknen. Nun wird sie gedämpft, wodurch sie ihre gewölbte Form verliert. Danach findet das 6- bis 9-monatige sogenannte ‚Seasoning‘ statt, ein enzymatischer Reifeprozess, nach dem sich der Kork besser verarbeiten lässt. Anschließend wird der Kork bei fast 100 °C für eine Stunde gekocht, abgekühlt und auf einen Feuchtigkeitsgehalt von ca. 17 % (m/m) getrocknet. Durch das Dämpfen und Kochen wird der Anteil an Schadstoffen und Organismen reduziert; der Kork wird elastischer und sein Volumen nimmt um etwa 20 % zu.

5.1.11.3.2 Eigenschaften und Verwendung

Kork ist sehr elastisch und besteht ausschließlich aus abgestorbenen, von Gerbstoffderivaten bräunlich gefärbten Zellen, die hohl und daher luftgefüllt sind. Chemisch betrachtet besteht Kork aus Säuren (30-50 %), Lignin (13-18 %), Wachsen (5-15 %), Cellulose (2-5 %) und geringen Mengen an Gerbstoffen, Fetten, Mineralölsubstanzen etc. (RÖMPP 1997). Diese Inhaltsstoffe verhindern die Zersetzung des Korks beträchtlich.

Reste, die bei der Produktion von Flaschenkorken etc. anfallen, können zu Granulaten

Tabelle 43: Vergleich der physikalischen Eigenschaften (ermittelt nach DIN-EN-Methoden) eines durchfrorenen Schwarztorfes, eines Korkgranulats und einer Mischung aus 50 % (v/v) durchfrorenem Schwarztorf und 50 % (v/v) Korkgranulat (2003).

Eigenschaft	Einheit	Durchfrorener Schwarztorf 100 % (v/v)	Mischung 50 : 50 (v/v)	Korkgranulat (1-2 mm) 100 % (v/v)
Feuchtigkeitsgehalt (W_m)	% (m/m)	72	61	17
Organische Substanz (W_{om})		96	92	99
Schüttdichte (D_B)	g/l	430	275	88
Laborschüttdichte (L_D)		410	255	81
Rohdichte _{trocken} (D_{BD})	kg/m ³	160	125	79
Gesamtporenvolumen (P_S)	% (v/v)	90	92	94
Wasserkapazität (W_V)		83	51	13
Luftkapazität (A_V)		9	42	80
Wasserkapazität	g/100 g TM	530	410	177
Schrumpfung	%	40	21	5

unterschiedlicher Partikelgröße gemahlen und als Substratausgangsstoff eingesetzt werden. Einzelne Substrathersteller setzen Kork in Substraten ein. Die wesentlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften von Korkgranulat (Partikelgröße 1-2 mm) stehen in Tabelle 43.

Korkpartikel sind aufgrund ihres chemischen Aufbaus (Suberin) und ihrer geschlossenzelligen Struktur nicht fähig, Luft und Wasser aufzunehmen. Die ermittelte Wasserkapazität für das reine Korkgranulat (Tabelle 43) ist durch Haftwasser an der Oberfläche der Partikel zu erklären. Speziell bei hohen Korkanteilen im Substrat ist das mit kürzeren Gießintervallen zu berücksichtigen. Die extrem hohe Luftkapazität ist durch die zwischen den Partikeln befindliche Luft zu erklären. Korkgranulat kann ein etwas träge fließendes Schwarztorfsubstrat fließfähiger machen, seine Schüttdichte reduzieren, die Schrumpfung mindern und für eine bessere Dränwirkung sorgen. Hingegen wird die Wasserkapazität gesenkt. Somit ist die Wirkung von Korkgranulat ähnlich der von geschlossenzelligem Schaumkunststoff (Styropor®).

Alle chemischen Eigenschaften sind – wie bei allen natürlichen organischen Ausgangsstoffen – abhängig von den vorherrschenden Standort- und Wachstumsbedingungen. Der pH-Wert von Korkgranulat liegt meistens zwischen 4,1 und 4,8 (CaCl_2). Der N-Gehalt ist mit $< 10 \text{ mg/l}$ (CaCl_2) extrem niedrig. P_2O_5 -Gehalte (CAT) liegen zwischen 20 und 50 mg/l; die K_2O -Gehalte (CAT) können zwischen 70 und 300 mg/l und mehr schwanken.

Bei der (seltenen) Verwendung von Korkgranulat im Substrat sind Volumenanteile von 10 bis 20 % üblich. In Deutschland ist Kork preisbedingt keine Alternative. Wie Blähvermiculit kann Korkgranulat zum Abdecken von Aussaaten verwendet werden, um die Belastung durch Trauermücken zu mindern oder um die Unkrautkeimung in Containerkulturen zu unterdrücken.



Abbildung 19a: Wenig zersetzter Hochmoortorf (Weißtorf) © Floragard Vertriebs-GmbH



Abbildung 19b: Stark zersetzter Hochmoortorf (Schwarztorf) © Floragard Vertriebs-GmbH



Abbildung 19c: Grüngutkompost (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19d: Holzhackschnitzel (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19e: Holzfaserstoff (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19f: Kokosmark (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19g: Kokosfasern (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19h: Kokos-Chips (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19i: Rindenhumus (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19j: Pinienrinde (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19k: Reisspelzen (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19l. Faserxylit (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19m: Flachsschäben (© Floragard Vertriebs-GmbH)



Abbildung 19n: Torfmoos (getrocknet) (© Floragard Vertriebs-GmbH)

5.2 Mineralische Substratausgangsstoffe

Mengenmäßig werden mineralische Ausgangsstoffe weniger zur Herstellung von Kultursubstraten und Blumenerden verwendet als organische Ausgangsstoffe. Sie bieten nicht den erdigen Charakter organischer Stoffe und deren – allgemein betrachtet – günstige physikalische und chemische Eigenschaften. Biologisch beurteilt sind mineralische Ausgangsstoffe unbelastet, da sie unmittelbar nach der Herstellung entweder steril sind (z. B. Blähperlith, Blähton, gebrannte Tongranulate) oder Lagerstätten entnommen werden, die nur eine geringe biologische Besiedlung ermöglichen (z. B. Ton, Bims). Für manche Kulturverfahren haben sich einzelne mineralische Ausgangsstoffe auch als alleinige Komponente des Substrats etabliert, so z. B. Blähperlith, Blähton oder Mineralwolle-Platten oder -Würfel.

Als ergänzende Bestandteile zu organischen Hauptbestandteilen von Substraten werden mineralische Stoffe eingesetzt, um die Wasseraufnahme (Benetzung) und -verteilung zu verbessern, die Standfestigkeit des Kulturgefäßes zu erhöhen, die Luftkapazität zu erhöhen (z. B. mit Blähperlith) oder die Struktur zu stabilisieren. Manche mineralischen Ausgangsstoffe werden gezielt zur Verbesserung chemischer Eigenschaften wie der Kationenaustauschkapazität genutzt. Insbesondere bei Kultursubstraten spielen Ton und Blähperlith eine bedeutende Rolle, auch wenn diese Ausgangsstoffe mengenmäßig eine geringere Verwendung finden als Torfe, Komposte, Holzfaserstoffe und Kokosmark. Einige andere mineralische Ausgangsstoffe finden Verwendung vor allem bei der Herstellung von Dachgartensubstraten, Baumsubstraten und bei der Innenraumbegrünung.

5.2.1 Ton

Tone sind Lockergesteine, die durch chemische Zersetzung und Verwitterung von Gesteinen entstanden. Sie lassen sich fast überall in Deutschland und anderswo finden und werden

im Tagebau (oberirdischer Bodenabbau) abgebaut. Ihre mineralogische Zusammensetzung kann ganz verschieden sein, was sich auf ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften auswirkt.

Aus der Bodenkunde (BLUME et al. 2010) sind drei Körnungsklassen (Bodenarten) bekannt: Ton (bodenkundliche Abk. ist T), Schluff (U) und Sand (S).

- Ton → 0 bis 0,002 mm
- Schluff → 0,002 bis 0,063 mm
- Sand → 0,063 bis 2,000 mm

Tone, wie sie für die Substratherstellung angeboten und verwendet werden, sind immer natürliche Bestandteile der Böden. Es sind niemals reine Tonminerale. Sie enthalten immer Schluff- und Sandanteile, wobei Schluff und Sand häufig überwiegen (s. Tabelle 45).

Mit der Einführung von Torf als Substratausgangsstoff in den 1950er Jahren haben sich auch Tone bei der Substratproduktion etabliert. In der Patentschrift Nr. 83289 wurde ein von Prof. Fruhstorfer entwickeltes „Verfahren zur Herstellung gärtnerischer Erden“ (DEUTSCHES PATENTAMT 1952) patentiert. Das Substrat bestand aus jeweils 50 % (v/v) Hochmoortorf und Untergrundton. Der Tonanteil in heutigen Tonsubstraten ist deutlich niedriger.

Tone können je nach Aufwandmenge sowohl den Substratausgangsstoffen als auch den Substratzusätzen zugeordnet werden. Werden vom Substrathersteller Anteile von 10, 20 oder sogar 30 Vol.-% gekennzeichnet, so kann man den zugesetzten Ton als Ausgangsstoff bezeichnen, obwohl Tone aufgrund ihrer hohen Gewichte und des durch das Gewicht verursachten Verdichtens von organischen Substratausgangsstoffen nicht unbedingt als „volumenbildend“ bezeichnet werden können. Werden vom Hersteller Tonanteile in kg/m³ angegeben, so spricht man von einem Substratzusatz (s. Kap. 1.3 und 1.4). Tonbeimengungen von 5 bis 40 kg/m³ Substrat und darüber sind in Deutschland geläufig.

Tabelle 44: Einteilung wichtiger Tonminerale (auf 2- und 3-Schicht-Tonminerale beschränkt) (BLUME et al. 2010) mit Ergänzung einiger Toneigenschaften.

(1 : 1 =) 2-Schicht- Tonmine- rale	(2 : 1 =) 3-Schicht- Tonmine- rale	Spezifi- sche Ober- fläche (m ² /g)	KAK (mol _c /kg ⁻¹)	Rohdichte _{tr.} (g/l TM)	Glüh- rück- stand (% m/m)	pH- Wert (H ₂ O)	Salz- gehalt (mg/l)
Kaolinite ^{a)}	--	10-150	0,03-0,15	750-1.500	92-96	5,0- 10,0	300 bis > 10.000
	Illite ^{b)}	50-200	0,20-0,50				
	Vermiculite	600-700	1,50-2,00				
	Smectite ^{c)}	600-800	0,70-1,30				
	Chlorite	--	0,10-0,40				

a) Kaolinit, Halloysit, Serpentin

b) Muskovit, Biotit

c) Montmorillonit, Beidellit, Montronit

5.2.1.1 Eigenschaften von Tonen

Der Zusatz von Tonen ist mit unterschiedlichen chemischen und/oder physikalischen Zielen verknüpft:

- Verbesserung der Kationenaustauschkapazität und dadurch ausgeglichene Nährstoffversorgung
- Verbesserung der Pufferung des pH-Wertes
- Verbesserung der Benetzbarkeit
- Verbesserung der Bindigkeit und Stabilität des Substrats

5.2.1.1.1 Chemische Eigenschaften

Tonminerale (reine Tone, ohne Schluff und Sand) haben eine große spezifische Oberfläche (= die zum Kationenaustausch fähige Oberfläche) und deshalb eine hohe Kationenaustauschkapazität (KAK) (s. Kap. 4.4.5.1.1 und Tabelle 44). Interessant sind die KAK-Werte der „Tone“ in Tabelle 45. Obwohl die beiden Bentonite Tongehalte von nur 21 bzw. 13 Gew.-% haben, ist ihre KAK mit 0,84 bzw. 0,88 mol_c kg⁻¹ deutlich höher als die KAK der anderen Tone. Das liegt zum einen an der unterschiedlichen Zusammensetzung der Tonfraktion, in besonderem Maße jedoch an den wesentlich höheren Anteilen an oxalatlöslichem Al und Fe (DULTZ et al. 2012, SCHELLHORN et al. 2013). 3-Schicht-Tone für die Substratherstellung werden bevorzugt beige mischt, weil sie eine große spezifische Oberfläche haben und mit ihnen die genannten

chemischen Verwendungsziele am besten erreicht werden können.

5.2.1.1.2 Physikalische Eigenschaften

Verbesserung der Benetzbarkeit

Der kapillare Wasseranstieg und die Verteilung des Wassers mit den darin gelösten Nährstoffen ist bei Topf- und Containerkulturen wichtig. Die RHP hat den sogenannten WOK-Apparat (WOK = wateropnamekarakteristiek) entwickelt, mit dem die kapillare Wasseraufnahme von Substraten in Abhängigkeit der Zeit gemessen werden kann. Neuere Versuche zur Wirkung von Tonen machen deutlich, wie unterschiedlich die eingesetzten Tone die Wiederbenetzung von Substraten beeinflussen können (DULTZ et al. 2012, SCHELLHORN et al. 2013). Dabei wurden die in Tabelle 45 gelisteten Tone mit einer Aufwandmenge von 30 kg/m³ Substrat verwendet. Die WOK-Messungen zeigen (Abbildung 20), dass die Tone mit der höchsten KAK (Bentonite 06b und 07B) den geringsten Effekt auf die Wasseraufnahme des eingesetzten Torfsubstrats haben. Hingegen haben die Tone 01S (Saprolith), 27U und 28U (umgelagerte Tone) sowie 36M (Tonmischung) einen positiven Effekt auf die Wasseraufnahme. Ton ist nicht gleich Ton. Dieselben Autoren zeigen auf, dass die Korngrößenverteilung der Tone ein weiteres, aber oft vernachlässigtes Qualitätsmerkmal von Tonen ist. Versuchsergebnisse mit dem in Tabelle 45 genannten Saprolith (01S) bei einer Aufwandmenge von 30 kg und sieben verschiedenen Fraktionen machen deutlich, dass

fein gemahlene Tone eine wesentlich bessere Wirkung auf die Wasseraufnahme haben als grob fraktionierte Tone (Abbildung 21).

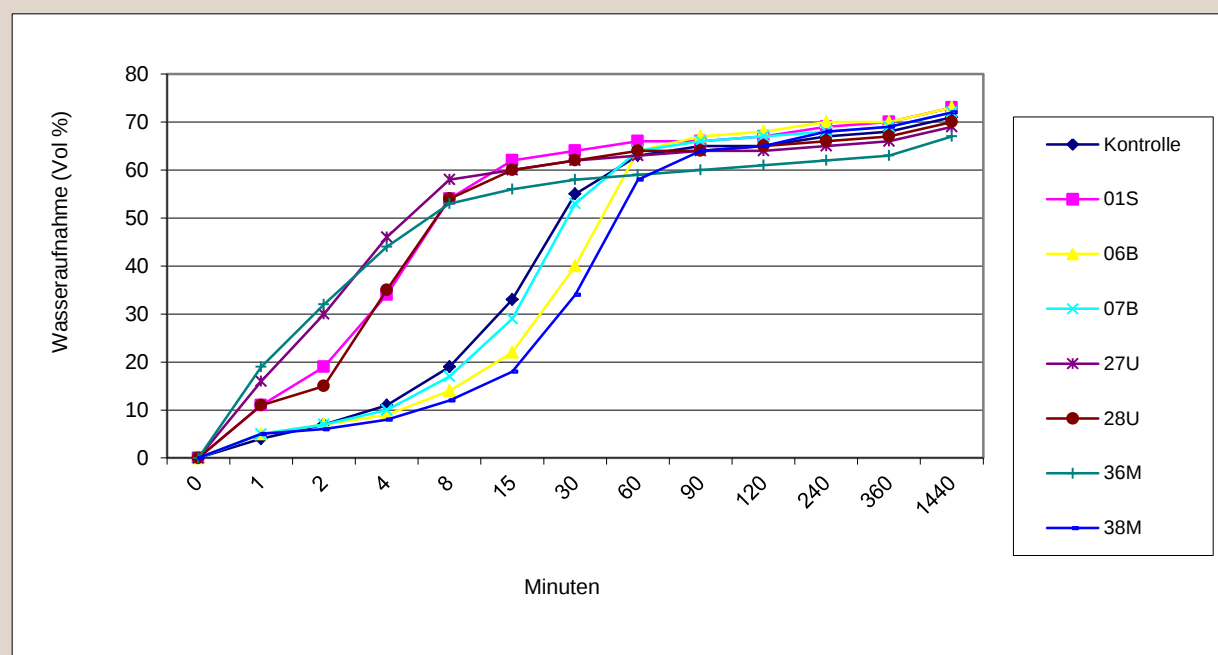


Abbildung 20: Wasseraufnahme eines Standardtorfsubstrats im WOK-Apparat bei Zusatz von jeweils 30 kg/m³ von sieben verschiedenen Tönen (DULTZ et al. 2012, SCHELLHORN et al. 2013).

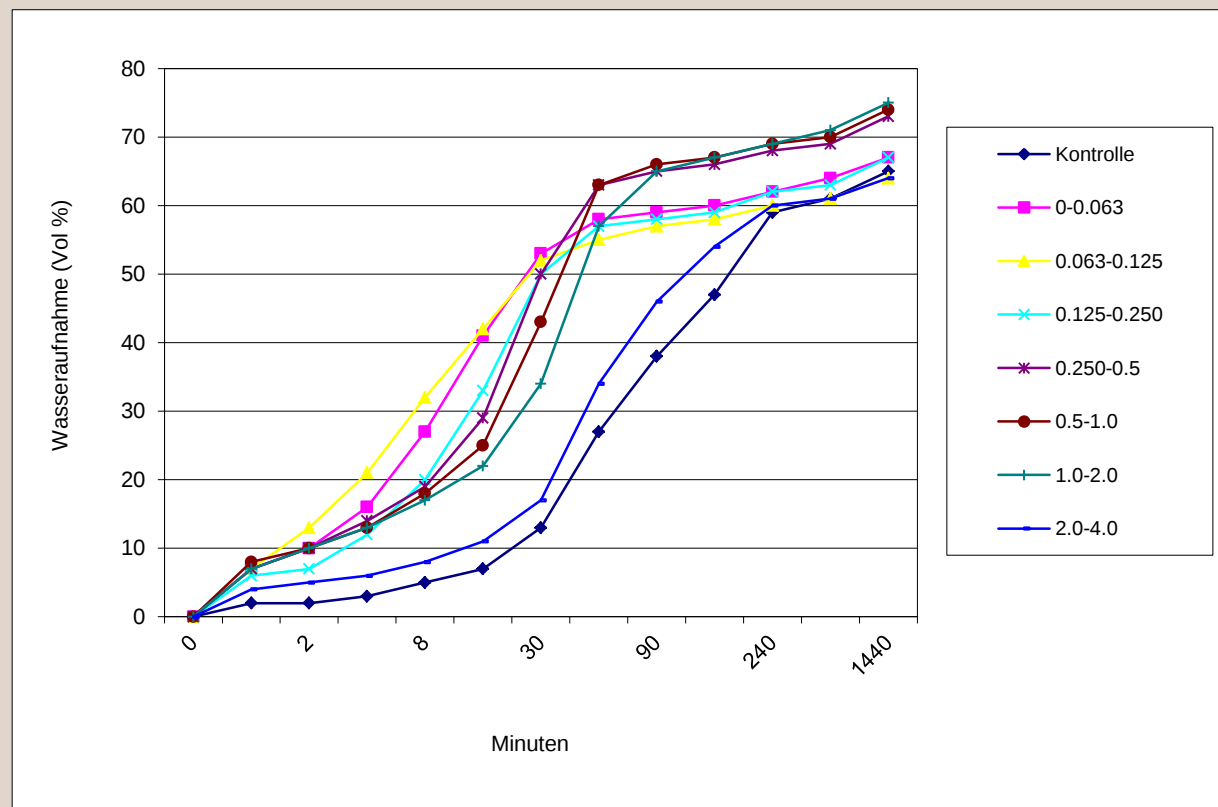


Abbildung 21: Wasseraufnahme eines Standardtorfsubstrats im WOK-Apparat bei Zusatz von jeweils 30 kg/m³ eines saprolithischen Tons (Probe 01S) in sieben Korngrößenfraktionen von 0-0,063 bis 2,0-4,0 mm (DULTZ et al. 2012, SCHELLHORN et al. 2013).

Tabelle 45: Physikalische, chemische und mineralogische Eigenschaften von sieben ausgewählten Tonproben (Dultz et al. 2012, Schellhorn et al. 2013).

Proben- bezeichnung/ Herkunft	Mineralogische Zusammen- setzung der „Tone“ Sand/ Schluff/ Ton (Gew.-%) ¹⁾	Boden- kundliche Bezeichnung der Bodenart	KAK ²⁾ (mol _c kg ⁻¹)	pH ³⁾ (CaCl ₂)	SSA ⁴⁾ (m ² g ⁻¹)	Al _{ox} /Fe _{ox} (g kg ⁻¹) ⁵⁾	Ladung ⁶⁾ (μmol _c m ⁻²)	Mineralogische Zusammen- setzung der Tonfraktion ⁷⁾ (d = dominant, s = Spuren)
01S/Saprolith ⁸⁾	42/45/13	Slu	0,29	6,9	11	0,34/0,61	0,81	Illit, Kaolinit (d); Chlorit, Quarz (s)
06B/Bentonit ⁹⁾	41/38/21	Ls3	0,84	6,4	106	2,24/2,96	0,20	Smectit (d); Illit, Kaolinit (s)
07B/Bentonit	46/41/13	Slu	0,88	6,7	92	1,77/1,53	0,25	Smectit (d); Illit, Kaolinit (s)
27U/umgelagert ¹⁰⁾	2/52/46	Tu2	0,22	6,5	20	0,09/0,02	0,89	Kaolinit, Quarz (d)
28U/umgelagert	2/18/80	Tt	0,44	6,4	44	0,26/0,11	0,52	Kaolinit, Illit (d)
36M/Mischung	2/35/63	Tu2	0,26	6,3	30	0,16/0,33	0,64	Kaolinit (hohe Kristallinität), Illit (d)
38M/Mischung	25/40/35	Lt3	0,57	6,4	62	1,06/0,87	0,29	Kaolinit, Illit (d)

¹⁾ Korngrößenverteilung nach DIN ISO 11277:2002-08.

²⁾ Kationenaustauschkapazität (KAK) nach der *Ag thiourea*-Methode.

³⁾ pH-Wert in 0,01-M-CaCl₂-Lösung bei einem Probe-Lösungs-Verhältnis von 1 : 2,5.

⁴⁾ Spezifische Oberfläche (SSA) mittels Stickstofftieftemperaturadsorption und Auswertung nach BET.

⁵⁾ Oxalatlösliches Al und Fe.

⁶⁾ Oberflächenladung (SC) bei pH 6 mittels Strömungspotential und Polyelektrolyttitration.

⁷⁾ Röntgendiffraktometrie von orientierten Proben nach Entfernung von Fe-Oxiden.

⁸⁾ Saprolithische Tone (primäre Lagerstätten), wo hauptsächlich Kaolinit aus der Verwitterung von Schiefern hervorgegangen ist.

⁹⁾ Bentonite (primäre Lagerstätten), die aus vulkanischen Aschen entstanden sind und 30 bis 90 % Smectite enthalten.

¹⁰⁾ Umgelagerte Tone (sekundäre Lagerstätten), die nach Erosion in Becken zum Absatz und im Wesentlichen aus Kaolinit, Illit, Quarz und Smectit bestehen.

Verbesserung der Bindigkeit

Die Jungpflanzenanzucht von Gemüse, Kräutern und Zierpflanzen erfolgt häufig in Multizellenplatten mit kleinsten Volumeneinheiten, in die das lose Substrat eingefüllt wird. Bei unzureichender Bewurzelung der Jungpflanzen in der Multizellenplatte oder verfrühter Entnahme aus der Platte kann der Wurzelballen nicht ausreichend stabil sein und leicht zerfallen. Die Verwendung von Torfpresstöpfen stellt eine weitere Möglichkeit der Anzucht dar. Obwohl hierfür in der Regel hohe Anteile an durchfrorenem Schwarztorf oder ausschließlich solcher verwendet wird, können die Presstöpfе bei üblicher, leichter Austrocknung vor dem Auspflanzen im Feld brechen und den Pflanzvorgang benachteiligen, wodurch das Anwachsen der Jungpflanzen negativ beeinflusst wird. Bei beiden Anzuchtssystemen werden stabile Wurzelballen gefordert. Um die Bindigkeit des Substrats zu erhöhen, können feinst vermahlene Tone zugesetzt werden. Mit den in Tabelle 45 aufgeführten Tönen 01S, 06B und 36M wurden Bindigkeitsversuche mit Schwarztorf-Presstöpfen durchgeführt. Es zeigte sich, dass Tone die Bindigkeit und somit

die Stabilität von Presstöpfen erhöhen können. Tonart und die zugegebene Tonmenge haben dabei allerdings einen starken Einfluss (Abbildung 22).

Mit Tönen können verschiedene physikalische und chemische Eigenschaften von Substraten verbessert werden. Entscheidend dabei sind vor allem die mineralogische Zusammensetzung des Tons, die Korngrößenverteilung und die Aufwandmenge. Feine Tonfraktionen sind groben Fraktionen vorzuziehen. Der Einsatz verschiedener Tone oder ggf. deren Kombination kann je nach Anwendungsfall erforderlich sein. Ausführliche Angaben zu den physikalischen und chemischen Effekten der Zumischung von Tönen zu Torfsubstraten können nachgelesen werden bei DULTZ et al. (2012) sowie SCHELLHORN et al. (2013).

5.2.2 Blähton

Blähton ist gemäß RAL-GZ 250 (RAL 2015) blähfähiger Naturton, der bei Temperaturen zwischen 850 °C und 1.200 °C ggf. unter Zusatz von Blähhilfen thermisch expandiert wird.

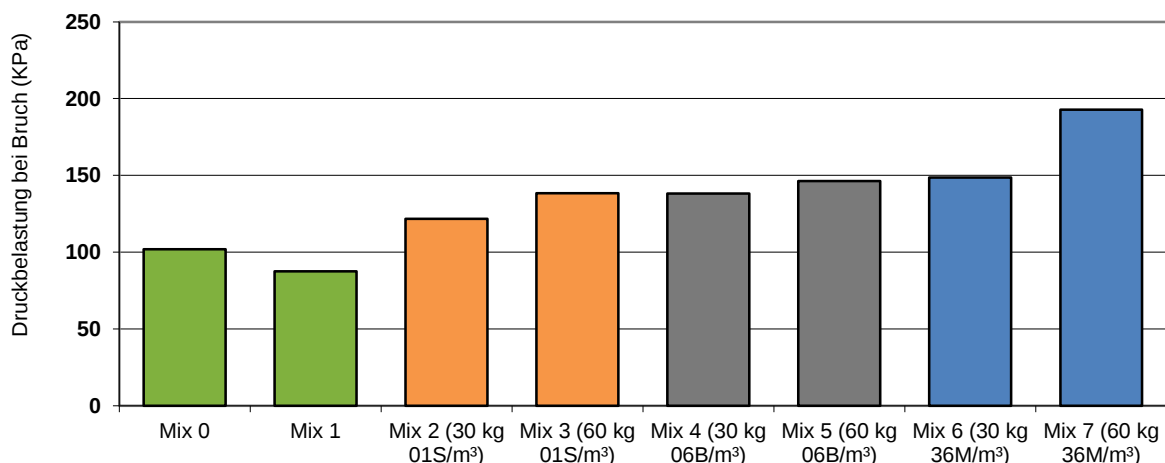


Abbildung 22: Einfluss des saprolithischen Tons 01S, des Bentonits 06B und des umgelagerten Tons 36M auf den Druck, um den Bruch trockener Presstöpfе zu erreichen (Mix 0 ohne Ton, Dünger und Kalk; Mix 1 ohne Ton mit Dünger und Kalk; Mixes 2 bis 7 mit Dünger und Kalk) (DULTZ et al. 2012, SCHELLHORN et al. 2013).

5.2.2.1 Herstellung von Blähton

Grubenfeuchter Rohton, der natürlich vorkommende geringe Mengen an organischen Bestandteilen enthält, wird im Tagebau abgebaut. Der Rohton wird mechanisch von Steinen und anderen unerwünschten groben Bestandteilen gereinigt. Bei der Vortrocknung im Drehofen wird der Rohton (der ggf. mit Blähmitteln vermengt wird) gleichzeitig zerkleinert, homogenisiert und kugelförmig (manchmal nierenförmig) granuliert. Der eigentliche Blähprozess erfolgt dann bei den genannten hohen Temperaturen im Drehofen. Dabei lässt man

nur die Oberfläche der kleinen Tonkugeln schmelzen, was sie gasundurchlässig macht. Gleichzeitig verbrennen und vergasen die organischen Bestandteile im Inneren der Tonkugeln, wobei CO₂ entsteht und Sauerstoff abgespalten wird. Bei diesem kurzzeitigen Prozess erhöht sich die Temperatur in der Tonkugel über den Schmelzpunkt des Tons. Die Gase können durch die Außenschicht nicht entweichen, wodurch sich Hohlräume in den Tonkugeln bilden und sie um ein Mehrfaches des Ausgangsvolumens aufblähen lassen. Das so entstandene Blähtonkorn ist innen porös und hat eine weitgehend geschlossenhohle Au-

Tabelle 46: Güte- und Prüfbestimmungen für Blähton als Kultursubstrat — Güte Merkmale mit Prüfbestimmungen und Wertebereichen nach RAL-GZ 250/4 (RAL 2015).

Gütemerkmale		Prüfmethoden	Wertebereiche				
			Blähtontyp (mm)			Sonderkörnungen	
			2-4	4-8	8-16		
1	Physikalische Eigenschaften						
1.1	Körnung	Trockensiebung ohne Vorbehandlung gemäß DIN 19683	--				
1.1.1	Anteil Unterkorn (Gew.-% 1)		≤ 15				
1.1.2	Anteil Überkorn (Gew.-% 2)		≤ 15				
1.2	Bruch (Gew.-%) ¹⁾	von Hand auslesen	≤ 10				
1.3	Kornform (Anteil kugel- bzw. nierenförmiger Körner) (Gew.-%)		deklarerter Sollwert ± 10 Gew.-% (absolut)				
1.4	Schüttdichte _{trocken} (kg/m ³)	VDLUFA-Methode A 13.2.1 bzw. A 13.2.2	≥ 360	≥ 330	≥ 300	Mindestwert ²⁾	
1.5	Wassersteighöhe (cm)	nach 24-stündigem Wasseranstau (5 cm) befeuchtete Zone optisch ermitteln ³⁾	≥ 10	≥ 9	≥ 8		
1.6	Wasseraufnahme (ml/l)	nach 24-stündigem Wasserüberstau überschüssiges Wasser auf einem Sieb abtropfen lassen ¹⁾	≥ 120	≥ 90	≥ 60		
2	Chemische Eigenschaften						
2.1	pH-Wert	Wasserauszug 1+10 ³⁾	≥ 5,5				
2.2	Salzgehalt (KCL) (g/l)		≤ 1,25				
2.3	Calcium (Ca) (mg/l)		≤ 450				
2.4	Natrium (Na) (mg/l)		≤ 50				
2.5	Magnesium (Mg) (mg/l)		≤ 75				
2.6	Chlorid (Cl) (mg/l)		≤ 50				
2.7	Fluorid (F) (mg/l)		≤ 5 ⁴⁾				
3	Biologische Eigenschaften						
3.1	Wachstumshemmende Stoffe	Methode in Erarbeitung	frei von wachstumshemmenden Stoffen				

¹⁾ Bei Mischungen mit gebrochenem Blähton (Anteil > 10 Gew.-%) ist der Bruchanteil zu deklarieren.

²⁾ Bei Sonderkörnungen ist ein Mindestwert zu deklarieren.

³⁾ Methodenvorschrift GGS.

⁴⁾ Bei F-Gehalten < 2,5 mg/l ist die Deklaration „Auch für fluoridempfindliche Pflanzen geeignet“ möglich.

ßenhaut. Nach der Abkühlung werden die Blähtonkugeln durch Siebung in gängige Korngrößen fraktioniert (z. B. 2- bis 4-mm-, 4- bis 8-mm- und 8- bis 16-mm-Körnungen). Neben den geschlossenporigen runden Blähtonkugeln ist auch offenporiger Blähtonbruch (gebrochener Blähton) in verschiedenen Körnungen auf dem Markt verfügbar.

5.2.2.2 Eigenschaften und Verwendung

Blähton wird überwiegend in der Bauindustrie zur Fertigung von Leichtbeton und als Dämmstoff eingesetzt. Dabei handelt es sich allerdings um Blähton, der nicht für die Kultur von Pflanzen geeignet ist (FISCHER 2003). Für gartenbauliche Anwendungen kommen nur ausgesuchte, salzarme Rohtone in Frage, um das Kulturrisiko zu minimieren. Vor allem die Fluoridgehalte sind dabei zu beachten (FISCHER et al. 1999). Im Gartenbaubereich ist Blähton als Hydrokultur-Substrat bei der Innenraumbegrünung bestens bekannt. Auch für Dachbegrünungen werden Blähton und Blähtonbruch als Struktur gebende Bestandteile des Substrats verwendet. Als Ausgangsstoff für bestimmte Topf- und Containersubstrate wird vorwiegend gebrochener Blähton eingesetzt. Applikationen in anderen Substratbereichen sind nicht üblich.

Die gute Wasseraufnahmefähigkeit und Kationenaustauschkapazität, die viele ungebrannte Rohtone besitzen, hat Blähton nicht, da der Brenn- und Blähprozess die quellbare Struktur des Tons verändert und erstarren lässt. Bei Hydrokulturen häufig auftretende weiße Ausblühungen/Ablagerungen auf der Außenschicht der Blähtonkugeln sind auskristallisiertes Calciumsulfat oder Calciumchlorid (LOHR 2009a). Durch Waschen des Blähtons vor Verwendung kann hier entgegengewirkt, je-

doch das Ausblühen nicht ausgeschlossen werden.

5.2.3 Gebrannte Tongranulate

Gebrannte Tongranulate sind in der Herstellung aufwendig. Sie werden fast ausschließlich im Hobbybereich und in der Innenraumbegrünung – ähnlich wie Blähton und Blähtonbruch – eingesetzt und eignen sich für die Kultur von Zimmerpflanzen. Am Beispiel von Seramis®-Tongranulat ist nachfolgend der Herstellungsprozess kurz dargestellt, und wesentliche Eigenschaften werden aufgeführt (schriftliche Auskünfte der Seramis GmbH 2015).

5.2.3.1 Herstellung gebrannter Tongranulate

Der Ausgangston, bestehend aus 2-schichtigem Kaolinit, 1-schichtigem Illit und Quarz, wird mit Wasser verflüssigt und anschließend in einem speziellen Verfahren so porosiert, dass das Gesamtporenvolumen deutlich erhöht wird. Der Ton dehnt sich aber nicht wie bei der Blähtonherstellung aus. Danach wird der Ton getrocknet, gebrochen und fraktioniert, abgesiebt und anschließend gebrannt. Die Porenstrukturen werden durch den Brennprozess bei knapp unter 1.000 °C fixiert. Das im Ausgangston enthaltene Eisen oxidiert während des Brennvorgangs, wodurch das Granulat eine rotbraune Farbe erhält (Abbildung 23).

5.2.3.2 Eigenschaften und Verwendung

Laut Herstellerangaben ist das Tongranulat durch den Brennprozess biologisch und chemisch neutral, strukturstabil und hat folgende physikalische und chemische Eigenschaften

Tabelle 47: Die chemischen Eigenschaften des Tongranulats analysiert nach VDLUFA-Methoden (SERAMIS GMBH 2015).

pH-Wert	Salzgehalt (KCl)	N _{Ges.}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Na ₂ O	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻
	g/100 g	mg/100 g							
6,2-7,5	< 0,25	3-8	5-10	100-120	< 120	< 15	< 15	< 10	< 1,2

nach VDLUFA-Methoden:

- Korngrößenverteilung:
 - ca. 20 % > 4,0 mm
 - ca. 70 % = 2,0-4,0 mm
 - ca. 20 % = 0,5-2,0 mm
- Schüttdichte: ca. 390 g/l
- Feuchtigkeitsgehalt: ca. 15 % (m/m)
- Porenvolumen: > 80 %
- Wasseraufnahme: > 100 (g/100 g Trockensubstanz)

Das Tongranulat wird hauptsächlich zur Anwendung im Hobbybereich und für die Innenraumbegrünung für ein breites Spektrum an Grün- und Zierpflanzen ohne Zumischung anderer Ausgangsstoffe angeboten. Daneben gibt es Mischungen mit z. B. Rinde für Spezialkulturen wie Orchideen.

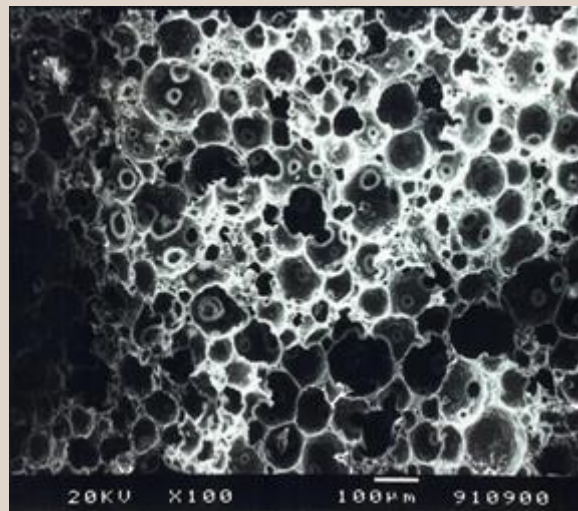


Abbildung 23a und 23b: Gebranntes Tongranulat (a) und Nahaufnahme der Porenstruktur (b) (© Seramis GmbH).

5.2.4 Blähperlit

Blähperlit wird aus dem Gestein Perlit (Perlstein) hergestellt. Häufig wird Blähperlit vereinfacht als Perlit bezeichnet, was nicht korrekt ist. Perlit als Rohgestein ist gartenbaulich nicht verwendbar und muss dafür expandiert/gebläht werden. Blähperlit zählt zu den mineralischen Schaumstoffen.

Der Abbau von Perlit erfolgt im Tagebau (Abbildung 24a/b). Die bedeutendsten Vorkommen in Europa sind auf der griechischen Insel Milos sowie in Ungarn. Des Weiteren findet man Perlit in der Türkei, in Italien, Tschechien, Russland und auf Island (MÜHLENWEG 2004).

5.2.4.1 Herstellung von Blähperlit

Perlit-Gesteine sind gewöhnlich hellgrau, bestehen aus 70-76 % SiO_2 , 11-18 % Al_2O_3 , 4-6 % K_2O und 2-7 % Wasser (RÖMPP 1998) und sind somit Aluminium-Silikate. Perlit ist ein vulkanisches Glas, entstanden aus Lava, das im Kontakt mit genügend Wasserdampf und unter Belastungsdruck schnell abgekühlt ist – ohne Belastungsdruck würde sich Bims bilden (HAUCK 1988). HAUCK führt weiter aus, dass beim Schrumpfen des Gesteins während der Abkühlung das typische Perlitgefüge, ein System von konzentrischen und radialen Rissen entsteht. Im Verlauf der Abkühlung wurde Wasser im Gestein eingeschlossen. Diese molekularen Wassereinschlüsse ermöglichen die Expansionsfähigkeit des Rohgesteins. Für die Herstellung von Blähperlit wird Perlit gebrochen, fraktioniert (klassifiziert), vorgetrocknet und anschließend in einem Perlitofen auf Temperaturen zwischen 850 und 1.200 °C erhitzt (MÜHLENWEG 2004). Das im Rohgestein enthaltene Wasser bewirkt die Expansion und die Volumenvergrößerung des Perlits zu einem sehr leichten bimssteinähnlichen weißen Gesteinsschaum, dem Blähperlit. Der poröse Blähperlit hat etwa das 10-fache Volumen des Rohperlits.

Blähperlit wird in verschiedenen Körnungen angeboten. Üblich sind Fraktionen von 0-3 mm,



Abbildung 24a: Verladung von im Tagebau gewonnenen Rohperlit auf der griechischen Insel Milos (© Knauf GmbH).



Abbildung 24b: Perlit-Tagebau auf der griechischen Insel Milos (© Peter Hartleb).

0-6 mm und 2-6 mm. Blähperlit kann lose geliefert werden, in verschiedenen Verpackungsgrößen oder in Form von Kulturgebinden (Grow Bags).

5.2.4.2 Eigenschaften von Blähperlit

Kennzeichnend für das Blähperlitkorn ist das vergrößerte Volumen im Vergleich zum Perlit-Gestein, das sich positiv auf die physikalischen Eigenschaften des Ausgangsstoffes auswirkt. Seine chemischen Eigenschaften hingegen sind ohne wesentliche Bedeutung für das Substrat.

Tabelle 48: Wertveränderungen bei Zumischung von Bläherlit in steigenden Volumenanteilen zu einem aufgedüngten (1,5 g/l Mehrnährstoffdünger) und aufgekalkten (6 g/l) Torfkultursubstrat (50 % Weißtorf zu 50 % Schwarztorf).

Mischung	Bläherlit (v/v)	Laborschüttdichte g/l (DIN EN 13040)	Org. Substanz % (m/m) (DIN EN 13039)	pH-Wert (DIN EN 13037)	Elek. Leitfähigkeit mS/m (DIN EN 13038)
1	0	318	96	6,3	4,2
2	25	275	62	6,5	3,8
3	50	236	50	6,7	3,8
4	75	175	25	6,8	3,8
5	100	120	0	6,9	3,8

5.2.4.2.1 Chemische Eigenschaften

Der pH-Wert von Bläherlit liegt im neutralen Bereich. Die Werte für N, P₂O₅ und K₂O können jeweils mit < 4 mg/l (CAT) angegeben werden. Die elektrische Leitfähigkeit liegt bei etwa 4 mS/m. Schwermetalle sind nicht enthalten.

Die Werte in Tabelle 48 bestätigen, dass die Zumischung von Bläherlit, bei praxisüblichen Anteilen, zu einem Torfsubstrat nur zu vernachlässigbaren Veränderungen des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit führt. Bläherlit hat praktisch keine puffernde Wirkung.

5.2.4.2.2 Physikalische Eigenschaften

Kennzeichnend für das Bläherlitkorn ist seine Oberflächenstruktur und die innere Struktur,

die sich durch geschlossene Kernporen und offene Randporen auszeichnet. Die Randporen können sowohl Luft als auch Wasser aufnehmen und abgeben. Die offenporige Struktur ermöglicht eine sofortige Wiederbenetzbarkeit der Bläherlitkörner. Mit einem Gesamtporenanteil von etwa 97 % (v/v) unterscheiden sich grobkörnige Fraktionen (z. B. 2-6 mm) durch eine etwas höhere Luftkapazität und eine etwas niedrigere Wasserkapazität von feinkörnigem Bläherlit (z. B. 0-3 mm). Luft und Wasser in den offenen Poren stehen der Pflanzenwurzel unmittelbar zur Verfügung. Die Luftkapazität von feinem Bläherlit ist um einiges höher als die von gröberem Bläherlit.

Bläherlit ist unbrennbar und hat eine sehr lange Witterungsbeständigkeit, was ihm eine sehr gute Strukturstabilität verleiht. Diese Strukturstabilität reduziert bei Zumischung zu

Tabelle 49: Vergleich der physikalischen Eigenschaften von gebrochenem Rohperlit und Bläherlit.

Eigenschaft	Methode	Einheit	Gebrochener, fraktionierter Rohperlit (0,8-2,5 mm)	Bläherperlit; Endprodukt (2-6 mm)
Org. Substanz (W_{om})	EN 13039	% (m/m)	1,0-2,0	0,0
Laborschüttdichte (L_D)	EN 13040	g/l	1.000-1.100	95-140
Rohdichte _{trocken} (D_{BD})	EN 13041		960-1020	80-110
Wasserkapazität ²⁾		g/100g TR	16-20	300-350
Gesamtporenvolumen (P_S) ¹⁾		% (v/v)	60-62	95-98
Wasserkapazität (W_V)			16-20	24-29
Luftkapazität (A_V)			40-46	66-74
Schrumpfungswert			6-8	6-12

¹⁾ Ermittelt bei einer Saugspannung von pF 1.

²⁾ Die Berechnung der Wasserkapazität in g/100 g Trockenrückstand erfolgte auf Basis der nach DIN EN 13041 ermittelten Werte.

organischen Ausgangsstoffen die Sackung des Substrats. Zudem ist er temperaturbeständig bis 800 °C und frostbeständig. Da der Feuchtigkeitsgehalt von frischem Bläherperlit sehr niedrig ist und Staubeentwicklungen bei der Handhabung entstehen können, ist das Tragen von Atemschutzmasken oder das Anfeuchten des Bläherperlits ratsam.

Im Garten- und Landschaftsbau wird Bläherperlit zur Bodenverbesserung bei Extremstandorten eingesetzt, wo er in der Regel mit dem Bodenaushub vermischt wird. Auch in Rasentragschichten kann Bläherperlit verwendet werden. In Dachgartensubstraten findet Bläherperlit aufgrund seines geringen Gewichtes und seiner Strukturstabilität Verwendung.

5.2.4.2.3 Biologische Eigenschaften

Bläherperlit wird mikrobiell nicht abgebaut, verfällt aber nach langer Zeit durch Witterungseinflüsse. Durch den Herstellungsprozess ist Bläherperlit bis zu seiner Abkühlung steril und ist somit bei der Anlieferung frei von jeglichen human- und pflanzenpathogenen Keimen. Bei der Verwendung von 100 % Bläherperlit als Kultursubstrat (z. B. in Kulturschläuchen oder in Töpfen oder Containern im Zierpflanzenbau) wird sich – wie auch bei allen anderen mineralischen Substratausgangsstoffen – eine bestimmte Mikroflora und -fauna einstellen. Diese ist nicht kritisch und ähnlich der von Mineralwolle im Kulturbestand. Algenbildung kann auftreten. Bläherperlit kann nach einer Hygienisierung (Dämpfen) erneut verwendet werden.

5.2.4.3 Verwendung

Die wichtigsten Einsatzbereiche von Bläherperlit sind die Wärme- und Schalldämmung und die Feuchtigkeitsregulierung als Schüttdämmstoff.

Abhängig vom Verwendungszweck kommen unterschiedliche Korngrößen zum Einsatz. In Kultursubstraten kann Bläherperlit mit Volumenanteilen bis zu 100 % (z. B. bei Orchideen, Rosen und *Amaryllis*) eingesetzt werden. Fraktionen von 0 bis 3 mm werden für die Stecklings- und Steckholzvermehrung verwendet. Bläherperlit mit einer Korngrößenverteilung von 2 bis 6 mm wird häufig mit Volumenanteilen von 20 % bis 30 % bei Ebbe-Flut-Kulturen eingesetzt. Das hohe Gesamtporenvolumen führt nach MÜHLENWEG (2004) auch zu einer ausgewogenen Substrattemperatur.

Tabelle 50: Güte- und Prüfbestimmungen für Perlit als Substratausgangsstoff — Güte Merkmale und Prüfmethode nach RAL-GZ 250/5-3 (RAL 2015).

Gütemerkmale		Prüfmethode	Wertebereiche		
			Körnungstyp (in mm)		
			0-3	0-6	2-6
1	Physikalische Eigenschaften				
1.1	Körnung (Gew.-%)				
1.1.1	Anteil Unterkorn (Gew.-%)	Trockensiebung ohne Vorbehandlung gemäß DIN 19683	--	--	≤ 15
1.1.2	Anteil Überkorn (Gew.-%)		≤ 5	≤ 5	≤ 5
1.1.3	Teile < 3 mm (Gew.-%)		≥ 95	≤ 85	≤ 75
1.1.4	Teile ≤ 0,5 mm = Feinanteil (Gew.-%)		≤ 15	≤ 15	≤ 5
1.2	Schüttdichte _{trocken} [errechnet aus 1,3 (g/l)] ¹⁾	entspricht Schüttdichte _{trocken} × 0,5	80	90	90
1.3	Schüttdichte _{feucht} (g/l)	VDLUFA-Methode A 13.2.1	wird ermittelt		
1.4	Fremdstoffe	von Hand auslesen	keine		
2	Chemische Eigenschaften				
2.1	pH-Wert (CaCl ₂)	m/100 CaCl ₂ 1+10 (VDLUFA-Methode A 5.1.1)	≤ 8,5		
2.2	Salzgehalt (g/l); alternativ: elektrische Leitfähigkeit (µS/cm)	Wasserauszug 1+10 ²⁾ , Berechnung als KCl aus der elektrischen Leitfähigkeit	≤ 0,3 (g/l) bzw. < 100 (µS/cm)		
2.3	Lösliche Hauptnährstoffe (mg/l)				
2.3.1	Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N)	CAT-Auszug 1+8; VDLUFA-Methode A 13.1.1	≤ 20		
2.3.2	Phosphor (P ₂ O ₅)		≤ 20		
2.3.3	Kalium (K ₂ O)		≤ 20		
2.4	Magnesium (Mg)		≤ 20		
2.5	Natrium (Na)	Wasserauszug 1 + 102	≤ 20		
2.6	Calcium (Ca)		≤ 20		
2.7	Chlorid (Cl ⁻)		≤ 20		
2.8	Sulfat (SO ₄)		≤ 20		
2.9	Fluorid (F ⁻)		≤ 5		
2.10	Schwermetallgehalte (Gesamtgehalte in mg/kg Trockenmasse)				
2.10.1	Arsen (As)	Königswasser-Aufschluss (VDLUFA-Methode A 2.4.3.1)	≤ 40		
2.10.2	Blei (Pb)		≤ 150		
2.10.3	Cadmium (Cd)		≤ 1,5		
2.10.4	Chrom (Cr)		≤ 300		
2.10.5	Nickel (Ni)		≤ 80		
2.10.6	Quecksilber (Hg)		≤ 1		
2.10.7	Thallium (Tl)		≤ 1		
3	Biologische Eigenschaften				
3.1	Wachstumshemmende Stoffe	Methodenvorschrift GGS	frei von wachstumshemmenden Stoffen		

¹⁾ Werte sind mit einer Toleranz von ± 20 % einzuhalten.

²⁾ Methodenvorschrift GGS in Anlehnung an FISCHER UND PENNINGSFELD.

5.2.5 Blähvermiculit (exfolierter Vermiculit)

Vermiculite (Singular: Vermiculit) sind glimmerähnliche Magnesium-Aluminium-Eisen-Silikate und werden der Montmorillonit-Saponit-Gruppe innerhalb der Tone zugeordnet (BLUME et al. 2010). Sie sind durch Verwitterung vor Jahrmillionen entstanden. Die bekanntesten Vorkommen liegen in den USA und in Südafrika, wo Blähvermiculit häufiger Substraten zugemischt wird als in Europa (BUNT 1988). Weitere Vorkommen sind in China, Brasilien und Simbabwe. Je nach Fundort und geologischer Entstehungsgeschichte hat Rohvermiculit unterschiedliche Ausgangseigenschaften.

Als Dreischichttonminerale haben Vermiculite einen plattigen Aufbau mit zwischen den Plättchen eingeschlossenem, chemisch gebundenem Kristallwasser (RÖMPP 1997). Ihre Farbe ist goldgelb bis hellbraun. Als Rohmineral kann Vermiculit nicht verwendet werden, er muss zu Blähvermiculit (= expandierter oder exfolierter Vermiculit) aufbereitet werden.

5.2.5.1 Herstellung von Blähvermiculit

Nach seinem maschinellen Abbau im Tagebau wird der Vermiculit auf die gewünschte Korngröße gemahlen und fraktioniert. Generell kann das im Vermiculit gebundene Kristallwasser nicht ausgetrieben werden, ohne dass die Kristallstruktur zusammenbricht (RÖMPP 1997). Durch Erhitzen in Spezialöfen kann das aber erreicht werden. Ihre plattige (lamellenähnliche) Form und das zwischen den Plättchen eingeschlossene Wasser sind wichtig für den Exfoliationsprozess. Bei Temperaturen über 850 °C wird das enthaltene Kristallwasser schockartig ausgetrieben und drückt dabei die Mineralplättchen auseinander. Die Folge ist eine völlige Strukturveränderung vom ursprünglich festen und plattigen Rohvermiculit zu langen würmchenförmigen (lat. *vermiculus*) ausgedehnten Partikeln. Eine 10- bis 35-fache Volumenzunahme, eine erhebliche Ab-

nahme der Schüttdichte und eine Zunahme der Wasseraufnahmefähigkeit sind die Folge (RHEINISCHE VERMICULITE GMBH 2015).

5.2.5.2 Eigenschaften und Verwendung

Blähvermiculit ist keimfrei, nicht brennbar, geruchsneutral und gesundheitlich unbedenklich.

Sobald Vermiculit expandiert, verliert er seine Kompaktheit und Strukturstabilität, gewinnt aber an Volumen. Das trägt zu einer erheblichen Vergrößerung der inneren Oberfläche bei, wodurch eine Kationen- und Nährstoffpufferkapazität geschaffen wird. Nach BRAGG (1998) werden insbesondere Kalium, Ammonium-N und Magnesium gepuffert; eine Auswaschung von Nitraten und Phosphaten kann aber nicht verhindert werden. Die Pufferungseigenschaften von Blähvermiculit, bei größeren Körnungen auch die Wirkung auf die Luftkapazität sind Gründe, warum dieser Ausgangsstoff in Substraten verwendet werden kann.

Blähvermiculit vorrangig industriell eingesetzt, z. B. als Schall-, Wärme- und Kälte-dämmstoff, Isolier- und Verpackungsmaterial, oder zum Aufsaugen von verschütteten Flüssigkeiten verwendet (RHEINISCHE VERMICULITE GMBH 2015).

Durch Siebung ist Blähvermiculit als Granulat in verschiedenen Partikelgrößen erhältlich, wobei Größenbereiche von 0-2, 2-4 und 4-8 mm für die erwähnten Einsatzbereiche die gebräuchlichsten sind. Je größer die Partikel, desto niedriger ist die Wasserkapazität und entsprechend höher die Luftkapazität bei gleichem Gesamtporenvolumen. Wesentliche physikalische Eigenschaften stehen in Tabelle 52.

Die Verwendung von Blähvermiculit ist im Substratbereich in Europa preisbedingt (hohe Produktionskosten) gering. Die Strukturstabilität der wurmähnlichen Partikel ist gering. Dennoch wird Blähvermiculit gelegentlich als Anzuchtsubstrat ohne Zugabe anderer Ausgangsstoffe oder in Kombination mit z. B.

Tabelle 51: Wertebereiche der chemischen Eigenschaften von Blähvermiculiten unterschiedlicher Herkunft und Partikelgrößen (LOHR 2009).

Vol.-Gew. (trocken)	pH- Wert (CaCl ₂)	Salzgehalt (H ₂ O)	N (CAT)	P ₂ O ₅ (CAT)	K ₂ O (CAT)	Mg (CAT)	Na (H ₂ O)	Cl (H ₂ O)	CaCO ₃	KAK
g/l	--	g KCl/l	mg/l						%	mmol/Z/l
120-170	7,7-8,2	0,03-0,10	< 1	< 1	70-280	260-510	< 15	< 5	< 0,5	40-90

schwach zersetztem Torf verwendet. Üblich sind dann ca. 20 % (v/v) im Substrat. In Anzuchtbetrieben wird Blähvermiculit manchmal zur Abdeckung von Aussaaten verwendet. So wird Sonnenlicht reflektiert, was eine übermäßige Erwärmung der Keimlinge verhindert, und die Substratfeuchtigkeit gehalten. Für diese

Anwendungen wird in der Regel Blähvermiculit mit einer Partikelgrößenverteilung von 0 bis 2 mm eingesetzt. Dieser Ausgangsstoff sollte immer trocken eingesetzt werden, da sonst die ziehharmonikaähnlichen Plättchen auseinanderfallen und die physikalischen Eigenschaften beeinträchtigt werden.

Tabelle 52: Physikalische Eigenschaften von Blähvermiculit.

Eigenschaft	Methode	Einheit	Blähvermiculit (0-2 mm)
Org. Substanz (W_{om})	EN 13039	% (m/m)	0
Laborschüttdichte (L_D)	EN 13040	g/l	115-130
Rohdichte _{trocken} (D_{BD})	EN 13041 ¹⁾		100-110
Wasserkapazität ²⁾		g/100g TR	380-420
Gesamtporenvolumen (P_S)		% (v/v)	90-96
Wasserkapazität (W_V)			53-45
Luftkapazität (A_V)			45-53
Schrumpfungswert			20-30

¹⁾ Ermittelt bei einer Saugspannung von pF 1.

²⁾ Die Berechnung der Wasserkapazität in g/100 g Trockenrückstand erfolgte auf Basis der nach DIN EN 13041 ermittelten Werte.

5.2.6 Sand

Bodenkundlich sind Sande Sedimente, die durch Gesteinsverwitterung entstanden sind. Sandböden bestehen größtenteils aus Quarz (Siliciumoxid SiO_2) und aus > 50 % der Kornfraktion Sand. Sandböden sind immer Gemische der Bodenarten Sand, Ton und Schluff. Sande haben Korndurchmesser von 0,063 bis 2,00 mm und werden entsprechend der deutschen Nomenklatur unterteilt in

- Grobsande: 630 bis 2.000 μm Ø
- Mittelsande: 200 bis 630 μm Ø
- Feinsande: 63 bis 200 μm Ø

Nach BLUME (2010) sind Sande meist küstennahe oder festländische Ablagerungen des Wassers, z. B. des Schmelzwassers der Gletscher oder des Windes (Flugsande, Dünen-sande). In Substraten werden Sande möglichst in reiner, gewaschener Form verwendet.

Für sich allein hat Sand eine sehr gute Dränwirkung und eine geringe Wasserkapazität. Daher galten lange Zeit Sandbeimischungen von 30 % (v/v) und mehr zu Torf als für die Drainage unverzichtbarer Substratausgangsstoff. Tatsächlich aber reduziert Sand die Luftkapazität im Substrat und erhöht dessen Wasserhaltevermögen. Bedingt wird diese erhöhte Wasserkapazität durch die Zunahme des Feinporenanteils als Folge der Sandbeimischung.

Die Schüttdichte von Sand nach DIN EN 12580 liegt bei 1,5 bis 1,7 kg/l, ist somit schwer zu handhaben und erhöht bei Zumischung die Transportkosten des Substrats.

Wird Sand verwendet, dann für folgende Zweckbestimmungen:

- zur Verbesserung der Benetzung (BRAGG 1998 spricht von Sand als Netzmittel) zur schnellen Austrocknung und Schrumpfung neigender Substrate
- zur Verbesserung der Standfestigkeit von Topfpflanzen (hohe Schüttdichte)

- früher als Zusatz (< 5 %) zu Presstopfsubstraten auf Schwarztorfbasis, um die Gleitfähigkeit der Werkzeuge bei der Presstopfherstellung zu verbessern und ihre Griffigkeit zu erhöhen; wegen des höheren Verschleißes der Geräte heute kaum noch

Vorausgesetzt, der zugesetzte Sand enthält keine Calciumcarbonat- oder Tonbeimengungen (pH-erhöhend), hat Sand keinen Einfluss auf die chemischen Eigenschaften des Substrats. Ob Kalk in Sand enthalten ist, kann durch Zugabe von verdünnter Salzsäure festgestellt werden: Schäumung und Blasenbildung deuten auf eine Kalkverunreinigung hin. Sand ist inert, verwittert kaum und wird während der Kultur weder chemisch, physikalisch noch biologisch verändert.

5.2.7 Bims und Schaumlava

Bims und Schaumlava entstehen bei Vulkan- ausbrüchen. Das heiße Magma dehnt sich durch die eingeschlossenen Gase [(vorwie- gend Wasserdampf, Kohlenstoff (CO₂) und Schwefelwasserstoff (H₂S)] aus. Im sich ab- kühlenden Magma bilden sich Bläschen, die im erkalteten und erstarrten Magma als Poren erhalten bleiben. Ist der Porenanteil hoch, spricht man von Bims, ist er niedrig, spricht man von Schaumlava. Eine genaue Abgren- zung, basierend auf substratanalytischen Me- thoden, gibt es nicht. Nennenswerte Vorkom- men befinden sich in der Eifel, auf Teneriffa (genannt Picon), Island, Gyalí (Griechenland), in der Türkei sowie in Italien.

5.2.7.1 Eigenschaften und Verwen- dung

Bims und Schaumlava lassen sich aufgrund ihrer mineralogischen Zusammensetzung meistens farblich gut unterscheiden: Bims ist meistens gelblich-weiß bis grau und Schaum- lava ist überwiegend rotbraun bis grau- schwarz. Für die chemischen Eigenschaften hat die mineralogische Zusammensetzung kaum eine Bedeutung, physikalisch gibt es gewisse Unterschiede (Tabelle 53).

Der pH-Wert ist recht hoch, weshalb bei der Verwendung von Bims und Schaumlava in

Substraten meistens pH-senkende Stoffe zu- gemischt werden. Der Salzgehalt ist niedrig und fast ausschließlich vom enthaltenen Kali- um verursacht. Die Kationenaustauschkapazi- tät ist niedrig.

Das Gesamtporenvolumen von Schaumlava ist niedriger als das von Bims, wobei sich nur geringe Unterschiede in der Luftkapazität er- geben. Hingegen ist die Wasserkapazität von Schaumlava niedriger als die von Bims.

Entstehungsbedingt sind beide Ausgangsstof- fe frei von anorganischen und organischen Verunreinigungen (JAUCH 2009b).

Neben ihrer hauptsächlichen Verwendung im Tiefbau und bei der Herstellung von Leicht- und Wärmedämmstoffen werden Bims und Schaumlava im Garten- und Landschaftsbau und Produktionsgartenbau eingesetzt, um strukturstabile Substrate zu erzielen. So spie- len sie eine Rolle bei der Herstellung von Dachgartensubstraten, Baumsubstraten und Substraten für die Innenraumbegrünung, häu- fig in Mischung mit anderen Substrataus- gangsstoffen (FISCHER 2010). Bei der Produk- tion von Kultursubstraten für den Produktions- gartenbau und Blumenerden spielen Bims und Schaumlava – abgesehen vom gelegentlichen Einsatz bei Containersubstraten – eher eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 53: Pflanzenbaulich wichtige Eigenschaften von Schaumlava und Bims (JAUCH 2009b, FISCHER 2010). Anmerkung: In den Literaturquellen sind nicht alle Untersuchungsmethoden aufgeführt.

Eigenschaft	Einheit	Schaumlava	Bims
pH-Wert	--	6,5-8,2	
Salzgehalt (H ₂ O)	g/l	0,10-0,25	
N (CaCl ₂)	mg/l	0-10	
P ₂ O ₅ (CAL)		0-40	
K ₂ O (CAL)		200-400	
Kationenaustauschkapazität	mval/l	ca. 20	
Gesamtporenvolumen ¹⁾	% (v/v)	50-65	60-85
Luftkapazität bei max. Wasserkapazität		30-45	35-55
max. Wasserkapazität		15-25	25-45
Schüttdichte (trocken)	g/l	900-1.200	500-600
Frostbeständigkeit	--	hoch	gering bis hoch ²⁾
Verdichtbarkeit	--	hoch	gering

¹⁾ Bei einer Körnung von 2-12 mm.

²⁾ Je nach Herkunft.

5.2.8 Weitere mineralische Ausgangsstoffe

Neben allen oben genannten mineralischen Substratausgangsstoffen gibt es weitere, die aber weit weniger oder gar nicht in Kultursubstraten und Blumenerden Verwendung finden. Ihre Einsatzgebiete sind die unterschiedlichen Dachgartensubstrate und Baumsubstrate, die hier nicht umfänglich abgehandelt sind (s. Kap. 9.1.6). Zu solchen Ausgangsstoffen, die häufig andere Eigenschaften als Kultursubstrate und Blumenerden aufweisen müssen (s. z. B. Frostbeständigkeit und Verdichtbarkeit in Tabelle 53) und zum Teil nach anderen Untersuchungsmethoden analysiert werden (z. B. FLL-Methoden für Dachgartensubstrate), zählen beispielsweise Blähschiefer, Kesselsand, Rostasche, Zeolithe und Ziegelsplitt. Auch ist die Verwendung von Mineralwolle-Flocken praktisch bedeutungslos geworden, weshalb hier nicht darauf eingegangen wird.

5.2.8.1 Mineralwolle-Matten und -Würfel

Im Prinzip handelt es sich bei der Pflanzenkultur in vorgeformten Mineralwolle-Matten und -Würfeln um eine Form der Hydrokultur, die im Produktionsgartenbau durchaus einen Stellenwert hat. Hauptverwendungsbereich für Mineralwolle ist im Baugewerbe als Isoliermaterial. Mineralwolle-Produkte für den Gartenbau werden nur noch in den Niederlanden (Produktionsmenge ca. 0,5 Millionen m³) und Frankreich (Produktionsmenge ca. 30.000 m³) hergestellt.

Diabas, ein Erstarrungsgestein der Gruppe der Vulkanite, ist das Ausgangsgestein für die Herstellung von Mineralwolle, dem etwa 20 % Kalk und 20 % Koks für den Schmelzvorgang bei etwa 1.600 °C zugegeben werden. Die Schmelzmasse wird in einem speziellen Schleudervorgang zu Fasern mit einer Länge von ca. 3 mm und einer Dicke von ca. 0,005 mm versponnen. Dicke und Faserrichtung können bei der Herstellung entsprechend dem Einsatzbereich eingestellt werden. Vor dem Erkalten werden der Fasermasse Phenolharze

zugegeben, die die Fasern binden und in bestimmten Abständen voneinander halten. In einem Härteprozess werden dann Matten oder Würfel gepresst. Vorgeformt und folienumwickelt finden die Matten bzw. Würfel im Pflanzenbau Verwendung.

5.2.8.1.1 Eigenschaften und Verwendung

Die Mineralwolle-Matten und -Würfel sind nach der Herstellung steril und inert. Wie andere Ausgangsstoffe können sie aber im Kulturverlauf von Mikroorganismen besiedelt werden.

Vor der Verwendung sollten die Matten vollständig wassergesättigt werden, um den Benetzungswiderstand zu brechen. Danach sollten sie nicht austrocknen, um die weitere Benetzung über die Bewässerung zu gewährleisten. Gleichmäßige und ausreichende Bewässerungsintervalle sind dabei entscheidend. WEVER & KIPP (1998) stellen fest, dass die Wasserverteilung in den Matten maßgeblich von der Faserrichtung und der Dichte der Matten beeinflusst wird.

Gut bekannt ist die Verwendung von Mineralwolle-Matten beim Anbau von Fruchtgemüsen wie Auberginen, Gurken, Paprika und Tomaten. Auch im Schnittblumenanbau (z. B. Rosen) finden sie Verwendung. Mineralwolle-Würfel werden für die Jungpflanzenanzucht verwendet.

Es werden bei Weitem nicht alle gebrauchten Matten und Würfel recycelt, aber ein Teil wird bei der Produktion wiederverwertet. Ein Großteil landet auf der Deponie und stellt ein Entsorgungsproblem dar.



Abbildung 25a: Blähton gebrochen (© Floragard Vertriebs-GmbH).



Abbildung 25b: Blähperlite (© Floragard Vertriebs-GmbH).



Abbildung 25c: Blähvermiculit (© Floragard Vertriebs-GmbH).



Abbildung 25d: Bims (© Floragard Vertriebs-GmbH).



Abbildung 25e: Schaumlava (© Floragard Vertriebs-GmbH).



Abbildung 25f: Tongranulat (© Floragard Vertriebs-GmbH).

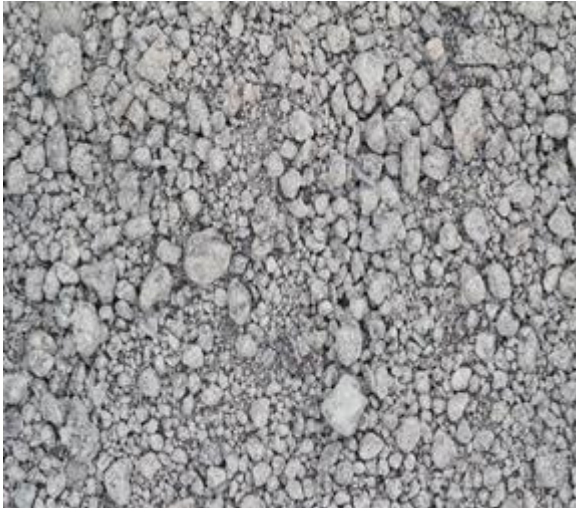


Abbildung 25g: Feuchttön (© Floragard Vertriebs-GmbH).

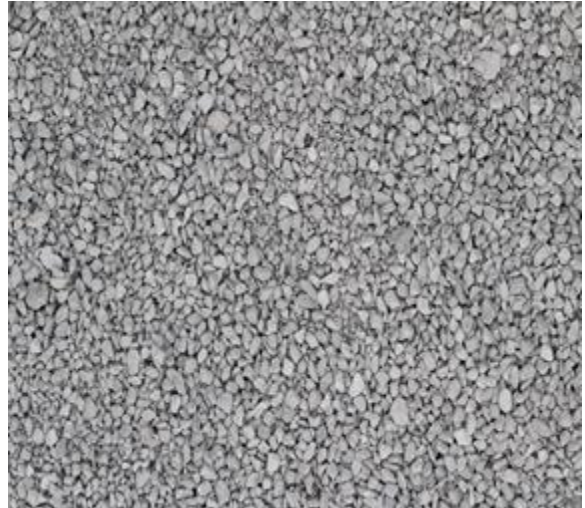


Abbildung 25h: Bentonit (© Floragard Vertriebs-GmbH).



Abbildung 25i: Sand (© Floragard Vertriebs-GmbH).



Abbildung 26: Kultur von Tomaten in Mineralwolle-Würfeln (© GRODAN).

5.3 Organisch-synthetische Ausgangsstoffe (Schaumkunststoffe)

Vor allem weil Schaumkunststoffe synthetische Erdölprodukte sind, ist ihre Verwendung zur Herstellung von Kultursubstraten und Blumenerden heute von sehr geringer Bedeutung. Wahrscheinlich werden sie aus Umweltschutzgründen und weil sie in Substraten keine besonderen Vorteile bringen und zudem andere Ausgangsstoffe dieselben oder bessere physikalische Kennwerte aufweisen, nicht mehr eingesetzt.

5.3.1 Geschlossenzellige Schaumkunststoffe

Durch Aufschäumen von Polystyrol wird in der petrochemischen Industrie ein Schaumkunststoff hergestellt, der weltweit in den verschiedensten Verwendungsbereichen, z. B. als Verpackungsmaterial oder Isoliermaterial, Verwendung findet. Dieser Schaumkunststoff wird von den verschiedenen Herstellern unter unterschiedlichen Handelsnamen gehandelt. In Deutschland ist beispielsweise Styropor® sehr bekannt. Durch Zermahlen dieses Schaumstoffes erhält man Flocken, die als Styromull® gehandelt werden. Styromull® wurde als Bodenlockerungsmittel im Gartenbau, Garten- und Landschaftsbau und in der Landwirtschaft vermarktet. Die Styromull®-Flocken haben eine geschlossene Oberfläche, sind luftgefüllt und extrem leicht. Ihre geschlossene Porenstruktur verhindert den Austausch von Luft, Wasser und Nährstoffen. Daher wird bei Verwendung von Styromull® im Substrat der maximale Feuchtigkeitsgehalt reduziert. Chemisch und physikalisch betrachtet ist Styromull® inert, frei von Nährstoffen und Salzen, schwer verrottbar und strukturstabil. Das weiße bis gräuliche Styromull® ist in Flockengrößen von etwa 4 bis 15 mm erhält-

lich und mit einer Schüttdichte nach DIN EN 12580 von ca. 20 kg/m³ wohl das leichteste Ausgangsmaterial überhaupt. Es kann bei Kulturen, die ein sehr lockeres Substrat benötigen (z. B. Epiphyten), verwendet werden.

5.3.2 Offenzelliger Harzschaum

Als geflockter, offenzelliger Harzschaum auf der Basis von Harnstoff wird der Schaumkunststoff (Hygromull®) als Bodenhilfsstoff angeboten. Dieser Harzschaum besteht zu je 30 % aus Stickstoff und Kohlenstoff und gehört zu den Duroplasten (RÖMPP 1997b). Im Kultursubstrat ist der Stickstoff zunächst nicht pflanzenverfügbar, weshalb dieser Schaumkunststoff zu Kulturbeginn nährstoff- und salzfrei ist. Während der Kultur kommt es aber zu Umwandlungsprozessen und geringen Mengen an freigesetztem Stickstoff. Der Abbau ist abhängig von der Temperatur, dem Feuchtigkeitsgehalt und dem pH-Wert und kann bei einem pH von 5,0 (H₂O) 20 % im Jahr betragen.

Laut Herstellerangaben kann dieser Schaumkunststoff der Verbesserung der Wasser- und Nährstoffspeicherung leichter bis mittlerer Böden dienen. Demselben Zweck kann er als Substratausgangsstoff dienen. Somit kann die Wiederbefeuchtung eines trocken gewordenen (hydrophoben) Substrats erleichtert werden. Bei der Mischung mit Substratausgangsstoffen mit hohen Rohdichten ist mit Volumenschwund durch Abrieb zu rechnen.

Hygropor® ist eine Mischung aus 70 % Hygromull® und 30 % Styromull®. Der Styromull®-Anteil bewirkt eine Stabilisierung des ansonsten abriebanfälligen Hygromulls.

Substrate, die Schaumkunststoffe enthalten, sollten nicht gedämpft werden, da ihre physikalischen Eigenschaften durch Volumenschwund weitgehend verloren gehen.

6 Zusätze für Kultursubstrate und Blumenerden

Der Verwendungszweck eines Substrats bestimmt seine Zusammensetzung. Dementsprechend wird die Substratphysik und -chemie eingestellt. Voraussetzung für gezielte Substratformulierungen ist die genaue Kenntnis der Eigenschaften der Einzelkomponenten und ihre Wirkung in der Kombination mit anderen Materialien. Positive Eigenschaften mancher Komponenten können durch Mischung manche negativen Eigenschaften anderer Substratausgangsstoffe kompensieren. Volumemäßig gemischte Komponenten wie Torf, Holzfaserstoffe, Rindenumus oder Kokosmark müssen fast immer mit Substratzusätzen verbessert werden.

Neben strukturellen und damit einhergehenden physikalischen Eigenschaften sind die Nährstoffgehalte und der pH-Wert des Substrats entsprechend den Pflanzenbedürfnissen und Kulturbedingungen einzustellen. Mit biologischen Präparaten ist man bestrebt, die Substratmikrobiologie positiv zu beeinflussen. Weitere Zusätze können die Benetzung oder die Bindigkeit von Substraten verbessern. Nachfolgend werden wesentliche Substratzusätze besprochen.

6.1 Düngemittel

Ein Düngemittel wird nach DIN EN 12944-1 (DIN 2000) definiert als Stoff, dessen Hauptaufgabe es ist, Pflanzen mit Nährstoffen zu versorgen. Die Definition laut Düngegesetz (BMJ 2009) ist umfassender: „Düngemittel sind Stoffe, ausgenommen Kohlendioxid und Wasser, die dazu bestimmt sind, a) Nutzpflanzen Nährstoffe zuzuführen, um ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen oder ihre Qualität zu verbessern, oder b) die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten oder zu verbessern.“

6.1.1 Grunddüngung des Substrats

Alle in Substraten kultivierten Pflanzen decken ihren Nährstoffbedarf aus der Bodenlösung über ihre Wurzeln. Daher enthalten Substrate

entsprechend ihrem Verwendungszweck und der vorgegebenen Versorgungsdauer alle für das Pflanzenwachstum erforderlichen Nährstoffe. Es gibt jedoch sogenannte ‚Null-Substrate‘, die nicht aufgedüngt sind, oder teilgedüngte Substrate, die nur in niedriger Dosis aufgedüngt sind, weil die Flüssigdüngung im Gartenbaubetrieb bzw. im Hobbygartenbereich praktisch sofort nach dem Substrateinsatz beginnt. Die Pflanzenverfügbarkeit der einzelnen Nährstoffe ist von verschiedenen Faktoren abhängig, die vom Substrathersteller bzw. Kultivateur während der Kultur beeinflusst werden können:

- pH-Wert des Substrats zu Kulturbeginn und im Kulturverlauf
- Pufferungsvermögen des Substrats
- Konzentration der Nährstoffe im Düngemittel
- Nährstoffform (wasserlöslich, langzeitgebunden, chelatisiert)

Hochmoortorf enthält entstehungsbedingt nur vernachlässigbare Gehalte an Nährstoffen, die für das Pflanzenwachstum erforderlich sind (s. Kap. 5.1.1.9.1). Ihm müssen alle Haupt- und Spurennährstoffe zugesetzt werden. Ohne bereits enthaltene Nährstoffe berücksichtigen zu müssen, wird daher bei reinen Torfsubstraten und Torf-/Tonsubstraten häufig mit Mehrnährstoffdüngern gearbeitet. In Tabelle 54 sind dazu beispielhafte Werte aufgeführt. Die Kenntnis der Nährstoffgehalte anderer Substratausgangsstoffe wie Kompost, Holz-

Tabelle 54: Aufdüngung von Substraten auf Torfbasis (GRANTZAU 1999).

Substrat/Substrattyp	Dünger (z. B. 14+16+18 + Spurenelemente) kg/m ³
Moorbeetsubstrat	0,0-0,5
Aussaat-/Vermehrungssubstrat	0,3-1,0
Topfsubstrat Typ 1/ Typ P	1,0-1,5
Topfsubstrat Typ 2/ Typ T	1,5-2,5

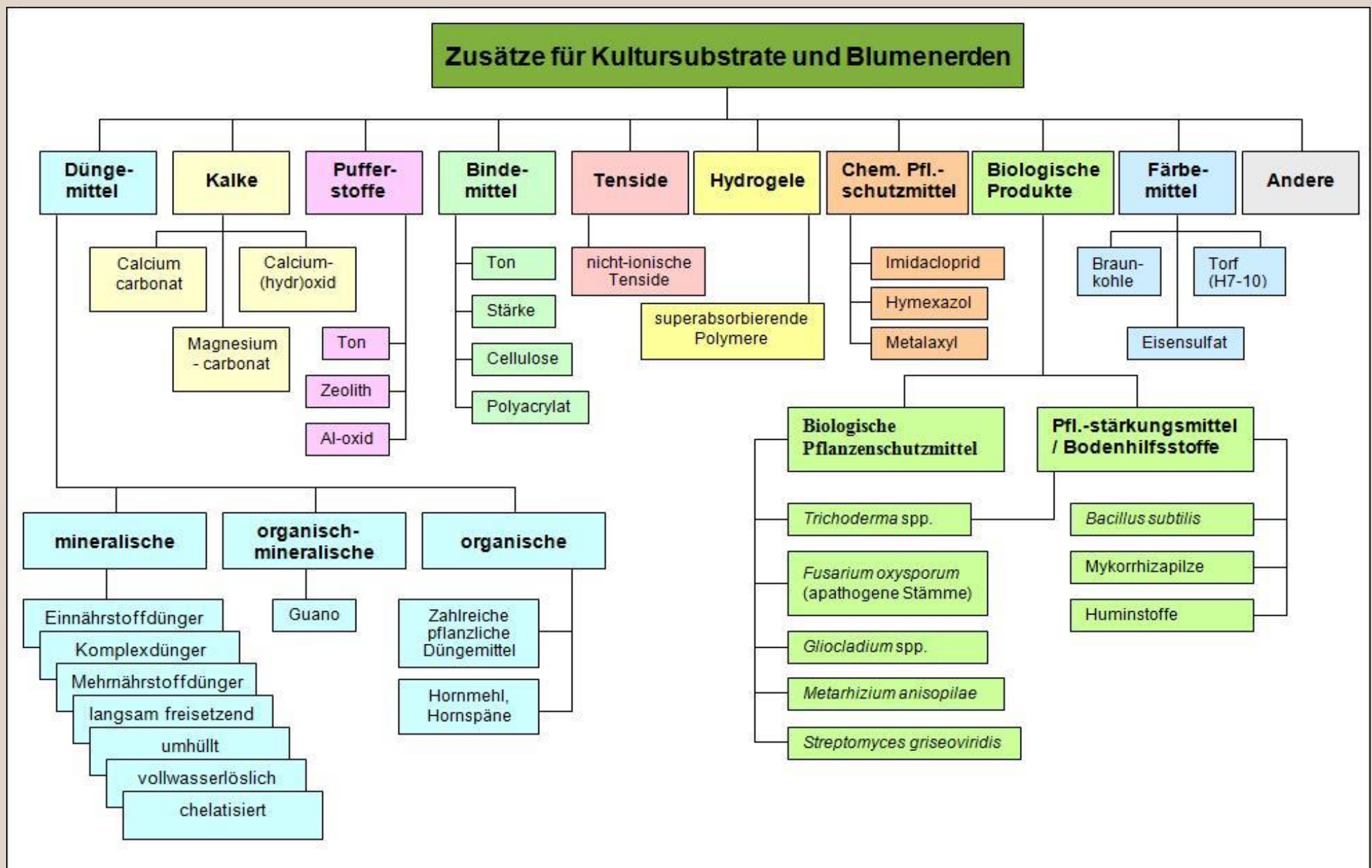


Abb. 27: Übersicht wichtiger Substratzusätze ohne Anspruch auf Vollständigkeit (SCHMILEWSKI 2003).

faserstoffe, Kokosmark oder Rindenhumus ist unerlässlich und setzt eine gärtnerische Substratuntersuchung auf Haupt- und Spurennährstoffe voraus. Bei der Aufdüngung ist dann die Verwendung von Mehr-, Einzel- und Spurennährstoffdüngern oder Depot- bzw. Dauerdüngern möglich, die gemäß dem Bedarf die fehlenden Nährstoffe ergänzen.

Werden Kompostkultursubstrate hergestellt, so ist die Berücksichtigung der meist sehr hohen Kalium- und hohen Phosphatgehalte des Komposts durch Verwendung stickstoffbetonter oder reiner Stickstoffdünger erforderlich. Ähnlich verhält es sich bei der Herstellung von Rindenkultursubstraten, deren Anteil an Rindenhumus in der Regel nennenswerte Phosphat- und Kaliumgehalte hat. So sind der Verwendungszweck des Substrats, seine Zusammensetzung, das Nährstoffbedürfnis der Kultur und die Salzverträglichkeit für die Höhe der Aufdüngung entscheidend. Mögliche Beispiele für die Aufdüngung von Substratmischungen mit nährstoffreichen Ausgangsstoffen enthält Tabelle 55. Die Kombinationsmöglichkeiten sind aufgrund der Vielzahl der Düngemittel und Substratausgangsstoffe erheblich vielfältiger.

6.1.1.1 Düngemittelwahl

Bei der Düngerwahl zur Grunddüngung eines Substrats sind darüber hinaus weitere entscheidende Kriterien zu beachten:

- Nährstoffbedürfnis bzw. Salzverträglichkeit der Kultur (s. Kap. 4.4.2.1)
- Standzeit der Kultur

- Typ und Löslichkeit des Düngemittels
- Kultur- und Düngungsverfahren im Gartenbaubetrieb
- gewünschtes Nährstoffverhältnis (NPK-Verhältnis)

6.1.1.1.1 Standzeit der Kultur

Die Kulturstandzeit bestimmt die Düngerwahl bei der Grundversorgung des Substrats mit. Es macht wenig Sinn, ein Vermehrungssubstrat, in dem die Jungpflanzen nur drei Wochen von der Aussaat bis zum Auspflanzen stehen, mit einem Depotdünger zu versorgen, der vielleicht 5 bis 6 Monate lang Nährstoffe nachliefern kann. Ebenso kann es aus wirtschaftlichen Gründen wenig sinnvoll sein, beispielsweise ein Containersubstrat zum Zeitpunkt des Topfens lediglich mit einem vollwasserlöslichen Dünger so aufzudüngen, dass das Substrat bei Kulturbeginn in der Summe die rechnerisch für die Kulturdauer benötigte volle Nährstoffmenge erhält; Nährstoffauswaschungen und Salzschäden wären unvermeidbar. Es ist daher immer wichtig, einen für die Kulturdauer bzw. für die Dauer eines bestimmten Kulturabschnitts geeigneten Dünger zu wählen und eventuell weitere Düngungsmaßnahmen im Kulturverlauf einzuplanen.

6.1.1.1.2 Düngertyp und -löslichkeit

Wasserlösliche Düngemittel

Bei der Aufbereitung von Kultursubstraten und Blumenerden werden überwiegend wasserlös-

Tabelle 55: Aufdüngung von Substratmischungen mit nährstoffreichen Substratausgangsstoffen – mögliche Beispiele (GRANTZAU 1999).

Substratzusammensetzung (% v/v)	Menge (kg/m³)	Dünger* (% N+P ₂ O ₅ +K ₂ O)
Rindenkultursubstrat	0,5-2,0	15+10+15
40 % Torf + 60 % Rindenhumus (RH)		18+12+18
40 % Torf + 15 % Ton + 45 % RH		20+5+10
Kompostkultursubstrat	0,5-1,0	20+5+10
80 % Torf + 20 % Substratkompost (SK)		26+0+0
60 % Torf + 40 % SK		
Holzfaserkultursubstrat	1,0-2,0	15+10+15
60 % Holzfaser (HF) + 40 % Torf		18+12+18
50 % HF + 40 % RH + 10 % SK		20+5+10
50 % HF + 30 % RH + 20 % Kokos		

* Je nach den Nährstoffgehalten der Substratausgangsstoffe.

liche, mineralische Mehrnährstoffdünger eingesetzt. Die darin enthaltenen Nährsalze stehen den Pflanzen sofort zur Verfügung. Soweit es sich bei den Substratausgangsstoffen um wenig belebte Materialien handelt (z. B. Torf), kann davon ausgegangen werden, dass die zugegebenen Nährstoffe auch nach längerer Lagerungszeit des Substrats und späterer Verwendung pflanzenverfügbar bleiben. Anders kann es bei stärker belebten Substraten oder nicht entsprechend mit Stickstoff versorgten Holzfaserstoffen sein. Der sonst bei normaler Aufdüngung zugegebene Stickstoff steht den Mikroorganismen als wasserlöslicher Nährstoff sofort und daher der Pflanze im ungünstigen Fall aufgrund einer mikrobiellen Stickstoff-Immobilisierung nur in ungenügender Menge zur Verfügung.

Bei Langzeitkulturen wie Containerkulturen werden häufig Kombinationen wasserlöslicher Mehrnährstoffdünger in geringer Menge (z. B. 0,3 bis 1,0 kg/m³ Substrat) und umhüllter Dauerdünger als Nährstofflieferanten gewählt. Zudem spielt die Vermeidung möglicher Nährstoffauswaschungen bei Containerkulturen eine wichtige Rolle. Mit hohen Aufdüngungsraten wird daher hier selten gearbeitet; eher wird auf den Zusatz wasserlöslicher Düngemittel verzichtet.

Wichtig ist eine feine Korngröße des (wasserlöslichen) Düngers zum einen, um eine mögliche gleichmäßige Verteilung während des Mischvorgangs zu erzielen, und zum anderen, um insbesondere bei kleinen Vermehrungseinheiten, wie kleinzelligen Multitopfplatten, die Gewähr zu haben, dass jeder Jungpflanze die gleiche Menge an Nährstoffen zur Verfügung steht. Nur so sind einheitliche Pflanzen termingerecht zu produzieren. Grobe Düngergranulate würden hier das Gegenteil bewirken. Es gibt eine Vielzahl wasserlöslicher, mineralischer Mehrnährstoffdünger für die Substrataufbereitung.

Einnährstoffdünger, Zweinährstoffdünger

Einnährstoffdünger enthalten nur einen Hauptnährstoff oder Magnesium (Mg wird auch als Sekundärnährstoff bezeichnet). Zweinährstoff-

dünger enthalten zwei Hauptnährstoffe bzw. einen Hauptnährstoff und einen Sekundärnährstoff. Bei der Substratherstellung werden Ein- oder Zweinährstoffdünger prinzipiell nur dann eingesetzt, wenn diese Nährstoffe in nicht ausreichender Menge vorhanden sind oder man gezielt für bestimmte Anwendungsbereiche einzelne Nährstoffe anreichern möchte. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn ein Kompost im Substrat enthalten ist und genügend hohe Kalium- und Phosphatwerte erreicht werden, die Stickstoffversorgung aber ungenügend ist.

Spurennährstoffdünger

Obwohl die Mehrzahl der industriell hergestellten und betriebseigenen Substrate mit wasserlöslichen Mehrnährstoffdüngemitteln mit allen für das Pflanzenwachstum erforderlichen Spurennährstoffen zubereitet werden, setzt man häufig auch zusätzlich Spurennährstoffdünger getrennt ein. Dies ist z. B. dann der Fall, wenn Rindenumus verwendet wird oder wenn Substrate für Kulturen produziert werden, die besondere Ansprüche an bestimmte Spurennährstoffe, insbesondere Eisen, haben. Weil Spurennährstoffdünger in geringen Mengen zugesetzt werden, stellt ihre homogene Einmischung ins Substrat hohe Anforderungen an die Dosier- und Mischtechnik.

Bei Spurennährstoffen, deren Pflanzenverfügbarkeit in starkem Maße vom pH-Wert des Substrats abhängig ist, wie z. B. Eisen, werden häufig Spurennährstoffdünger verwendet, die diese Nährstoffe in Form von Chelaten enthalten. So wird sichergestellt, dass der Spurennährstoff auch bei im Kulturverlauf gestiegenem pH-Wert noch ausreichend pflanzenverfügbar ist.

Dauer- und Langzeitdünger

Neben den wasserlöslichen Düngern spielen die Dauer- oder Depot- und Langzeitdünger bei der Substratherstellung für den Einsatz in Containerkulturen, Staudenkulturen und zum Teil im Zierpflanzenbau eine wichtige Rolle. Es handelt sich bei diesen Düngern um speziell

für gartenbauliche Zwecke entwickelte Dünger zur Langzeitbevorratung von Substraten. Gemäß DIN EN 12944-1 (DIN 2000) sind dies Düngemittel, in denen die Nährstoffe chemisch so gebunden sind oder in einer derartigen physikalischen Form vorliegen, dass sich die Verfügbarkeit für die Pflanzen über eine längere Zeitspanne ausdehnt. Trotz der meist höheren Preise im Vergleich zu herkömmlichen Düngern bringen sie folgende Vorteile mit sich:

- Sie setzen ihren Nährstoffvorrat dosiert frei.
- Einer Nährstoffauswaschung wird aufgrund ihres Wirkungsmechanismus entgegengewirkt.
- Sie können leicht dosiert und eingemischt oder als Punktdüngung verabreicht werden.
- Durch einmaliges Einmischen wird der Arbeitsaufwand für Nachdüngungen gesenkt.
- Sie sind für salzempfindliche Kulturen gut geeignet.

Durch unterschiedliche Herstellungsverfahren lassen sich verschiedene Mechanismen der Depotwirkung erzielen. Die bekanntesten und gebräuchlichsten Depotdünger oder Dauerdünger stellt die Gruppe der umhüllten Dauerdünger dar. Dies sind Düngemittel, bei denen die Körner mit einer dünnen Schicht unterschiedlicher Materialien überzogen sind, um ihr Verhalten zu verbessern und/oder die Eigenschaften des Düngemittels zu verändern (DIN EN 12944-1). Der meist verwendete Namenszusatz ‚-cote‘ bei diesen Düngern ist abgeleitet vom englischen ‚coat‘, was Hülle oder Mantel heißt (SCOTTS 2001).

Die granulierten Nährstoffkörner enthalten die jeweiligen Nährstoffe in wasserlöslicher Form. Die Körner sind mit einer semipermeablen Membran (Hülle) aus biologisch abbaubaren (Abbaudauer bis zu 3 Jahren), verharzten Pflanzenölen ummantelt. Substratfeuchtigkeit dringt als Dampf von außen durch die Hülle und löst die mineralischen Nährsalze auf. Durch den entstandenen osmotischen Druck

diffundieren die Nährelemente in Abhängigkeit von der Temperatur durch die Membran in die Bodenlösung des Substrats; niedrige Temperaturen verlangsamen diesen Prozess, höhere beschleunigen ihn. Umhüllte Langzeitdünger sind in unterschiedlichen Spezifikationen und Laufzeiten von 2 bis 18 Monaten erhältlich. Langzeitdünger sind auch in sogenannter kompakter Form z. B. als Formaldehyd-harnstoffkondensate erhältlich.

Organische Düngemittel

Organische Düngemittel bestehen im Wesentlichen aus kohlenstoffhaltigen Stoffen pflanzlichen und/oder tierischen Ursprungs (DIN EN 12944-1). Insbesondere organisch wirtschaftenden Betrieben steht eine Vielzahl von organischen Düngemitteln zur Substrataufdüngung zur Verfügung. Es handelt sich bei diesen Düngern nur selten um Wirtschaftsdünger, also tierische Ausscheidungen und ähnliche Nebenerzeugnisse aus der landwirtschaftlichen Produktion, sondern um Handelsdünger tierischer Herkunft, wie Hornprodukte, Knochenmehl, Guano (tierisch) oder pflanzliche Produkte.

Die Nährstoffgehalte organischer Handelsdünger sind herkunftsbedingt sehr unterschiedlich. Im Gegensatz zu wasserlöslichen mineralischen Düngemitteln sind die organisch gebundenen Nährstoffe nicht unmittelbar pflanzenverfügbar, sondern müssen zuvor mikrobiell aufgeschlossen werden. Folglich ist die Nährstoffverfügbarkeit meist langsam und zudem vorrangig von der mikrobiellen Aktivität im Substrat und somit von der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgehalt des Substrats abhängig. Organische Stickstoffdünger spielen bei sogenannten Biosubstraten für den ökologischen Gartenbau eine wichtige Rolle, da in diesem Anwendungsbereich mineralische Stickstoffdünger nicht erlaubt sind.

6.2 Kalk

Ist der pH-Wert eines Substrats nicht richtig eingestellt, kann dies gleich zu Kulturbeginn zu Wachstumsproblemen führen. Je größer die Abweichung vom pH-Optimum ist, desto größer der Schaden, da der pH-Wert eines Substrats für die Nährstoffverfügbarkeit ausschlaggebend ist – das gilt vor allem für Spurennährstoffe. Mit dem Zusatz von Kalk kann der pH-Wert der Substratmischung angehoben werden.

Bei der Herstellung von Substraten wird mit Kalk die Neutralisation von Säure (H^+ -Ionen) angestrebt. Die Kalkwirkung beruht auf der Anhebung des pH-Wertes im Substrat und zum anderen auf dem Zusatz des Nährelementes Calcium. Die Kalkung kann mit unterschiedlichen Kalken erfolgen.

Kalkstein ($CaCO_3$) ist das Ausgangsmaterial für sogenannte Düngekalke, die zur pH-Anhebung eingesetzt werden. Bei der Herstellung von Kultursubstraten wird fast ausschließlich Calciumcarbonat verwendet. Calciumcarbonat sowie kohlensaure Magnesiumkalke werden durch Trocknen und Vermahlen des Kalkgesteins produziert.

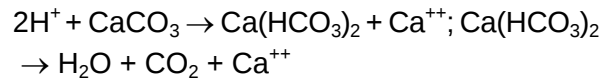
Weitere Kalke sind Calciumoxid (CaO = Branntkalk), Calciumhydroxid [$Ca(OH)_2$ = Löschkalk] und Hüttenkalk ($CaSiO_4$). Der unterschiedliche CaO -Gehalt beziehungsweise $CaCO_3$ -Gehalt der Kalke ist bei der Aufkalkung zu berücksichtigen.

6.2.1 Calciumcarbonat (kohlensaurer Kalk)

Die handelsübliche Bezeichnung für Calciumcarbonat ist kohlensaurer Kalk ($CaCO_3$). (Mit der chemischen Formel für Calciumcarbonat, $CaCO_3$, werden außerdem die handelsüblichen technischen Produkte Kalkspat, Kalkstein, Kreide, Marmor und Kalkmergel definiert.)

Ein Kultursubstrat auf der Basis von Torf ist eine Mischung aus Säure (Torf), Base (Kalk) und Salz (Dünger). Bei der Kalkzugabe wirkt

die Base Kalk neutralisierend auf die Huminstoffe des Torfes nach folgender Gleichung:



Der Markt bietet eine Vielzahl kohlensaurer Kalke an, die in Abhängigkeit von ihrer geologischen Formation und ihrem Vermahlungsgrad deutliche Unterschiede in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften zeigen. Neben den Eigenschaften des eingesetzten Kalks können auch die Eigenschaften der zu kalkenden Substratausgangsstoffe, Substratzusätze und des zugesetzten Düngers erheblichen Einfluss auf die pH-Werteinstellung haben.

Folgende die Kalkaufwandmenge bestimmende Faktoren sind bei der Kalkzugabe zu berücksichtigen (GÜNTHER et al. 1990):

- geologische Formation und Herkunft des Kalks
- Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen
- Härte des Kalks
- Mahlfineinheit (Korngröße) des Kalks
- Art, Zersetzungsgrad und Volumengewicht des Torfes
- entsprechende Eigenschaften anderer Substratausgangsstoffe
- Typ, Zusammensetzung und Menge des zugegebenen mineralischen (oder organischen) Düngers

Obwohl bestimmte Faktoren, wie die Gießwasserbeschaffenheit, die Zusammensetzung und Konzentration der Flüssigdünger, das Bewässerungsverfahren, die Temperaturführung und andere Faktoren, Einfluss auf pH-Änderungen des Substrats während der Kultur haben können, wird hier nicht weiter darauf eingegangen.

6.2.2 Geologische Formation und Kalkherkunft

Die geologische Formation und Herkunft bestimmen die chemische Zusammensetzung und Härte des Kalks. An der chemischen Zusammensetzung der natürlich vorkommenden Kalke sind insbesondere die Carbonate, vor allem des Calciums und weniger des Magnesiums, sowie wechselnde Mengen anderer Bestandteile, wie Ton, Quarz und Verbindungen von Eisen, Mangan, Zink, Kupfer und Bor, beteiligt (GÜNTHER 1972).

In den Güte- und Prüfbestimmungen für Düngekalk nach RAL-GZ 545 (RAL 1993) sind Qualitätskriterien für kohlensauren Kalk festgelegt. Danach liegt der Mindestgehalt gütegesicherter Sorten bei mindestens 80 % CaCO_3 + MgCO_3 . Höhere Gehaltsstufen sind in 5%-Stufen gestaffelt. Je nach Herkunft können Hochmoortorfe Magnesiumgehalte von nur 20 oder bis zu 190 mg/l (CaCl_2) haben. Bei Verwendung von Hochmoortorf mit niedrigen Magnesiumgehalten sollte daher geprüft werden, ob kohlensaure Kalke mit höheren Magnesiumgehalten eingesetzt werden sollten.

6.2.3 Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen

Der Gesamtgehalt an basisch wirksamen Bestandteilen des Kalks ist mit ausschlaggebend für die Kalkwirkung im Substrat. Die Wirkung wird bedingt durch den Gesamtgehalt an CaCO_3 und MgCO_3 und nimmt mit steigendem Anteil nichtcarbonatischer Bestandteile ab. Somit ist bei kohlensauren Kalken der Gesamtgehalt an Calcium- und Magnesiumcarbonaten wertbestimmend.

6.2.4 Reaktivität kohlensaurer Kalke

HENZE (1986) stellt fest, dass die Reaktivität ein konventioneller Maßstab für die Bewertung der Lösungsgeschwindigkeit von Kalken unter streng definierten Bedingungen und nicht etwa ein Maß für die Wirksamkeit des Kalks ist. Die Reaktivitätsbestimmung dient dazu, Kalke zu identifizieren, die trotz erfüllter Mindestmahlfeinheit sehr reaktionsträge oder sehr leicht umsetzbar sind. Wertbestimmend bleibt der tatsächliche Gehalt an wirksamem CaCO_3 und MgCO_3 , d. h. der Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen, der mit dem sogenannten Neutralisationswert korrespondiert. Der Gehalt an basisch wirksamen Bestandteilen wird in der Deklaration des Kalks mit aufgeführt. Die Reaktivität erlaubt also eine grundsätzliche Aussage darüber, ob ein kohlensaurer Kalk schneller wirkt als der andere.

6.2.5 Kalkhärte

Die physikalische und chemische Beständigkeit und damit die Wirkung des kohlensauren Kalks werden im Wesentlichen geprägt von den beiden gesteinsbildenden Mineralien Kalkspat und Dolomit. Dolomit hat eine größere Härte und ist gegen chemische und physikalische Zersetzung beständiger. Auch besteht eine Beziehung zwischen dem erdgeschichtlichen Alter eines Kalkgesteins und seiner Festigkeit und somit seiner Wirkung. Kreide ist erdgeschichtlich wesentlich jünger und damit weicher als Kalkstein oder Dolomit. Mit zunehmender Härte des Kalksteins bei gleicher Mahlfeinheit wird die Kalkwirkung verzögert. Es hat sich gezeigt, dass jedoch die Mahlfeinheit des kohlensauren Kalks den bedeutendsten Einfluss auf seine pH-steigernde Wirkung hat (GÜNTHER et al. 1990).

Tabelle 56: Reaktivität von kohlensaurem Kalk und kohlensaurem Magnesiumkalk, bewertet nach Umsetzung in verdünnter Salzsäure gemäß RAL-GZ 545 (RAL 1993).

Kalktyp	MgCO ₃ -Gehalt	Mindestreaktivität %		
		Typ C	Typ B	Typ A
Kohlensaurer Kalk	< 5 %	30	50	80
Kohlensaurer Kalk	5-14 %	30	40	60
Kohlensaurer Magnesiumkalk	15-25 %	30	30	50
Kohlensaurer Magnesiumkalk	> 25 %	10	20	30

6.2.6 Mahlfineinheit und spezifische Oberfläche des Kalks

Die Geschwindigkeit der physikalischen Auflösung des Kalksteins ist stark von der Mahlfineinheit (Körnung) des Kalks abhängig. Aufschlussreiche Ergebnisse hierzu ergaben bereits in den 1970er Jahren durchgeführte Kalksteigerungsversuche (GÜNTHER et al. 1972, GÜNTHER et al. 1979). Diese belegten, dass die Mahlfineinheit beziehungsweise die Korngrößenverteilung und die damit einhergehende spezifische Oberfläche des Kalks die Hauptwirkung auf die Neutralisationsgeschwindigkeit und somit auf die pH-Anhebung haben (Abbildung 28). Da die Feinvermahlung hohe Kosten verursacht, kommt der Einstufung von Kalken in die jeweiligen Gesteinsarten große praktische Bedeutung zu (SAUERBECK & RIETZ 1984).

Für die Beurteilung von Kalk zur pH-Anhebung gilt:

- Je höher der Magnesiumgehalt, desto geringer die Reaktivität.

- Die Mahlfineinheit und die herkunftsscharakteristische innere Oberfläche bestimmen die Größe der spezifischen, reaktionsfähigen Oberfläche.
- Je größer die Oberfläche des Kalks, desto höher die Reaktivität.

Ein Kalk neutralisiert demnach die Säuren eines Ausgangsstoffes umso schneller, je feiner er vermahlen ist. Somit haben fein gemahlene Kalke Vorteile gegenüber grobkörnigen Kalcken, da sich der gewünschte pH-Wert schneller einstellen lässt. Kalke mit grober Körnung sind reaktionsträge. Ihre Initialwirkung ist gering und ihre Langzeitwirkung schlecht voraus sagbar. In gelagerten Substraten, die grobkörnigen Kalk enthalten, kann der pH-Wert auch noch nach Jahren ansteigen. Bei der Verwendung von sehr weichem Gießwasser (z. B. Regenwasser) sind Kalke mit einem Anteil grober Körnung aufgrund ihrer Langzeitwirkung manchmal erwünscht.

Mittelfeine Kalke oder gemischte Körnungen aus feinem und gröberem Kalk haben eine

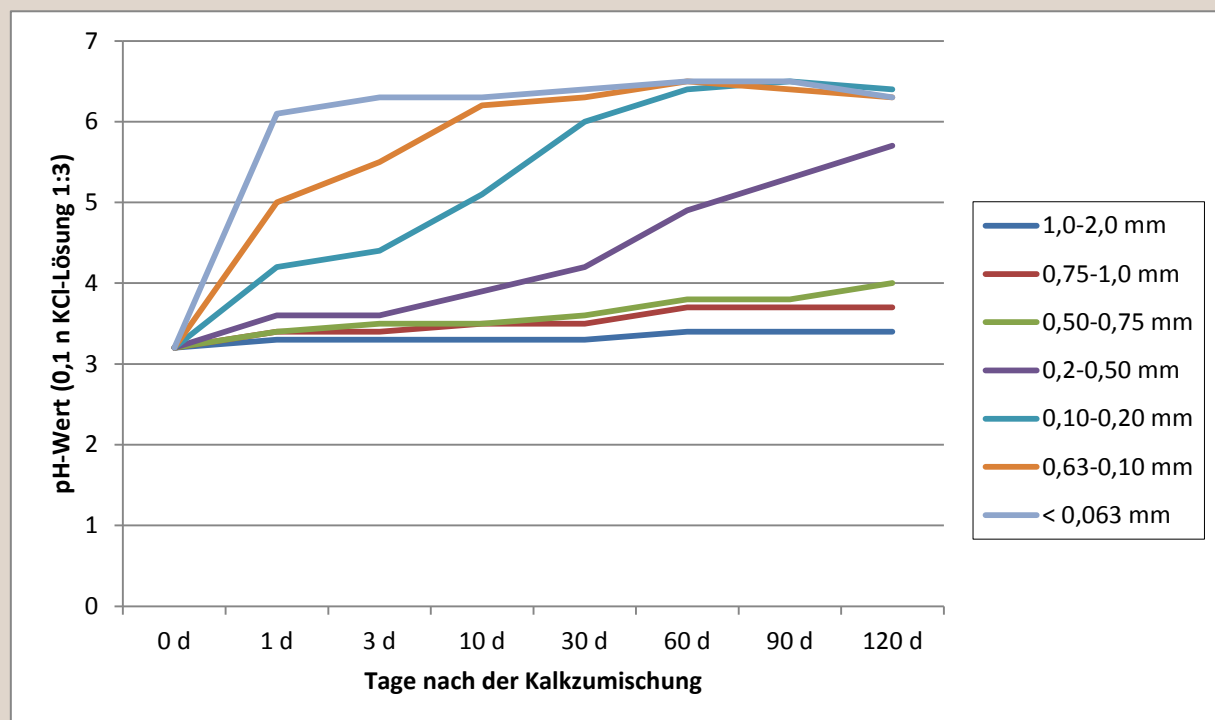


Abbildung 28: Einfluss der Mahlfineinheit (mm) eines kohlen sauren Kalks auf die pH-Anhebung eines schwach zersetzten Hochmoortorfes (H1-H2) mit einem Vol.-Gew. von 44 g/l und einem Feuchtigkeitsgehalt von 65 % (m/m) in Abhängigkeit der Lagerungsdauer (d) bei einer Kalkaufwandmenge von 3,0 kg/m³ ohne Düngerezusatz; Lagerungstemperatur ca. 20 °C (nach GÜNTHER et al. 1972).

relativ gute Initialwirkung und eine gewisse Langzeitwirkung. Mehlfein vermahlene Kalke zeigen eine rasche Initialwirkung. Grundsätzlich sollten Probemischungen mit unterschiedlichen Kalkmengen und pH-Messungen gemacht werden, bevor man sich für den einen oder anderen Kalk und eine bestimmte Aufwandmenge entscheidet. Aus den Probemischungen können sogenannte pH-Pufferkurven erstellt werden, die substratspezifisch den pH-Wert in Abhängigkeit von der zugesetzten Kalkmenge wiedergeben. Um einen bestimmten pH-Wert zuverlässig einstellen zu können, werden in der Regel Kalke eingesetzt, deren Anteil an Korngrößen $< 0,063$ mm über 50 % liegt.

6.2.7 Kalkmenge in Abhängigkeit der Eigenschaften der Ausgangsstoffe

Für die Herstellung eines Torfkultursubstrats sind nicht nur die bereits genannten Eigenschaften wichtig, sondern auch der Zersetzungsgrad des Torfes und sein damit einhergehendes Volumengewicht. Ferner bestimmt der angestrebte pH-Wert die benötigte Kalkmenge mit.

Eine Möglichkeit, den Kalkbedarf von Torfkultursubstraten näherungsweise rechnerisch zu ermitteln, besteht über die Rohdichte_{trocken} und die Trockensubstanz des Torfes. Je stärker zersetzt ein Torf ist, desto schwerer ist er und umso höher ist der Anteil an Huminsäuren, die neutralisiert werden müssen, um den gewünschten pH-Wert einzustellen. Hierbei wird die Rohdichte_{trocken} des Torfes in g/l herangezogen. Bei einer beispielsweise gegebenen Rohdichte_{trocken} von 110 g/l und einer gewünschten Kalkaufwandmenge (bezogen auf die Torftrockensubstanz) von 5 % ergibt sich rechnerisch ein Kalkbedarf von $(110 \text{ g/l} \times 5) : 100 = 5,5 \text{ g Kalk/l Torf}$.

Bei der industriellen Substratherstellung wird nach bestimmten Aufkalkungsmodulen oder nach langjährigen Erfahrungswerten aufgekalkt. Der pH-Ausgangswert der Substratausgangsstoffe und der Ausgangsmischung muss

bekannt sein. Zu beachten ist, dass insbesondere die organischen Substratausgangsstoffe, aber auch der Kalk aufgrund ihres natürlichen Charakters in ihren kalkbedarfsbestimmenden Eigenschaften mehr oder weniger stark schwanken können. Kontrollmessungen des pH-Wertes der fertigen Mischung während der Produktion sind daher unabdingbar und werden nach Herstellung jeder Charge durchgeführt und nach Sollwerten für jede Mischung beurteilt.

Substratausgangsstoffe, Substratzusätze und Kalk werden überwiegend als feste Substanzen gemischt. Die Ausgangsstoffe haben einen nicht immer gleichen Feuchtigkeitsgehalt. Der Neutralisationsvorgang erfolgt als Ionenreaktion in der wässrigen Lösung der Ausgangsstoffe, und das umso langsamer, je niedriger der Feuchtigkeitsgehalt der Ausgangsstoffe ist. Beispielsweise steigt bei verhältnismäßig trockenen Torfen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 50 % (m/m) der pH-Wert langsamer an als bei Torfen mit einem recht hohen Feuchtigkeitsgehalt von 70 % (m/m) bei sonst gleichen Ausgangsverhältnissen. Auch bei anderen Substratausgangsstoffen ist der Feuchtigkeitsgehalt bei der Einstellung des pH-Wertes wichtig.

6.2.8 Wirkung von Düngemitteln auf die Neutralisationswirkung von Kalk

Steigende Kalkmengen im Substrat führen nicht zu einem linearen Anstieg des pH-Wertes, was auf die puffernde Wirkung der Substratausgangsstoffe und -zusätze zurückzuführen ist. Des Weiteren wird die angestrebte pH-Anhebung eines Substrats nicht unwesentlich durch zugegebene Dünger beeinflusst. Die bei der pH-Anhebung bremsende Wirkung eines Düngers hängt von der zugegebenen Menge und der Art des Düngemittels ab. Physiologisch sauer wirkende Stickstoffdüngemittel, wie Harnstoff oder Ammoniumsulfat, benötigen selbst Neutralisationskapazität. Kalidünger wirken pH-neutral. Das Phosphatanion PO_4^{3-} wirkt puffernd. Änderungen

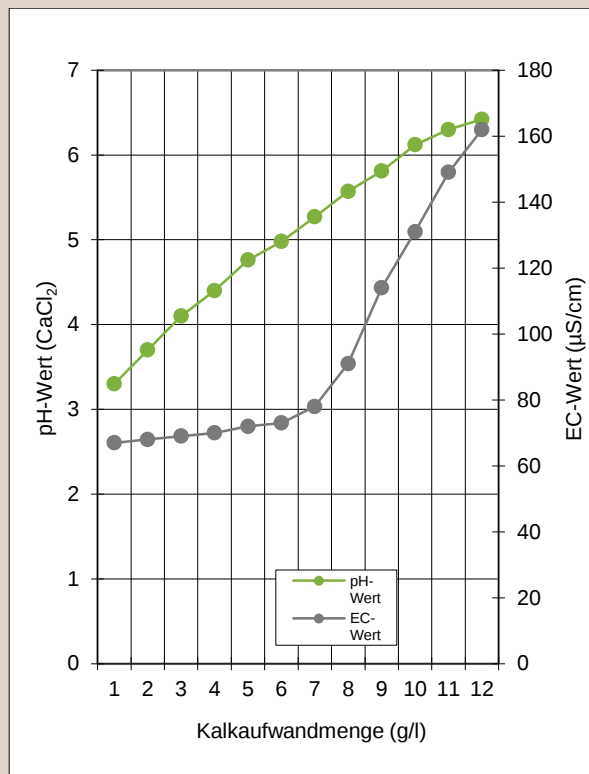


Abbildung 29: Einfluss der Kalkaufwandmenge eines kohlensauen Kalks (0,63-0,10 mm) auf den pH-Wert und EC-Wert eines Schwarztorfes ohne Düngerzusatz (Ausgangswerte pH = 3,1; EC = 70 μS/cm).

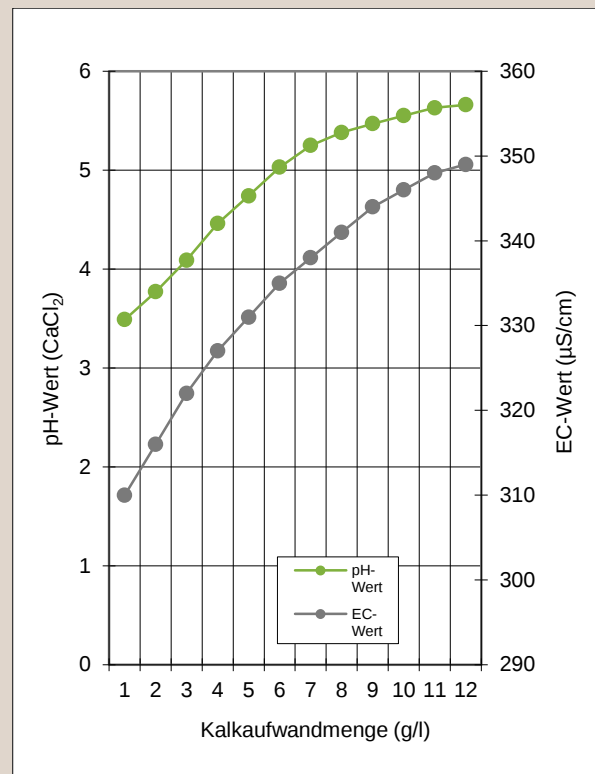


Abbildung 30: Einfluss der Kalkaufwandmenge eines kohlensauen Kalks (0,63-0,10 mm) auf den pH-Wert und EC-Wert eines Schwarztorfes bei Zusatz von 1,2 g/l wasserlöslichem NPK-Dünger (Ausgangswerte pH = 3,1; EC = 70 μS/cm).

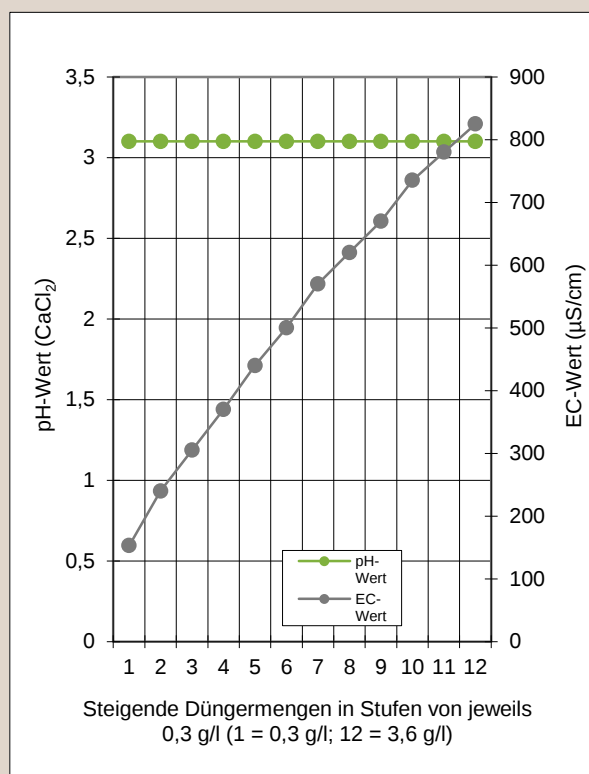


Abbildung 31: Einfluss steigender Düngermengen (wasserlöslicher NPK-Dünger) auf den pH-Wert und EC-Wert eines Schwarztorfes ohne Kalkzusatz (Ausgangswerte pH = 3,1; EC = 70 μS/cm).

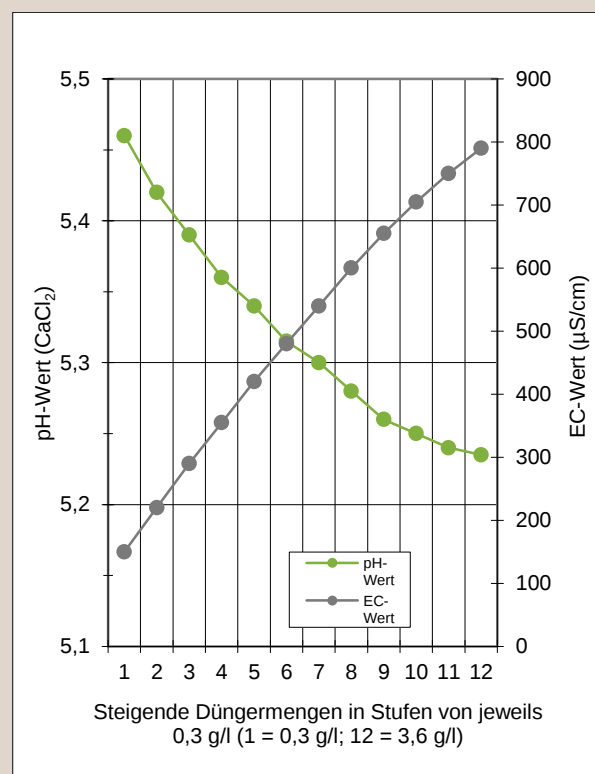


Abbildung 32: Einfluss steigender Düngermengen (wasserlöslicher NPK-Dünger) auf den pH-Wert und EC-Wert eines mit 8 g/l aufgekalkten (kohlensaurer Kalk 0,63-0,10 mm) Schwarztorfes (Ausgangswerte pH = 3,1; EC = 70 μS/cm).

des pH-Wertes im Kulturverlauf müssen demnach ständig beobachtet werden. Neben den verwendeten Düngemitteln zur Flüssigdüngung hat auch die Carbonathärte des Gießwassers einen großen Einfluss auf den pH-Verlauf während der Kultur.

Bei der industriellen Substratherstellung werden sehr oft fein vermahlene, vollwasserlösliche Mehrnährstoffdünger mit Spurenelementen verwendet. Ein solcher praxisüblicher NPK-Dünger wurde in einem Aufkalkungs- und -düngungsversuch als Zusatz zu stark zersetztem Hochmoortorf (Schwarztorf) verwendet. Der Torf wurde mit unterschiedlichen Mengen eines sehr feinkörnigen kohlensauen Kalks und unterschiedlichen Mengen eines wasserlöslichen NPK-Düngers aufbereitet. Die nach drei Tagen ermittelten Messwerte sind in den Abbildung 29 bis Abbildung 32 dargestellt. Sie zeigen die Wechselwirkungen des Kalks und Düngers auf den pH-Wert (CaCl_2) und die elektrische Leitfähigkeit (gemessen in Wasser 1 : 3,6) auf.

6.2.9 Einfluss anderer Ausgangsstoffe

Um bestimmte physikalische oder chemische Substrateigenschaften zu erzielen, werden inzwischen für viele Einsatzbereiche andere Substratausgangsstoffe und -zusätze dem Torf zugegeben oder torffreie Substrate produziert. Da der pH-Wert von Ausgangsstoffen wie Holzfaserstoffen, Kokosmark, Kompost oder Rindenhumus höher ist als der des Torfes und diese Stoffe mehr oder weniger hohe Gehalte an CaCO_3 haben können, wirken sie sich zwangsläufig pH-Wert-erhöhend auf die Mischung aus, wodurch der Kalkbedarf geringer ist als bei reinen Torfsubstraten. Da sich der Einfluss der verschiedenen Mischkomponenten auf den Kalkbedarf nur annähernd vorhersagen lässt, empfiehlt es sich, pH-Pufferkurven zu erstellen (s. Kap. 6.2.6) und den pH-Wert von Probemischungen über einen längeren Zeitraum zu erfassen. So lassen sich unerwünschte Abweichungen vom angestrebten pH-Wert des Substrats erkennen und korrigieren.

6.3 Tenside (Netzmittel)

Schon früh erkannte man, dass Substratbeimischungen von Sand, Ton, Steinmehl, Blähpelit, Zeolith und anderen Materialien die Gefahr der irreversiblen Schrumpfung reduzieren, indem sie das Zusammenkleben der Torfteilchen verhindern und die Benetzung des Substrats erleichtern (BRAGG & MCCANN 2003). Auch die Zugabe von Kalk und mineralischem Dünger sorgt für eine schnellere Benetzung. Heute werden vielfach Tenside zur Brechung des Benetzungswiderstandes von Substraten verwendet.

6.3.1 Eigenschaften von Tensiden

Tenside sind niedermolekulare organische Verbindungen mit amphiphilen Eigenschaften, d. h., sie besitzen aufgrund ihres molekularen Aufbaus sowohl eine hydrophile (wasserliebende) als auch eine hydrophobe (wasserabweisende) funktionelle Gruppe (KLUMPP et al. 1992). Aufgrund dieses Molekülaufbaus mit wasserlöslichen und wasserunlöslichen Eigenschaften können sich Tenside in wässrigen Lösungen an der Grenzfläche von Wasser anreichern, wodurch verschiedene physikalisch-chemische Eigenschaften ausgelöst werden. Der für das Dispergieren, Emulgieren, Reinigen und Waschen, insbesondere aber für das Benetzen wichtigste Effekt ist, dass Netzmittel die Grenzflächenspannung (s. Kap. 4.3.5.3) des Wassers herabsetzen. Sie werden deshalb auch als grenzflächenaktive Substanzen bezeichnet. Der vom lateinischen ‚tensio‘ = Spannung abgeleitete Begriff ‚Tensid‘ weist auf diese Fähigkeit hin. Die im Gartenbau zur Bewässerungsregelung eingesetzten Tensiometer basieren auf der Messung der Grenzflächenspannung.

6.3.1.1 Tensid-Klassen

Tenside werden je nach Ladung der hydrophilen Molekülteile in die Klassen anionische, kationische, amphotere und nicht-ionische Netzmittel unterteilt. Nicht-ionische Tenside besitzen keine Ladungen. Stattdessen sorgen mehrere Etherbrücken dafür, dass ein Teil des

Moleküls hydrophil ist (KLUMPP et al. 1992, RÖMPP 1999). Sie sind chemisch weniger aktiv, aber dadurch auch weniger phytotoxisch als anionische oder kationische Netzmittel. Deshalb werden bei der industriellen Substratherstellung deutlich häufiger nicht-ionische Tenside als andere Netzmittel eingesetzt. Dennoch ist Vorsicht bei der Dosierung geboten, da bei Überdosierung und in Abhängigkeit von der aktiven Substanz phytotoxische Wirkungen nicht auszuschließen sind.

6.3.1.2 Effekte von Tensiden auf die Oberflächenspannung von Substraten

Tenside werden sowohl aus biologischen Ausgangsstoffen, wie Fetten und Ölen, als auch aus petrochemischen Substanzen hergestellt. In Substraten können sie durch Mikroorganismen abgebaut werden; auch Licht trägt zum Abbau bei. Der Herabsetzung der Oberflächenspannung des Wassers nimmt daher mit der Zeit ab und der Benetzungswiderstand wieder zu. Wie schnell die einem Substrat zugesetzten Tenside abgebaut werden und wie lange somit die Wirkungsdauer im Substrat anhält, hängt somit von ihrem Molekülaufbau und der mikrobiologischen Aktivität im Substrat ab.

Untersuchungen von MICHEL et al. (1997a) haben die in Tabelle 57 aufgeführten Daten ergeben. Die Werte zeigen, dass zur Brechung des Benetzungswiderstandes von stark zersetztem Torf mehr Tensid benötigt wird als für

wenig zersetzten Torf. Der hydrophobe Charakter des Torfes nimmt also mit dem Grad der Humifizierung zu. MICHEL et al. (1997b) heben hervor, dass bei Kiefernrinde die Benetzung leichter erfolgt, je stärker die Rinde zersetzt ist. Der Kontaktwinkel (θ) zwischen Substrat und Wasser beeinflusst somit generell die Benetzbarkeit und Schnelligkeit der Wasseraufnahme des Substrats.

6.3.1.3 Effekte auf das Pflanzenwachstum

Wie wichtig es ist, die empfohlene Konzentration eines Netzmittels einzuhalten, hat nachfolgend beschriebener Versuch gezeigt. Einem Torfsubstrat [100 % Weißtorf; pH 6,0 (CaCl₂); 1,5 g/l Mehrnährstoffdünger] wurde in einem Substratversuch ein handelsübliches nicht-ionisches Tensid in steigenden Konzentrationen beigemischt. Die 11 Varianten wurden nach einer Lagerungsdauer von 5, 9 bzw. 12 Monaten. Drei Wochen nach der jeweiligen Aussaat wurde das Frischgewicht der Testpflanze ermittelt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 33 dargestellt. Je höher die Tensidkonzentration über der normalen Aufwandmenge lag, desto schlechter wuchs der Chinakohl. Die Ergebnisse zeigen auch, dass mit zunehmender Lagerungsdauer das Frischgewicht des Chinakohls zunimmt, die phytotoxische Wirkung des Tensids demnach abnimmt, was wiederum auf den Abbau des Tensids im Substrat während der Lagerung hinweist. Dass es bezüglich des Abbaus von Tensiden in Substraten erhebliche Unterschiede gibt, stel-

Tabelle 57: Abnahme des Kontaktwinkels zwischen Wassertröpfchen und Torf bei Zusatz eines Tensids, ermittelt nach einer Methode zur Bestimmung des kapillaren Anstiegs (MICHEL et al. 1997a).

Konzentration (ml Tensid/l Substrat)	Kontaktwinkel (θ)	
	Wenig zersetzter Torf	Stark zersetzter Torf
0,00	90,0	90,0
0,25	86,7	90,0
0,50	75,8	89,8
2,50	75,7	89,5
5,00	75,6	88,3
10,00	75,7	87,0
25,00	73,2	78,8
37,50	72,4	77,7
50,00	70,4	77,8

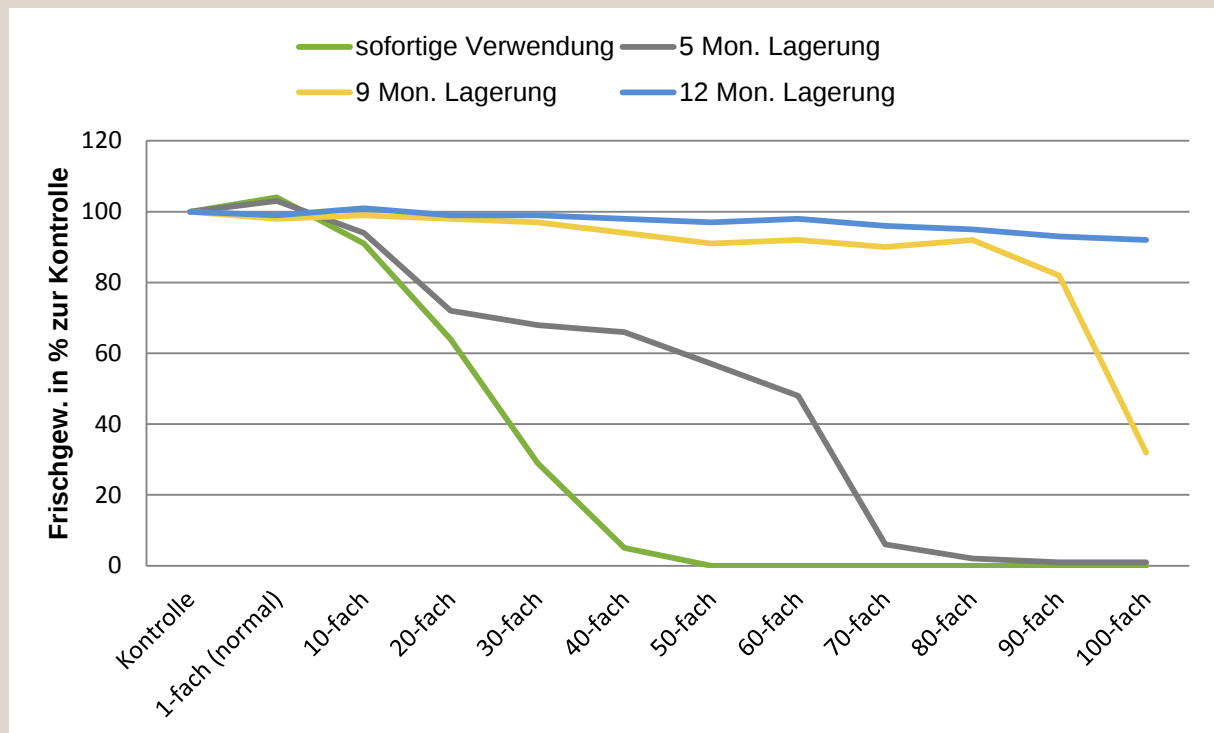


Abbildung 33: Wirkung steigender Konzentrationen eines nicht-ionischen Tensids auf das Frischgewicht von Chinakohl im Keimpflanzentest nach EN 16086-1 bei sofortiger Verwendung und nach Lagerung des Substrats.

len REINIKAINEN & HERRANEN (1997) während eines dreimonatigen Substratlagerungsversuches fest.

Dem Gärtner gibt der Zusatz von Tensiden ein gewisses Maß an Sicherheit bezüglich der schnelleren und gleichmäßigeren Substratbefeuchtung, insbesondere bei Aussaaten und der Jungpflanzenanzucht. Auch wird mit Tensiden bei trockener Kulturführung und modernen Bewässerungssystemen eine gute Wiederbenetzung und Wasseraufnahme in der Kultur sichergestellt. Bei der Wahl eines Tensids sind die Substratzusammensetzung, die Kultur und Kulturdauer sowie die Pflanzenverträglichkeit des Mittels von besonderer Bedeutung. Zudem sind die Lagerfähigkeit des behandelten Substrats und die Wirkungsdauer des Tensids nach der Lagerung und während der Kultur zu beachten.

Tenside werden üblicherweise in flüssiger, aber auch in granulierter Form angeboten. Gern werden granulierte Netzmittel eingesetzt, um eine bessere Vermischung zu gewährleisten. Der Wirkstoff granulierter Tenside haftet an einem Trägerstoff wie z. B. Blähvermiculit

oder Kokos. Manche Hersteller von Tensiden empfehlen bei Langzeitkulturen die kontinuierliche Verwendung von Tensiden als Zusatz zum Gießwasser. Diese Empfehlung hat sich in der Praxis jedoch nicht durchgesetzt.

6.4 Bindemittel

Die rationelle Jungpflanzenanzucht in Einzeltopfsystemen mit zum Teil nur wenigen Millilitern Substratvolumen je Anzuchteinheit und kurzen Kulturzeiten ist gängige gärtnerische Praxis. Besonders in den lichtarmen Monaten kommt es vor, dass der kleine Wurzelballen nicht ausreichend durchwurzelt ist. In dem Zustand ist die Ballenentnahme aus der Multizellenplatte von Hand oder mechanisch mit Pflanzrobotern häufig mit dem Auseinanderfallen des Ballens verbunden. Das Verpflanzen der Jungpflanzen verlangt stabile Ballen, um Pflanzenverluste durch Zerbrechen der Ballen zu vermeiden. Eine Stabilisierung der Wurzelballen kann durch Zusätze von Bindemitteln bei der Substratherstellung erzielt werden. Derzeit ist die Jungpflanzenanzucht der einzige Einsatzbereich für Bindemittel in Substraten, da das Erfordernis bei größeren Topfbällen nicht besteht.

Es sind längst nicht alle erhältlichen Bindemittel als Substratzusätze geeignet. LUCK (1994) nennt Bindezusätze (Kleber) auf der Basis von Cellulose, Polyacryl und Stärkeverbindungen, die Anzuchtsubstraten zugegeben werden können. Bindemittel müssen hierfür bestimmte Eigenschaften erfüllen, die häufig nur in Kombination miteinander oder durch Mischung bestimmter Ausgangsstoffe einzustellen sind:

- Das Bindemittel darf nicht phytotoxisch sein.
- Die Substratstruktur soll ohne Reduzierung der Luftkapazität stabilisiert werden.
- Der Nährstoffgehalt (vor allem der Stickstoffgehalt) darf nicht erhöht werden.
- Ein Verkleben des Topfballens mit der Topfwand muss ausgeschlossen sein.

Die als Jiffy-9 bekannten Torfquelltöpfe sind das vielleicht bekannteste Anzuchtssystem mit Bindemitteln. Diese werden im Gegensatz zu Jiffy-7-Torfquelltöpfen nicht von einem Kunststoffnetz ummantelt und so fixiert, sondern enthalten ein organisches Bindemittel, ein

Hydrocarbonat (ROMBERG & SOHN GMBH & CO. KG 2000).

LUCK (1994) weist auf ein anderes System hin, bei dem Kunststofffasern zusammen mit dem Substrat in die Anzuchtplatten gegeben werden und nach Erwärmung des Gemisches aufspringen, vernetzen und so den Topfbällen binden.

Bei sogenannten Klebtöpfen wird dem Ausgangssubstrat granuliertes Bindemittel zugegeben. Das Gemisch wird dann befeuchtet und gepresst und bleibt formstabil. Ein Steckloch wird für den Steckling in den Pressling vorgestanz.

Manche Substrathersteller verwenden besonders fein gemahlene bindende Tone als Klebemittel, auch in Kombination mit Stärke oder Cellulose.

6.5 Pflanzenstärkungsmittel

Gemäß § 2 Nr. 10 Pflanzenschutzgesetz gelten als Pflanzenstärkungsmittel Stoffe und Gemische einschließlich Mikroorganismen, die

- ausschließlich dazu bestimmt sind, allgemein der Gesunderhaltung der Pflanzen zu dienen, soweit sie nicht Pflanzenschutzmittel nach Artikel 2 Absatz 1 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 sind, oder
- dazu bestimmt sind, Pflanzen vor nichtparasitären Beeinträchtigungen zu schützen.

Produkte, bei denen die Versorgung der Pflanzen mit Nähr- und Spurenstoffen und die Anregung des Wachstums im Vordergrund stehen, sind als Pflanzenhilfsmittel oder Bodenhilfsstoffe einzuordnen und unterliegen dem Düngemittelrecht.

Bei der industriellen Substratherstellung werden Pflanzenstärkungsmittel fast immer nur auf Verlangen des Substratverwenders im Produktionsgartenbau zugemischt. Eine Vielzahl von Pflanzenstärkungsmitteln wird angeboten, die auch oder speziell für die Zumischung ins Substrat ausgelobt werden. Pflanzenstärkungsmittel sind überwiegend Produkte natürlichen Ursprungs.

Zu den Stärkungsmitteln auf anorganischer Basis zählen sowohl Gesteinsmehle, Tone, die weniger geläufige Kieselerde und Kreide als auch Aluminiumoxid (Tonerde) oder Natriumhydrogencarbonat (Backpulver).

Die Gruppe der organischen Pflanzenstärkungsmittel ist sehr groß. Hierzu zählen Kompost-, Algen- und Pflanzenextrakte sowie Pflanzenaufbereitungen und -öle sowie Huminsäuren.

Homöopathika sind in homöopathischer Form aufbereitete organische oder anorganische Ausgangsstoffe für Pflanzenstärkungsmittel.

Biologische Pflanzenstärkungsmittel auf der Basis von Pilzen und Bakterien gewinnen zu-

Tabelle 58: Auswahl einiger Organismen, die in manchen biologischen Pflanzenstärkungsmitteln enthalten sind und in Substrate eingemischt werden können.

Organismus	Wirkung
<i>Trichoderma harzianum</i> und <i>T. polysporum</i>	Förderung der Wurzelbildung und des Pflanzenwachstums
<i>Bacillus subtilis</i>	Stimulierung der Abwehrkräfte gegen bodenbürtige Pilzkrankheiten wie <i>Fusarium</i> , <i>Pythium</i> und <i>Rhizoctonia</i> ; Förderung des Pflanzenwachstums
<i>Trichoderma harzianum</i> und <i>T. koningii</i>	Stimulierung der Abwehrkräfte gegen bodenbürtige Pilzkrankheiten wie <i>Fusarium</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia</i> etc.
<i>Trichoderma harzianum</i>	Stimulierung der Abwehrkräfte gegen bodenbürtige Pilzkrankheiten wie <i>Fusarium</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia</i> , <i>Verticillium</i> etc.

nehmend an Bedeutung (Tabelle 58). Sie haben häufig antagonistische Nebenwirkungen gegen Krankheiten oder Schädlinge, weshalb ihre Unterscheidung von biologischen Pflanzenschutzmitteln nicht immer einfach ist.

Die Mikrobiologie von Substraten gewinnt zunehmend an Bedeutung. Einerseits ist es die autochthone Flora und Fauna des Substrats, die immer größere Aufmerksamkeit der Substrathersteller und des Gärtners gewinnt, andererseits will man das Substrat zunehmend mit biologischen Präparaten formulieren, um die Substratmikrobiologie zum Vorteil der Kultur aufzuwerten und um den Einsatz chemischer Mittel zu reduzieren (SCHMILEWSKI 1999). Im Gegensatz zu den vom Hersteller definierten Wirkungen chemischer und biologischer Pflanzenschutzmittel wird die Wirkung biologischer Pflanzenstärkungsmittel von den Herstellern dieser Produkte meist allgemeiner beschrieben. Vielen Präparaten wird eine stimulierende Wirkung

- auf das Pflanzenwachstum,
- eine Förderung der Blütenbildung,

- eine Ertragssteigerung,
- eine verbesserte Stresstoleranz und
- eine erhöhte Abwehrkraft gegen bodenbürtige Krankheitserreger

nachgesagt. Jedoch lässt sich die Wirkung häufig nicht genau spezifizieren, da unzureichende Untersuchungen für bestimmte Einsatzbereiche und die Kenntnis der Wirkung nach dem Einmischen in das Substrat fehlen. Allgemeingültigkeit haben solche Aussagen über die Wirkung keinesfalls. Ähnliches gilt für Mykorrhiza-Produkte, denen allgemeingültige Eigenschaften zugeschrieben werden und die bisher nur geringe gartenbauliche Verwendung gefunden haben. Wirkungserschwerend in Substraten kommt hinzu, dass durch die gezielte Substratformulierung, insbesondere die Grunddüngung und spätere flüssige Nachdüngungen im Kulturverlauf, eine zusätzlich stimulierende Wirkung in der Praxis schwer nachzuvollziehen ist.

6.6 Pflanzenschutzmittel

Pflanzenschutzmittel sind Mittel mit chemischen oder biologischen Wirkstoffen, die gegen Schädlinge, Unkraut oder Pflanzenkrankheiten eingesetzt werden, und sollen Kulturpflanzen vor Schädigungen oder Beeinträchtigungen durch andere Lebewesen schützen.

Gemäß § 19 Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz – PflSchG) (BMJ 2012) dürfen Kultursubstrate, die ein Pflanzenschutzmittel enthalten, verwendet werden, wenn sie (nach § 32 des PflSchG) rechtmäßig innergemeinschaftlich (innerhalb der EU) in Verkehr gebracht worden sind, d. h. für dieses Anwendungsgebiet in Kultursubstraten zugelassen sind.

Anwender von Pflanzenschutzmitteln, d. h. auch die Anlagenführer in den Substratwerken, müssen einen Sachkundenachweis haben und es müssen je nach Mittel Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Auch müssen die Substratverwender Substrate, die Pflanzenschutzmittel enthalten, diese entsprechend kennzeichnen und ebenfalls Sicherheitsvorkehrungen treffen; z. B. müssen Mitarbeiter Handschuhe und Masken tragen.

Es gibt nur wenige Pflanzenschutzmittel, die eine Zulassung für die Anwendung in Kultursubstraten und Blumenerden haben. Man unterscheidet chemische und biologische Pflanzenschutzmittel.

6.6.1 Chemische Pflanzenschutzmittel

Chemische Pflanzenschutzmittel wirken über einen oder mehrere chemische Wirkstoffe. In Deutschland gibt es kein Substrat, das standardmäßig chemische Pflanzenschutzmittel enthält. Die Herstellung von Sondermischungen ist möglich. So kann z. B. ‚Exemptor‘ (Wirkstoff Thiacloprid) als systemisch wirkendes Insektizid als Granulat mit Langzeitwirkung gegen saugende und beißende Insekten (Weiße Fliegen, Trauermücken, Dickmaulrüssler und Blattläuse) in das Substrat für den

Zierpflanzenbau und Baumschulen eingemischt werden. Fongamil Gold (Wirkstoff Metalaxyl-M) gegen *Pythium*- und *Phytophthora*-Arten im Zierpflanzenbau unter Glas ist für die Anzucht- und Topfsubstratbehandlung (nur unmittelbar vor der Verwendung) zugelassen.

Gegen den Zusatz chemischer Pflanzenschutzmittel spricht das generelle Gesundheitsrisiko. Hautkontakt, Augenkontakt, Reizung der Atemwege und Verschlucken sind erhebliche Risiken. Erhöhte Substratkosten, die sich vor allem dann nicht bezahlt machen, wenn der Schadorganismus nicht auftritt, können als nachteilig angeführt werden. Des Weiteren ist die Lagerung solcher Mischprodukte nicht unproblematisch und ungünstig, da der Abbau des Mittels während der Lagerung nicht auszuschließen ist.

6.6.2 Biologische Pflanzenschutzmittel

Biologischer Pflanzenschutz beinhaltet die Verwendung von nützlichen Organismen gegen Schadorganismen. Viele dieser Mittel werden durch Gießen oder Sprühen in der Kultur appliziert. Inzwischen gibt es auch eine

Reihe von biologischen Pflanzenschutzmitteln, die Substraten beigemischt werden können, um insbesondere bodenbürtige Krankheitserreger der Gattungen *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium*, *Rhizoctonia* und *Thielaviopsis* prophylaktisch bekämpfen zu können (Tabelle 59).

Das biologische Pflanzenschutzmittel Met 52 gegen Dickmaulrüssler enthält *Metarhizium anisopliae* und darf Substraten zugemischt werden.

Nach KOCH (1996a) lässt sich die Wirkungsweise mikrobieller Antagonisten (Gegenspieler) von Pflanzenkrankheiten auf die drei Grundprinzipien Konkurrenz, Parasitismus und Antibiose zurückführen. Konkurrenz bezieht sich vor allem auf den Lebensraum und die Nahrung. Parasitismus ist eine Form des Zusammenlebens von Organismen zum einseitigen Vorteil des Parasiten auf Kosten des Wirtes. Antibiose ist die Hemmung der Entwicklung oder Abtötung einer Mikroorganismenart durch eine andere mittels erzeugter Stoffwechselprodukte (Metaboliten, lytische Agenzien, flüchtige Verbindungen oder andere toxische Substanzen).

Tabelle 59: Auswahl einiger antagonistisch wirkender Organismen, die in manchen biologischen Pflanzenschutzmitteln enthalten sind, in Substrate eingemischt werden können und gegen bestimmte bodenbürtige Krankheitserreger wirken können.

Antagonist	Krankheitserreger	Applikationsbereich
<i>Streptomyces griseoviridis</i>	<i>Pythium</i> , <i>Phytophthora</i> und <i>Rhizoconia</i> im Gewächshaus	Zierpflanzen
<i>Streptomyces griseoviridis</i>	<i>Fusarium</i> , <i>Alternaria</i> und <i>Phomopsis</i>	Topfpflanzen, Gemüse, Baumschuljungpflanzen
<i>Coniothyrium minitans</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> und <i>S. minor</i>	Gewächshauskulturen
	<i>Rhizoctonia</i> und <i>Pythium</i> sowie andere	viele Gemüsearten; Zierpflanzen und Baumjungpflanzen
<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Pythium</i> spp., <i>Fusarium</i> spp., <i>Sclerotium rolfsii</i>	Zierpflanzen und Gemüsekulturen
<i>Trichoderma harzianum</i> Rifai	<i>Pythium</i> ssp., <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Fusarium</i> spp.	alle Zierpflanzen, Kohl, Tomate, Gurke, Bäume, Sträucher
<i>Gliocladium virens</i>	<i>Rhizoctonia</i> , <i>Pythium</i> , <i>Fusarium</i> spp.	Zierpflanzen und Gemüse
<i>Trichoderma</i> spp.	<i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Sclerotium rolfsii</i> , <i>Pythium</i> spp., <i>Fusarium</i> spp.	Baumschul- und Feldkulturen

Im Substratbereich gibt es gute Beispiele für die Verwendung von Mitteln auf der Basis von Mikroorganismen. Was aber fehlt, ist eine bessere Kenntnis der Wechselwirkungen zwischen Kulturpflanze, Mittel und der bereits vorherrschenden (und sich fortwährend ändernden) Mikrobiologie des Substrats. Ferner besteht Unkenntnis über die Einflüsse der Chemie und Physik des Substrats auf die Wirkung von biologischen Pflanzenstärkungs- und Pflanzenschutzmitteln. Hier ist noch viel Forschungsarbeit zu leisten.

Um im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes den Einsatz chemischer Mittel wie Mineraldünger und vor allem chemischer Pflanzenschutzmittel zu reduzieren, bieten biologische Präparate Alternativen. Mit der weiteren Zunahme ihrer Verwendung als Substratzusätze ist zu rechnen (s. Kap. 13). Besonders in Torfkultursubstraten, bei denen davon auszugehen ist, dass sie eine niedrige mikrobielle Pufferkapazität besitzen, da sie im Gegensatz zu gewachsenen Böden schwächer mikrobiell belebt sind, werden sich Antagonisten am ehesten etablieren lassen, vor allem zu Kultur-anfang (POSTMA et al. 1996).

6.7 Hydrogele

Hydrogele sind Quellmittel bestehend aus vernetzten Makromolekülen, die aus weitgehend hydrophilen Monomeren (wasserliebenden Molekülen) aufgebaut sind (THEIL 1995). Pflanzliches Gewebe besteht überwiegend aus natürlichen Hydrogelen. Die hier besprochenen synthetisch-organischen Hydrogele können beträchtliche Mengen an Wasser mit den darin gelösten Komponenten (z. B. Nährstoffe) aufnehmen, speichern und wieder abgeben. Sie wurden ursprünglich im Hygienebereich, später als Bodenverbesserungsmittel in ariden Gebieten mit sandigen Böden eingesetzt. Sie wirken nach der Wasserzufuhr im Boden wie kleine Wasserreservoirs, deren Inhalt pflanzenverfügbar ist. Ab etwa 1985 gelangte eine Vielzahl Hydrogele auf den Markt. Sie sind als Granulate unterschiedlicher Körnung von ca. 0,5 bis 4,0 mm von verschiedenen Herstellern erhältlich. Nach der deutschen Düngemittelverordnung (s. Kap. 8.1.2) gilt, dass ab dem 1. Januar 2017 synthetische Polymere (Hydrogele) nur verwendet werden dürfen, wenn sich sämtliche Bestandteile und das Endprodukt um mindestens 20 % innerhalb von zwei Jahren abbauen. (Ausgenommen sind solche Bestandteile, die ausschließlich in geschlossenen Systemen verwendet und anschließend entsorgt werden.)

Gartenbaulich einsetzbare Hydrogele können ein Vielfaches ihres Trockengewichtes an wässriger Lösung aufnehmen. Verfügt das Substrat jedoch bereits über eine hohe Wasserkapazität, so lässt sich dieses Speichervermögen durch den Zusatz von Hydrogelen kaum noch effektiv steigern, da die sorptiven Eigenschaften des Substrats die Wirkung des Hydrogels überlagern. Die Wasseraufnahme durch Hydrogele wird im Substrat durch die vorherrschende Dünger- bzw. Salzkonzentration eingeschränkt. In Substraten mit sehr hohem Sandanteil oder bei Ampelbepflanzungen mit langen Gießintervallen (z. B. im öffentlichen Grün) oder Böden mit geringem Wasserspeichervermögen können Hydrogele ihre Einsatzberechtigung haben. Bei organischem

Substrat mit hoher Wasserkapazität, beispielsweise auf der Basis von Weißtorf oder Torfmoos, wird jedoch durch die Zumischung von Hydrogelen und bei normaler Kulturführung keine oder kaum eine Verbesserung des Wasserhaushaltes des Substrats oder eine Verlängerung der Gießintervalle erreicht. Zu hohe Hydrogel-Aufwandmengen führen häufig zu Beeinträchtigungen des Wurzelwachstums oder Blattrandaufhellungen. Substrathersteller verzichten in der Regel auf die Verwendung von Hydrogelen.

6.8 Färbemittel

Im eigentlichen Sinn sind Torf und Eisensulfat keine Färbemittel, sie werden aber verwendet, um die Farbe von Holzfaserstoffen bzw. Friedhofsubstrat (Graberde) zu dunkeln. Holzfaserstoffe haben eine helle Holzfarbe. Mit stark zersetztem Torf (Schwarztorf) können sie gedunkelt werden, was ihnen eine erdähnliche Farbe gibt. Hierzu genügen wenige Prozente Schwarztorf. Auch Braunkohlenabrieb kann zu einem ähnlichen Ergebnis führen.

Mit dem Zweck, eine intensivere Dunkel- bzw. Schwarzfärbung zu erzielen, wird vielen Graberden Eisensulfat zugemischt.

7 Herstellung von Kultursubstraten und Blumenerden

Mit dem Wissen, welche chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften und Wirkungen Substratausgangsstoffe und -zusätze haben, ist eine wesentliche Voraussetzung für die Herstellung von Substraten erfüllt.

Noch vor einigen Jahrzehnten deckten viele Gärtnereien ihren Substratbedarf durch Eigenmischungen, wenige tun das noch heute. Mit fortschreitender Spezialisierung, hin zur Produktion von produktionsgärtnerischer Massenware von hoher Qualität, nahm auch der Bedarf an Hochleistungssubstraten zu. Der Trend zum Kauf von Fertigsubstraten hat sich durchgesetzt. Bei der Substratherstellung hat die Substratqualität oberste Priorität. Zum einen, weil Kundenwünsche erfüllt werden müssen, und zum anderen, weil der Substrathersteller im Reklamationsfall den Beweis der Sorgfaltspflicht während der Produktion antreten muss. Dennoch kann es für Gartenbaubetriebe Gründe geben, Substrate für den Eigenbedarf selbst zu mischen.

7.1 Eigenherstellung oder Industriesubstrat?

Die Entscheidung, ob das Substrat zugekauft oder im Gartenbaubetrieb in Eigenregie hergestellt werden soll, ist zum einen eine betriebswirtschaftliche Frage und zum anderen eine Abwägung aller Aspekte der Qualitätssicherung. Für die Entscheidung, ob die Eigenherstellung Sinn macht, sollten folgende Fragen innerbetrieblich geklärt sein:

- Können die benötigten Substratausgangsstoffe und -zusätze mit den erforderlichen Eigenschaften und in ausreichender Menge termingerecht bezogen werden?
- Ist ihre längerfristige Verfügbarkeit gesichert?
- Können Substratausgangsstoffe und -zusätze kostengünstig bezogen werden?

- Kommt Kompostierung eigener organischer Reststoffe in Frage und, wenn dies der Fall ist, können betriebseigene organische Reststoffe bei vorgesehener Verwendung einwandfrei kompostiert werden und ist ihre Aufbereitung, d. h. Umsetzen, Absieben und eventuelles Dämpfen, gewährleistet?
- Sind die erforderlichen Aufbereitungs- und Mischmaschinen vorhanden oder müssen sie zugekauft, geleast oder geliehen werden?
- Stehen die zur Herstellung der Praxiserde erforderlichen Arbeitskräfte zur Verfügung, auch in Spitzenzeiten, und können diese eingesetzt werden, ohne den übrigen Betriebsablauf zu behindern?
- Sind ausreichend Mischfläche und Lagerraum für alle Ausgangsstoffe und die fertigen Eigenmischungen in geeigneter Form vorhanden?
- Ist für die termingerechte Kulturplanung das erforderliche Substrat durch Eigenmischung zu realisieren?
- Kann sichergestellt werden, dass die Herstellungskosten nicht höher sind und die Substratqualität nicht schlechter ist als die eines Industriesubstrats?

Können diese Fragen in ihrer Gesamtheit nicht positiv beantwortet werden, so sollten Industriesubstrate zugekauft werden. Wenn alle genannten Voraussetzungen für die Eigenherstellung im Betrieb gegeben sind, steht der Gartenbaubetrieb grundsätzlich vor der gleichen Aufgabe wie das Substratwerk. Er muss eine auf die Kultur und das Kulturverfahren abgestimmte Substratrezeptur erarbeiten und die Betriebserde qualitativ beurteilen können.

7.1.1 Zusammensetzung von Substraten

Es gibt keinen Substratausgangsstoff, der alle geforderten Eigenschaften im Hinblick auf die Pflanzenbedürfnisse und Kulturführung erfüllt. Ausnahmen sind Stoffe, die für sich und ohne Zusätze verwendet werden können. Das sind beispielsweise vorgeformte Mineralwolle-Produkte in der Fruchtgemüsekultur, Bläherperl in der Orchideenkultur oder Torf bei der Kultur mancher fleischfressender Pflanzen (Karnivoren). Dabei sind allerdings eventuell sofortige Düngungsmaßnahmen zu beachten. Der Substratproduzent und jeder Gärtner, der seine eigenen Substratmischungen herstellen möchte, muss mit den Eigenschaften aller in Frage kommenden Substratausgangsstoffe und -zusätze vertraut sein, um das Für und Wider ihrer Verwendung abwägen und mit diesen Kenntnissen ein optimales Substrat herstellen zu können.

7.1.2 Auswahl von Substratausgangsstoffen und -zusätzen für die Substratherstellung

Der Verwendungszweck eines Substrats bestimmt seine Zusammensetzung. Eine Vielzahl von Faktoren bestimmt die Eignung eines Substrats. Hierbei muss die Gesamtheit der kulturspezifischen Bedürfnisse, d. h. sowohl die chemischen, physikalischen und biologischen Substrateigenschaften als auch wirtschaftliche, kulturtechnische und jahreszeitliche Gegebenheiten und nicht zuletzt ökologische Auswirkungen, berücksichtigt werden. Sind bei der Substratzusammensetzung alle Substrateigenschaften bis auf eine optimal abgestimmt, kann dieser eine Faktor die erarbeitete Substratrezeptur unbrauchbar machen.

Für den Kulturerfolg ist die chemische und physikalische Homogenität des Substrats mitentscheidend. Von Hand hergestellte Probenmischungen dienen dazu, einen ersten Eindruck von den angestrebten Substrateigenschaften zu bekommen. Sehr nützlich kann hierfür auch ein Betonmischer sein, da darin die Struktur der Ausgangsstoffe weitgehend

geschont wird. Probenmischungen müssen grundsätzlich laboranalytisch begleitet werden, um optimale Eigenschaften zu erzielen. Anschließend Keimpflanzentests (s. Kap. 4.2) und Vegetationsversuche mit den in Frage kommenden Kulturen sind ebenfalls unerlässlich, um die pflanzenbauliche Eignung der Mischungen zu prüfen oder Rezepturänderungen vorzunehmen. Industriesubstrate werden vor der Vermarktung im werkseigenen Labor, Versuchsgewächshaus oder in Zusammenarbeit mit Versuchsanstalten und schließlich in Praxisbetrieben erprobt.

7.1.2.1 Chemische Aspekte

Falsch eingestellte chemische Eigenschaften können während der Kultur zu erheblichen Problemen führen. Die Kenntnis der Nährstoffgehalte, des Salzgehaltes und des pH-Wertes der Ausgangsstoffe und wie sich diese Kenngrößen beim Mischen und während der Kultur verändern können, ist eine Grundvoraussetzung jeder Rezeptur. Nachfolgend sind wesentliche Aspekte aufgeführt, die sich aus den Kapiteln 4, 5 und 6 ableiten lassen.

7.1.2.1.1 pH-Wert

Bei der Einstellung des pH-Wertes kann in manchen Fällen durch Kombination verschiedener Materialien der gewünschte pH-Wert eingestellt werden. Möglicherweise weist ein einzelner Ausgangsstoff den angestrebten pH-Wert schon auf. Ohne jedoch alle anderen Substrateigenschaften zu berücksichtigen, sind solche Formulierungen wertlos.

7.1.2.1.2 Nährstoffgehalt

Manche Substratausgangsstoffe bringen fast keine pflanzenverfügbaren Nährstoffe mit sich (z. B. Hochmoortorf, Bläherperl) und andere weisen erhebliche Nährstoffgehalte auf (z. B. Kompost). Substrate, die nur Hochmoortorf als Ausgangsstoff enthalten, können gezielt und problemlos aufgedüngt und aufgekalkt werden. Kommen neben dem Torf andere Ausgangsstoffe ins Substrat oder werden torffreie Substrate hergestellt, so sind ihre Nährstoffgehalte

bei der Substratzusammensetzung zweckorientiert zu berücksichtigen. Allein aufgrund des hohen pH-Wertes und Salzgehaltes wird man selbst gütegesicherte Substratkomposte nie allein als Substratausgangsstoff einsetzen. Ein Substratausgangsstoff lässt sich desto eher verwenden, je besser seine negativen Eigenschaften durch andere Stoffe ausgeglichen werden können. Aber auch verschiedene torffreie Mischungen, beispielsweise aus den Ausgangsstoffen Kokosmark, Kompost, Holzfaserstoff und Rindenhumus hergestellt, sind möglich, wenn ihre Anteile so abgestimmt werden, dass sich ihre Eigenschaften ergänzen. Ein optimales Nährstoffverhältnis kann allerdings in den seltensten Fällen allein durch das Mischen verschiedener Substratausgangsstoffe eingestellt werden. Auf Düngersatz, häufig als Einzel- oder Mikronährstoffdünger, wird bei der Mischung verschiedener Ausgangsstoffe in der Regel nicht verzichtet werden können. Auch sei darauf hingewiesen, dass bei der Aufdüngung mit organischen Stickstoffdüngern eine ausreichend hohe mikrobielle Aktivität für die Freisetzung des Stickstoffes erforderlich ist. Bei der geringen mikrobiellen Aktivität von Torfen kann das manchmal zu Problemen führen.

Stickstoff ist das Nährelement, das aus kulturtechnischer Sicht bei Verwendung von organischen Torfalternativen die größte Beachtung verlangt. Manche organische Stoffe können ein weites C/N-Verhältnis haben und stark zur Immobilisierung von Stickstoff im Substrat neigen. Eine auf Substratanalysen basierende stickstoffbetonte Flüssigdüngung während der Kultur ist wichtig, um die Stickstoffbindung zu kompensieren. Alternativ kann auch das Substrat mit langsam fließenden Stickstoffdüngern bevorratet werden. Die Phosphat- und vor allem Kaliumgehalte von Komposten und Kokosmark können hoch sein und sind zu berücksichtigen; die Höhe der Düngerzugabe kann häufig reduziert werden.

Häufig setzt man der Substratmischung Spurennährstoffdüngemittel zu, auch dann, wenn manche Substratausgangsstoffe, wie Kompost, hohe Gehalte aller Spurennährstoffe ent-

halten können oder einzelne Mikronährstoffe im Ausgangsstoff ausreichend vorhanden sind. Beimischungen von 50 bis 200 g/m³ Substrat sind geläufig. So erspart man sich die Beimischung von Einzelmikronährstoffdüngern. Man deckt zudem in jedem Fall den Gesamtbedarf der Pflanze an allen Mikronährstoffen ab und vermeidet Mikronährstoffmangel.

7.1.2.2 *Physikalische Aspekte*

Wird nur ein Ausgangsstoff verwendet, so entsprechen die physikalischen Charakteristika des Endprodukts weitgehend denen des Ausgangsstoffes. Mischprozesse und Zusätze können für Abweichungen verantwortlich sein. Substrate mit zwei oder mehr Ausgangsstoffen bilden ein Substrat, dessen physikalische Eigenschaften ganz anders als erwartet sein können. Das ist ebenfalls auf den Mischprozess und die Eigenschaften der einzelnen Ausgangsstoffe zurückzuführen.

Entscheidend für das Substrat und daher für die Auswahl der Substratkomponenten sind folgende physikalische Eigenschaften der Ausgangsstoffe:

- Wasser- und Luftkapazität
- Rohdichte_{feucht}/Schüttdichte
- Benetzbarkeit
- Fließeigenschaften und Mischbarkeit

7.1.2.2.1 *Wasser- und Luftkapazität*

Wie in Kapitel 4.3.5 erläutert, sind Wasser- und Luftkapazität von einer Reihe von Eigenschaften der Substratausgangsstoffe und -zusätze abhängig. Sind Wasser- und Luftkapazität eines organischen Substrats eingestellt und ist das Substrat vom Gärtner verarbeitet, so ist es – im Gegensatz zu einigen chemischen Substrateigenschaften – in der Kultur nicht mehr möglich, diese gezielt zu verändern. Das Gegenteil ist der Fall. Durch Sackung infolge von Bewässerungs- und Dün-

gungsmaßnahmen, Wurzelwachstum, mikrobielle Zersetzung sowie Schrumpfung des

Substrats werden die durch den Mischvorgang eingestellten physikalischen Eigenschaften des Substrats fortlaufend geändert – zu Kulturbeginn mehr als zum Kulturende. Auch durch eine wenig strukturschonende Substratverarbeitung im Betrieb (Big-Bale-Auflockerungsmaschinen, Topfmaschinen etc.) kommt es zu Veränderungen in der Substratphysik.

Gegen Kulturende wird das Substrat dadurch andere physikalische Eigenschaften aufweisen, als es zu Kulturbeginn hatte. Je größer die mikrobielle Aktivität und je höher der Anteil an leicht abbaubarer organischer Substanz im Substrat ist, desto ausgeprägter werden die Änderungen sein. Hingegen wird sich die Physik von Substraten, die ausschließlich aus inerten mineralischen Komponenten wie Bläherperlite, gebrannten Tongranulaten oder Blähton bestehen, kaum während der Kultur verändern. Änderungen der Physik von Substraten auf der Basis von organischen Bestandteilen schon bei der Formulierung eines Substrats in Betracht zu ziehen, ist schwierig.

Die meisten Kulturpflanzen gedeihen gut innerhalb eines bestimmten Bereiches für Luft- und Wasserkapazität, z. B. bei einer Luftkapazität zwischen 15 und 25 % (v/v). Die eingestellte Luftkapazität der Mischung entspricht selten genau, sondern nur annähernd dem Mittelwert der einzelnen Parameter. Hat ein Ausgangsstoff beispielsweise eine Luftkapazität von 60 % (v/v) und ein anderer eine Luftkapazität von 20 % (v/v), und beide Stoffe wer-

den in gleichen Volumenverhältnissen miteinander gemischt, so wird die zu erwartende Luftkapazität der Mischung sicher zwischen 30 und 50 % (v/v) liegen, aber kaum genau bei dem arithmetischen Mittel von 40 % (v/v), da die Schüttdichte und die Korngrößen der Ausgangsstoffe die physikalischen Größen des Endprodukts erheblich beeinflussen können. Auch die Mischdauer hat Einfluss auf die Substratphysik. Je länger die Ausgangsstoffe und Zusätze gemischt werden, desto homogener wird zwar das Produkt, aber die Struktur wird durch zu lange Friktion im Mischer nachteilig verändert, d. h., grobe Teilchen werden durch Abrieb zerkleinert oder können verklumpen.

Entsprechend den Pflanzenbedürfnissen ist es wichtig, ein bestimmtes Verhältnis zwischen Wasser- und Luftkapazität einzustellen. Will man beispielsweise in einem Containersubstrat die Dränfähigkeit des Substrats wegen hoher jährlicher Niederschläge sicherstellen, so wird man auf gut luftführende Ausgangsstoffe zurückgreifen und z. B. grob fraktionierten Torf, Torffasern, Holzfaserstoffe, Rinde oder Rindenhumus einsetzen. Tabelle 60 verdeutlicht, dass bei zwei Basismischungen ohne Zusatz von Düngern oder Kalk dieselbe Luftkapazität eingestellt wurde [$A_v = 25\%$ (v/v)], sie sich jedoch in der Wasserkapazität und den chemischen Eigenschaften ganz erheblich unterscheiden können. Es ist immer die Gesamtheit aller Eigenschaften zu betrachten.

Tabelle 60: Vergleich einiger Analysewerte zweier Basissubstrate ohne Kalk- und Düngerzusatz (SCHMILEWSKI 2008).

Mischung	Substratausgangsstoff % (v/v)				Eigenschaften der Mischung				
	Schwach zersetzt Torf ($< 20\text{ mm}$)	Substrat- kompost ($< 15\text{ mm}$)	Rinden- humus ($< 15\text{ mm}$)	Holzfa- serstoff (mittel)	Rohdichte _{trocken} (g/l)	W _V	A _V	pH	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O (mg/l)
						% (v/v)			
					VDLUFA	EN 13041		CaCl ₂	Methode*
1	100 %	0 %	0 %	0 %	90	70	25	3,1	30 : 20 : 40
2	0 %	40 %	30 %	30 %	280	57	25	6.3	100 : 470 : 1400

* Nach VDLUF-Methoden ermittelt: N ($CaCl_2$), P_2O_5 und K_2O (CAL).

7.1.2.2.2 Schüttdichte

Werden Substratausgangsstoffe mit gleicher Schüttdichte und ähnlicher Struktur (Partikelgröße und -form) in gleichen Verhältnissen miteinander gemischt, kann bei schonendem Mischvorgang davon ausgegangen werden, dass die Mischung eine Schüttdichte haben wird, die den Ausgangsstoffen entspricht. Bei der Mischung aus beispielsweise 100 l Torf und 100 l Kokosmark gleicher Schüttdichte wird das Volumen der Mischung etwa 200 l sein (Anmerkung: Das Volumen wird mittels der Schüttdichte berechnet.) Anders verhält es sich bei der Kombination eines leichten mit einem schweren Material. Bei der Mischung von beispielsweise einem Kubikmeter mäßig zersetztem Torf (Schüttdichte 200 g/l) und 200 Litern Sand (Schüttdichte 1.600 g/l) wird die Endmischung nicht 1.200, sondern vielleicht nur 900 Liter ergeben, da aufgrund der sehr hohen Schüttdichte des Sandes der Torf erheblich verdichtet wird. In den Hohlräumen zwischen den Torfpartikeln wird Sand eingelagert, was zudem zur Abnahme der Luftkapazität der Mischung führt. Ähnliche Effekte bekommt man mit Ton, Kompost oder Rindenhumus, wenn sie leichterem Weißtorf zugemischt werden.

7.1.2.2.3 Benetzbarkeit und Feuchtigkeitsgehalt

Die Benetzbarkeit eines Substrats ist vor allem bei der Pflanzenkultur in kleinen Einheiten wichtig, da diese aufgrund ihres geringen Substratvolumens recht schnell austrocknen können. Es ist daher wichtig, dass sich das Substrat wieder rasch und durchdringend befeuchten lässt (Kap. 4.3.5.3). Ausgetrocknete Torfe sind schwer zu befeuchten. Schon bei der Torfgewinnung muss darauf geachtet werden,

dass der Torf nicht zu stark trocknet. Der Substrathersteller oder Kultivateur wird keinen Torf allein verwenden wollen, der einen Feuchtigkeitsgehalt unter 50 % (m/m) aufweist, da sonst die Wasseraufnahme stark erschwert ist. Mischkomponenten wie Ton oder Sand erleichtern die Wiederbefeuchtung des Substrats, sind aber in Abhängigkeit des Verwendungszweckes des Substrats nicht immer erwünscht. Tenside werden zur Brechung der Oberflächenspannung häufig verwendet (s. Kap. 6.3). Überdosierungen können zu Pflanzenschäden führen und sind zu vermeiden.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Ausgangsstoffe spielt eine weitere Rolle. Bei der Torfgewinnung kommt es aus Witterungsgründen in manchen Jahren zwangsläufig zur Ernte von sehr nassem Torf. Bei Verwendung eines solchen Rohstoffes ist das Endprodukt auch unvorteilhaft schwer. Ein Beispiel: Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 50 % (m/m) hat beispielsweise ein mäßig zersetzter Torf eine Schüttdichte von 180 kg/m³. Liegt der Feuchtigkeitsgehalt bei 70 % (m/m), ermittelt man eine Schüttdichte von 300 kg/m³ (Tabelle 61). Bei gleichem Volumen müssen bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 70 % (m/m) 120 kg mehr je Kubikmeter Torf bewegt werden als bei einem Feuchtigkeitsgehalt von nur 50 % (m/m). Für den Produzenten von Industriesubstraten machen sich solche Gewichtsunterschiede bei den Transportkosten und beim Verbraucher wegen des hohen Gewichtes durch schlechtere Handhabung bemerkbar. In solchen Fällen versucht der Substratproduzent trockene Ausgangsstoffe dem feuchten Material zuzumischen.

Zu feuchte Substratausgangsstoffe sind beim Mischvorgang keine idealen Mischkomponenten, da sich Zusätze wie Kalk und Düngemittel

Tabelle 61: Schüttdichte eines schwach zersetzten Hochmoortorfes, eines stark zersetzten Hochmoortorfes und eines Holzfaserstoffes bei unterschiedlich eingestellten Feuchtigkeitsgehalten.

Feuchtigkeitsgehalt W_m (% m/m)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Schüttdichte (D_B) nach DIN EN 12580									
Hochmoortorf < 20 mm (H3-H5)	140	130	135	140	150	180	220	300	440
Hochmoortorf < 20 mm (H7-H8)	290	280	275	285	300	320	350	450	650
Holzfaserstoff < 20 mm	52	49	53	61	77	88	115	190	390

mit nassen Ausgangsstoffen nicht gut vermengen lassen. Während des Mischvorgangs lassen sich trockenere Ausgangsstoffe bei gleicher Mischzeit homogener mischen als zu feuchte, da trockeneres Material freier beweglich ist als nasses.

Zu trocken verarbeitete Substratausgangsstoffe können durch Staubentwicklung zu gesundheitlichen Problemen führen (z. B. Hautreizung, Reizung der Atemwege) oder ihre Handhabung erschweren. Stoffe wie Bläherperlit und Blähvermiculit sind meistens produktionsbedingt trocken und stauben bei der Verarbeitung. Gleiches trifft für trockenen Torf oder Ton zu. Durch Befeuchtung trockener Ausgangsstoffe wird die Staubbildung verringert.

7.1.2.2.4 Fließeigenschaften

Manche Substrate müssen ein besonders gutes Fließverhalten haben, um beispielsweise optimal in Anzuchteinheiten gefüllt und verteilt werden zu können (s. Kap. 4.3.6.1). Das Fließen eines Substrats kann nicht methodisch bestimmt werden. Lässt sich ein Substrat innerhalb einer vorgegebenen Zeit nicht optimal transportieren, weil es innerhalb eines Arbeitsablaufes nicht optimal fließt, so ist es für seinen Einsatzzweck nicht optimiert. Die Aufgabe des Transportes erfüllen heute meistens automatische Füllmaschinen. Hierbei ist die leichte, ungehemmte Beweglichkeit des zu verarbeitenden Substrats vorrangig. Feine Substratausgangsstoffe wie Sand oder Bläherperlit können als Fließhilfsmittel dienen, die die homogene Verteilung in die Kulturgefäße ermöglichen.

7.2 Dosieren und Mischen

Von Hand dreimalig über Schüttkegel umgesetzte Substratmischungen waren früher gärtnerische Praxis. Diese Mischmöglichkeit kommt für kleine Substratmengen bei der Eigenmischung oder bei Versuchsmischungen in Betracht. Die heutigen Anforderungen an die Homogenität des Substrats sind sehr hoch, insbesondere dann, wenn Kleinstmengen an Zusätzen zugegeben werden. Sie können wesentlich zuverlässiger mit moderner Dosier- und Mischtechnik erfüllt werden. Computergesteuerte Substratmischanlagen und die Vorratshaltung der benötigten Substratausgangsstoffe unterschiedlicher Fraktionen sowie eine große Auswahl an Substratzusätzen ermöglichen es dem Substrathersteller, dem Produktionsgartenbau wie auch dem Endverbraucher ein breites Sortiment an Substraten zur Verfügung zu stellen. Ein Substrattyp kann über Jahre hinweg nur dann homogen hergestellt werden, wenn die Ausgangsstoffe langfristig über gleichbleibende Eigenschaften verfügen. Im Substratwerk können Qualitätsschwankungen durch Zukauf und Zumischung entsprechender Qualitäten der Ausgangsstoffe kompensiert werden, um die vorgegebenen Eigenschaften eines bestimmten Substrattyps einzuhalten.

Substrate werden nach Volumen eingesetzt, weshalb die Dosierung von Kalk, Düngern, Tensiden und anderen Zusätzen nach Gewicht auf ein Volumen bezogen erfolgt. Beim Einmischen dieser Zusätze erlauben Chargen- und Durchlaufmischer die größtmögliche Produkthomogenität. Chargenmischer mischen diskontinuierlich ein bestimmtes Materialvolumen mit den erforderlichen Zusätzen. Sie sind für Kleinstmengen geeignet (Betonmischer sind auch Chargenmischer). Moderne Substratwerke setzen zur größeren Produktivität kontinuierlich arbeitende Durchlaufmischer ein, die in komplette Produktionslinien integriert sind.



Abbildung 34: Vorratsbunker mit verschiedenen Substratausgangsstoffen (© Klasmann-Deilmann GmbH).



Abbildung 35: Big-Bale-Produktion im Substratwerk (© Klasmann-Deilmann GmbH)

Aus Vorratsbunkern (Abbildung 34) werden Ausgangsstoffe in Dosierbunker transportiert, die hintereinander über einem Fließband angebracht sind und computergesteuert exakte Volumina der jeweiligen Ausgangsstoffe pro Zeiteinheit auf das Fließband abgeben. Dosiereinheiten setzen dem Materialstrom Kalk, Dünger und andere Zusätze zu. In einer Mischschnecke oder Mischtrommel werden die Ausgangsstoffe und Zusätze zu einem Substrat homogenisiert. Anschließend wird das Fertigsubstrat als Sackware über eine automatische Sackabfüllanlage in das gewünschte Gebinde abgefüllt. Dort werden die Säcke von einer Endlosrolle abgetrennt, befüllt, durch Aufstampfen verdichtet, verschweißt, gebügelt, eventuell mit betriebsinternen Angaben per Laser- oder Thermotransferdrucker codiert, auf Paletten geschichtet und mit Folie umwickelt. Ballen und Großballen werden durch hohen Druck verdichtet in Ballenanlagen produziert. Alle Abläufe sind automatisiert. Im Hallen- oder Freilager wird die palettierte Ware bis zum Abtransport zwischengelagert. Lose Ware wird direkt auf Lkws gefüllt, um direkt zum Gartenbaubetrieb gefahren zu werden. Abbildung 36 stellt den Materialfluss von Kultursubstraten und Blumenerden von der Gewinnung bis zum Abnehmer dar.

7.3 Lieferformen

Substrate werden nicht gewichtsmäßig, sondern volumenmäßig in Litern oder Kubikmetern in den Verkehr gebracht. Das hat zwei Gründe. Zum einen kann der Feuchtigkeitsgehalt der Ausgangsstoffe schwanken und kann sich somit auf das Frischgewicht auswirken. Der Feuchtigkeitsgehalt hat auch einen Einfluss auf das Volumen, allerdings ist dieser nicht so bedeutend wie der auf das Gewicht. Zum anderen steht der Pflanze ein durch die Größe des Kulturgefäßes bestimmtes Volumen und kein spezifisches Substratgewicht zur Verfügung. Die Kennzeichnung des Substrats auf der Verpackung oder entsprechende Informationen auf dem Lieferschein beinhalten u. a. immer das Volumen der verpackten Ware oder der gelieferten Menge bei losen Lieferungen. Zur Produktionskontrolle im Substratwerk und für den Abnehmer ist es wichtig, die hergestellte bzw. gelieferte Menge überprüfen zu können. Mengenangaben erfolgen in Deutschland und ganz Europa fast ausschließlich nach DIN EN 12580.

Im Produktionsgartenbau erfolgen alle Lieferungen auf Bestellung nach Bedarf, viele davon als lose Lieferung per Lkw, in weiter entfernte Regionen auch mit der Bahn oder per Schiff. Übliche Gebinde sind die 70-l-Packung,

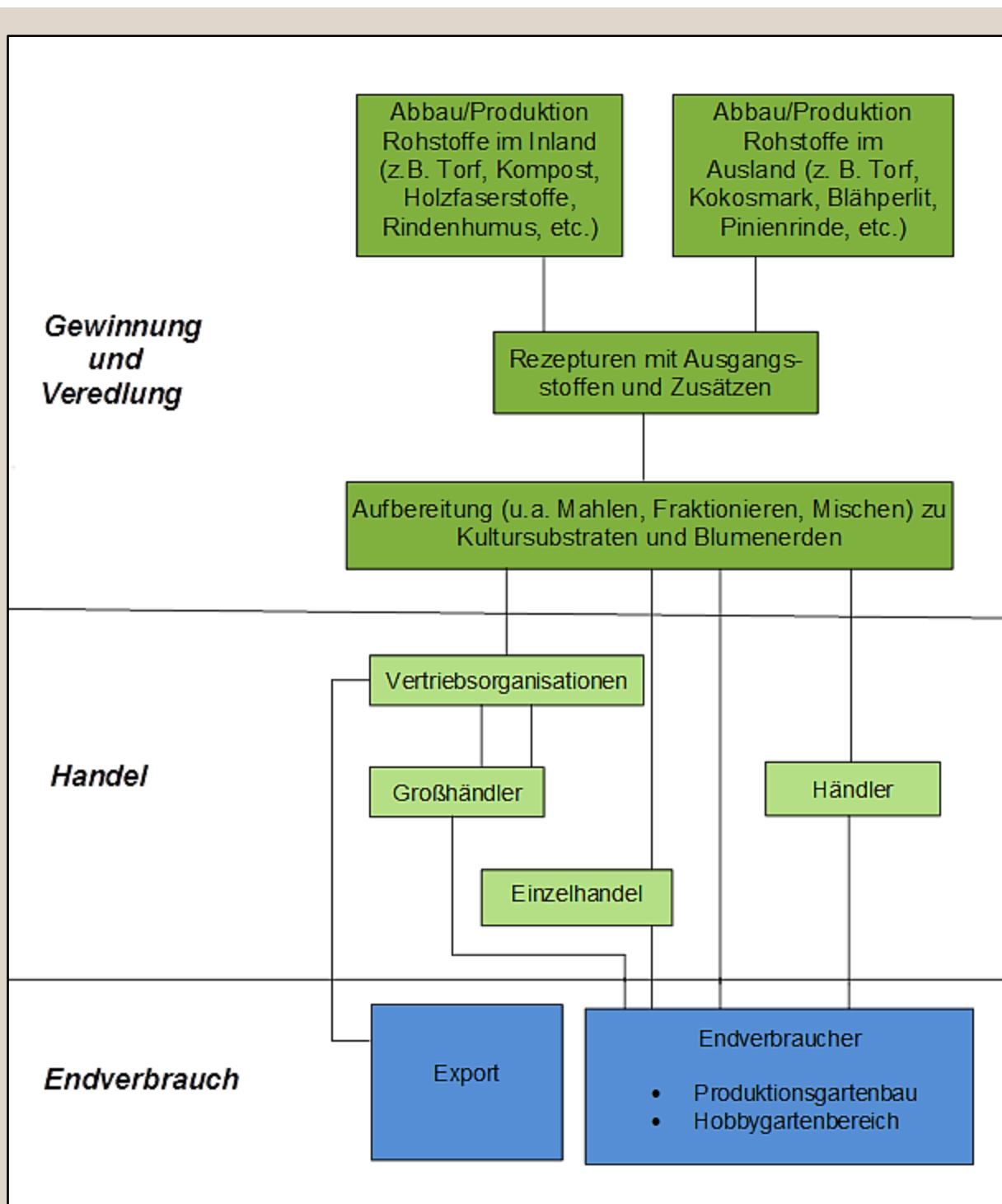


Abbildung 36: Materialfluss von Kultursubstraten und Blumenerden (nach DIW 1999, ergänzt).

Pressballen mit 150 bis 300 l Nennvolumen und Großballen. Die weniger gängigen Big Bags fassen ca. einen Kubikmeter Substrat und können z. B. mit einem Gabelstapler über die Aufnahmevorrichtung einer Topfmaschine gehoben und mittels Bodenschlaufe entleert werden.

Großballen (Big Bales) mit Nennfüllmengen von 2,5 bis 6,0 m³ (Abbildung 35) haben inzwi-

sehen große Bedeutung erlangt und haben einige Vorteile:

- Sie werden in Kombination mit einem Dosierbunker verarbeitet, der problemlos mit jeder Topfmaschine oder Trayfülllinie kombiniert werden kann, wodurch eine vollautomatische Substratverarbeitung ermöglicht wird.

- Durch stufenweise Einstellung der Auflockerungsvorrichtung am Dosierbunker wird eine optimale Auflockerung für feine und grobe Strukturen erzielt.
- Der Arbeitsaufwand für das Aufschneiden von vielen Säcken wird reduziert.
- Bei gleicher Substratmenge, im Vergleich zu kleineren Packungsgrößen, wird weniger Verpackungsmaterial verbraucht und es fällt weniger Verpackungsabfall an, wodurch Entsorgungskosten gesenkt werden und die Umwelt entlastet wird.
- Die Lagerplatzhaltung wird minimiert, da sich im Vergleich zu Sackware mehr Substrat auf einer Palette befindet.
- Großballen ermöglichen den Transport größerer Substratmengen je Lkw.
- Die verbreiteste Grundfläche des Big Bales ist 0,80 x 1,20 m und entspricht z.B. den Maßen der Europalette. Es werden auch Big Bales auf anderen Palettenmaßen (Industriepalette 1,16 x 0,96 m oder 1,00 x 1,20 m) gepackt.

Stark verdichtete Verpackungsformen können bei zu langer Lagerungsdauer auch Nachteile mit sich bringen (Kap. 10.8.1).

Andere Lieferformen sind solche, in denen das Substrat als vorgefertigte Anzuchteinheit geliefert wird und direkt darin gesät, gesteckt oder pikiert wird. Das können Quelltöpfe sein (z. B. Quelltöpfe aus Torf oder Kokosmark), verschiedenste mit Vlies ummantelte kleinste Anzuchteinheiten oder vorgeformte Anzuchteinheiten aus mit Bindemitteln verfestigten Substraten, die in Trays für die sofortige Aussaat oder zum Stecken geliefert werden. Des Weiteren gibt es vorgefertigte Kulturschläuche (Grow Bags), in die direkt in das fertige Kultursubstrat gepflanzt wird. Vorgeformte und in Plastikfolie geschweißte Platten aus Mineralwolle stellen ein Kulturmodul dar, das in viele Fruchtgemüsebaubetriebe Eingang gefunden hat. Paprika, Auberginen, Tomaten und

Schlangengurken werden vielerorts als Hydrokulturen darin kultiviert. Die Volumenangabe nach Länge, Breite und Dicke dieser vorgefertigten Substrate erfolgt nach DIN EN 15761 (DIN 2010).

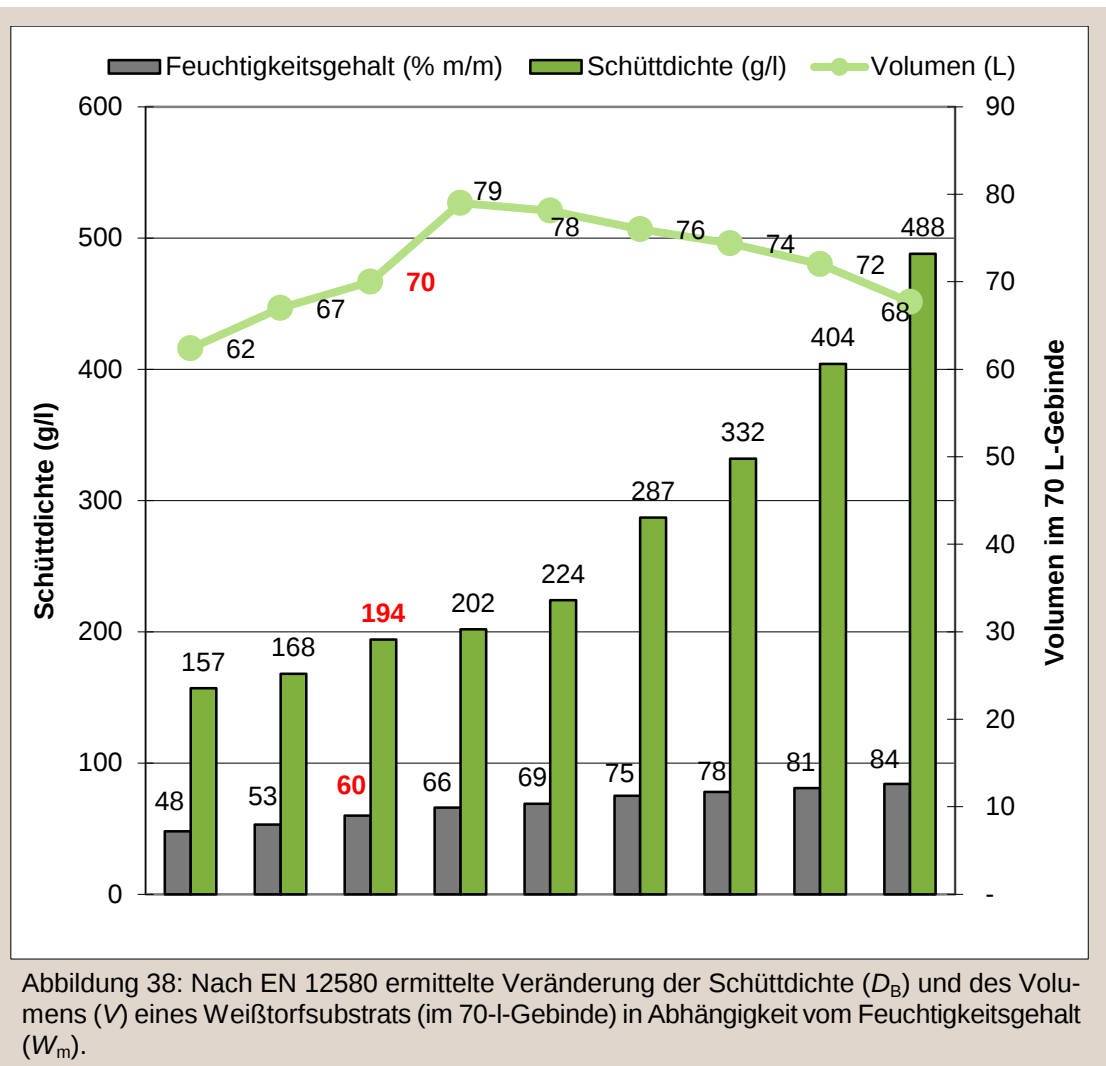
Für den Hobbybereich werden Blumenerden meistens in kleineren Verpackungseinheiten mit Nennvolumina von z. B. 5, 10, 20, 40, 50, 60 oder 70 Litern angeboten. Spezialsubstrate kommen häufig als kleine Gebinde mit 2 bis 20 Litern auf den Markt.

7.3.1 Schüttdichte, Menge (Volumen), Gebrauchsvolumen

Die Füll- oder Liefermenge von verpackten und lose gelieferten Substraten und Substratausgangsstoffen wird nach dem in der Europäischen Norm DIN EN 12580 (DIN 2014) festgelegten Verfahren ermittelt. Das Volumen ist die nach dem in dieser Norm festgelegten Verfahren bestimmte Füll- oder Liefermenge. Diese Norm gilt für Material in fester Form, das erforderlichenfalls nach den Angaben des Herstellers zu rekonstituieren ist (z. B. Wasserzugabe und Auflockerung von Kokospresslingen oder



Abbildung 37: 20-l-Messzylinder nach DIN EN 12580 zur Bestimmung der Schüttdichte und Berechnung des Volumens von Substratausgangsstoffen, Kultursubstraten und Blumenerden (© G. Schmilewski).



trockenem Torf). Sie gilt nicht für vorgeformte Substrate, wie Blöcke aus Mineralwolle, die als solche nach Maß verkauft werden. Die Probenahme für die Mengenbestimmung soll nach dem in der DIN EN 12579 (2014) festgelegten Verfahren erfolgen.

Das Prinzip der Mengenbestimmung (= Volumenbestimmung) nach DIN EN 12580 ist, das Material zu wiegen, dessen Schüttdichte zu bestimmen und aus diesen Werten das Volumen zu berechnen. Die Mengenbestimmung kann bei der Produktionskontrolle oder von Kontrollbehörden im Substratwerk, beim Kunden oder in allen Stufen des Handels durchgeführt werden. Die Bestimmung der Schüttdichte erfolgt mithilfe eines 20-l-Messzylinders und einer entsprechend der Partikelgröße ausgewählten Siebvorrichtung (20, 40 oder 60 mm Maschenweite), über die das Produkt in den Zylinder gebracht wird (Abbildung 37). Über das Gewicht des im Zylinder enthaltenen Sub-

strats wird die Schüttdichte in g/l errechnet. (Die Schüttdichte ist definiert als die scheinbare Dichte des Substrats oder Ausgangsstoffes.) Auf Basis der Schüttdichte wird dann über das Nettogewicht der Verpackung oder der losen Lieferung das Volumen berechnet. Im Rahmen der Produktionskontrolle können auch automatische Volumenmessvorrichtungen in die Produktionslinie installiert werden.

Herstellungsbedingt verdichtete Substrate in Säcken, Ballen oder Großballen sind entsprechend den Herstellerangaben vor der Mengenbestimmung aufzulockern und getrocknete Substrate zu befeuchten.

Die Schüttdichte (D_B) und somit das Volumen (V) einer Liefermenge hängt vom Vermahlungsgrad, der Partikelgrößenverteilung und vom Feuchtigkeitsgehalt (W_m) des Materials ab. Abbildung 38 zeigt, dass bei sehr niedrigem Feuchtigkeitsgehalt des Substrats [48 %

(m/m)] die nach DIN EN 12580 ermittelte Schüttdichte mit 157 kg/m^3 sehr niedrig ist und das ermittelte Volumen in einem mit 70 l gekennzeichneten Gebinde nicht 70 l, sondern nur 62 l betragen würde. Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von 66 % (m/m) hat das Substrat sein größtmögliches Volumen, nämlich 79 l. Bei weiter zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt nimmt das Volumen aufgrund der steigenden Schüttdichte wieder ab.

Das Gebrauchsvolumen ist nicht identisch mit der nach DIN EN 12580 ermittelten Menge. Nach der zurückgezogenen DIN 11540 (DIN 1989) entspricht das Gebrauchsvolumen in Litern in etwa dem Volumen, das bei der gärtnerischen Verwendung beim Füllen von Pflanzgefäßen benötigt wird. Wenn demnach mit 1 m^3 Substrat (gemäß DIN EN 12580 bestimmt) achthundert 1-Liter-Töpfe gefüllt werden können, beträgt das Gebrauchsvolumen nach DIN 11540 (DIN 1989) 800 Liter. Die in DIN 11540 (DIN 1989) genannte Berechnungsweise des Gebrauchsvolumens hat sich in der Praxis nicht bewährt, da sie nicht der heutigen Vielzahl der Substratformulierungen und Verwendungsmöglichkeiten von Substraten gerecht wird. Derzeit gibt es kein standardisiertes Verfahren zur Bestimmung des Gebrauchsvolumens.

7.3.2 Qualität und Qualitätssicherungssysteme

Die Produktqualität hat großen Einfluss auf den Produktwert und damit auf den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens. Jede gartenbaulich-kulturtechnische sowie substratunternehmerische Tätigkeit sollte daher der Qualität und Qualitätssicherung oberste Priorität einräumen. Den Substratunternehmen bieten dabei Qualitätssicherungssysteme gezielte Unterstützung – Maßnahmenpakete, die die Einhaltung vorgegebener Qualitätsansprüche gewährleisten. Dabei ist zwischen Prozess- und Produktqualität zu unterscheiden. Prozessqualität betrifft alle Handlungen und Maßnahmen, die zu einem Produkt führen. Produktqualität betrifft die Eigenschaften des Produkts und ist das Resultat aus der Produktkonzeption und deren praktischer Umsetzung. Vorrang genießt die Sicherung der Produktqualität, weil sie zur Kundenzufriedenheit, einer Grundvoraussetzung für den Geschäftserfolg, führt. Die Sicherung der Prozessqualität hilft, das Risiko fehlerhafter oder den Erfordernissen nicht entsprechender Substrate zu verringern, und trägt dazu bei, die angestrebten Substrateigenschaften auch zu erreichen, kann aber konzeptionelle Qualitätsmängel des Substrats nicht verbessern. All das trifft selbstverständlich auch auf Substratausgangsstoffe zu.

Neben der eigenen, internen Qualitätskontrolle und -sicherung gibt es externe Kontrollmöglichkeiten. So gibt es anerkannte Richtlinien, wie die Normen der ISO-9000-Reihe, und Organisationen, die bestimmte Qualitätskriterien für bestimmte Substrate und Ausgangsstoffe aufgestellt haben. Für Substrate vorrangig zu nennen sind das deutsche RAL-Gütesicherungssystem der Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V. und das niederländische Gütesicherungssystem der RHP (Regeling Handels Potgronden), das auch die Prozessqualität einschließt.

Konsequent umgesetzt, können Qualitätssicherungssysteme die Wettbewerbsfähigkeit

eines Produkts sichern und erhöhen. Ferner kann der Hersteller Beanstandungen, Reklamationen und Ersatzansprüchen besser begegnen. Die praktische Umsetzung der Anforderungen durch Qualitätssicherungssysteme verursacht zwar durch Beratung, Analysen und Verwaltungsaufwand Arbeit und Kosten. Wird aber dadurch der wirtschaftliche Erfolg gesichert und gesteigert, sind sie gerechtfertigt. Zudem kann der Substratproduzent seine Qualitätssicherung als Verkaufsargument, meist in Form eines Gütezeichens, verwerten. Der Käufer erhält dadurch, meist um einen etwas höheren Preis, die Sicherheit einer definierten und regelmäßig kontrollierten Qualität. Die benötigt der Produktionsgartenbau aufgrund durchrationalisierter, automatisierter Produktionsverfahren, die immer höhere Ansprüche an die betriebsspezifische Eignung und Qualität des Kultursubstrats stellen. Aber auch für Blumenerden sind ähnliche Qualitätsanforderungen erstellt worden. Die geeigneten Mittel, die Qualität zu gewährleisten, sind definierte Prüfmethoden.

7.3.3 Interne Qualitätssicherung (Eigenüberwachung)

Im Sinne der geregelten Eigenüberwachung verfügen Substrathersteller über interne Prüfprozesse, die in erster Instanz der Eigenüberwachung dienen. Dazu gehört die Prüfung der Begleitdokumente sowie die Wareneingangskontrolle, wobei durch Inaugenscheinnahme die gelieferten Substratausgangsstoffe und -zusätze in Qualität und Quantität kontrolliert werden und Abweichungen protokolliert werden. So können eventuelle Fehllieferungen und Mängel sofort beanstandet werden. Solche Wareneingangskontrollen sind der erste Schritt zur Produktsicherheit beim Substratproduzenten und im Gartenbaubetrieb beim Wareneingang.

Im eigenen Labor werden durch Fachpersonal die wesentlichen wertbestimmenden Kenngrößen wie Struktur, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit der Ausgangsstoffe und der Substratmischung ermittelt und beurteilt. Gemessene Werte müssen dabei festgelegten Soll-

werten für diese Parameter entsprechen, bevor ein Produkt ausgeliefert wird. Manche Substrathersteller haben diese Produktionskontrolle auf die Prüfung von Nährstoffgehalten, physikalischen oder/und biologischen Eigenschaften (z. B. Prüfung auf Unkraut) ausgeweitet. Die Untersuchung dieser zuletzt genannten Parameter wird aber häufig an andere Labore vergeben, z. B. LUFA-Anstalten. Häufig unterliegen diese Qualitätskriterien der regelmäßigen externen Qualitätssicherung.

7.3.4 Externe Qualitätssicherungssysteme (Fremdüberwachung)

Neben der internen Qualitätssicherung der Substrate steht die umfassendere und neutral-externe Qualitätssicherung. Hier sind vorrangig das deutsche System nach RAL und das niederländische Prüfsystem der RHP zu nennen. Die Prüfungen nach RAL erfolgen fast ausschließlich nach VDLUFA-Methoden, die der RHP grundsätzlich nach niederländischen Methoden bzw. RHP-Methoden. Daneben gibt es weitere, aber weniger bekannte und weniger bedeutende Systeme.

7.3.4.1 Die RAL-Gütesicherung der Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V.

RAL ist die Abkürzung für den 1925 von Vertretern von Verbänden und der Reichsregierung gegründeten Reichsausschuss für Lieferbedingungen, dessen Nachfolger das Deutsche Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V. ist. Er ist Träger des staatlich anerkannten Systems aller RAL-Gütezeichen in Deutschland. Dem RAL unterstehen einzelne Gütegemeinschaften, welche die Qualitätsstandards für ihre Produktgruppen erarbeiten und dann die Gütesicherungen durchführen.

Die Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzenbau e. V. (GGS) (heute: Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e.V.) ist 1996 aus der 1981 gegründeten Gütegemeinschaft Rinde für Pflanzenbau e. V. hervorgegangen, die für Rindenprodukte ein Überwachungssystem etabliert hat. Mit der erweiterten Namensge-

bung wurde auch der Arbeitsbereich der Gütegemeinschaft ausgedehnt. Die Anforderungen an die jeweilige Produktgruppe sind in den entsprechenden Güte- und Prüfbestimmungen aufgeführt. Diese werden vor ihrer Anerkennung durch RAL in einem Beteiligungsverfahren betroffener Fach- und Verkehrskreise geprüft. Mit dieser Form des Genehmigungsverfahrens ist gewährleistet, dass die Güte- und Prüfbestimmungen allgemein anerkannt sind und dem Stand der Technik entsprechen. Die RAL-Güte- und Prüfbestimmungen werden kontinuierlich weiterentwickelt. Der jeweils aktuelle Stand kann unter www.substrate-ev.org abgerufen oder bei der Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e.V., angefordert werden.

Unter dem Gütezeichen RAL-GZ 250 werden folgende Produktgruppen geführt:

- Kultursubstrate
- Blumenerden
- Blähton als Kultursubstrat
- Rindenprodukte (Rindenmulch und Rindenhumus)
- Substratausgangsstoffe (Hochmoortorf, Holzfasern, Kokosprodukte, Perlit)
- Dachsubstrate
- Baumsubstrate

Einer RAL-Gütesicherung können sich sowohl deutsche als auch ausländische Produzenten unterziehen. Die Gütesicherung besteht aus einem Zulassungs- und dem Überwachungsverfahren. Das Zulassungsverfahren wird durchgeführt, um das Gütezeichen zu erlangen, das Überwachungsverfahren, um die Anforderungen regelmäßig und kontinuierlich zu prüfen.

Die Schritte der RAL-Zulassungs- und -Überwachungsverfahren sind wie folgt:

- Beginn der Produktkontrolle (Dauer mindestens 6 Monate)

- Verleihung des Gütezeichens (wenn das Produkt den Gütekriterien entspricht)

Weiterhin regelmäßige Produktkontrollen mit:

- Fremdüberwachung, d. h. neutrale Überwachung durch die Gütegemeinschaft
- Eigenüberwachung, d. h. Überwachung innerhalb des Betriebes

Jede Gütegemeinschaft des RAL – so auch die GGS – hat einen oder mehrere Güteausschüsse. Diese sind die Kontrollorgane der Gütesicherung. Sie setzen sich aus Vertretern verschiedener Interessengruppen zusammen, z. B. aus Vertretern von Forschung, Behörden und Laboren sowie aus Anwendern und Produzenten. Der Güteausschuss prüft die Analysen für die Gütesicherung und entscheidet über die Verleihung der Gütezeichen bzw. ergreift Maßnahmen bei Mängeln.

Um das RAL-Gütezeichen für Kultursubstrate und Blumenerden zu bekommen, dürfen nur zulässige Substratausgangsstoffe und Substratzusätze verwendet werden. Dies sind organische, mineralische und synthetische Stoffe, für die eine RAL-Gütesicherung besteht, oder gleichwertige Stoffe, über deren Gleichwertigkeit der Güteausschuss befindet.



Abbildung 39: Das RAL-Gütezeichen für Substrate für Pflanzen nach RAL-GZ 250 (RAL 2015)

Tabelle 61: Güte- und Prüfbestimmungen für Kultursubstrate – Güteermkmale mit Prüfmethode und Wertebereichen (RAL-GZ 250/2; RAL 2015).

Güterkmale		Prüfmethode	Wertebereiche			
1	Zulässige Substrat- ausgangsstoffe und Zuschlagstoffe	Substratfähige organische, mineralische und synthetische Stoffe. (Soweit für Substrat-ausgangsstoffe eine RAL-Gütesicherung besteht, sind gütegesicherte oder gleichwertige Erzeugnisse zu verwenden. Der Güterausschuss bewertet die Gleichwertigkeit.)				
2	Physikalische Eigenschaften					
2.1	Struktur	Siebung (Methode Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzenbau e.V.) ¹⁾	fein ²⁾	mittel ³⁾	grob ³⁾	
2.2	Anteil Überkorn		> 10mm > max 5 Vol.-%	> 20mm > max 5 Vol.-%	> 40mm > max 10 Vol.-%	
2.2	Rohdichte _{trocken}	VDLUFA-Methode A 13.2.1 bzw. A 13.2.2	wird analysiert			
3	Chemische Eigenschaften (Sollwerte müssen sich mit zulässigen Abweichungen innerhalb der nachfolgend festgelegten Grenzen bewegen)					
3.1	pH-Wert ¹⁾	0,01 mol/l CaCl ₂ -Suspension (VDLUFA-Methode A 5.1.1)	allgemein: 5,0-6,5 Azaleen, Eriken, Moorbeet: 3,4-4,6			
3.2	Salzgehalt ¹⁾ (g/l)	Leitfähigkeitsmessung im Wasserauszug, Berechnung als KCl (VDLUFA-Methode A 13.4.1) ⁵⁾	allgemein: < 3,0 Azaleen, Eriken, Moorbeet: < 1,0			
3.3	Lösliche Nährstoffe (mg/l)					
3.3.1	Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N)	0,0125 mol/l CaCl ₂ -Extrakt (VDLUFA-Methode 6.1.3.2) oder CAT-Auszug (VDLUFA-Methode A 13.1.1)	Deklarationsschwelle 50 mg/l deklarierte Sollwerte, deren Einhaltung im Rahmen der Gütesicherung überwacht wird			
3.3.2	Phosphor (P ₂ O ₅)	CAL-Extrakt (VDLUFA-Methode 6.2.1.1) oder				
3.3.3	Kalium (K ₂ O)	CAT-Extrakt (VDLUFA-Methode A 13.1.1)				
3.4	Natrium (Na) ¹⁾	Wasserauszug (VDLUFA-Methode A 13.4.1)	allgemein: < 100 Azaleen, Eriken, Moorbeet: < 35			
3.5	Chlorid (Cl) ¹⁾		allgemein: < 200 Azaleen, Eriken, Moorbeet: < 100			
4	Biologische Eigenschaften					
4.1	Pflanzenverträglichkeit	Keimpflanzentest mit Chinakohl (VDLUFA-Methode 10.2.1)	nach Keimpflanzentest frei von pflanzenschädigenden Stoffen			
4.2	Unkrautbesatz	Keimung in 2 cm dicker Schicht bei mindestens 18 °C über 3 Wochen (VDLUFA-Methode A 13.5.2)	max. 1 keimender Samen oder austreibendes Pflanzenteil/l Substrat			
4.3	N-Haushalt	Brutversuch bei 25 °C, Analyse auf NH ₄ -N und NO ₃ -N nach 0,7 und 14 Tagen ⁴⁾ (VDLUFA-Methode A 13.5.1)	stabil			

¹⁾ Mit Zustimmung des Güteausschusses Kultursubstrate sind für Spezialerden Abweichungen möglich.

²⁾ Inkl. Faserfraktion.

³⁾ Ohne Faserfraktion.

⁴⁾ Bei Bedarf auch längere Standzeit.

⁵⁾ Ergänzend kann zur Interpretation von Überschreitungen des Salzgehaltes (Wasserextrakt) die Bestimmung in gesättigtem Gipsextrakt herangezogen werden.

7.3.5 Die RAL-Gütesicherung der Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.

Im Rahmen einer Anerkennungsprüfung können Komposthersteller das Gütezeichen nach RAL-GZ 251 (RAL 2016) erlangen. Ein Kompost muss dazu die Qualitätskriterien und Güterichtlinien einer Produktgruppe nach RAL-GZ 251 erfüllen. Art, Methode und Umfang der Prüfungen richten sich nach den vom Deutschen Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V. (RAL) erlassenen Güte- und Prüfbestimmungen. Das Prozedere zur Erlangung des Gütezeichens und der an dessen Verleihung anschließenden Kontrollen der Einhaltung der Gütebestimmung ist vergleichbar mit dem der Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V. Auch hier wird mit Fremd- und Eigenüberwachung gearbeitet. Hier ist die Einhaltung der Qualitätsanforderungen, u.a. der Nachweis der seuchenhygienischen Wirksamkeit des Rotteprozesses Pflicht. Der Bundesgüteausschuss ist für die Auswertung der Untersuchungsberichte und die Verleihung des Gütezeichens verantwortlich.

Unter dem Gütezeichen RAL-GZ 251 (RAL 2016) werden folgende Produktgruppen geführt:

- Frischkompost
- Fertigkompost
- Substratkompost

Qualitätskriterien und Güterichtlinien für Substratkompost nach RAL-GZ 251 (2016) sind in Kapitel 5.1.2.3.1 genannt.



Abbildung 40: Das RAL-Gütezeichen für Kompost (RAL 2016).

7.3.6 Europäische Qualitätssicherung für Kompost und Gärprodukte (ECN-QAS)

Das Europäische Kompostnetzwerk (European Compost Network, ECN) hat das Europäische Qualitätssicherungssystem für Komposte und Gärprodukte, ECN-QAS, entwickelt. Ziel ist es, den freien Warenverkehr in der EU dadurch zu fördern, dass bestehende nationale Qualitätssicherungssysteme auf eine Basis gestellt werden. Mit europaweit einheitlichen Qualitätsstandards für Kompost- und Vergärungsanlagen und auf ihnen hergestellte Produkte stellt das ECN-QAS als unabhängiges Qualitätssicherungssystem einheitliche Anforderungen an Qualitätssicherungsorganisationen (z. B. RAL und RHP) und deren Systeme. Zu diesen Anforderungen zählen (ECN 2014):

- eine Positivliste für Inputstoffe
- Prozessanforderungen
- Produktstandards
- vorgeschriebene Analysemethoden
- Konformitätsprüfungen der jeweiligen Qualitätssicherungssysteme
- regelmäßige Begutachtung der Produktionsanlage

- regelmäßige Probenahmen und Untersuchungen der Produkte
- die Erstellung von Prüfdokumenten

Bei Erfüllung aller Anforderungen wird das ECN-QAS-Konformitätszeichen (Qualitätszeichen) durch die nationale Qualitätssicherungsorganisation vergeben. Das Qualitätszeichen hebt die Eigenständigkeit der Gütezeichen nach RAL, RHP oder anderer nationaler (privater) Gütezeichen nicht auf. Die Qualitätsstandards nationaler Systeme können von den ECN-QAS Anforderungen abweichen und auch weitere Kriterien zur Spezifikation umfassen.

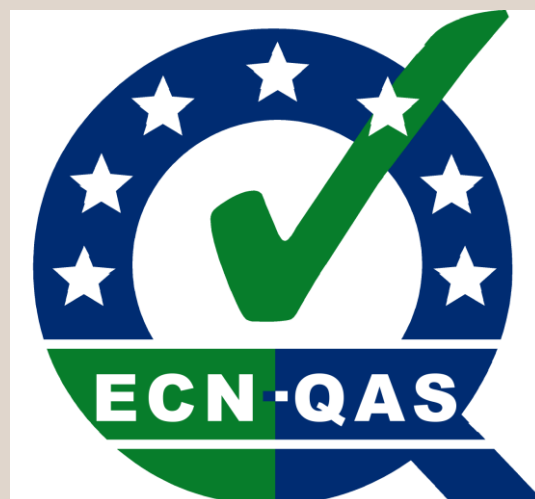


Abbildung 41: Das ECN-QAS-Qualitätszeichen für Kompost (ECN 2014).

Tabelle 62: Vorsorgeanforderungen des Umwelt- und Verbraucherschutzes gemäß ECN-QAS (ECN 2014).

Anforderung	Parameter	Beurteilung
Hygieneaspekte	Salmonellen	Keine in 25 g TS
Unerwünschte Inhaltstoffe	Fremdstoffe (Glas, Metalle, Kunststoffe)	≤ 0,5 % TS
	Keimfähige Samen und Pflanzenteile	≤ 2 pro Liter
Schadstoffe, vorsorgeorientierte Grenzwerte	Schwermetalle (mg/kg TS)	
	Blei (Pb)	130
	Cadmium (Cd)	1,3
	Chrom (Cr)	60
	Kupfer (Cu)	300
	Nickel (Ni)	40
	Quecksilber (Hg)	0,45
	Zink (Zn)	600

7.3.7 Das LUFA-Gütesiegel für Blumenenerden

Institute, die dem Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) angeschlossen sind, können das LUFA-Gütesiegel vergeben. Ein Kontrollabkommen kann nur für Blumenenerden abgeschlossen werden, wonach der pH-Wert, der Salzgehalt, löslicher Stickstoff, P_2O_5 und K_2O analysiert werden. Zudem wird ein Keimpflanzentest mit Chinakohl als weiteres Prüfkriterium durchgeführt. Proben für diese Untersuchungen werden über das Jahr verteilt in Abhängigkeit von der Produktionsmenge von Fremdprobenehmern gezogen. Je nach Produkt werden zwischen 5 und 25 Proben gezogen. Wird nur eine Charge pro Jahr hergestellt, reichen 3 Proben. Zum Jahresende erfolgt eine Auswertung, bei der eine Fehlerquote von 7 % eingehalten werden soll. Bei Fehlerquoten bis zu 14 % wird die Probenanzahl im folgenden Jahr erhöht. Über 14 % Fehlerquote verliert das Abkommen seine Gültigkeit.

7.3.8 Das Qualitätssicherungssystem der RHP

Die niederländische Stiftung zur Regelung von Kultursubstraten, RHP (Regeling Handels Potgronden), ist seit 1963 das Europäische Wissenszentrum für Substrate. Das RHP-Gütezeichen hat seitdem auch außerhalb der Niederlande große Bedeutung gewonnen. Es bringt niederländischen wie ausländischen Herstellern speziell dann Vorteile, wenn sie ihre Substrate, Substratausgangsstoffe oder -zusätze in den Niederlanden vermarkten.

Das Gütesicherungssystem der RHP beruht auf Zertifizierungsschemata, die sich produktabhängig voneinander unterscheiden. Ein Produzent erlangt die Lizenz für die Benutzung des RHP-Gütezeichens, indem er die Anforderungen an das jeweilige Produkt erfüllt.

Der wesentliche Unterschied zum RAL-Gütezeichen ist, dass die Zertifizierung nach RHP eine Kettenüberwachung von der Rohstoffgewinnung bis zum Endprodukt beinhaltet. Alle wesentlichen chemischen, physikalischen und biologischen Qualitätsparameter sind rohstoff- bzw. substratspezifisch festgelegt. Qualitätskriterien und ihre einzuhaltenden Grenzwerte werden mit den Substratproduzenten, Vertretern des Gartenbaus und der RHP-Stiftung bestimmt. Die RHP-Zertifizierung von Produkten und Unternehmen erfolgt durch die unabhängige Institution ECAS, die vom Niederländischen Akkreditierungsrat hierfür akkreditiert ist.

Für drei Anwendungsbereiche können Produkte zertifiziert werden:

- Produktionsgartenbau (Zertifizierung „RHP Horticulture“)
- Hobbybereich (Zertifizierung „RHP Consumer“)
- Deckerde für Speisepilze (Zertifizierung „RHP Mushrooms“)

7.3.8.1 RHP-Kettenüberwachung

Die RHP-Kettenüberwachung deckt vier Überwachungsbereiche ab:

- Rohstoffe, Substratausgangsstoffe und Substratzusätze
- Lagerung und Transport
- Substratproduktion
- Untersuchung der Endprodukte

7.3.8.1.1 Rohstoffe, Substratausgangsstoffe und Substratzusätze

Alle Substratausgangsstoffe und -zusätze unterliegen den Prüfkriterien der RHP. So werden beispielsweise die Produktionsabläufe auf Torfgewinnungsflächen, die Kokosmarkgewinnung oder die Produktion von Bläherperliten regelmäßig kontrolliert. Bestimmte Zusätze wie Netzmittel und organische Düngemittel werden zudem Risikoprüfungen unterzogen. Auch werden Unkrautteste und Keimpflanzenteste durchgeführt, das Vorkommen von Schadnematoden untersucht und die Einhaltung von Grenzwerten für Schwermetalle, Radioaktivität und Humanpathogene geprüft.

7.3.8.1.2 Lagerung und Transport

Die RHP stuft die Lagerung und den Transport von lose gelieferten Rohstoffen und Substraten als besonders risikoreich bezüglich des Verunreinigungspotentials ein. Daher sind potentielle Hygienierisiken an Verladestellen im In- und Ausland Teil der RHP-Qualitätskontrolle. So müssen Transportunternehmen vorherige Ladungen benennen, bevor RHP-zertifizierte Ausgangsstoffe und Produkte transportiert werden. Lkw und Schiffsladeräume müssen vor dem Beladen entsprechend den RHP-Vorgaben gereinigt werden.

7.3.8.1.3 Substratproduktion

Beim Produzenten werden in erster Linie Prüfungen hinsichtlich der Qualität der Substratausgangsstoffe, der Lagerungsbedingungen, der Mischprozesse und der Hygiene durchge-

führt. Rohstoffe/Ausgangsstoffe, für die es keine RHP-Qualitätskriterien gibt, dürfen nicht auf dem Produktionsgelände gelagert werden, da solche Materialien ein phytosanitäres Risiko darstellen können und zertifizierte Ausgangsstoffe und Substrate verunreinigen können.



Abbildung 42: Links das RHP-Logo für Kultursubstrate, rechts das RHP-Logo für Blumenerden (www.rhp.nl).

7.3.8.1.4 Untersuchung der Endprodukte

Blumenerden, Kultursubstrate und Deckerden für den Speisepilzanbau werden nach der Probenahme im Produktionswerk oder beim Kunden analysiert. Die Proben werden entsprechend den jeweiligen chemischen, physikalischen und phytohygienischen Vorgaben durch anerkannte Labore untersucht und die Untersuchungsergebnisse beurteilt.

Basierend auf jahrelang gesammelten Untersuchungsergebnissen, hat die RHP für Ausgangsstoffe, Blumenerden, Kultursubstrate und Deckerden eine umfangreiche Datensammlung, die der Verbesserung der verwendeten Qualitätsnormen dient.

7.3.9 Das DLG-Qualitätssiegel

Die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V. (DLG) ist als Prüfinstitution in der Land- und Ernährungswirtschaft bekannt und vergibt nach erfolgreicher Produktprüfung das DLG-Siegel.

Seit 2014 bietet die DLG Qualitätsprüfungen für Kultursubstrate, Blumenerden, Rindenmulch und Rindenhumus an. Prüfungen erfolgen jährlich. Wird ein Produkt in zwei aufeinander folgenden Jahren erfolgreich geprüft, so darf das Produkt das Symbol ‚Jährlich Getestet‘ tragen. Die Prüfungen umfassen unter anderem die Kriterien

- Nährstoffe, pH-Wert, Salzgehalt
- Körnung/Überkorn, Volumengewicht
- Fremdstoffe, Schadstoffe/Schwermetalle
- Pflanzenverträglichkeit, Unkrauttest, humanpathogene Keime

Die Qualitätsanforderungen der DLG-Qualitätsprüfungen für die vier oben genannten Produktgruppen sind nicht vergleichbar mit den umfassenden Zulassungsverfahren und fortlaufenden Qualitätsprüfungen nach RHP- und GGS-Standards.



Abbildung 43: Das DLG-Qualitätssiegel (www.dlg.org)

7.3.10 Das MPS-Zertifizierungsschema

Das niederländische MPS-Zertifizierungsschema ist 2013 für Blumenerden für den Hobbybereich geschaffen worden und ist für alle Hersteller von Blumenerden zugänglich. Grundgedanke des Schemas ist es, die Produktion nachhaltig produzierter Blumenerden zu fördern und deren Qualitätsanforderungen zu sichern. Grundvoraussetzung für den Erhalt des Zertifikats ist, dass die Blumenerde die Gütekriterien der RHP, des RAL, nach Qualité de France, NF oder anderer vergleichbarer Qualitätsstandards erfüllt. Es wird seitens der MPS-Stichting (Stiftung) empfohlen, dass die produzierende Firma ihre Blumenerde entsprechend dem ISO-14001-Umweltmanagementsystem herstellt.

Eine weitere Anforderung zum Erlangen des Zertifikats ist, dass mindestens 25 % (v/v) der Blumenerde aus erneuerbaren Substratausgangsstoffen besteht. Dazu zählen u. a. Baumrinde, Holzfaserstoffe, Kompost, Kokosmark, -fasern, -Chips, Reisspelzen und andere nachwachsende Rohstoffe bzw. Nebenprodukte.

Für die Ausgangsstoffe, deren Rohstoffe durch Abbau gewonnen werden, wie Torf, aus Lava hergestellte Materialien, Sand, Ton, Kalk und ähnliche, gilt, dass diese nicht Abbaugebieten entnommen werden, die als Naturschutzgebiete oder Natura-2000-Gebiete der EU oder vergleichbare Gebiete außerhalb der EU eingestuft wurden. Das sind beispielsweise Flächen, die unter die ‚UN Convention on Biological Diversity‘ fallen. (Ausgenommen hiervon sind Torfabbauf Flächen, die bereits vor der Einstufung als geschütztes Gebiet in Abtorfung waren.) Solche natürlichen Rohstoffe müssen verantwortungsvoll mit möglichst geringen Auswirkungen auf die Umwelt gewonnen werden. Für Torf gilt ferner, dass es für die jeweilige Abbaufäche einen Folgenutzungsplan gibt. Kokos, Kompost und Rinde gelten als natürliche, erneuerbare Ausgangsstoffe. Komposte dürfen aufgrund ihrer hohen Schüttdichte nicht weiter als 150 km bis zum Blumenerde-Produzenten transportiert werden. Reisspelzen dürfen maximal 0,05 mg/kg Trockenrückstand

Pflanzenschutzmittelrückstände enthalten. Des Weiteren müssen $\geq 75\%$ Gewichtsanteil des zugesetzten Düngers organisch und $\geq 75\%$ der sonstigen Zusätze natürlichen Ursprungs sein.



Abbildung 44: Das niederländische MPS-Logo für Blumenerden (www.my-mps.com).

7.3.11 Qualitätsmanagementsysteme nach DIN EN ISO 9001

Entsprechend der DIN EN ISO 9001 (DIN 2015a) versteht man unter Qualitätsmanagement (QM) aufeinander abgestimmte Tätigkeiten zum Leiten und Lenken eines Unternehmens bezüglich Qualität. Leiten und Lenken umfasst hierbei das Festlegen der Qualitätspolitik und der Qualitätsziele sowie die Qualitätsplanung, -lenkung, -sicherung und -verbesserung. Die ISO 9001 beinhaltet keine Anforderungen an Produkte, sie legt Anforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem fest. Somit werden darin keine produktspezifischen (substratspezifischen) Anforderungen bestimmt. Solche sind beispielsweise in den technischen Spezifikationen der Substratgütesicherungssysteme des RAL, der RHP oder in der DIN 11540 (DIN 2005) festgelegt oder können firmeneigen sein. QM-Systeme nach ISO 9001 müssen nicht einheitlich strukturiert oder dokumentiert werden und können somit unternehmensspezifisch sein. Die in der ISO 9001 festgelegten Anforderungen an ein QM-System sind allgemeiner Natur, auf alle Unternehmen anwendbar und ergänzen die Anforderungen, die ein Unternehmen oder ein Qualitätssicherungssystem an ein Produkt (Substrat) stellt.

Grundsätzlich ist die Einführung und Erhaltung eines QM-Systems nach ISO 9001 freiwillig und Teil der unternehmerischen Strategie. Der prozessorientierte Ansatz eines ISO-9001-QM-Systems hat die Optimierung sämtlicher Unternehmensabläufe (wie Einkauf, Produktentwicklung, Produktion, Vertrieb und Service) und die bestmögliche Erfüllung der Kundenanforderungen an das Produkt zum Ziel. Somit ist die Anwendung eines Systems von Prozessen und das Erkennen von Wechselwirkungen dieser Prozesse der eigentliche Ansatz eines QM-Systems, wobei nach dieser Norm

- das Verstehen und die Erfüllung von Anforderungen,
- die Notwendigkeit, Prozesse aus der Sicht der Wertschöpfung zu betrachten,

- die Erzielung von Ergebnissen bezüglich Prozessleistung und Wirksamkeit und
- die ständige Verbesserung von Prozessen auf der Grundlage objektiver Messungen im Vordergrund stehen.

Die ISO 9001 legt eine Vielzahl von Anforderungen fest, die erfüllt werden müssen, um eine ISO-9001-Zertifizierung zu erlangen. Dazu gehören (allgemein und substratspezifisch):

- die Erstellung eines QM-Handbuches für das Unternehmen,
- das Lenken von Dokumenten und Zeichnungen im Unternehmen,
- das Festlegen der Qualitätspolitik und -ziele,
- die fortlaufende Bewertung des QM-Systems,
- das Management von Ressourcen (z. B. das Ernennen von qualifiziertem Personal und Festlegen von Verantwortlichkeiten; Festlegung von Substratausgangsstoffen und -zusätzen),
- das Bereitstellen der internen Infrastruktur und Arbeitsumgebung (z. B. optimale Produktionsanlagen und Laborausstattung),
- die Ermittlung kundenbezogener Produktanforderungen (z. B. produktionstechnische Kundenwünsche),
- die Planung und Umsetzung der Produktion (alle Produktionsprozesse wie Aufbereitung der Ausgangsstoffe, Rezepturverwaltung, Mischabläufe, Verpacken und Lagerung müssen definiert und festgelegt werden),
- das Festlegen von Beschaffungsprozessen (qualitative Anforderungen wie chemische, physikalische und biologische sowie formale Anforderungen wie Preis, Lieferform, Zertifizierungen, Termineinhaltung und Vertragskonditionen mit Zulieferern),
- die Validierung aller Prozesse und Dienstleistungen,
- das Festlegen der Produktkennzeichnung während der Produktherstellung (zum Zwecke der Rückverfolgbarkeit),
- die Durchführung von Überwachungs-, Mess-, Analyse- und Verbesserungsprozessen (auch die Überwachung von Prüfmitteln wie Messgeräte etc.),
- die Durchführung interner Audits,
- die Lenkung fehlerhafter Produkte und das Ergreifen von Korrektur- und Vorbeugungsmaßnahmen.

7.3.12 Das Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14001

Die DIN EN ISO 14001 (DIN 2015b) ist eine internationale Umweltmanagementnorm und Teil der ISO-Normenfamilie 14000. So gibt es aus dieser Normenfamilie die ISO 14040 und 14044, die Vorgaben bei der Erstellung von Ökobilanzen beinhalten. Die ISO 14001 ist speziell für Unternehmen, die bereits ein Qualitätsmanagementsystem (z. B. nach DIN EN ISO 9001) eingeführt haben und zusätzlich umweltrelevante Bereiche des Unternehmens erfassen und verbessern möchten. In der ISO 14001 sind weltweit anerkannte Anforderungen an ein Umweltmanagementsystem für produzierende und dienstleistende Unternehmen festgelegt. Dabei wird der Umweltschutz systematisch im Firmenmanagement verankert.

Nach DIN EN ISO 14001 zertifizierte Substratfirmen können nachweisen, dass sie sich umweltgerecht verhalten. Die Zertifizierung erfolgt durch akkreditierte Zertifizierungsstellen. Schwerpunkt der Anwendung der Norm ist ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess zur Erreichung der firmenspezifischen Ziele in Bezug auf die umweltrelevanten Einflüsse des Unternehmens. Dazu gehört, dass Prozesse festgelegt, umgesetzt, überwacht und, wenn nötig, korrigiert werden. Die Norm stellt keine absoluten Anforderungen. Sie fordert aber, dass die Selbstverpflichtungen zur Reduzierung von Umweltbelastungen, die sich das Unternehmen selbst auferlegt hat, eingehalten werden.

Solche selbstgesetzten Ziele und Verpflichtungen für Firmen, die Substratausgangsstoffe oder Substrate herstellen, können beispielsweise sein:

- die verantwortungsvollere Gewinnung von Rohstoffen (Torf, Perlit, Sand, Rohmineralien für die Herstellung von Mineralwolle etc.)
- Reduzierung des Energieverbrauchs
- Reduzierung von Verpackungsmaterial

- Reduktion von Abfällen, Emissionen und Abwasser

7.3.13 Der internationale Sozialstandard SA 8000

Ziel dieser freiwilligen Norm ist es, die Arbeitsbedingungen von Arbeitnehmern zu verbessern. Die SA 8000 (SAI 2014) beinhaltet ein Managementsystem, das vergleichbar ist mit der ISO 9001. Unternehmen können das SA-8000-Zertifikat bekommen, wenn sie u. a. keine Kinderarbeit oder Zwangsarbeit zulassen, Diskriminierung nicht dulden, Standards für Gesundheitsschutz und Arbeitssicherheit haben, physische und psychische Bestrafungen nicht dulden, Gewerkschaften erlauben, Arbeitszeitbeschränkungen nachweisen können und ein nicht zu niedriges Lohnniveau haben. Diese Norm kann z. B. von kokosproduzierenden Unternehmen eingeführt werden, um die Erfüllung der oben genannten Kriterien (mittels eines Auditors) nachzuweisen.

7.3.14 Richtlinien für Substrate für den Ökologischen Pflanzenanbau

7.3.14.1 Grünstempel®

Grünstempel® ist eine staatlich anerkannte, durch die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung bundesweit zugelassene Öko-Kontrollstelle. Sie kontrolliert und zertifiziert unabhängig die Maßgaben der EU-Öko-Verordnung in verschiedenen Kontrollbereichen, u. a. der landwirtschaftlichen Erzeugung. Darüber hinaus überprüft Grünstempel® auf Wunsch privatrechtliche Standards wie z. B. die Verbandskonformität eines Betriebes mit den Richtlinien von Demeter e. V., Bioland e. V., Gäa e. V., Verbund Ökohöfe e. V., Biokreis e. V. und Biopark e. V., die Standards für den biologischen Anbau festgelegt haben. Weiterhin kontrolliert und beurteilt Grünstempel® im privatrechtlichen Bereich Produkte außerhalb des Geltungsbereiches der VO (EG) Nr. 834/2007 im Hinblick auf deren Kompatibilität mit den Maßgaben der EG-Öko-Verordnung, wie z. B. Bioerden und -substrate (GRÜNSTEMPEL 2017).

Das Kontrollverfahren für die Produktion von Erden und Substraten, die in ökologisch/biologisch wirtschaftenden Unternehmen eingesetzt werden sollen, erfolgt in Anlehnung an das Verfahren der VO (EG) Nr. 834/2007. Für die Beurteilung der Produkte werden insbesondere die Inhalte der Maßgaben der Anhänge I und II und des Artikels 3, Nr. 4 und 5 der VO (EG) Nr. 889/2008 und des Artikels 12, Nr. 1, Buchstabe c der VO (EG) Nr. 834/2007 durch Grünstempel herangezogen.

Darüber hinaus gelten für die Einhaltung der Grünstempel®-Vorgaben „terra virida“ folgende Auflagen:

- Kein Einsatz von Bioabfallkompost (kompostierte Haushaltsabfälle).
- Nur Einsatz von Grünkomposten, die bestimmte Höchstgehalte von Schwermetallen in mg/kg TM (Cd 0,7; Cu 70; Ni 25; Pb

45; Zn 200; Hg 0,4; Cr ges. 70) nicht überschreiten dürfen.

- Die vorrangige Verwendung von Torfersatzstoffen. Torf ist nicht verboten, aber limitiert in der Menge (bis zum 30.06.2018 max. 15 %). Eine weitere Reduzierung wird angestrebt.
- Kein Einsatz von Rindenkomposten, die unter Einsatz von synthetischen Stickstoffdüngern produziert wurden.

Für Kultursubstrate gelten insbesondere die Grünstempel®-Vorgaben „terra nigra“ für die Produktion/ Herstellung von Erden und/ oder Substraten, welche in ökologisch/ biologisch wirtschaftenden Landwirtschafts-, Gartenbau- und Obstbaubetrieben Verwendung finden sollen. Die Grünstempel®-Vorgaben „terra nigra“ beinhalten keine Torfreduktion.

Nach Erstzertifizierung des Unternehmens findet eine jährliche Auditierung der Produktionsstätten statt.

Neben Grünstempel® gibt es noch weitere Öko-Kontrollstellen, die Kultursubstrate und Blumenerden auf Konformität mit der EU-Öko-Verordnung hin beurteilen, wie z. B. Ecocert oder Abcert. Grünstempel® ist jedoch die bekannteste Kontrollstelle.



Abbildung 45: Das Grünstempel®-Prüfsiegel (www.gruenstempel.de).

7.3.15 EU-Umweltzeichen (für Substrate, Bodenverbesserer und Mulch)

Der Rat der Europäischen Gemeinschaften hat am 23.03.1992 eine ‚Verordnung des Rates über ein gemeinschaftliches, freiwilliges System zur Vergabe eines Umweltzeichens‘ beschlossen. Die derzeit gültige Verordnung datiert vom November 2009. Das EU-Umweltzeichen ‚Euroblume‘ wird an Produkte (Substrate sind eine dieser Produktgruppen) und Dienstleistungen vergeben, die über alle Lebenszyklusphasen geringere Umweltauswirkungen haben. Die neuste Fassung der EU-Kommission zur Festlegung der Umweltkriterien für die Vergabe des EU-Umweltzeichens für Kultursubstrate (einschließlich Blumenerden) beinhaltet, dass diese

- torffrei sein müssen,
- aus organischen Stoffen aus der Verarbeitung oder Wiederverwendung von Abfällen zusammengesetzt sind,
- keine Klärschlämme enthalten dürfen,
- Grenzwerte für Schwermetalle und Krankheitserreger einhalten müssen,
- keine umwelt- und gesundheitsschädlichen Stoffe enthalten und
- pflanzenverträglich sind (EU-KOMMISSION 2015).

Das EU-Umweltzeichen soll Konsumenten bei ihrer Kaufentscheidung unterstützen, umweltgerechte Substrate zu verwenden, und ist für Substratproduzenten ein freiwilliges System.

Die EU-Kommission ist Inhaber des Labels. Sie beauftragt das ‚EU Ecolabelling Board‘ (EU-Ausschuss Umweltzeichen) mit der Kriterienentwicklung. In ihm sind die für das Umweltzeichen zuständigen Stellen der EU-Mitgliedsstaaten (für Deutschland betreut das Umweltbundesamt die fachliche Seite und die RAL gGmbH ist für die Antragsbearbeitung zuständig) sowie Vertreter der verschiedenen Interessengruppen. Die Kriterien werden im Regulatory Committee entschieden, in dem die

Mitgliedsstaaten vertreten sind. Der Antragsteller muss der zuständigen Stelle die einschlägigen Prüfberichte und Erklärungen über die Erfüllung aller Anforderungen vorlegen. Bei zertifizierten Substraten werden stichprobenartig Kontrollen durch unabhängige Prüfer durchgeführt.

Das EU-Umweltzeichen ist in ganz Europa zwar anerkannt. Seit seiner Einführung für Substrate im Jahr 2001 gibt es in Deutschland aber kaum Produkte, die das Umweltzeichen zuerkannt bekommen haben. Das mag an dem Kriterium ‚torffrei‘ liegen und/oder an der Konkurrenz etablierter nationaler Labels, wie ‚Grünstempel‘, die eigene Richtlinien und Kriterien für Substrate haben, und/oder an den zusätzlichen Kosten für die Antragstellung, an Analysekosten und Beträgen.



Abbildung 46: Das Umweltzeichen der EU, die ‚Euroblume‘ (www.ecolabel.eu).

7.3.16 Das RPP-Zertifizierungssystem für Torf

RPP steht für ‚Responsibly Produced Peat‘, also verantwortungsvoll gewonnener Torf. Initiator dieses Zertifizierungssystems ist die niederländische Regierung, die die Notwendigkeit der Verwendung von Torf im Profi- wie auch im Hobbybereich anerkennt. Mit diesem System will man die langfristige Verfügbarkeit von Torf für den Gartenbau sicherstellen. Zugleich soll aber gewährleistet sein, dass Torf verantwortungsvoll gewonnen wird. Verantwortungsvoll bedeutet hierbei vorrangig, dass

- Torf nicht von Abbauf Flächen mit hohem Wert für den Naturschutz kommt,
- alle Torfabbauprozesse bestmöglich gemanagt werden und
- eine sinnvolle Folgenutzung gewährleistet ist, die nach Möglichkeit den Naturschutzwert der Fläche möglichst durch Wiedervernässung und Restauration erhöht.

Die festgelegten RPP-Prinzipien und -Kriterien:

- Rechtmäßigkeit,
- verantwortungsvolles Management,
- die Auswahl von Torfabbauf Flächen,
- die Flächenvorbereitung und Torfabbau sowie
- die Art der Folgenutzung

wurden in Zusammenarbeit wesentlicher Anspruchsgruppen (Torfwirtschaft, Substratproduzenten, Naturschutz, unabhängige Experten) erarbeitet. Ein weiteres Ziel dieser Initiative ist die umfassende Einbeziehung („Mainstream“) möglichst vieler europäischer Torfabbauunternehmen und Produzenten von torfbasierten Kultursubstraten und Blumenerden. Erste Flächen wurden 2016 zertifiziert. Am 01. Januar 2018 wurde das Zertifizierungssystem auf den Bereich Substratherstellung und Handel ausgeweitet.



7.3.17 Das DEFRA-Zertifizierungsschema für verantwortungsvoll gewonnene und produzierte Kultursubstrate und Blumenerden im Vereinigten Königreich

Die Regierung des Vereinigten Königreichs hat sich den allmählichen Ausstieg aus der Torfverwendung im Gartenbau zum Ziel gesetzt (HM GOVERNMENT 2011). Ziele sind:

- bis 2015: Torfausstieg aus dem Bereich öffentliches Grün und allen staatlichen Bereichen
- bis 2020: freiwilliger Ausstieg aus der Torfverwendung im Hobbybereich
- bis 2030: freiwilliger Ausstieg aus der Torfverwendung im Profibereich

Gemeinsam mit Vertretern aller Anspruchsgruppen wurde mit Unterstützung der staatlichen DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs) eine ‚Peat Task Force‘ etabliert, die später in die ‚Growing Media Task Force‘ und schließlich in das ‚Growing Media Panel‘ umbenannt wurde. Aufgrund der Widerstände bei Substratproduzenten wie auch beim Profigartenbau haben die Arbeitsgruppen erkannt, dass die Kultur gärtnerischer Pflanzen nicht ohne Torf umzusetzen ist. Die oben genannten offiziellen Ziele behält die Regierung aber derzeit bei. Das Zertifizierungssystem heißt ‚Responsible Sourcing and Manufacturing of Growing Media‘, also die verantwortungsvolle Beschaffung und Produktion von Kultursubstraten und Blumenerden.

Die beteiligten Parteien haben u. a. durch die Studie von QUANTIS (2012) zu den Ökobilanzen wesentlicher Substratausgangsstoffe erkannt, dass nicht nur Torf, sondern alle Ausgangsstoffe Auswirkungen auf die Umwelt haben (s. Kap. 4.7.1). Um dieser Tatsache Rechnung zu tragen, bezieht man nun auch andere Ausgangsstoffe in ein freiwilliges Zertifizierungssystem ein, das besagte Anspruchsgruppen mit Unterstützung der UK-Regierung

erarbeiten (ADAS 2014). In das Zertifizierungssystem werden die folgenden auf die Umwelt und soziale Verantwortung einwirkenden Indikatoren einfließen:

- Energieverbrauch
- Wasserverbrauch
- Erneuerbarkeit
- Einhaltung von Sozialstandards (z. B. keine Kinderarbeit bei der Verarbeitung von Kokos)
- Habitat und Biodiversität
- Umweltverschmutzung
- Effizienz der Nutzung von Ressourcen

Mithilfe von ‚Decision Trees‘ (Entscheidungsbäumen) und einem Punktesystem erfolgt eine Einstufung des Substrats in den Ampelfarben. Eine Bewertung der Qualität/Funktionalität des hergestellten Substrats erfolgt nicht.

8 Gesetzliche Rahmenbedingungen und Richtlinie

8.1 Kultursubstrate und Blumenerden im deutschen Düngemittelrecht

Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel sind Produkte, die nach deutschem Düngemittelrecht deklariert und in Verkehr gebracht werden. Kultursubstrate sind wichtige Betriebsmittel, die in der gärtnerischen Produktion die Basis für den Kulturerfolg gewährleisten müssen. Entsprechend ihrer Bedeutung sind die Anforderungen an ein geeignetes Kultursubstrat zunehmend auch mit der Zielrichtung eines verbesserten Verbraucherschutzes im Düngemittelrecht geregelt worden. So unterliegen Kultursubstrate wie andere Produkte auch einer Deklarationspflicht, d. h., sie müssen hinreichend gekennzeichnet werden. Gleiches gilt für Blumenerden, die der Gesetzgeber den Kultursubstraten gleichstellt.

Die wichtigsten Rechtsvorschriften für Kultursubstrate/Blumenerden sind die Düngemittelverordnung (DüMV) und das Düngegesetz (DüngG), das aus der Reform des Düngemittelgesetzes (1977) hervorgegangen ist.

8.1.1 Düngegesetz (DüngG)

Das Düngegesetz (BMELV 2009) regelt nun nicht mehr allein das Inverkehrbringen von Düngemitteln, sondern auch das Düngen selbst. Aus diesem Grunde wurde der Name des Gesetzes geändert.

Das Düngegesetz enthält verbindliche Regelungen über die Wirksamkeit der Produkte sowie über fachliche Anforderungen oder zumindest die Ermächtigung, diese bei Bedarf durch Rechtsverordnung (DüMV) zu regeln.

Im DüngG werden Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel begrifflich erfasst und voneinander abgegrenzt. Bei der begrifflichen Einordnung der

Produkte ist zu beachten, mit welcher Zweckbestimmung und mit welchen kennzeichnenden Angaben diese in Verkehr gebracht werden.

Die Begriffe des Herstellens und Inverkehrbringens haben erhebliche Bedeutung für den Warenverkehr; hiernach ist zu unterscheiden, wer der verantwortliche Inverkehrbringer des Produkts ist und wer es im Markt bereitstellt.

Kennzeichnend für ein Kultursubstrat ist, dass es aus Stoffen besteht, die dazu bestimmt sind, Nutzpflanzen als Wurzelraum zu dienen, und die dazu in Böden eingebracht, auf Böden aufgebracht oder in bodenunabhängigen Anwendungen genutzt werden (s. Kap. 1.2).

8.1.2 Düngemittelverordnung (DüMV)

Das Düngegesetz ist auch die Rechtsgrundlage für die Neufassung der ‚Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln‘, kurz Düngemittelverordnung (BMELV 2012). Deren Anwendung nach guter fachlicher Praxis wird dagegen in der Düngemittelverordnung geregelt.

Die Einhaltung der düngemittelrechtlichen Vorgaben wird im Rahmen der amtlichen Düngemittelverkehrskontrolle (DMVK) überwacht.

Kultursubstrate/Blumenerden dürfen gewerbsmäßig nur in Verkehr gebracht werden, wenn sie den Anforderungen der Düngemittelverordnung entsprechen und gemäß dieser Verordnung gekennzeichnet sind. Insbesondere wird vorausgesetzt, dass sie

- bei sachgerechter Anwendung die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden,
- aus Stoffen hergestellt werden, die die Fruchtbarkeit des Bodens, die Gesundheit

Tabelle 63: Beispiel für die Kennzeichnung einer Substratfertigpackung entsprechend den in der deutschen DüMV geforderten Angaben.

Kultursubstrat:	unter Verwendung von organischem Bodenmaterial (Hochmoortorf, wenig bis mäßig und stark zersetzt, H3-H4 und H6-H8) und pflanzlichen Stoffen aus der Forstwirtschaft (Holzfaserstoff)
Organische Substanz:	enthält viel organische Substanz
pH-Wert:	5,7 (CaCl ₂)
Salzgehalt:	1,5 g/l (KCl)
Volumen:	70 l (DIN EN 12580)
Inverkehrbringer:	Firma A in B
Produziert in:	Deutschland (Basisland Deutschland)
Ausgangsstoffe:	80 % Hochmoortorf, wenig bis mäßig und stark zersetzt (H3-H4 und H6-H8), pflanzliche Stoffe aus der Forstwirtschaft (Holzfaserstoff), kohlenaurer Kalk, NPK-Dünger mit Spurennährstoff (Fe, Mn, B, Zn, Cu, Mo)
Nebenbestandteile:	Pflanzenverfügbare (lösliche) Nährstoffe: Stickstoff (N): 210 mg/l (CaCl ₂) Phosphat (P ₂ O ₅): 240 mg/l (CAL) Kaliumoxid (K ₂ O): 270 mg/l (CAL) Magnesium (Mg): 110 mg/l (CaCl ₂)
Anwendungshilfsmittel:	Netzmittel zur Optimierung der Wiederbenetzbarkeit
Lagerungshinweise:	Vor Witterungseinflüssen wie Sonneneinstrahlung, Austrocknung und Niederschlag schützen, um Produktveränderungen zu vermeiden. Die deklarierten Nährstoffe beziehen sich auf den Zeitpunkt des Inverkehrbringens durch den Hersteller und unterliegen möglichen natürlichen Schwankungen. Das Produkt ist möglichst rasch zu verarbeiten; bei Lagerung vor der Anwendung ggf. Nährstoffgehalte analysieren.
Anwendungshinweise:	Zum Topfen von Zierpflanzen; je nach Nährstoffbedarf der Pflanzen ist nach 3 bis 5 Wochen nachzudüngen. Enthält Bor (B), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) in pflanzenbaulich relevanter Menge. Anwendung nur in bodenunabhängigen Verfahren. Vorsicht bei borempfindlichen Kulturen. Aufgrund des C/N-Verhältnisses von > 30 : 1 ist eine Stickstoff-Immobilisierung im Substrat möglich. Weitere Hinweise siehe Verpackungstext.

von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen nicht schädigen und den Naturhaushalt nicht gefährden, und

- einen pflanzenbaulichen, produktions- oder anwendungstechnischen Nutzen haben oder
- dem Bodenschutz sowie der Erhaltung und Förderung der Fruchtbarkeit des Bodens dienen.

Für die in der Verordnung geregelten Produkte bestehen eine ganze Anzahl von spezifischen Anforderungen an die Unbedenklichkeit aller hinzugefügten Stoffe sowie ihres Nährstoff- und Schwermetalleintrags in den Boden. Die

für die Herstellung der Produkte zulässigen Ausgangsstoffe und deren Bestandteile sind in einer Positivliste als Anlage zur Verordnung angeführt.

Nur die in dieser Liste genannten Stoffe dürfen also verwendet werden; die Verwendung bestimmter mineralischer sowie synthetischer Ausgangsstoffe wird hierdurch beschränkt. Zudem dürfen Substraten die in den Positivlisten genannten tierischen Stoffe nur zur Nährstoffanreicherung zugesetzt werden. Ferner dürfen die Produkte keine Polyacrylamide, Mineralöle sowie toxikologisch oder pharmakologisch wirksame Substanzen in Konzentrationen enthalten, die bei sachgerechter Anwen-

dung die Gesundheit von Menschen oder Haustieren gefährden.

Die vorschriftsmäßige Kennzeichnung von Kultursubstraten/Blumenerden setzt die nachfolgenden allgemeinen und besonderen Angaben voraus; diese müssen in der Reihenfolge der Anlage 2, Tabelle 10.1 bis 10.4 in der deutschen DüMV erfolgen.

- Gegebenenfalls Gehalt an organischer Substanz, bewertet als Glühverlust Substanz [bei bodenunabhängiger Verwendung Deklaration nur, ob viel (> 80 %) oder wenig (< 5 %) enthalten ist]

8.1.2.1 Allgemeine Angaben

- Bezeichnung als Kultursubstrat
- Art, Zusammensetzung unter Angabe der Ausgangsstoffe; Hinweise zur sachgerechten Anwendung und Lagerung
- Name oder Firma und Anschrift des für das Inverkehrbringen im Inland Verantwortlichen
- Volumen
- Gehalte bestimmter Elemente wie As, Pb, Cd, Cr^(VI), Ni, Hg, Tl, Cu, Zn, B, Co und Se, wenn bestimmte Werte im Kultursubstrat erreicht werden, die in der DüMV aufgelistet sind (Kennzeichnungsschwellen und Grenzwerte in Anlage 2, Tabelle 1 der DüMV)
- Verwendete Aufbereitungshilfsmittel oder Anwendungshilfsmittel nach ihrem Zweck

8.1.2.2 Besondere Angaben

- pH-Wert (CaCl₂) (Toleranz: 0,4 Einheiten)
- Salzgehalt in g KCl/Liter (Toleranz: 50 % des angegebenen Gehaltes, jedoch nicht mehr als 0,7 g Salz/l)
- Pflanzenverfügbare (lösliche) Nährstoffe für N, P₂O₅, K₂O, Mg, S in mg/l unter Angabe der Analysemethode (Toleranzen: 50 % des angegebenen Gehaltes)
- Kennzeichnung CAT-lösliche Nährstoffe für B, Cu und Zn in mg/l bei Substraten mit bodenunabhängiger Anwendung und Überschreitung bestimmter Kennzeichnungsschwellen

8.2 Eichgesetz

Die Mehrzahl der Produkte, die heute dem täglichen Bedarf dienen, wird in Fertigpackungen angeboten. Die Käufer vertrauen dabei auf die Richtigkeit der Angaben auf der Verpackung wie Füllmenge, Hersteller und Preis. Die Eichbehörden sollen die Richtigkeit dieser Angaben überprüfen und auf diesem Wege den Schutz der Verbraucher und fairen Wettbewerb sicherstellen.

Das ‚Gesetz über das Inverkehrbringen und die Bereitstellung von Messgeräten auf dem Markt, ihre Verwendung und Eichung sowie über Fertigpackungen (Mess- und Eichgesetz – MesseEG)‘ definiert Fertigpackungen als Erzeugnisse in Verpackungen beliebiger Art, die in Abwesenheit des Käufers abgepackt und verschlossen werden (BMJ 2013). Auch Substrate und Blumenerden sind solche Erzeugnisse, die vielfach in Fertigpackungen wie Beuteln, Säcken, Ballen, Big Bags und Big Bales angeboten werden (s. Kap. 7.4). Nach dem Eichgesetz muss die Fertigpackung so gestaltet und gefüllt sein, dass sie keine größere Füllmenge vortäuscht, als in ihr enthalten ist (Verbot von Mogelpackungen).

8.3 Fertigpackungsverordnung (FertigPackVO)

Nach dem Eichgesetz und der Verordnung über Fertigpackungen (Fertigpackungsverordnung – FertigPackVO) dürfen Fertigpackungen nur hergestellt, importiert oder in den Verkehr gebracht werden, wenn die Nennfüllmenge angegeben ist und die Füllmenge den Anforderungen entspricht. Die Nennfüllmenge ist die Menge, die die Fertigpackung enthalten soll, also das auf der Verpackung angegebene Volumen. Die Füllmenge wiederum ist die in einer einzelnen Fertigpackung tatsächlich enthaltene Menge, also das Volumen, das nach DIN EN 12580 ermittelt wird (s. Kap. 7.3.1).

Die FertigPackVO legt für Kultursubstrate/Blumenerden in Fertigpackungen fest, welche Anforderungen an die Füllmenge zu beachten und welche Abweichungen erlaubt sind. Kultursubstrate und Blumenerden gehören nach den Regelungen der FertigPackVO zu den Natur- und Hilfsstoffen im Sinne der Düngemittelverordnung. Für sie gelten aufgrund ihrer natürlichen Inhomogenität der Stoffe besondere Anforderungen.

Regelmäßig werden Fertigpackungskontrollen durch die zuständigen Eichbehörden durchgeführt. Bei Kultursubstraten und Blumenerden gilt die Besonderheit, dass Fertigpackungen in der Regel beim Hersteller zu prüfen sind und die Prüfung grundsätzlich im Abfüllbetrieb vorzunehmen ist. So soll sichergestellt werden, dass die Füllmengen unter gleichbleibenden Bedingungen am Ort der Abfüllung den Anforderungen, einschließlich der zulässigen Abweichungen, entsprechen und nicht vorhersehbare Veränderungen, etwa durch Lagerung, eliminiert werden. Bei den Kontrollprüfungen von Substraten haben die zuständigen Eichbehörden (z. B. der Landesbetrieb Mess- und Eichwesen Niedersachsen) die Füllmenge durch Wägung in Verbindung mit einer Bestimmung der mittleren Schüttdichte nach den anerkannten Regeln der Technik zu bestimmen. Als anerkannte Regel der Technik gilt die DIN EN 12580. Losgröße und Stichprobenumfang sind in der FertigPackVO festgelegt.

8.4 Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG)

Das ‚Gesetz über die Haftung für fehlerhafte Produkte‘, kurz Produkthaftungsgesetz oder ProdHaftG, regelt die Haftung eines Herstellers bei fehlerhaften Produkten (BMJ 1989/2015). Produkte im Sinne des Gesetzes sind alle beweglichen Sachen, somit auch Kultursubstrate und Blumenerden. Wird jemand durch den Fehler eines Substrats in seiner Gesundheit verletzt oder wird eine Sache beschädigt, so ist der Substrathersteller (das kann auch der Zulieferer/Importeur sein) verpflichtet, dem Geschädigten (z. B. Gärtner oder Endverbraucher) den daraus entstehenden Schaden zu ersetzen. Dabei kann es sich um Rezeptur-, Herstellungs- oder Informationsfehler (z. B. falsche Anwendungshinweise in der Substratkennzeichnung) handeln. Vor diesem Hintergrund obliegt dem Hersteller, der zur Risikominimierung interne und externe Qualitätssicherungssysteme nutzt, eine große Verantwortung gegenüber dem Kunden und seinem eigenen Unternehmen. Die konsequente Beachtung der in Kap. 10 aufgeführten Punkte kann helfen, Risiken und Gefahren bei der Verwendung von Substraten zu vermeiden. Bei einer Auseinandersetzung zwischen dem Kunden (z. B. Gärtner) und dem Substrathersteller ist der Geschädigte (z. B. Gärtner) darlegungs- und beweispflichtig für die von ihm behaupteten Tatsachen. Dies gilt insbesondere für die Fehlerhaftigkeit des Produkts, den Schaden und den ursächlichen Zusammenhang zwischen Fehler und Schaden. Die im Rahmen der deliktischen Produzentenhaftung angewandten Regeln der Beweislastumkehr sind auf das ProdHaftG nicht anwendbar. Das heißt, für das Nichtvorliegen der vorbezeichneten Voraussetzungen kann niemals der Hersteller beweispflichtig sein. Zugunsten des Geschädigten kommen aber unter bestimmten Voraussetzungen Beweiserleichterungen, wie etwa der Anscheinsbeweis oder die Regelung des § 287 der Zivilprozessordnung (Schadensermittlung/Höhe der Forderung), in Betracht.

8.5 EU-Öko-Verordnung

Seit 1991 werden in der EU-Öko-Verordnung Bioprodukte geregelt.

Derzeit gilt die EG-Öko-Verordnung Nr. 834/2007 (EU-RAT 2007) über die ökologische/biologische Produktion und Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen als Basisverordnung. Sie definiert die Erzeugung von Bioprodukten, ihre Kennzeichnung und das Kontrollverfahren. In den Geltungsbereich der Verordnung fallen Agrarerzeugnisse, Lebensmittel und Futtermittel, sofern diese Produkte mit Ökohinweisen vermarktet werden sollen. Als Ökohinweis im Sinne der Basisverordnung gelten nicht nur die Begriffe ‚öko(logisch)‘ oder ‚bio(logisch)‘, sondern jede weitere Form der Kennzeichnung oder Werbung, die den Käufern den Eindruck vermittelt, dass das Erzeugnis unter ökologischen Bedingungen erzeugt wurde. Nur landwirtschaftliche Erzeugnisse, Lebens- und Futtermittel, die mindestens die EG-Öko-Verordnung erfüllen, dürfen entsprechend gekennzeichnet werden und das Biosiegel und/oder den Namen und das Logo des Bioverbandes tragen, dessen Mitglied sie sind.

Für andere, möglicherweise ebenso als ‚Bio‘ oder ‚Öko‘ bezeichnete Produkte gilt die EG-Öko-Verordnung nicht, eine direkte Bezugnahme und Verwendung des Biosiegels ist damit ausgeschlossen. Dies gilt ebenso für Kultursubstrate. Für diese Produkte ist allenfalls der Hinweis möglich, dass nur Rohstoffe und Dünger verwendet werden, die gemäß EG-Öko-Verordnung für den ökologischen Landbau zugelassen sind. Dies sind insbesondere solche Stoffe wie Dünger und Bodenverbesserungsmittel, die in Anhang I der Durchführungsverordnung Nr. 889/2008 gelistet sind. Die Basis- und Durchführungsverordnungen definieren Bioprodukte über die Art und Weise ihrer Erzeugung und Verarbeitung und nicht etwa über Grenzwerte oder Qualitätsparameter. Bei der Kontrolle steht daher im Vordergrund, ob die Grundanforderungen der Erzeugung und Verarbeitung eingehalten werden.

9 Kultursubstrate in den Sparten des Gartenbaus und anderen Bereichen

Der Erwerbsgartenbau ist in zwei Segmente unterteilt: Produktionsgartenbau und Handels- und Dienstleistungsgartenbau. Im bodenunabhängigen Bereich des Produktionsgartenbaus mit seinen Sparten Gemüsebau (einschließlich Kräuterbau und Speisepilzkultur), Blumen- und Zierpflanzenbau, Baumschule, Staudenbau und Obstbau sind Kultursubstrate unverzichtbare Betriebsmittel. Hingegen spielen Kultursubstrate im Handels- und Dienstleistungsgartenbau meist nur eine indirekte Rolle, da hier bereits kultivierte Pflanzen vermarktet (Einzel- und Großhandel, Gartencenter) oder verwendet werden (Garten- und Landschaftsbau). Im Garten- und Landschaftsbau werden bei Bedarf Kultursubstrate (neben Baumsubstraten) zum besseren Anwachsen der Pflanzen verwendet. Auch in der Sparte Friedhofsgärtnerei werden Substrate eingesetzt, wenn dort die Anzucht eigener Kulturen betrieben wird, oder bei der Verwendung von Friedhofsubstraten zur Grabbepflanzung.

9.1 Produktionsgartenbau

Der Markt für Gartenbauprodukte ist in Bezug auf kulturtechnische Standards, Produktsicherheit und Qualitätsaspekte hoch entwickelt. Daher werden auch hohe Anforderungen an alle Betriebsmittel – einschließlich Kultursubstraten – zur Produktion von Gemüse, Kräutern, Zierpflanzen und Baumschulware gestellt.

9.1.1 Gemüsebau und Kräuterbau

Im Unterglasgemüsebau spielen Kultursubstrate eine wesentliche Rolle, da bodenunabhängig Jungpflanzen herangezogen werden, die später bodenabhängig im Gewächshaus oder Feld bis zur Ernte weiterkultiviert werden. Kohlgemüsearten, Kopf-, Feld- und Eissalat, Kürbis, Gurken, Zwiebeln, Porree, Schnittlauch, Tomaten, Paprika, Basilikum, Petersilie, Dill, Sellerie und viele andere zum Verzehr angebaute Kulturen stellen hohe Qualitätsanforderungen an das Substrat hinsichtlich aller

Substrateigenschaften, aber insbesondere bezüglich des Gehaltes an Schadstoffen und Schwermetallen.

Automatisierte Verarbeitungsprozesse bei der Aussaat, dem Pikieren, Umsetzen und Auspflanzen von Jungpflanzen verlangen Kultursubstrate, deren mechanische Eigenschaften (s. Kap. 4.3.6) den jeweiligen technischen Anforderungen angepasst sind. Kulturprozesse verlangen Kultursubstrate, die bis ins Detail maßgeschneidert sind und bei der Formulierung der Rezeptur keine Fehler zulassen. Da Torf aufgrund seiner Entstehung beste gartenbauliche Eigenschaften hat und frei von Schadstoffen und Schwermetallen ist, stellt er die Basis für Gemüsebau- und Kräutersubstrate. Die Abhängigkeit dieses Bereiches von Torf ist ausgeprägt. Pflanzenstückzahlen pro Betrieb und Jahr von vielen Millionen sind nicht selten.

Hauptbestandteil aller Presstopfsubstrate ist durchfrorener stark zersetzter Hochmoortorf (H6-H8), dem nach guter Durchfrostung meistens ein Anteil weniger stark durchfrorener



Abbildung 48: Kultur von Basilikum auf Rinnen im Gewächshaus (© Klasmann-Deilmann GmbH).

Schwarztorf zur Erhöhung der Bindigkeit zugegeben wird; bei weniger guter Durchfrostung (witterungsbedingt) ist der Anteil geringer.

Auch können bestimmte feinst vermahlene Tonarten zur Erhöhung der Bindigkeit beitragen. Manchen Presstopfsubstraten wird Sand in geringen Mengen zugegeben, um die Gleitfähigkeit während der maschinellen Verarbeitung zu erhöhen und die Benetzbarkeit während der Jungpflanzenkultur zu verbessern, denn einmal ausgetrocknete Presstopfsubstrate lassen sich schlecht wieder benetzen. Presstopfsubstrate enthalten zunehmend Anteile anderer Substratausgangsstoffe, um die Luftkapazität, die sehr niedrig sein kann, zu erhöhen. Beimischungen von Weißtorf, Kokosmark oder Holzfaserstoffen sind hierfür geeignet.

Presstopfsubstrate werden erdfeucht [$W_m = 65-70\%$ (m/m)] geliefert und durch Zugabe von Wasser für den individuellen Pressvorgang auf $W_m \approx 70-75\%$ (m/m) erhöht. Mit Presstopfautomaten wird das Substrat zu Würfeln gepresst. Kantenlängen von 3 bis 4 cm für z. B. Salat- oder Kohlarten sind gängig; für Gemüse wie Gurken oder Tomaten können diese bis zu 10 cm sein. Die Anzahl von Presstöpfen, die aus 1 m³ Substrat hergestellt werden kann, ist von der Substratzusammensetzung, dem Feuchtigkeitsgehalt und dem Pressdruck abhängig. Bei einer Kantenlänge von 4 cm können zwischen 7.500 und 9.500 Presstöpfе hergestellt werden. Durch die maschinelle Formgebung wird das Substrat zwar verdichtet, was aber nicht zu Nachteilen bei der Bewurzelung führt.

Manche Gemüsebaubetriebe kultivieren Jungpflanzen in Multizellenplatten mit kleineren Einheiten von manchmal nur wenigen Millilitern Volumen. Bei Verwendung von Mehrwegplatten, die viele Jahre immer wieder verwendet werden können, ist das Entfernen von Algen und Substratresten nach Gebrauch und die anschließende Desinfektion der Platten aus hygienischen Gründen notwendig. Das Risiko des Austrocknens des Substrats ist bei Einsatz von Plattensystemen höher, weshalb die Be-

wässerung gut gesteuert sein muss. Tenside oder Ton im Substrat können die Benetzbarkeit verbessern.

Bei Fruchtgemüsearten wie Schlangengurken, Auberginen und Tomaten haben sich vorgeformte Substrate auf der Basis von Mineralwolle als Form der Hydrokultur in manchen Betrieben durchgesetzt. Ferner spielen Kokosmark, Bläherperlite oder Torfsubstrate in Grow Bags eine nicht zu unterschätzende Rolle.

9.1.2 Anbau von Speisepilzen

Kulturspeisepilze werden nicht auf Substraten im üblichen Sinn kultiviert, sondern auf Basissubstraten aus z. B. Stroh, Pferdedung, Hühnerkot, Gips und bestimmten Zusätzen (LELLEY 1991). Folglich heißen solche Substrate Strohsubstrate oder Pferdedungsubstrate. Das Myzel des Kulturchampignons beispielsweise zersetzt die Biomasse des Basissubstrats und versorgt sich so mit Nährstoffen. Im Verlauf der Kulturgeschichte des Champignons stellte man fest, dass das Abdecken des besiedelten Basissubstrats mit einer Schicht Erde sich förderlich auf die Fruchtkörperbildung (Fruktifikation) auswirkt. Aus diesen Erkenntnissen hat man für die Kultur der verschiedenen Kulturstämme des Champignons (und anderer Speisepilze) sogenannte Deckerden entwickelt, auf deren Produktion sich manche Hersteller spezialisiert



Abbildung 49: Champignonkultur mit Deckerde aus stark zersetztem Torf (© Klasmann-Deilmann GmbH).

haben. Nach LELLEY (1991) werden von einer Deckerde bestimmte Eigenschaften erwartet, welche die Fruktifikation des Champignons begünstigen:

- pH-Wert (CaCl_2) 7,0 bis 8,0
- gute pH-Pufferkapazität bei niedrigerem pH
- hohe Wasserkapazität
- nachhaltig gute Krümelstruktur (hohes Gesamtporenvolumen), um den Gasaustausch zwischen Basissubstrat und Raumluft zu gewährleisten
- Freiheit von Krankheiten, Schädlingen und Konkurrenzorganismen

Aufgrund seiner Eigenschaften hat sich stark zersetzter Hochmoortorf für die Produktion von Champignondeckerde als idealer Ausgangsstoff bewährt, dem manchmal Sand, Rindenumus, Kompost oder andere Stoffe zugegeben werden, um den Wasserhaushalt zu optimieren. Für die Produktion von Deckerden für Speisepilze für den Frischmarkt wird in der Regel gebaggerter Nasstorf (Feuchttorf) verwendet, um die gute Krümelstruktur zu erreichen. Für Deckerden für Speisepilze für die Konservenindustrie werden auch „normal“ gewonnene Weißtorfe und Schwarztorfe verwendet.

9.1.3 Blumen- und Zierpflanzenbau sowie Stauden unter Glas

In diesen Sparten des Gartenbaus ist aufgrund der Vielzahl der kultivierten Pflanzenarten und der größeren Kultureinheiten (Töpfe, Container) während der Weiterkultur der mengenmäßige Bedarf an Kultursubstraten hoch und die jeweilige Substratrezeptur sehr spezifisch. Praktisch alle Topfkulturen, Grünpflanzen, Beet- und Balkonpflanzen sowie Stauden werden in Kultursubstraten kultiviert. Diese Produktdiversifikation kommt nicht dem Substrathersteller in Bezug auf seine Ziele zur



Abbildung 50: Pikierroboter beim Umsetzen von Stiefmütterchen in größere Kultureinheiten (© Klasmann-Deilmann GmbH).

Reduzierung der Produktionskomplexität zu Gute, sie hilft aber dem Kultivateur, bestmögliche Kulturergebnisse zu erzielen. Im Zierpflanzenbau kommen vor allem bei der Weiter- und Topfkultur neben Torf die meisten anderen Substratausgangsstoffe zum Einsatz, denn größere und kräftige Pflanzen reagieren weniger empfindlich auf z. B. höhere Nährstoffgehalte (z. B. bei Komposten) als salzempfindliche Aussaaten, Stecklinge oder bewurzelte Jungpflanzen.

Wie im Gemüsebau hat die Mechanisierung und Automatisierung in den Zierpflanzenbau längst Einzug gehalten. Computergesteuerte Temperaturregelung, Bewässerung und Düngung, die automatisierte Ausbringung von chemischen und biologischen Pflanzenschutzmitteln, der Einsatz von Topfmaschinen, Pikierrobotern zum Umsetzen von Jungpflanzen in größere Einheiten (Abbildung 50) und der Einsatz von Presstopfmaschinen zur Herstellung von Torfpresstöpfen sind Beispiele dafür, wie auch in dieser Gartenbausparte die zwangsläufige Produktivitätssteigerung erzielt wird. Geschlossene Kulturverfahren, die das Recyceln des Bewässerungswassers mit den darin enthaltenen Nährstoffen gewährleisten, vermeiden Nährstoffauswaschungen und schützen den Boden.

9.1.4 Baumschule und Staudenbau

Ein wesentlicher Teil der in Deutschland produzierten Kultursubstrate wird für die Kultur bodenunabhängiger Baumschul- und Staudenkulturen im Freiland benötigt. Laubgehölze, Koniferen, Bodendecker, Sträucher, Stauden und Gräser werden in den unterschiedlichsten Topf- und Containergrößen kultiviert. Baumschulballungsgebiete wie der Raum um Pinneberg oder das Ammerland sind Zeugen der vielen tausend Hektar an Baumschulfläche in Deutschland. Bei der Containerkultur ist nicht nur die Wasserspeicherfähigkeit bei gleichzeitig gutem Lufthaushalt im Wurzelraum von Bedeutung, auch der Abfluss überschüssigen Niederschlagswassers muss gewährleistet sein. Grob fraktionierter Torf dient hierbei häufig als Basisausgangsstoff, dem andere Ausgangsstoffe wie Pinienrinde, Rindenhumus, grober Substratkompost, Reisspelzen, Bims oder Bläherperlite zugesetzt werden können.

9.1.4.1 Substrate für acidophile Kulturen

Landläufig bezeichnet man acidophile (säureliebende) Pflanzen als Moorbeetpflanzen. Die Azercas, eine Vereinigung von Gartenbaubetrieben, die sich als Sondergruppe innerhalb des ZVG (Zentralverband Gartenbau) mit der Kultur acidophiler Pflanzenarten befasst, zählt Azaleen, Eriken, Callunen und Kamelien zu



Abbildung 51: Großflächige Baumschulkultur von Eriken (© Klasmann-Deilmann GmbH).

Tabelle 64: Geeignete Substratausgangsstoffe bei Verwendung von Torf als Hauptkomponente für Substrate für Rhododendron und Azaleen (SCHMILEWSKI & HÄRIG 1994).

Substratausgangsstoff	Substratanteil % (v/v)
Rindenhumus	20-30
Holzfaserstoffe	20-30 ¹⁾
Reisspelzen	15-20
Kokosmark	20-50
Grüngutkompost	5-20 ²⁾
Sand	5-20
Bläherperlite	10-30
Blähton (auch gebrochen)	10-30
Synthetische organische Stoffe	10-30

¹⁾ Bei kurzen Kulturzeiten ≤ 50 % (v/v).

²⁾ Größere Mengen sind möglich, wenn der pH-Wert und der Salzgehalt niedrig sind.

dieser Pflanzengruppe. Der Gruppe der acidophilen Pflanzen werden aber auch Gaultherien, *Pieris* sowie typische Moorpflanzen wie *Eriophorum* (Wollgras) und *Vaccinium* (Heidelbeeren) zugeordnet. Einen Hinweis auf die Beziehung zwischen der Bezeichnung Moorbeetpflanzen und ihrer Herkunft, den Mooren, gibt GROSSE-BRAUCKMANN (1990).

Heute bieten sich eine Reihe von geeigneten Substratausgangsstoffen an, die in Substraten für acidophile Pflanzen mit verwendet werden, um bestimmte Substrateigenschaften einzustellen. Mit den kalktoleranten INKARHO[®]-Rhododendren werden Rhododendron-Unterlagen angeboten, die ein gutes Wachstum in den meisten Böden mit pH-Werten (CaCl_2) von 4,5 bis 6,5 ermöglichen. Für INKARHO[®]-Rhododendren sind aufgrund der größeren Toleranz bezüglich der Substratacidität auch torffreie Substrate verwendbar. Tabelle 64 beinhaltet Ausgangsstoffe, die zur Hauptkomponente Torf bei der Kultur von Rhododendren und Azaleen verwendet werden können.

9.1.5 Obstbau

Obst wird vornehmlich bodenabhängig kultiviert. Kultursubstrate spielen daher im Obstbau insgesamt eine untergeordnete Rolle. Erdbeeren werden in manchen Betrieben in Grow Bags oder Containern oder anderen Behäl-

nissen kultiviert. Substrate aus 100 % (v/v) Torf oder Kokosmark oder Mischungen aus diesen und anderen Ausgangsstoffen finden dabei Verwendung. Sowohl dem Produktions- als auch dem Hobbygärtner stehen Spezialsubstrate für die Kultur von Zierfruchtbäumen (z. B. Zitrusfruchtbäume) oder Beerenobst zur Verfügung.

9.1.6 Garten- und Landschaftsbau

Auch wenn wir im Sinne dieses Buches Kultursubstrate ausschließlich als Substrate für die bodenunabhängige Pflanzenkultur definieren, werden sie dennoch manchmal für die Pflanzung von Bäumen, Sträuchern, Stauden und anderen dekorativen Pflanzen im Freiland verwendet, vornehmlich um den Bodenaushub damit zu mischen. Auch gibt es speziell für den Außenbereich hergestellte Staudensubstrate, Rhododendron-Substrate, Teichsubstrate und viele andere Spezialsubstrate. Dabei handelt es sich aber nicht um Kultursubstrate wie in Kap. 1.2 definiert.

9.1.6.1 Baumsubstrate

Spezielle Baumsubstrate werden in größeren Pflanzgruben dort eingesetzt, wo der gewachsene Boden ungeeignet ist. Gemäß RAL-GZ 250 (RAL 2015) gibt es zwei Baumsubstrattypen. Zum einen solche für die offene, nicht überbaute Pflanzgrube (Pflanzgrubenbauweise 1) und solche für die überbaute Pflanzgrube (Pflanzgrubenbauweise 2). Die FLL-Definitionen wurden in das RAL-GZ 250 (2015) übernommen und sind nachfolgend aufgeführt.

„Baumsubstrate für die Pflanzgrubenbauweise 1 kommen für offene, nicht überbaute Pflanzgruben zum Einsatz. Die Pflanzgrubenverfüllung reicht bis zur Oberfläche des daran angrenzenden Bodens. Sie hat in der Regel eine offene Baumscheibe und ihre Oberfläche wird nur geringfügig belastet. Baumsubstrate für die Pflanzgrubenbauweise 1 weisen bei leichter Verdichtung zur Vermeidung von Sackungen einen guten Wasser- und Lufthaushalt auf. Sie müssen strukturstabil und für den Einbau bis

mindestens 1,5 m Tiefe geeignet sein (FLL 2010).“

„Baumsubstrate für die Pflanzgrubenbauweise 2 kommen bei überbauten Pflanzgruben zum Einsatz. Die Pflanzgrubenverfüllung ist nicht nur Pflanzenstandort, sondern auch Baugrund für die Verkehrsfläche. Die Pflanzgrubenverfüllung reicht im überbauten Bereich bis zur Oberkante des Oberbaus und muss entsprechend tragfähig sein. Baumsubstrate für die Pflanzgrubenbauweise 2 weisen bei Verdichtung zum Erreichen der Tragfähigkeitsanforderung an den Baugrund der vorgesehenen Verkehrsfläche einen ausreichenden Wasser- und Lufthaushalt auf (FLL 2010).“

Beide Baumsubstrattypen bestehen in der Regel überwiegend aus mineralischen Ausgangsstoffen mit Anteilen an organischen Stoffen mit definierten Eigenschaften. SPRINGER (2015) listet geeignete Ausgangsstoffe für Baumsubstrate und geht auf deren Eigenschaften ein. Da an die physikalischen Eigenschaften von Baumsubstraten zum Teil andere Anforderungen gestellt werden (z. B. ist die Wasserdurchlässigkeit eine wichtige Kenngröße) als an Kultursubstrate und Blumenerden und diese nach anderen Methoden (FLL-Methoden) untersucht werden, wird hier nicht weiter auf Baumsubstrate eingegangen.

9.1.6.2 Dachsubstrate

Für die Begrünung von Flach- und Schrägdächern und Fassaden ist neben bau- und vegetationstechnischen Voraussetzungen dem Dach- oder Vegetationssubstrat hohe Bedeutung zuzumessen. Mit der Zunahme der Dachbegrünung in Deutschland werden erhebliche Mengen an Dachsubstraten benötigt. ROTH-KLEYER (1999) führt für 1997 Mengen von 500.000 m³ Dachsubstraten an, die von überregionalen Anbietern für die bodenfreie Begrünung geliefert werden, wovon 15 bis 20 % auf Intensivsubstrate entfallen. Weitere 200.000 m³ sollen von regional orientierten Betrieben hergestellt werden. Inzwischen dürfte die jährlich produzierte Gesamtmenge weiter gestiegen sein.

Waren früher vorwiegend Blähton, Torf, Ober- und Unterboden die wichtigsten Ausgangsstoffe, so sind es heute vorwiegend mineralische Ausgangsstoffe wie Lava, Blähton und zunehmend solche aus dem Baustoffrecycling. Der Grund für diese Entwicklung ist die Mineralisierung der organischen Substanz, die zu dessen Schwund und ungünstigen Änderungen der physikalischen Eigenschaften während der langen Nutzungsdauer der Dachsubstrate führt. Die vegetationstechnischen Eigenschaften der heute verwendeten Dachsubstrate sind bei entsprechendem Mischverhältnis und entsprechender Aufbereitung der Ausgangsstoffe bedarfsgerecht und entsprechen weitgehend den Anforderungen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) und der RAL-GZ 250/6 (RAL 2015). Beide Qualitätskataloge stellen sehr spezifische Anforderungen an Dachsubstrate und stimmen hinsichtlich der wesentlichen Güte- und Prüfbestimmungen überein.

9.1.7 Friedhofsgärtnerei

Neben dem Pflanzsubstrat (z. B. Spezialsubstrate für Baumschulpflanzen oder Azerca-Substrate), dessen Eigenschaften auf die Bedürfnisse von Rahmenpflanzen (Nadel- und Laubgehölze) und Flächenpflanzen (niedrig wachsende Gehölze und Stauden) abgestimmt sind, kommt dem Friedhofssubstrat – wesentlich häufiger auch als Graberde bezeichnet – eine besondere Bedeutung zu. Graberden sollen rieselfähig und dadurch leicht verteilbar sein. Besonders wichtig ist eine dunkle Farbe, die das Erscheinungsbild der Grabstätte prägt.

Industriell hergestellte Graberden bestehen überwiegend aus fein fraktioniertem stark zersetztem Hochmoortorf (H7-H8). Manchmal werden Ausgangsstoffe wie Kompost oder Rindenhumus beigemischt, um die Durchlässigkeit der Erde zu verbessern. Gerade bei trockenen Witterungsbedingungen ist eine solche Beimischung nützlich, da so der Neigung des Schwarztorfes zum Schrumpfen, Hartwerden und zur Rissbildung entgegen gewirkt wird. Auch wird die Wiederbenetzung bei

Trockenheit durch Zugabe von Kompost oder Rindenhumus verbessert. Der Zusatz von Netzmitteln zu Graberden ist weniger üblich.

Mit dem Zweck, eine intensivere Dunkel- bzw. Schwarzfärbung zu erzielen, wird vielen Graberden Eisensulfat zugemischt.

Bei der Wechselbepflanzung auf Grabstätten gibt es in der Regel keine besonders anspruchsvollen Pflanzenarten. Der seitens der Substratwirtschaft eingestellte pH-Wert von Friedhofssubstraten liegt daher meist zwischen 5,0 und 6,0 (CaCl_2).

9.2 Blumenerden für den Hobbybereich

Nach allgemeinem Verständnis unterscheiden sich Kultursubstrate von Substraten für den Hobbybereich nur dadurch, dass sie nicht im Produktionsgartenbau, sondern im Hobbybereich eingesetzt werden (s. Kap. 1.2). Landläufig werden solche Substrate als Blumenerden bezeichnet. (Unter Blumenerden werden Substrate mit erdigem Charakter verstanden, womit z. B. Blähton für Hydrokulturen oder gebrannte Tongranulate wie z. B. Seramis® aus-

genommen wären.) Im Gegensatz zum Endverbraucher stellt jedoch der Produktionsgärtner meistens ganz spezifische, manchmal individuelle Qualitätsansprüche an das Substrat. Damit soll aber nicht ausgedrückt werden, dass die Qualität von Blumenerden zwangsläufig minderwertiger ist.

Kultursubstrate und Blumenerden bestehen weitgehend aus den gleichen Ausgangsstoffen. Hochmoortorf ist meist die Hauptkomponente, die je nach Verwendung mit Kompost, Rindenhumus, Holzfasern, Kokos, Sand, Bläherperlite oder anderen Stoffen ergänzt wird.

Tabelle 65: Güte- und Prüfbestimmungen für Blumenerden – Gütemerkmale mit Prüfmethoden und Wertebereichen (RAL-GZ 250/3, RAL 2015).

Gütemerkmale	Prüfmethode	Wertebereiche
1	Physikalische Eigenschaften	
1.1	Anteil Überkorn ²⁾	Siebung Methode GGS > 20 mm max. 5 Vol.-%
1.2	Zulässige Ausgangsstoffe und Zusätze	substratfähige organische, mineralische und synthetische Stoffe ¹⁾ --
2	Chemische Eigenschaften (Deklariert Sollwert muss sich mit zulässigen Abweichungen innerhalb der Grenzen bewegen)	
2.1	pH-Wert ²⁾	0,01 mol/l CaCl ₂ -Suspension (VDLUFA-Methode A 5.1.1) 5,0-6,5
2.2	Salzgehalt (g/l) ²⁾	Leitfähigkeitsmessung im Wasserauszug, Berechnung als KCl (VDLUFA-Methode A 13.4.1) < 3,0
2.3	Lösliche Nährstoffe (mg/l) ²⁾	
2.3.1	Stickstoff (NH ₄ -N + NO ₃ -N)	0,0125 mol/l CaCl ₂ -Auszug (VDLUFA-Methode 6.1.3.2) > 100 (CaCl ₂) > 100 (CAT)
2.3.2	Phosphor (P ₂ O ₅)	CAL-Auszug (VDLUFA-Methode 6.2.1.1) > 80 (CAL) > 40 (CAT)
2.3.3	Kalium (K ₂ O)	
2.4	Natrium (Na) ²⁾	Wasserauszug (VDLUFA-Methode A 13.4.1) < 70
2.5	Chlorid (Cl) ²⁾	
2.5		< 200
3	Biologische Eigenschaften	
3.1	Pflanzenverträglichkeit	Keimpflanzentest mit Chinakohl (VDLUFA-Methode 10.2.1) ⁴⁾ keine Wachstums- hemmung oder Pflanzenschädigung
3.2	Unkrautbesatz	Keimung in 2 cm dicker Schicht bei mindestens 18 °C über 3 Wochen (VDLUFA-Methode A 13.5.2) max. 3 keimende Samen oder austreibende Pflanzenteile/ Substrat
3.3	N-Haushalt	Brutversuch bei 25 °C, Analyse auf NH ₄ -N und NO ₃ -N nach 0,7 und 14 Tagen ³⁾ (VDLUFA-Methode A 13.5.1) stabil

¹⁾ Soweit für Substratausgangsstoffe eine RAL-Gütesicherung besteht, sind gütegesicherte oder gleichwertige Erzeugnisse zu verwenden. Die Entscheidung obliegt dem Güteausschuss.

²⁾ Mit Zustimmung des Güteausschusses Kultursubstrate sind für Spezialerden Abweichungen möglich.

³⁾ Untersuchung kann bei Bedarf vom Güteausschuss festgelegt werden, bei Bedarf auch längere Laufzeit

⁴⁾ Andere Testpflanze kann bei Bedarf durch den Güteausschuss festgelegt werden.

Bestanden die meisten Blumenerden vor dreißig Jahren vornehmlich nur aus Torf, so ist heute die Mitverwendung vor allem von Kompost ein deutlicher Trend im Hobbybereich, um im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu agieren. Dieser Trend ist im Hobbybereich einfacher zu vollziehen als im Profibereich. Torffreie Blumenerden verschiedener Hersteller sind erhältlich und basieren häufig auf Kokos, Kompost, Holzfaserstoffen, Faserxylit, Rindenhumus und Pinienrinde.

Blumenerden können das Gütezeichen nach RAL-GZ 250 (RAL 2015) tragen, wenn sie die Güte- und Prüfbestimmungen der Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V. erfüllen.

Die dafür freiwillig zu erfüllenden Merkmale und Wertebereiche sind in Tabelle 65 aufgeführt. Gegenüber RAL-gütesicherten Kultursubstraten besteht bei Blumenerden keine Einteilung nach Aufdüngung bzw. Salzgehalt oder nach ihrer Struktur. Wie bei Kultursubstraten müssen die verwendeten Ausgangsstoffe RAL-gütesichert sein, wenn für sie eine Gütesicherung besteht.

Wie Kultursubstrate unterliegen Blumenerden den düngemittelrechtlichen Bestimmungen der Düngemittelverordnung und sind somit kennzeichnungspflichtig.

9.3 Biosubstrate

Biosubstrate werden in Europa durch die EG-Öko-Basisverordnung (EG) Nr. 834/2007 (EU-RAT 2007) geregelt. Daneben gibt es national-privatrechtliche Bioverbände mit eigenständigen Anforderungen an Biosubstrate, die sich z. T. stark unterscheiden (Tabelle 66). Obwohl der ökologische Land-/Gartenbau den schonenden Umgang mit der Umwelt und Ressourcen als wesentliches Kriterium anführt, ist Torf bei der Jungpflanzenanzucht und Kräuterkultur akzeptiert und kann gemäß EG-Öko-Basisverordnung bis zu 100 % des Substrats ausmachen. Manche national-privatrechtlichen Bioverbände verlangen Torf zu bestimmten Anteilen zu ersetzen, wobei auch hier bei Anzuchtsubstraten höhere Torfanteile zulässig sind als bei Topfsubstraten, um das Kulturrisiko zu minimieren.

Die anhaltend steigende Nachfrage nach ökologisch kultivierten Pflanzen verlangt zwangsläufig nach Biosubstraten. Dabei ist das Interesse der Gesellschaft größer, wenn es um die Ernährung geht, weshalb Biosubstrate vor allem bei der Anzucht von Gemüsejungpflanzen und aromatischen Topfkräutern nachgefragt werden. Bei der Kultur von Zierpflanzen, Stauden, Bäumen oder acidophilen Pflanzenarten spielen sie eine deutlich geringere Rolle.

Tabelle 66: Beispiele für substratbezogene ökologische Anforderungen einiger Bioverbände im In- und Ausland (BIOLAND 2013, DEMETER 2013, NATURLAND 2013).

Bioverband (Land)	Mindest-Torfersatz (% v/v)			Vorgaben zu verwendeten Dün- gemitteln	
	Anzucht	Topfen	Anmerkungen		
Bioland (D)	20	50	Topfkräuterpro- duktion mit 20 % Torfersatz mög- lich	nur org. Dün- gemittel gemäß EU-Verordnung Nr. 889/2008, Anhang I ¹⁾	kein Blut- o. Kno- chenmehl
Naturland (D)	20	50			keine
Demeter (D)	30, davon 25 Grünkom- post	50, davon 25 % Grünkom- post	Topfkräuterpro- duktion mit 30 % Torfersatz mög- lich		kein Blut- o. Kno- chenmehl
BioAustria (A)	30	50			keine
Soil Associati- on (UK)	20	100	bei Topfsubstra- ten > 50 % des Torfersatzes aus Bioanbau		keine Chelate nach EU DüVO 2003/2003
BioSwiss (CH)	30	50 (im Haus) 70 (Freiland)	davon mind. 10 % Grünkompost		keine

¹⁾ Teilweise sind auch natürliche mineralische Düngemittel erlaubt (z. B. MgSO₄, KSO₄).

Biosubstrate sind ein wichtiger Bestandteil des Konzepts der Nachhaltigkeit, jedoch kann Torf in Biosubstraten auch durch Ausgangsstoffe wie Blähperlite, Blähvermiculit oder Blähton ersetzt werden, deren Rohstoffe zum Teil von weit her transportiert und die unter hohem energetischen Aufwand hergestellt werden. Auch Kokos wird von manchen Nichtregierungsorganisationen kritisch gesehen.

10 Gefährdungen und Risiken beim Umgang mit Kultursubstraten und Substratausgangsstoffen

Die Gebrauchstauglichkeit von Substraten hängt auch von Faktoren ab, über die nicht so häufig nachgedacht wird wie etwa über den Stickstoffgehalt oder die Struktur eines Substrats. Hersteller und Anwender handeln im eigenen Interesse, wenn sie den Erfordernissen entsprechende Kenntnis über die Substratkomponenten haben. Die eigene Sicherheit, der Kulturerfolg und Auswirkungen auf die Umwelt werden von den chemischen und biologischen Eigenschaften dieser Materialien beeinflusst. Hierbei dürfen jedoch nicht die möglichen Risiken und Gefährdungen, die von einzelnen Substratkomponenten ausgehen können, verallgemeinert werden. Es soll aber darauf hingewiesen werden, dass manche Ausgangsstoffe unter bestimmten Umständen Verunreinigungen, Schadstoffe, phytotoxische Substanzen oder andere Gefahrenquellen beinhalten können.

Im DIN-Fachbericht 90 (DIN 2001) werden folgende Definitionen gegeben:

- Sicherheit: Freiheit von unvermeidbaren Schadensrisiken
- Gefährdung: potentielle Schadensquelle
- Risiko: Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Gefährdung, die einen Schaden hervorruft, und Grad der Schwere des Schadens

Risikobehaftet kann im Prinzip jedes Substrat sein, wenn Qualitätssicherungsmaßnahmen nicht optimal eingehalten werden. Welche Risiken und Gefahren können von Kultursubstraten ausgehen? Im DIN-Fachbericht 90 werden Gefährdungen, die von Bodenverbesserungsmitteln, Substratausgangsstoffen und Kultursubstraten/Blumenerden ausgehen können, folgenden Kategorien zugeordnet:

- Physische Gefährdungen (Einatmen, Verschlucken oder Kontakt mit physisch gefährlichen Mitteln):

- durch Gewalteinwirkung (z. B. Riss-, Kratz-, Platz-, Schnitt-, Stich-, Schürfwunden)
- Staub
- Strahlung (einschließlich ionisierender Strahlung)
- Brand- und Explosionsgefährdung (Gefährdungen, die unmittelbar mit einem Brand oder einer Explosion in Verbindung stehen oder als deren sekundären Folgen verursacht werden, einschließlich Beschädigung von Eigentum)
- Physikochemische Gefährdungen (pH-Wert)
- Chemische Gefährdungen (Einatmen, Verschlucken oder Kontakt mit gefährlichen chemischen Stoffen) durch anorganische oder organische Stoffe:
 - chemische Hauptbestandteile
 - verunreinigende Stoffe oder Zusatzstoffe
 - mikrobielle Nebenprodukte (z. B. Mykotoxine)
- Biologische Gefährdungen (Einatmen, Verschlucken oder Kontakt mit gefährlichen biologischen Stoffen):
 - pathogen
 - allergen

Im DIN-Fachbericht 90 werden ferner die zu berücksichtigenden Gefährdungsszenarien aufgeführt:

- die Sicherheit der Anwender betreffende Gefährdungen (berufsmäßige oder nicht berufsmäßige Anwender, allgemeine Öffentlichkeit)
- die Umwelt betreffende Gefährdungen

(Tier- und Pflanzenwelt, Boden, Wasser, Luft)

- die Gesundheit und das Wachstum von Nutzpflanzen betreffende Gefährdungen

Anhand einiger Gefährdungspotentiale, die in der Praxis gelegentlich zu Diskussionen führen, sollen die wesentlichen Gefahren und Risiken angesprochen werden.

10.1 Erhitzung und Brandgefahr

Eine Brandgefahr besteht bei anorganischen Ausgangsstoffen und Substraten nicht. Organische und synthetische Produkte sind aber entzündbar und brennbar. Torf ist entzündbar, wenn er sehr trocken ist und einer Brandgefährdung durch beispielsweise offenes Feuer, brennende Zigaretten oder Schweißarbeiten ausgesetzt ist. Generell werden organische Substrate annähernd kulturfeucht geliefert, wodurch ein Entzündungsrisiko nicht gegeben ist. Eine zu trockene, offene Lagerung loser Ware erhöht selbstverständlich das Brandrisiko. Bei bestimmten Voraussetzungen kann es in Ausnahmefällen zu einer Selbsterhitzung des Materials und zu Brandgefahr kommen, was nicht nur für Torf gilt. Der Lagerung ist daher höchste Aufmerksamkeit zu schenken.

Polystyrol und Polyurethan entwickeln bei Erwärmung beißenden Rauch und Dämpfe, weshalb sie nicht gedämpft werden dürfen. Harnstoffformaldehyd erzeugt toxische Dämpfe, wenn es gedämpft wird (BUNT 1988).

10.1.1 Selbsterhitzung von Torf

Alle organischen Substratausgangsstoffe, Kultursubstrate und Blumenerden können in Mieten oder Haufen unter bestimmten Bedingungen selbsterwärmen. Bei der Rohstoffgewinnung, -verarbeitung und -lagerung ist Selbsterhitzung am besten bei Torfen bekannt. CATTIVELLO (pers. Mitteilung 2015) berichtet von der Selbsterhitzung von Kokosmark in einer Miete.

Die bei der Selbsterwärmung mikrobiell und chemisch bedingten stofflichen Umsetzungen

führen zu Veränderungen der biologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften des Torfes, die ihrerseits zu negativen Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum führen können. Selbsterhitzung kann sowohl beim Torf- beziehungsweise Substratproduzenten als auch beim Gärtner zu nicht unerheblichen wirtschaftlichen Verlusten führen. BRAGG (1998) führt aus, dass alle Torfproduzenten irgendwann mit dem Problem der Torfselbsterhitzung konfrontiert werden. Dies kann heute nicht mehr pauschal behauptet werden, da der Torf- bzw. Substratproduzent Selbsterhitzung durch strenge kontinuierliche Temperaturüberwachung der Torfmieten und -lager zu verhindern sucht.

Wie es zur Selbsterhitzung kommen kann und welche mikrobiologischen und chemischen Prozesse dabei ablaufen, kann in verschiedenen (meist älteren) Literaturquellen nachgelesen werden (s. NIGGEMANN 1968, NAUCKE 1974, KÜSTER 1990, NAUCKE 1990).

NIGGEMANN (1968) fasst folgende Wirkungen selbsterhitzter Torfe zusammen:

- Abnahme der Porenstruktur und der Wasserspeicherefähigkeit
- Schwund an organischer Substanz und erhöhter Gehalt an Asche
- eingeschränkte Wiederbenetzbarkeit
- Abnahme des pH-Wertes bei gleichzeitiger Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit
- Anwesenheit physiologisch wirksamer Torfabbauprodukte in phytotoxischer Konzentration (Hemmstoffe)

GORDON (1971) führt aus, dass sich stark selbsterhitzter Sodentorf pflanzenschädigend auswirkt, mäßig selbsterwärmter Torf hingegen manchmal eine stärkere Wachstumsförderung als Torf von nicht erwärmten Teilen derselben Miete zeigt. KURZMANN (1981) führt den erhöhten Gehalt an Phenolverbindungen als Ursache für gehemmtes Pflanzenwachstum an Kulturpflanzen an, jedoch wurden keinerlei

Mangel- oder Schadsymptome bei Blumenkohl, Tabak, Salat und Zinnien beobachtet. PUUSTJÄRVI (1983) nennt die Abnahme der Partikelgröße der Torfteilchen, die für die Herabsetzung der Wasserspeicherefähigkeit mitverantwortlich ist, als mitverantwortlich für beginnende Selbsterwärmung. Der Abbau der für die Wasserspeicherung wichtigen Membranbestandteile der *Sphagnum*-Zellen führt durch Strukturzerfall und geringere Korngrößen zu einem höheren Volumengewicht selbsterhitzter Torfe. RANNEKLEV (2001) berichtet von einer signifikant höheren bakteriellen und pilzlichen Biomasse in selbsterhitzten Torfen verglichen mit nicht selbsterhitztem Torf.

Erkennen von selbsterhitztem Torf

Temperaturüberwachung und Torfrohfstoffkontrollen müssen ausschließen, dass selbsterhitzte Torfe zur Verwendung kommen. Der Gärtner sollte in jedem Fall den Torf- oder Substratlieferanten bei Verdacht auf Selbsterhitzung einer Lieferung umgehend verständigen. Verschiedene Torfmerkmale weisen auf

Selbsterhitzung hin. Am sichersten ist die Erkennung, wenn möglichst alle der nachfolgend aufgeführten Erkennungsmöglichkeiten parallel genutzt werden. Eine sehr gute Bestimmung ist beim Vergleich mit einer nicht selbsterhitzten Torfprobe gleicher Provenienz gegeben. Ein solcher Vergleich ist in der Regel aber selten möglich.

Geruch: Selbsterhitzter Torf oder selbsterhitztes Substrat hat einen malzigen, dem Maggi-Gewürz ähnlichen Geruch, der sehr auffällig sein kann.

Bruttest: Ein Hinweis darauf, dass ein Torf einen Selbsterhitzungsprozess durchlaufen hat, kann mit einem Bruttest erhalten werden. Dabei wird der schwach aufgedüngte und aufgekalkte Torf kulturfeucht für einige Tage bei 38 bis 40 °C im Trockenschrank erwärmt. Stellt sich im Laufe des Versuchs Pilzmyzel auf der Substratoberfläche ein, so kann dies ein Indiz für selbsterhitzten Torf sein. Parallel hierzu sollte auch der nicht aufbereitete Torf bei gleicher Temperatur geprüft werden. Bildet sich

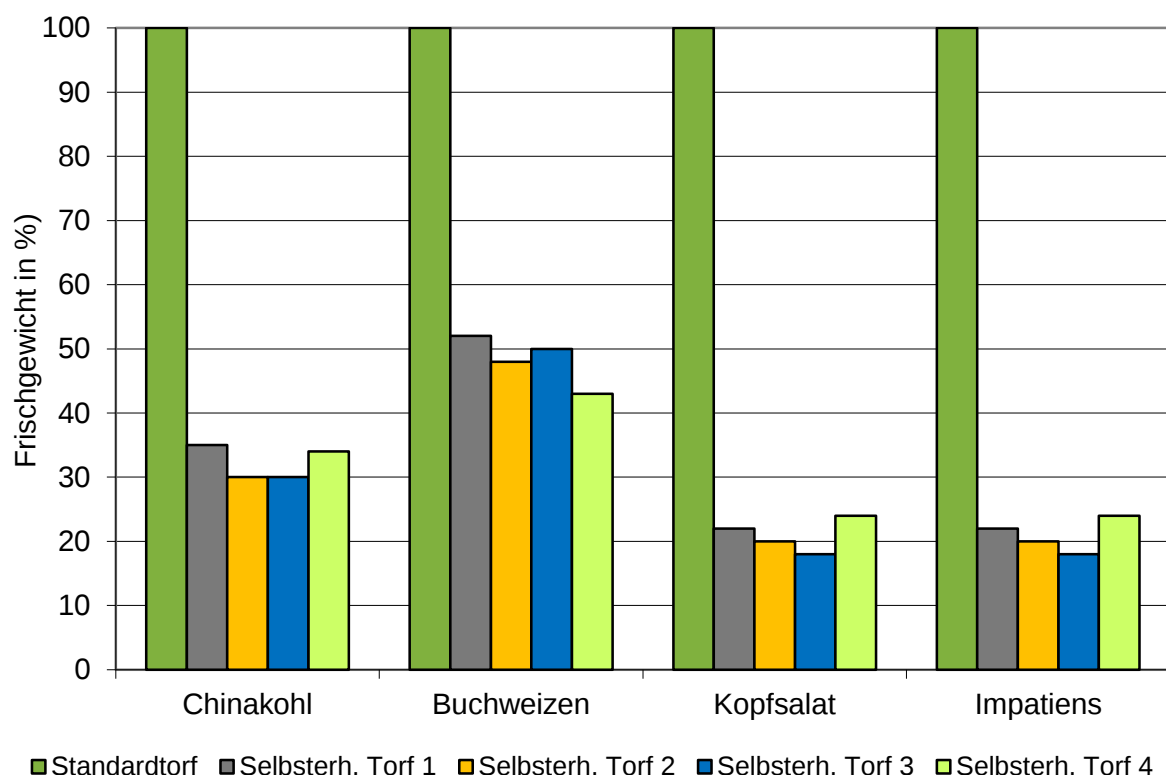


Abbildung 52: Frischgewicht von Jungpflanzen vier Wochen nach der Aussaat in vier selbsterhitzten Torfen.

Pilzmyzel auch auf der Oberfläche des reinen Torfes, so deutet dies in höherem Maße auf Selbsterwärmung hin. Eine absolute Sicherheit gibt diese Prüfung jedoch nicht.

Chemische Merkmale: Die elektrische Leitfähigkeit und der Gehalt an Ammoniumstickstoff sind erhöht. Die Werte für Calcium, Phosphor, Eisen und Bor können ebenfalls erhöht sein (WEVER & KIPP 1997). Der Gehalt an Nitratstickstoff ist etwas niedriger als normal.

Physikalische Merkmale: Physikalische Untersuchungen geben nur dann Hinweise auf eine Selbsterhitzung, wenn entsprechende Vergleichsproben abweichende Wasserkapazitäten aufweisen und die Wiederbenetzung eindeutig schwieriger ist.

Keimpflanzentests: Verschiedene Testpflanzen können für den Nachweis wuchshemmender Stoffe in Torfen herangezogen werden. Tritt Keim- oder Wuchshemmung und eine Gelb- oder Weißfärbung der Blätter auf, so kann dies ein Indiz für Selbsterwärmung des Torfes sein. Weist der Torf zudem den typischen Geruch eines selbsterhitzten Torfes auf, so ist das Ergebnis eindeutig. Als Keimpflanze zur Prüfung eines Torfes auf Selbsterhitzung schlägt GRANTZAU (2000) Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*) vor. Hierbei wird der Torf im Anlieferungszustand, ohne Zusatz von Kalk und Dünger, geprüft. SCHMILEWSKI (unveröffentlicht) hat bei vier verschiedenen selbsterhitzten Torfen festgestellt, dass die aufbereiteten Torfe im Keimpflanzentest mit Kopfsalat die eindeutigsten Ergebnisse brachten, gefolgt von Chinakohl, Buchweizen und Impatiens. Ergebnisse mit Buchweizen in den aufbereiteten Torfen waren noch eindeutiger als in den reinen Torfen (Abbildung 52).

10.2 Anorganische Verunreinigungen

Hierzu zählen Glas, Kunststoffe und Metall. Steine sind für sich eine Kenngröße der Substratqualität. Verunreinigungen kommen gelegentlich in Komposten vor und wirken optisch störend oder können, wenn es sich um scharfe Gegenstände handelt, zu Verletzungen führen. Steine können Störungen an Maschinen bewirken und sind unerwünscht. Mineralische Ausgangsstoffe wie z. B. Bims, Bläherlit oder Blähton werden manchen Substraten (Baumsubstrate, Dachsubstrate, Substrate für Innenraumbegrünung etc.) gezielt zugesetzt, sind aber nicht als Steine zu definieren.

Im RAL-GZ 251 (RAL 2007) ist bei gütegesichertem Kompost für Glas, Metall und Kunststoffe > 2 mm ein Grenzwert von 0,5 % und für Steine > 2 mm ein Grenzwert von 5 % Trockenrückstand (Massenanteil) festgelegt worden (s. Tabelle 28)

10.3 Organische Verunreinigungen

Substratausgangsstoffe können in Ausnahmefällen organische Verunreinigungen enthalten. Der Vollständigkeit halber sollen sie aber erwähnt werden. Es handelt sich hierbei um Substanzen, die menschlicher Einwirkung zugeschrieben werden können. Im DIN-Fachbericht 90 (DIN 2001) wird ihr Vorkommen auf folgende Ursachen zurückgeführt:

- Zugabe als Zusatzstoff zur Verbesserung spezifischer Produkteigenschaften
- Spurenverunreinigungen aus Rückständen des Produktionsprozesses
- allgemein vorhandene Hintergrundbelastung durch Verunreinigungen aus diffusen Quellen der Umwelt
- lokale Verunreinigung aus einer Punktquelle am Ort der Extraktion
- vorhandene Verunreinigung der Grundbestandteile des Substrats

Auf deutschen Torfgewinnungsflächen ist die Unkrautbekämpfung mit Herbiziden seit 1981 verboten. Auch in anderen Ländern mit Torfgewinnung ist Herbizideinsatz verboten. Hochmoortorf, der zu etwa 98 % (m/m) aus organischer Substanz besteht, kann Wirkstoffrückstände von Herbiziden hochgradig adsorbieren. Zudem erfolgt der mikrobielle Abbau erheblich langsamer als in Mineralböden. Die Verwendung von mit Herbizidrückständen kontaminiertem Torf (oder anderen Substratausgangsstoffen) kann in Kulturen eine verheerende Wirkung haben. Die Unkrautbekämpfung auf Torfgewinnungsflächen erfolgt daher ausschließlich mechanisch.

Bei der Verwendung von Holzhackschnitzeln und -fasern zur Substratherstellung wird vom Produzenten sichergestellt, dass keine Rückstände von Holzschutzmitteln enthalten sind. Heute wird in der Regel nur entsprechend zertifiziertes Ausgangsholz verwendet.

10.4 Staub

Staub stellt in erster Linie eine berufsbedingte Gefährdung bei der Produktherstellung und beim berufsmäßigen Gebrauch dar, wie beim Mischen unterschiedlicher Ausgangsstoffe und der damit verbundenen Erzeugung von Staub. Die Gefährdung besteht darin, dass bei Einatmen solcher Stäube über längere Zeiträume die Funktion der Atemwege eingeschränkt wird. Kultursubstrate und insbesondere mineralische Ausgangsstoffe können generell Feinstaub entwickeln, besonders wenn sie in trockener, gebrochener oder vermahlener Form (z. B. Bläherlit oder Blähvermiculit) vorliegen. Das Risiko ist praktisch nicht mehr existent, sobald solche mineralischen Stoffe feucht sind. Aber auch organische Materialien neigen zu Staubeentwicklung, wenn sie trocken sind. Dies gilt ebenso für Torf wie für Holzfaserstoffe, Kokosmaterial oder andere Stoffe.

Wiederholt wird auf einen Zusammenhang zwischen starker berufsbedingter Staubexposition und cancerogener Wirkung hingewiesen. Feinste Fasern von Mineralwolle können zumindest zu einer Reizung der Schleimhäute und der Haut führen. Schutzkleidung und Atemschutz sind schützende Vorsichtsmaßnahmen und sollten bei längerem, direktem Kontakt mit solchen Materialien in reiner Form getragen werden.

10.5 Mikrobiologische Gefahrenquellen

Bakterien, Aktinomyceten und Schimmelpilze kommen in organischen Substraten und Ausgangsstoffen immer vor. Sie sind Begleitorganismen und stellen fast nie Probleme dar. Auf die allgegenwärtigen saprophytischen Pilze wird in Kap. 4.5.2.1.1 eingegangen. Anlass zur Sorge geben Humanpathogene.

10.5.1 Humanpathogene

Humanpathogene Bakterien, Pilze, andere Organismen und Viren können beim Menschen Krankheiten hervorrufen. Fälle von Erkrankungen in Zusammenhang mit aus Kultursubstraten oder Blumenerden isolierten Erregern sind extrem selten. Treten sie auf, sind meistens rezyklierte Substratausgangsstoffe wie Kompost beteiligt, die nicht ordnungsmäßig hygienisiert wurden. Grundsätzlich lassen sich Humanpathogene in keinem Ausgangsstoff absolut ausschließen – mit Ausnahme thermisch behandelter Rohstoffe wie Perlit, Vermiculit, Mineralien zur Herstellung von Mineralwolle, Ton zur Herstellung von Blähton oder granuliertem Ton. Gemäß Düngemittelverordnung (DüMV 2012) dürfen in Kultursubstraten und Blumenerden keine Krankheitserreger, Toxine oder Schaderreger enthalten sein, von denen Gefahren für die Gesundheit von Menschen, Tieren und Nutzpflanzen ausgehen.

Nachfolgend aufgeführte Humanpathogene werden in erster Linie mit organischen und organisch-mineralischen Substratausgangsstoffen in Verbindung gebracht und unterliegen meistens nationalen Regelwerken, die Grenzwerte für die einzelnen Krankheitserreger beinhalten. Zumindest die Grenzwerte für Salmonellen und *Escherichia coli* (*E. coli*) sollen im Rahmen der zurzeit auf europäischer Ebene laufenden Harmonisierungsanstrengungen zur Vereinheitlichung nationaler Regelwerke vereinheitlicht werden.

10.5.1.1 *Escherichia coli*

Benannt nach seinem Entdecker T. Escherich, kommt das Bakterium *Escherichia coli* (lat. colum = Dickdarm) mit seinen vielen Stämmen (Typen) im Darm von Menschen und warmblütigen Tieren als dem natürlichen Lebensraum vor und ist Teil der normalen Darmflora (PIECHOCKI 1989).

Es gibt viele *E. coli*-Stämme, von denen die meisten nicht krankheitsauslösend sind. Allerdings existieren auch humanpathogene Stämme. Bestimmte *E. coli*-Stämme sind die häufigsten Erreger bakterieller Krankheiten beim Menschen, wie z. B. Entzündungen, Harnwegserkrankungen und Durchfall. In Extremfällen können *E. coli*-Erkrankungen zum Tod führen. Enterohämorrhagische *E. coli* (EHEC) sind die Ursache einer hämorrhagischen Kolitis (schwere Darmentzündung) und des hämolytischen Urämiesyndroms (HUS), der Erkrankung der kleinen Blutgefäße (KAYSER et al. 2010). *E. coli* O157:H7 ist der am häufigsten für das HUS verantwortliche Stamm.

E. coli lässt sich auch in Trink- und Badewasser sowie im Boden nachweisen und wird generell als Fäkalverunreinigung klassifiziert. Daher gilt *E. coli* – ohne stammspezifische Klassifizierung – als Leitkeim für fäkalen Verunreinigungen von Wasser und Lebensmitteln. *E. coli* ist auch Leitorganismus zur Prüfung des Hygienisierungsprozesses von Komposten.

Nur pathogene *E. coli*-Stämme stellen ein ernsthaftes Risiko in Substraten dar. Diese kommen in Substraten extrem selten vor. Nicht pathogene Stämme hingegen sind in Substraten häufig und in ganz unterschiedlichen Konzentrationen zu detektieren. Einen Grenzwert im deutschen Düngerecht für *E. coli* in Substraten und Ausgangsstoffen gibt es nicht. Manche Länder haben Grenzwerte für Kolibakterien festgelegt, wobei fast nie ein Unterschied zwischen pathogenen und nicht pathogenen Stämmen gemacht wird. Dies bereitet Substratherstellern manchmal

Probleme, da Grenzwerte, die für die Summe der vorkommenden *E. coli*-Stämme gelten, nicht eingehalten werden können. Der häufigste Grenzwert in EU-Ländern, die einen Wert festgelegt haben, beträgt < 1000 KBE/g (KBE = koloniebildende Einheiten), wobei sich die Untersuchungsmethoden durchaus unterscheiden können. Nur Österreich hat gemäß der österreichischen Düngemittelverordnung einen Grenzwert für den *E. coli*-Stamm O157:H7 festgelegt: keine in 50 g Probenmaterial.

10.5.1.2 Salmonellen

Salmonella spp. werden über die Verunreinigung von Boden, Pflanzen oder Wasser mit Exkrementen verbreitet und können in seltenen Fällen auf diesem Wege Substrate verunreinigen. Salmonellen führen zu Darmerkrankungen von Mensch und Tier. In den deutschen und österreichischen Bioabfallverordnungen sind *Salmonella* spp. Leithypogene, für die es Grenzwerte gibt.

10.5.1.3 Legionellen

Die Legionärskrankheit und das Pontiac-Fieber (beides Legionellose) werden durch Bakterien der Gattung *Legionella* hervorgerufen. Häufigster Erreger ist *L. pneumophila*. *L. longbeachae* verursacht vor allem bei immungeschwächten Menschen Infektionen. Beide Arten können eingeatmet werden. Der Nachweis von *Legionella* spp. in Kultursubstraten und Blumenerden ist zwar sehr selten, die Diskussion darüber hat aber in den letzten Jahren zugenommen. HEALTH PROTECTION SCOTLAND (2013) berichtet über den Nachweis von *L. longbeachae* in Kultursubstraten/Blumenerden in Australien, Neuseeland, Japan, Thailand, in den Niederlanden, im Vereinigten Königreich, in der Schweiz, in den USA und in Polen. WERLTE (2012) berichtet von vereinzelten Infektionsfällen durch Blumenerde in Österreich, Frankreich, in den Niederlanden und in Schweden im Zeitraum 2006 bis 2009. Die Zusammensetzung der Mischungen war zwar unterschiedlich, jedoch die Anzahl der

Nachweise war dort am höchsten, wo hohe Anteile an kompostiertem Material verwendet wurden. Die geringsten Nachweise gab es in Ländern, wo Torf die Hauptkomponente des Produkts war. Die Gattung *Legionella* kommt in der natürlichen Umwelt vor und kann daher auch in Bioabfall (Ausgangsmaterial vieler Komposte) vorkommen. Der kontrollierte Hygienisierungsprozess während der Kompostierung ist mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit ausreichend, um Legionellen abzutöten. Das Tragen von Handschuhen und Händewaschen nach dem Arbeiten mit komposthaltigen Produkten wird empfohlen.

10.5.1.4 Aspergillus fumigatus

Der Schimmelpilz *Aspergillus fumigatus* ist als Saprophyt in der Natur allgegenwärtig und als Risikopilz in der Kompostwirtschaft und substratherstellenden Industrie bekannt. Er ist grundsätzlich kein humanpathogener Pilz. Jedoch ist *A. fumigatus* ein Mykotoxinbildner und Allergen bei sensibilisierten Personen sowie ein potentiell humanpathogenes (SCHLECHTE & SCHMILEWSKI 2010). Selten ist von Fällen berichtet worden, in denen *A. fumigatus* zu Atemwegs- und Hauterkrankungen bei immungeschwächten Menschen geführt hat, deren Ursache erhöhte Sporenkonzentrationen in Substraten waren. Daher ist aber seit den 1990er Jahren das Aufstellen von Topfpflanzen in Krankenhäusern untersagt.

10.5.1.5 Weitere Humanpathogene

Verschiedene Autoren berichten über Erreger, die aus Kultursubstraten, Blumenerden, Komposten und anderem rezykliertem Material isoliert worden sind. Hierzu zählen *Scedosporium apiospermum*, *S. prolificans* (Schleimpilze, die das Zentralnervensystem und das Atmungssystem infizieren können), *Sporothrix schenckii* (Erreger der Sporotrichose) und *Clostridium tetani* (Erreger von Tetanus). Auf diese Humanpathogene wird hier nicht weiter eingegangen.

10.6 Pflanzen schädigende Organismen

Eine Vielzahl von Schadorganismen kann bei einer Kontamination des Substrats zu Pflanzenschäden führen. Nachfolgend sind einige Schadorganismen aufgeführt, die gelegentlich oder eher selten zu Problemen führen können.

10.6.1 Kohlhernie

Der pilzliche Erreger der Kohlhernie, *Plasmodiophora brassicae*, hat in manchen Gemüsebaubetrieben zu Ausfällen in Kohlkulturen geführt und Substratreklamationen nach sich gezogen. MATTUSCH et al. (1988) konnten eindeutig nachweisen, dass die Wahrscheinlichkeit der Einschleppung des Pathogens sehr gering ist. So wurde in 12 von 1.007 Rohtorfproben (1,2 %) Kohlhernie im Biotest nachgewiesen. Die betreffenden Proben stammten aus Kleinflächen im Randbereich von in Abtorfung befindlichen Flächen.

Als Hauptursache für eine Verseuchung mit *P. brassicae* ist vorrangig vernachlässigte Betriebshygiene zu nennen. Bereits 1998 wurde *P. brassicae* in der deutschen Bioabfallverordnung als einer der Leitorganismen aufgeführt, für den ein Infektionsindex angegeben ist (BMU 2013). Ein Test auf Kontamination durch diesen Pilz wird auch als Nachweis für eine ordnungsgemäße Kompostierung organischer Materialien herangezogen.

10.6.2 Schadnematoden

Bei der Champignonkultur ist die Verhinderung der Einschleppung von Schadnematoden über die Deckerde die vordringlichste Vorbeugungsmaßnahme. *Ditylenchus myceliophagus* ist die schädlichste Nematodenart am Champignon, gefolgt von *Aphelenchoides composticola* und *Paraphelenchus myceliophthorus*. So wird Torf als Ausgangsstoff für Deckerden (und für Ton, sofern er Deckerden zugemischt wird)

gemäß den Gütekriterien der RHP auf das Vorkommen von *D. myceliophagus* und *A. composticola* untersucht; dabei ist eine Nulltoleranz festgelegt.

Ferner müssen nach RHP alle Substratausgangsstoffe eine Nematodenprüfung auf wesentliche Schadnematoden durchlaufen. Die Prüfung bezieht sich meistens auf die Nematodengattungen *Aphelenchoides* spp., *Ditylenchus* spp., *Globera* spp., *Heterodera* spp. (das Kartoffelzystenälchen ist von großer Bedeutung), *Longidorus* spp., *Meloidogyne* spp., *Pratylenchus* spp., *Rotylenchus* spp. und einige weitere Gruppen. Für manche Ausgangsstoffe werden spezielle Arten für die Untersuchung gelistet. Auch Tone und Kalke werden entsprechend den RHP-Kontrollstandards auf Schadnematoden untersucht. Ausgangsstoffe, die bei ihrer Produktion hohen Temperaturen ausgesetzt werden, wie Blähton, Bläherperlite, Blähervermiculite, Mineralwolle oder Polyurethanschaumprodukte, sind von der Untersuchung auf Nematoden ausgenommen. Das RAL-GZ 250 (RAL 2015) enthält keine Prüfbestimmungen für Nematoden.

10.6.3 Trauermücken

Als Schädling im Gartenbau tritt die Trauermückenlarve (Trauermückenmade) auf. Von den weltweit über 1.800 Trauermückenarten kommen über 340 in Deutschland vor, als Schädlinge im Gartenbau treten am häufigsten die der Gattungen *Bradysia*, *Lycoria*, *Lycoriella* und *Termitosciara* auf (KAWOLLEK 2012). Alle feuchten, lufthaltigen und vorzugsweise belebten Substrate und Ausgangsstoffe sind bevorzugte Lebensräume für Trauermückenlarven. Auch feuchte, veralgte und vermooste Bewässerungsvliese oder andere Tischauflagen bieten ein gutes Vermehrungsmilieu für die Trauermücke.

Bradysia difformis ist die bei uns häufigste Schadart. Ihre angelsächsische Bezeichnung 'black fungus gnat' deutet auf ihre Ernährungsweise hin, die auch für andere Arten typisch ist. KÜHNE & HELLER (2010) he-

ben hervor, dass es sich um mykophage Insekten handelt, deren Larven hauptsächlich Pilzmyzel verzehren. BUXTON (1960) unterstreicht, dass Trauermücken bevorzugt eine Vielzahl von Ascomyceten, Basidiomyceten und Myxomyceten verzehren. Aber auch Algen, leicht abbaubares totes Pflanzengewebe sowie lebendes Pflanzengewebe, wie Wurzeln, Wurzelhaare und das Gewebe an der Stängelbasis von Pflanzen, dienen als Nahrungsquelle. Fraßstellen bieten bodenbürtigen Krankheitserregern Eindringstellen.

Da Komposte und Rindenhumus mikrobiologisch stark belebt sind, ziehen diese Ausgangsstoffe Trauermücken besonders stark an. So können besonders im Bioanbau, wo solche Ausgangsstoffe bevorzugte Substratbestandteile sind, Probleme mit Trauermückenlarven auftreten. Auf strenge Hygiene ist bei der Kompostierung sowie der Kompost- und Substratlagerung zu achten, da sich schon hier Trauermücken gern ansiedeln. Außerdem sind in Zersetzung (insbesondere durch pilzliche Zersetzung) befindliche organische Dünger für Trauermückenlarven sehr anziehend.

10.6.4 Dickmaulrüssler

Es sind kaum Fälle bekannt, in denen die Larven des Gefurchten Dickmaulrüsslers (*Otiorynchus sulcatus*) oder andere *Otiorynchus*-Arten in dem gelieferten Substrat vorhanden waren, und wenn, handelte es sich immer um durch Boden oder nicht sachgemäß hygienisierten Kompost verunreinigtes Substrat. Berüchtigt sind vor allem die Larven dieses Schadkäfers, weil sie Wurzelfraß an Gehölzen, Beerenobst, Stauden und Zierpflanzen verursachen.

In manchen Ländern dürfen chemische oder biologische Pflanzenschutzmittel präventiv dem Substrat zugesetzt werden. Zur Einmischung in das Substrat ist beispielsweise das Langzeit-Bioinsektizid „Met52“ in Deutschland und anderen EU-Ländern zugelassen. Es besteht aus Reiskörnern, auf

die Sporen des insektenpathogenen Pilzes *Metarhizium anisopliae*, Stamm F52, aufgebracht sind. Zur biologischen Bekämpfung in der Kultur eignen sich parasitäre Nematoden sehr gut.

10.7 Maschinen-Störstoffe

Bei der Torfgewinnung können sogenannte Moorholzstücke oder rezente Wurzeln von moortypischen Pflanzen (Ericaceae) mitaufgenommen werden, da sie natürlich in Torflagerstätten vorkommen. Bei den üblichen Absiebungs- und Fraktionierungsvorgängen bei der Torfverarbeitung werden solche Bestandteile sorgfältig abgesiebt. Es kann jedoch vorkommen, dass trotz Absiebung Holzteile mitverarbeitet werden. Bei der maschinellen Verarbeitung von Substratlieferungen, die Holzstücke enthalten, kann es zu Störungen an Topf-, Presstopfmaschinen oder automatischen Füllanlagen für Multiplatten kommen. Gleiches gilt, wenn Holzstücke in anderen Ausgangsstoffen vorkommen.

Rohtorfe enthalten unterschiedliche Volumenanteile des Wollgrases (*Eriophorum*), die entsprechend dem Einsatzgebiet abgesiebt werden. Das vertorfte Wollgras ist faserig. Störend wirken faserhaltige Substrate nur, wenn sie nicht dem Einsatzgebiet entsprechen.

Mit dem Ausgangsstoff eingeschleppte Steine, Drähte, Kunststoff oder Ähnliches sind ebenfalls Störstoffe, die zu erheblichen Schäden an Maschinen führen können.

10.8 Gasförmige pflanzen-schädigende Stoffe

Gasförmige Emissionen von schädlichen oder toxischen Verbindungen kommen in Kultursubstraten und Blumenerden sehr selten vor. Risiken solcher flüchtigen, potentiell pflanzenschädigenden Stoffe können sich während der Kompostierung oder Lagerung organischer Ausgangsstoffe und Fertigsubstrate entwickeln. Mit dem Kresstest prüft man auf gasförmige Schadstoffe, die aus dem Substrat entweichen (Kap. 4.2).

10.8.1 Anaerobe Verhältnisse in verdichteten Substraten

Verpackte, palettierte Sack- oder Ballenware, aber vor allem Großballen können erhebliche mikrobiologische und dadurch bedingte chemische Veränderungen erfahren, wenn das Substrat nicht umgehend verbraucht wird. Diese Beobachtungen treffen insbesondere auf stark zersetzten Torf zu. Ware, die falsch gelagert der Sonneneinstrahlung bei hochsommerlichen Temperaturen direkt ausgesetzt ist, kann sich stark erwärmen. Temperaturen von 60 °C und mehr können im Bereich der Verpackungsfolie erreicht werden.

Der Wärme- und Gasaustausch des ohnehin verhältnismäßig luftarmen Schwarztorfes ist gering und wird durch den üblichen Feuchtigkeitsgehalt um 70 % (m/m) und darüber weiter gemindert. 70-l-Gebinde werden vor dem Palettieren gebügelt und dadurch verdichtet, auf Paletten gestapelt und mit Hauben- oder Stretch-Folien abgedeckt. Substrate in Ballen oder Großballen unterliegen beim Pressen starken Luftverlusten, wodurch fast anaerobe (sauerstofffreie) Verhältnisse entstehen können. Anaerobität führt zwangsläufig zu Veränderungen der Mikroflora im verdichteten Substrat. Anaerobe Bakterien vermehren sich in diesem sehr feuchten, sauerstoffarmen und warmen Milieu überproportional. Folgen sind mikrobielle Umsetzungsprozesse wie Denitrifikati-

on, Desulfurikation und Gärprozesse, die sich zum Teil erheblich auf die Substratqualität auswirken können.

10.8.1.1 Denitrifikation

Denitrifikation (Nitratveratmung) ist ein mikrobieller Umsetzungsprozess (Reduktion), bei dem Nitrat (NO_3^-) über Nitrit (NO_2^-) zu gasförmigen Stickoxiden (NO , N_2O) und molekularem Stickstoff (N_2) umgewandelt wird (BLUME et al. 2010). Denitrifikation findet vor allem bei hohen Feuchtigkeitsgehalten im Substrat und schlechter Durchlüftung statt. Das im Substratdünger enthaltene Nitrat ist eine weitere Voraussetzung für diesen Umsetzungsprozess.

Denitrifizierende Bakterien wie *Pseudomonas*, *Alcaligenes* und *Achromobacter* kommen autochthon und ubiquitär in Böden, Torfen und allen anderen organischen Substratausgangsstoffen vor und werden bei Sauerstoffmangel und hohen Feuchtigkeitsgehalten verstärkt aktiv. Denitrifikation kann durch Substratanalysen, die die Abnahme der NO_3^- -Konzentration zeigen, belegt werden. Nitratstickstoff kann unter den beschriebenen Bedingungen in besonders betroffenen Bereichen in dem verpackten Substrat innerhalb von wenigen Wochen ganz veratmet sein. N steht der Pflanze dann nur noch als $\text{NH}_4\text{-N}$ zur Verfügung. In der Kultur führen solche chemischen Substratveränderungen zu ungleichmäßigem Pflanzenwachstum, Minderwuchs und Pflanzenschäden.

Nach Untersuchungen von AGNER (2003) kann Denitrifikation auch während der Kultur von Topfpflanzen eintreten. Neben Luftmangel und hohen Feuchtigkeitsgehalten im Topf führt sie folgende Kriterien auf, die die Denitrifikation fördern:

- hohe Topffestigkeit
- lange Anstaudauer, übermäßiger Niederschlag
- langsames Abtrocknen des Substrats nach Bewässerung

- hohe Temperatur
- leicht abbaubare Kohlenstoffverbindungen im Substrat

10.8.1.2 Desulfurikation

Anaerobe Verhältnisse können auch zu Desulfurikation (Schwefelveratmung) führen. Dabei wird durch sulfatreduzierende (SO_4) Bakterien wie *Desulfomonas* und *Desulfobacterium* das im Dünger enthaltene Sulfat zu Sulfid umgewandelt. Es wird dabei der nach faulen Eiern riechende Schwefelwasserstoff (H_2S) freigesetzt, der eindeutig als Indikator für Anaerobizität im verpackten Material dient. Nach Auflockerung/Belüftung des Substrats verfliegt der Geruch und das Substrat kann problemlos verwendet werden.

10.8.1.3 Gärung

Gärprozesse, verursacht durch Sauerstoffmangel in der verpackten Ware, kommen selten vor. Gärung ist der mikrobielle Abbau von organischer Masse und häufig mit der Bildung geruchsintensiver Gase verbunden. Solche Gerüche kommen auch bei der Kompostierung vor. Gärende Substrate können beim Öffnen der Substratverpackung wahrgenommen werden. Nach Auflockerung/Belüftung des Substrats verfliegt der Geruch und das Substrat kann problemlos verwendet werden.

10.9 Radioaktivität

Erstmals hat man sich 1986 nach dem Atomreaktorunfall in Tschernobyl ernsthaft mit der Möglichkeit der Kontamination von Substraten durch Radioaktivität befasst.

Die EU-Verordnungen 737/90/EWG (1990) und 598/92/EWG (1990) legen maximale Radioaktivitätswerte in Nahrungsmitteln auf 370 Bq/kg für die langlebigen Radionuklide ^{134}Cs und ^{137}Cs für Milch, Milchprodukte und Babynahrung fest. Für Nahrungsmittel und Getränke beträgt der Wert 600 Bq/kg. Da Torf großflächig abgebaut wird, lag die Vermutung nahe, dass Rohtorfe aus betroffenen Gebieten am ehesten Strahlung aufweisen würden. Radioaktivitätsmessungen an Torfproben, die aus dem In- und Ausland gesammelt wurden, ergaben durchweg Werte von < 60 Bq/kg Torf, die demnach weit unter den zulässigen Werten für Milchprodukte und Babynahrung lagen. Die Strahlenbelastung von Torfprodukten kann somit als völlig unbedenklich und risikolos angesehen werden. In den letzten 15 Jahren wurden Radioaktivitätsmessungen an Torfen in Ausnahmefällen vorgenommen, stets mit negativem, unbedenklichem Ergebnis. Die niederländische Stiftung RHP hat seinerzeit die allgemeine Produkthanforderung aufgestellt, dass zertifizierte Ausgangsstoffe nicht radioaktiv verseucht sein dürfen; ein Grenzwert von 370 Bq/kg ($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$) durfte nicht überschritten werden (STICHTING RHP & ECAS B. V. 1999). Eine solche Anforderung besteht heute nicht mehr.

10.10 Fehlanwendungen und -handhabungen

Viele Gefährdungen und Risiken können vermieden werden, wenn das Substrat möglichst zeitnah nach der Herstellung Verwendung findet. Bei überlagerter Ware ist zumindest eine chemische Grunduntersuchung des Substrats ratsam. Der Anwender sollte immer die Produktinformationen, Hersteller- und Anwendungshinweise auf der Verpackung oder in den Begleitdokumenten beachten und befolgen. Fehlanwendungen oder falsche Handhabung eines Substrats können eine Gefährdung der Sicherheit der Kultur, des Menschen oder der Umwelt darstellen. Gravierende Kulturausfälle sind zu erwarten, wenn die chemischen und/oder physikalischen Eigenschaften eines Substrats nicht auf die Kultur, die Kulturführung, das Klima oder andere Faktoren genau abgestimmt sind.

Obwohl jedes Substrat bestimmte auf den Anwendungszweck abgestimmte Ausgangseigenschaften hat, kann die nicht sachgemäße Anwendung negative Auswirkungen auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften in der Kultur haben, die dann nicht mehr mit den gekennzeichneten Eigenschaften übereinstimmen. Beispielsweise hat Festigkeit beim Topfvorgang einen solchen Einfluss: Wird das Substrat zu fest vertopft, dann ist im Topf wahrscheinlich

- die Luftkapazität unzureichend,
- der Feuchtigkeitsgehalt nach Gießvorgängen zu hoch (Wasser dräniert schlecht),
- der Gehalt an Nährstoffen zu Kulturbeginn höher als gewollt,
- die benötigte Substratmenge höher als kalkuliert,
- die Gefahr des Absterbens der Wurzeln durch Vernässung höher und
- eine Gefährdung durch bodenbürtige Krankheiten durch Vernässung höher.

Eine Fehlanwendung kann auch die Folge einer Falschbestellung sein. Die Über- oder Unterdosierung von Substratzusätzen wie Düngemitteln, Kalken oder Tensiden führt dann fast zwangsläufig zu Pflanzenausfällen. Bei überlagerter Ware ist zumindest eine chemische Grunduntersuchung des Substrats vor der Verwendung ratsam.

10.11 Vermeiden von Risiken und Problemen im Gartenbaubetrieb

Um Risiken und Gefährdungen in der Kultur zu vermeiden, sind nachfolgend einige wesentliche Punkte aufgeführt, die von den oben erläuterten Inhalten abgeleitet werden können:

- a. Kultursubstrate sind wie Gießwasser oder Düngemittel wichtige Betriebsmittel. Der Gärtner sollte daher möglichst umfassend über wesentliche Aspekte des für seine Kultur und seine Kulturbedingungen benötigten Substrats informiert sein. Dazu gehört die Kenntnis über die Substratausgangsstoffe und -zusätze sowie deren Funktion und Auswirkungen auf die Kultur.
- b. Kultursubstrate sollten immer nur von vertrauenswürdigen Lieferanten bezogen werden. Billigerden sollten im Produktionsgartenbau nicht eingesetzt werden, da Minderqualitäten nicht auszuschließen sind.
- c. Substratbestellungen sollten immer schriftlich unter Angabe der genauen Substratbezeichnung vorgenommen werden. Bei Sondermischungen ist die genaue Zusammensetzung anzugeben. Mündliche Absprachen mit dem Hersteller/Lieferanten sind bei Reklamationen nicht beweisbar.
- d. Bei der Substratlieferung sollte der Besteller immer die entsprechenden Lieferdokumente mit dem bestellten bzw. gelieferten Substrat vergleichen. Dazu gehört im Rahmen der Wareneingangskontrolle die Sichtprüfung der Zusammensetzung des Substrats. Bei offensichtlichen Abweichungen oder Produktmängeln ist der Hersteller umgehend telefonisch und schriftlich zu informieren und das Substrat zu reklamieren.

- e. Wie der Substratproduzent sollte der Gärtner immer repräsentative Rückstellproben von jeder Lieferung nehmen – möglichst im Beisein des Lkw-Fahrers oder anderer Zeugen. Hierfür eignen sich auch nicht geöffnete Fertigpackungen (z. B. Sackware) als Rückstellmuster, die codierte Herstellungsangaben enthalten. Dabei ist zu bedenken, dass kleine Proben (ca. 5 Liter) meist nur chemische Analysen ermöglichen; mit großen Rückstellproben (mindestens 20 Liter) können zusätzlich Keimpflanzen-tests oder auch physikalische Untersuchungen durchgeführt werden. Für Kulturpflanzenversuche sind mindestens 70 Liter erforderlich.
- f. Rückstellproben sind immer kühl (am besten bei +4 °C) zu lagern, um chemische/biologische Substratveränderungen zu minimieren.
- g. Da auch der Kunde gesetzlich verpflichtet ist, für geeignete Maßnahmen zur Gefahrabwendung zu sorgen, darf der Gärtner ein fehlerhaftes Substrat nicht verwenden.
- h. Kultursätze müssen den jeweiligen Substratlieferungen zugeordnet werden können, was der Beweissicherung im Reklamationsfall dient. Dazu ist die genaue Aufzeichnung aller Kultursätze mit den entsprechenden Kulturstandorten und -behandlungen (z. B. mit Pflanzenschutzmitteln, Düngungsmaßnahmen) erforderlich.
- i. Wird erst während der Kultur erkannt, dass ein Substrat fehlerhaft ist, so ist der Hersteller umgehend darüber zu informieren, um weiteren Schaden zu minimieren oder andere geeignete Maßnahmen abzustimmen.
- j. Fotos sind für die Dokumentation des Kulturschadens unerlässlich.
- k. Gegebenenfalls ist ein Substratsachverständiger einzuschalten.

11 Lagerung von Kultursubstraten, Blumenerden und Ausgangsstoffen

Eine Voraussetzung für den Kulturerfolg ist, dass Industriesubstrate wie auch Betriebserden mit größtmöglicher Sorgfalt hergestellt werden. Diese Sorgfaltspflicht muss sich auch auf die eventuelle Zwischenlagerung des Substrats im Substratwerk und die Lagerung im Gartenbaubetrieb, Gartencenter und beim Endverbraucher erstrecken, da die unsachgemäße Lagerung zu Änderungen der Substrateigenschaften führen kann. Konnte man früher noch die Aussage „Nur Hochmoortorfe sind geeignet für eine industrielle Produktion von gärtnerischen Substraten“ (FIKUART 1984) akzeptieren, so ist das heute keineswegs der Fall. Für die Substratherstellung können eine Vielzahl weiterer organischer Ausgangsstoffe für die Substratherstellung verwendet werden, die aber aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften eher zu Veränderungen der Substrateigenschaften führen können als bei Torfen. Es handelt sich dabei um Veränderungen, die häufig durch äußere Einwirkungen wie Erwärmung und Änderungen des Feuchtigkeitsgehaltes bei offener Lagerung im Freien mit einhergehender stärkerer mikrobieller Tätigkeit in manchen Substratausgangsstoffen verursacht werden. Insbesondere die chemischen Eigenschaften können nachteilig beeinflusst werden. Oft werden negative Einwirkungen während der Substratlagerung im Gartenbaubetrieb unterschätzt. Lagerungsbedingungen und Gefahrenquellen, die sich qualitätsmindernd auf Substrate auswirken können, sowie Möglichkeiten der sachgerechten Lagerung werden nachfolgend aufgezeigt.

11.1 Gefahrenquellen und deren Auswirkungen bei der Lagerung

11.1.1 Witterungs- und lagerungsbedingte Veränderungen der Substratchemie

Die meisten Risiken birgt die Lagerung im Freien ohne Überdachung, wobei das Substrat allen Witterungsbedingungen ausgesetzt ist. Die Gefahr ist bei losen Substratschüttungen größer als bei verpackter Ware. Sonneneinstrahlung und Wind führen zwangsläufig zur Austrocknung des Substrats, wobei der Feuchtigkeitsverlust an der Oberfläche des offen gelagerten Substrats am höchsten ist. Wenn ein sehr trockenes Torfsubstrat (ohne Netzmittel) mit einem Feuchtigkeitsgehalt unter 45 % (m/m) zur Anwendung kommt, kann die mit dem niedrigen Feuchtigkeitsgehalt einhergehende schlechte Wiederbenetzung des Substrats zu uneinheitlichem Pflanzenwachstum führen, was bei Aussaaten und Jungpflanzenkulturen ein besonders hohes Risiko darstellt. In Foliensäcken verpackte Ware sollte der Sonneneinstrahlung nicht unnötig lange ausgesetzt werden, um Porosität und Zerreißen der Folie bei der Handhabung und eine Erwärmung des Substrats zu vermeiden.

Torfsubstrate, aufgedüngt mit mineralischen Düngemitteln, verändern sich während einer sachgerechten kurzen bis mittelfristigen Lagerung meist nur wenig. Normal ist dabei die langsame Umwandlung von $\text{NH}_4\text{-N}$ zu $\text{NO}_3\text{-N}$. VIRDUNG (1982) hat an aufgedüngtem Hochmoortorf festgestellt, dass bei der neunwöchigen Lagerung bei -3 °C keine Veränderungen des Gehaltes an mineralischem Stickstoff auftraten. Bei gleicher Lagerungsdauer bei $+24\text{ °C}$ wurde in Abhängigkeit des Feuchtigkeitsgehaltes des Substrats und der Kalkaufwandmenge sowohl eine Nitrifikation als auch eine Denitrifikation festgestellt. Nach SELMER-OLSEN & GISLERØD (1986) spielen der Feuchtigkeitsgehalt und die Lagerungstemperatur die aus-

schlaggebende Rolle für Veränderungen des N-Gehaltes und der N-Form im gelagerten Torfsubstrat. Diese Feststellung lässt sich auf andere Substrattypen übertragen. Eine Vielzahl von Untersuchungen bestätigen die Auswirkungen der Lagerungstemperatur auf Substrateigenschaften. WILSON & CARLILE (1991) berichten, dass die auffälligste Veränderung eines bei +25 °C für 24 Monate gelagerten Seggen-Torfsubstrats die Nitrifikation von Ammoniumstickstoff war. Die Nitrifikation in einem Hochmoortorfsubstrat war geringer. Wurden die Substrate bei +8 °C gelagert, so war die Nitrifikationsrate wesentlich niedriger.

Die Lagerung von Substraten, denen kompaktierte oder umhüllte Dauerdünger zugesetzt wurden, sollte grundsätzlich vermieden werden, da eine unkontrollierte Nährstofffreisetzung die Folge wäre. Hohe Sonneneinstrahlung und/oder zunehmende Temperaturen während der Lagerung erhöhen die Rate der Nährstofffreisetzung. Steigt zudem der Feuchtigkeitsgehalt eines offen gelagerten Substrats infolge Niederschlags an, so wird die Nährstofffreisetzung noch verstärkt.

Substrate, die organische Düngemittel enthalten, können eher Substratveränderungen während der Lagerung erfahren als solche mit Mineraldüngern. BUNT (1988) führt hierzu Versuchsergebnisse mit schwach zersetztem Hochmoortorf an, dem Horndünger zugesetzt wurde. Die Umsetzung zu Ammonium erfolgt rasch; die anschließende Umsetzung des Ammoniums zu Nitratstickstoff ist langsam. Pflanzenschäden durch Ammonium, einen erhöhten pH-Wert, freies Ammoniak und Nichtverfügbarkeit von Spurenelementen können die Folge sein.

ALT (1998) erläutert anhand von Versuchsergebnissen, dass mit zunehmender Lagerungsdauer bei Torf-Ton-Mischungen die Phosphatverfügbarkeit beeinträchtigt werden kann und mit Ertragsdepressionen gerechnet werden muss. In seinen Versuchen war der Minderertrag umso größer, je höher

der pH-Wert und je niedriger die Phosphatversorgung war (im Versuch wurden Mischungen mit pH-Werten (CaCl_2) von 4,5/5,5 und 7,0 für 25 Wochen gelagert und zu verschiedenen Terminen in den gelagerten Mischungen *Dendranthema-Grandiflorum*-Hybriden kultiviert). Der Autor gibt zudem einen starken Rückgang der Gehalte an mineralischem Stickstoff im Substrat als Grund für die Mindererträge an, eventuell verursacht durch dessen mikrobielle Festlegung.

Selten und speziell bei Schwarztorfsubstraten in Foliensäcken kann es unter bestimmten Umständen zur Bildung von Schwefelwasserstoff (H_2S) kommen, das sowohl gasförmig als auch in Wasser gelöst toxisch auf Pflanzen wirkt. Das Substrat riecht dann nach faulen Eiern. Nach einzelnen Beobachtungen über einen langjährigen Zeitraum sind folgende Gegebenheiten für die Bildung von Schwefelwasserstoff (H_2S) im Substrat während der Lagerung typisch:

- Stark zersetzter Torf ist Hauptsubstratkomponente.
- Das Substrat enthält Kalk und Dünger.
- Der Feuchtigkeitsgehalt des Substrats liegt über 70 % (m/m).
- Der pH-Wert liegt um 6,0 (CaCl_2).
- Zumindest zeitweilig müssen hochsommerliche Temperaturen vorherrschen.
- Palettierte Sackware, aber auch Substrat in Großballen, neigt am ehesten zur Bildung von H_2S .

Stark zersetzter Hochmoortorf führt strukturbedingt weniger Luft als z. B. schwach zersetzter Torf. In Sackware, die zudem gebügelt und gestapelt wurde und ein hohes Eigengewicht hat, findet ein nur sehr geringer Wärme- und Gasaustausch statt. Dieser gehemmte Gasaustausch wird dadurch noch weiter verringert, dass der Hersteller die Sackware mit einer Wickelfolie umwickelt (um dem Stapel Halt zu geben) und

eventuell zusätzlich die oberste Sacklage mit einer Folie abdeckt (um Algenbildung zu verhindern). Diese Bedingungen sind günstig für anaerobe Bakterien. Unter den luftarmen Verhältnissen eines verdichteten, sehr feuchten und stark erwärmten Substrats sind anaerobe Bakterien sehr aktiv, vermehren sich stark und bilden H_2S . Auch im Moor bzw. in Torflagerstätten können anaerobe Bakterien vorherrschen. KÜSTER (1990) führt dazu aus: „In den anaeroben Zonen im (lebenden) Hochmoor kommt es häufig zur Bildung von Schwefelwasserstoff. Dieses H_2S entstammt der Aktivität von sulfatreduzierenden Bakterien, z. B. dem obligat anaeroben *Desulfovibrio*. Die Tatsache, dass dieser Organismus, der eine neutrale Reaktion bevorzugt, auch im sauren Moor anzutreffen ist, lässt sich auf Mikrostandorte zurückführen, in denen geeignete Wachstumsbedingungen herrschen.“ Wird das Substrat belüftet, so entweicht der Schwefelwasserstoff und die toxische Wirkung des Substrats wird deutlich gemindert beziehungsweise aufgehoben; die Aktivität der anaeroben Bakterien lässt nach.

Bei offener Lagerung loser Substrate besteht bei Niederschlag die Gefahr der ra-

schen Zunahme des Feuchtigkeitsgehaltes insbesondere der oberen Schicht des Substrathaufens. Bei grob strukturiertem Material kann Wasser auch in den Kern des Schütthaufens gelangen. Damit einhergehend besteht die Gefahr der Nährstoffauswaschung in tiefere Schichten des Schütthaufens. Inhomogenitäten der Nährstoffverteilung im Substrat und Wachstumsunterschiede in der Kultur können die Folge sein.

Wind kann leichte Substratausgangsstoffe wegwehen und zu Inhomogenitäten im Substrat führen. Die Gefahr der Einwehung von Pflanzensamen und -sporen ist erheblich, vor allem dann, wenn im näheren Umfeld des offenen Substratlagers Wildkräuter wachsen. Die Windverfrachtung von Sporen saprophytischer Pilze, aber auch pathogenen Krankheitskeimen kann zu einer Kontamination des Substratlagers führen.

Tenside werden im Verlauf der Lagerung abgebaut, umso schneller, je höher die mikrobielle Aktivität durch Verwendung stark belebter Ausgangsstoffe (z. B. Kompost) im Substrat ist.

Tabelle 67: Korngrößenverteilung sowie Wasser- und Luftkapazität eines gelagerten Torfkultursubstrats [100 % (v/v) Torf] und eines torffreien Substrats bestehend aus 60 % (v/v) Holzfaserstoffen und je 20 % (v/v) Rindenhumus und Substratkompost (REST et al. 2001).

Substrat	Wochen nach Versuchsbeginn (VB)	Partikelgröße in mm und Anteile in % (m/m)							Wasserkapazität	Luftkapazität
		< 0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-2	2-5	5-10	> 10		
Torfkultursubstrat	VB	22,8	19,3	13,3	15,1	18,2	8,9	0,4	63,3	29,0
	5	22,0	19,9	15,4	14,1	19,3	8,5	0,7	63,0	30,0
	10	17,6	16,6	15,6	16,2	20,1	13,0	0,8	65,5	26,9
	15	18,1	18,8	16,3	15,0	19,3	12,2	0,4	56,8	36,5
	20	17,7	17,2	14,1	15,8	20,9	12,9	1,4	52,8	40,4
	25	16,1	17,5	14,3	14,8	20,3	14,8	2,4	65,6	27,4
Torffreies Substrat	VB	14,7	18,2	15,8	20,3	22,6	7,2	1,2	36,1	55,2
	5	16,7	19,4	16,2	20,8	19,7	6,8	0,3	39,3	52,0
	10	19,6	22,9	16,4	17,5	17,1	6,5	0,0	38,8	52,3
	15	16,6	18,7	15,2	20,2	20,1	8,8	0,4	42,0	49,4
	20	17,0	20,1	15,7	18,7	19,3	8,5	0,7	42,4	48,0
	25	16,4	19,7	16,4	20,6	18,0	7,0	1,8	43,4	47,2

11.1.2 Witterungs- und lagerungsbedingte Veränderungen der Substratphysik

Anders als bei der Substratchemie führt die Lagerung zu geringen oder unerheblichen Veränderungen der Substratphysik. Die übliche Lagerungsdauer von wenigen Tagen bis zu einigen Monaten reicht nicht aus, um die eingestellten physikalischen Eigenschaften von Substraten so zu verändern, dass pflanzenbauliche Nachteile verursacht oder kulturtechnische Umstellungen erforderlich werden. In einem 25-wöchigen Lagerungsversuch haben REST et al. (2001) gezeigt, dass Torfsubstrate aufgrund ihrer Strukturstabilität physikalisch praktisch nicht nachteilig beeinflusst werden (Tabelle 67). Gleiches trifft für Rindenkultursubstrate und Kompostkultursubstrate mit hohen Torfanteilen zu. In einem Versuch mit drei torffreien Substraten, bestehend aus gleichen Anteilen Rindenhumus und Substratkompost sowie 60 % (v/v) Holzfaserstoffen (Bio-Culta®-Faser bzw. Pietal® bzw. Toresa® spezial), konnte jedoch in allen Mischungen eine geringe Abnahme der Luftkapazität in etwa der gleichen Größenordnung festgestellt werden (Tabelle 67).

Jedes Substrat ist mikrobiell stark oder weniger stark belebt. Hohe Substrattemperaturen bei der Lagerung, Nährstoffe, Kalk und Feuchtigkeit begünstigen das Wachstum der Mikroorganismen. Mikrobieller Abbau der Substratsubstanz bei gleichzeitig langer Lagerungsdauer führt fast zwangsläufig zu Volumenverlusten des gelagerten Substrats; je länger die Lagerungsdauer, desto größer die Volumenverluste. Nicht veröffentlichte Versuche haben gezeigt, dass stark belebte torffreie Substrate bei einer Lagerungsdauer von einem Jahr 10 bis 15 % ihres deklarierten Volumens verlieren können.

Dem Frost ausgesetzte Substrate und Substratausgangsstoffe nehmen keinen Schaden, weder chemisch noch physikalisch. Um die Verarbeitung von gefrorenem Substrat

zu ermöglichen und ungehindertes Wachstum zu gewährleisten, muss das Substrat allerdings wieder auf Raumtemperatur gebracht werden, was unter Umständen Wochen dauern kann.

11.1.3 Verunreinigungen und Substratkontaminationen während der Lagerung

Lose Schüttungen sollten niemals direkten Kontakt zum Boden haben, da die Gefahr der Zuwanderung von Insekten und Nematoden aus dem Boden in das Substrat groß ist. Kaum zu verhindern ist bei Bodenkontakt die unbeabsichtigte Vermischung mit Boden beim Aufnehmen des Substrats mit dem Radlader oder der Schaufel. Das führt zwangsläufig zu Substratveränderungen und Wachstumsunterschieden, im schlimmsten Fall zur Einschleppung von Krankheitserregern.

Nicht gereinigtes Gerät, unsauberes Werkzeug, mit Boden verschmutzte Kisten und Maschinen sind weitere Ursachen für Verunreinigungen. Der Verbreitung von bodenbürtigen Krankheitserregern wird auf diese Weise Vorschub geleistet. Dadurch können ganze Betriebe kontaminiert werden.

Unachtsamer Umgang mit Betriebsmitteln bei lose gelagertem Substrat kann dazu führen, dass es unbrauchbar wird, wenn solche Stoffe während der Lagerung in das Substrat gelangen. Schon die unbeabsichtigte Zuführung von Düngemitteln kann das Substrat untauglich machen. Das Gleiche gilt für Betriebsmittel wie Kraftstoffe, Öle, Pflanzenbehandlungs- und Desinfektionsmittel.

Fremdstoffe wie Glas, Plastik, Holzstücke oder Eisenteile sowie Steine können durch Fahrlässigkeit in das offen gelagerte Substrat gelangen. Solche Stoffe stellen eine Verletzungsgefahr bei der weiteren Verarbeitung des Substrats dar und können zu Schäden an Topfmaschinen, Pikierautomaten und anderen Maschinen führen.

Generell ist festzustellen, dass das gärtnerische Kulturrisiko durch unsachgerechte Lagerung von Substraten erhöht wird. Lange gelagerte Substrate sollten vor Verwendung erneut auf die wesentlichen chemischen Eigenschaften hin untersucht werden, um Kulturrisiken vorzubeugen.

11.2 Lagerfähigkeit und sachgerechte Lagerung

Die möglichst rasche Verarbeitung von Substrat ist die beste Möglichkeit, Beeinträchtigungen zu vermeiden. In der Praxis ist jedoch eine kurzfristige Substratlagerung häufig nicht zu vermeiden. Je kürzer die Lagerungsdauer, desto geringer ist das Risiko der Substratveränderung. Um negative Auswirkungen während der Lagerung auszuschließen oder zu minimieren, müssen Substrate sachgerecht gelagert werden. Überdachte, betonierte oder gepflasterte, wind-, wärme- und sonnengeschützte Räume oder Hallen sind ideale Lagerplätze. Werden verschiedene Substrate verarbeitet, so ist deren getrennte Lagerung, möglichst in Lagerboxen, unumgänglich. Wichtig ist die einfache Zugänglichkeit mit Geräten und Maschinen und eine kurze Wegeführung vom Lagerplatz zum Ort der Verarbeitung. Sind diese idealen Voraussetzungen aus betrieblichen oder Kostengründen nicht möglich, sind folgende Vorkehrungen einzuhalten:

- Für lose Schüttungen wie auch für verpackte Ware sollte das Substratlager in einer schattigen (z. B. die Nordseite eines Gebäudes), der Hauptwindrichtung abgewandten Lage eingerichtet werden. Die Nähe zu möglichen Gefahrenquellen, wie Bereichen mit Wildkrautbewuchs oder Komposthaufen, sollte vermieden werden.
- Steht ein betonierter oder gepflasterter Lagerplatz nicht zur Verfügung, sollte der Kontakt des Substrats oder Substratausgangsstoffes zum gewachsenen Boden durch Auslegung einer Plane oder zumindest einer Folie verhindert werden.
- Ist eine überdachte Lagerung nicht möglich, so sollte loses Substrat mit einer Plane oder zumindest einer Folie komplett abgedeckt werden.

- Verschiedene Substrate sollten getrennt gelagert und gekennzeichnet werden. Auch gleiche Substrate, jedoch mit unterschiedlichem Herstellungsdatum, sollten getrennt gelagert werden. Das heißt, frisch hergestelltes Substrat sollte im Schütthaufen nicht auf bereits längere Zeit gelagertes Substrat aufgebracht werden, da im länger gelagerten Substrat bereits Veränderungen aufgetreten sein könnten.

12 Torfgewinnung und Moorschutz

Noch bis Ende des 20. Jahrhunderts wurde wenig über die Auswirkungen der Moornutzung auf das Klima insgesamt und die der Torfgewinnung und -verwendung im Besonderen gesprochen. In den letzten 10 Jahren ist die klimatische Relevanz von Mooren zunehmend in den Fokus aller Anspruchsgruppen gerückt, ausgelöst durch die globale Klimadiskussion. Warum Moore verstärkt ins Blickfeld von Umweltschützern, Politikern, Torfwirtschaft, Substratindustrie und Gartenbau gerückt sind, ist mit der geschichtlichen Betrachtung der Nutzung von Mooren besser zu verstehen. Hierbei sind vor allem die Ansprüche des Menschen in den jeweiligen geschichtlichen Abschnitten und damit verbundene Zielsetzungen und Gesetze zu verstehen. Da etwa 90 % der deutschen Torfgewinnung im moorreichsten Bundesland Niedersachsen stattfinden, ist Niedersachsen der Schwerpunkt der nachstehenden Ausführungen.

12.1 Geschichtlicher Abriss über die Moornutzung in Deutschland mit Schwerpunkt Niedersachsen

Ein frühes Zeugnis der Verwendung von Torf ist der Bericht des römischen Schriftstellers Plinius' des Älteren, der zwischen 47 und 57 in ‚Naturalis historia‘ über die Küstenbewohner Frieslands schrieb: „Indem sie den mit den Händen gefassten Schlamm mehr durch den Wind als durch die Sonne trocken werden lassen, kochen sie an der brennenden Erde ihre Speisen und erwärmen damit ihre vom Nordwind erstarrten Eingeweide.“ Von solchen ersten Nutzungen des Torfes bis zur heutigen Torfverwendung in Substraten ist nicht nur viel Zeit vergangen, auch der Stellenwert der Moore hat sich völlig gewandelt: von Ödländereien, die man mied, nur über Bohlenwege überquerte und später urbar gemacht hat, zu Land-

schaften, denen man heute eine hohe Ökosystemqualität zuschreibt.

12.1.1 Siedlungsraum, landwirtschaftliche Nutzfläche, Brenntorf

Lange vor den Hochmooren wurden die Niedermoore in Nutzung genommen. Aufgrund ihrer Entstehung mit höheren Nährstoffgehalten und höheren pH-Werten eignen sie sich besser für die Umwandlung in landwirtschaftliche Nutzfläche. Der Beginn der Erschließung der norddeutschen Hochmoore setzte im 16. Jahrhundert ein. Sie wurde staatlich gelenkt. Nach dem Prinzip der holländischen **Fehnkultur** wurden systematisch Entwässerungskanäle durch das Moor gezogen und der stark zersetzte Torf wurde im Hausbrand benutzt. Mit Flussschlick düngte man den zuvor abgetragenen wenig zersetzten Torf und nutzte die Fläche als Kulturland.

1765 erließ Friedrich der Große das Urbarmachungsedikt. Dieses Gesetz hatte das Ziel, die damals als ‚Wüsteneyen‘ bezeichneten Moore für die Landwirtschaft und als Siedlungsraum urbar zu machen. Damit forcierte der Staat gezielt die Entwässerung der Moore. GÖTTLICH & KUNTZE (1990) berichten anschaulich u. a. über drei wesentliche Moorkultivierungsverfahren in Nordwestdeutschland: die Moorbrandkultur, die Deutsche Hochmoorkultur und die Deutsche Sandmischkultur.

Neben dem Brenntorfstich von Hand war die (ebenfalls aus Holland kommende) **Moorbrandkultur** ein Verfahren, die Moore zu nutzen. Das Moor wurde oberflächlich entwässert und die abgetrocknete Oberfläche in Brand gesteckt, wodurch die wenigen im Torf gebundenen Nährstoffe freigesetzt wurden. Darin wurde vorwiegend Buchweizen ausgesät. Die Ertragsleistung aus so

Tabelle 68: Hoch- und Niedermoornutzungsformen in Deutschland (HÖPER 2007).

Nutzungsform	Hochmoor		Niedermoor	
	ha	%*	ha	%*
Landwirtschaftliche Nutzfläche	180.000	56,0	749.200	71,8
Forstwirtschaftliche Nutzfläche	25.900	8,1	152.800	14,6
Bentgrasstadien und Bewaldungsflächen	77.400	24,1	keine	0,0
Intakte Moore	25.950	8,1	keine	0,0
Torfgewinnung	12.000	3,7	keine	0,0
Extensiv oder ungenutzt	keine	0,0	98.400	9,4
Sonstige Nutzungsformen	keine	0,0	3.400	0,3
Naturnahe Moore	keine	0,0	38.400	3,7
Summe	321.250	100,0	1.043.200	100,0

* Auf eine Stelle hinter dem Komma auf- oder abgerundet.

genutzten Mooren war dennoch gering, vor allem weil nach einer 5- bis 7-jährigen Nutzung eine 25- bis 30-jährige Brache folgen musste.

Es folgten neue Kultivierungsverfahren wie die **Deutsche Hochmoorkultur**: Das Moor wurde entwässert, die Torfmoosvegetation beseitigt, die obersten ca. 20 cm durch Kalken im pH-Wert angehoben und Mineraldünger zugeführt. So konnten diese Moorflächen als Grünland oder Ackerflächen genutzt werden. 30.000 ha Moorfläche wurden so in landwirtschaftliche Nutzung genommen.

Ein weiteres Moorerschließungsverfahren war die **Deutsche Sandmischkultur**. Mit sogenannten Mammutpflügen konnten Moormächtigkeiten von 1,4 m mit der darunter befindlichen Ortsteinschicht in eine für die Drainage günstige Schräglage gebracht werden. Die Fläche wurde planiert, gekalkt und gedüngt und so für die Acker- und Grünlandnutzung hergerichtet. 150.000 ha Moorfläche, zum Teil nach Abtorfung, wurden so urbar gemacht.

Noch 1950 war die nordwestdeutsche Region eines der ausgeprägtesten Rückstandsgebiete in Europa. Mit der Zielsetzung, diese Region mit ihren vielen Mooregebieten zu erschließen und den Lebensstandard dem der übrigen Bundesrepublik anzugleichen, beschloss die damalige Bundesregierung 1950 den **Emslandplan**; dabei standen die Mooregebiete im Vordergrund (HAVERKAMP

1991). Derselbe Autor führt aus, dass 2,1 Mrd. DM über den Emslandplan vor allem in die Moorentwässerung und -erschließung und in die Infrastruktur geflossen sind. So wurde z. B. das Bourtanger Moor (Gesamtfläche ca. 50.000 ha) fast gänzlich entwässert und als Grünland und Ackerland (insbesondere für Vertriebene aus den deutschen Ostgebieten) erschlossen. Nennenswert ist, dass zu dieser Zeit (1953) das Bundesverdienstkreuz an Georg Klasmann für seine vorbildlichen Leistungen bei der Moorentwässerung und dem Torfabbau verliehen wurde (KLASMANN WERKE GMBH 1983). Eine in der heutigen Zeit nicht denkbare Auszeichnung.

Somit ist der heutige degenerierte Zustand fast all unserer Moore mit früherer Gesetzgebung zu Gunsten der Land- und Forstwirtschaft und der Schaffung von Siedlungsraum zu begründen.

Als Folge der politisch gewollten Moorentwässerung gibt es in Deutschland die unterschiedlichsten Moornutzungsformen bzw. Moorstadien (DRÖSLER et al. 2011):

- Acker
- Grünland hoher und mittlerer Intensität
- trockenes Extensivgrünland
- nasses Extensivgrünland
- trockene Hochmoorheide
- naturnahe und renaturierte Moore

- überstaute, renaturierte Standorte
- aktiver Torfabbau
- Waldmoore
- Flächen mit Sanddeck- und Sandmischkulturen
- Anmoore [Böden mit 15 bis 30 % (m/m) org. Substanz]

Eine zahlenmäßige Erfassung der Moornutzungsformen hat HÖPER aufgestellt und dabei eine vereinfachte Einteilung der Nutzungsformen gewählt (Tabelle 68).

12.2 Torfabbau heute

Die in Tabelle 68 und davor gemachten Angaben machen deutlich, dass Torfabbau in Deutschland den geringsten Hochmoorflächenanspruch hat. (Auf Niedermoorflächen wird kein Torf abgebaut.) Auf 3,7 % der gesamten Hochmoorfläche erfolgt Torfabbau. Bezogen auf die Gesamtmoorfläche von 13.644,5 km² (Hoch- und Niedermoor) sind das 0,9 %. Diese Zahlen sind etwas veraltet (2007) und die Torfabbauflächen sind rückläufig (s. Abbildung 58).

Konnte die deutsche Torfwirtschaft noch bis etwa 1991 den Torfbedarf der deutschen Substratwirtschaft fast ausschließlich aus eigenen Torflagerstätten decken (mit geringen Mengen aus Russland und anderen Ländern), so ist die seither zunehmende Abhängigkeit insbesondere von baltischen Weißtorf-Importen eindeutig (DIW 1999, SCHMILEWSKI & FALKENBERG 2000). Daten für die inländische Torfproduktion und Torfimporte belegen die Entwicklung (Abbildung 53).

12.2.1 Torfabbau ist gesetzlich streng geregelt

Nicht nur die Torfgewinnung in Deutschland hat eine lange Entwicklung vorzuweisen. Auch die Gesetze, die den Abbau regelten beziehungsweise heute regeln, haben den jeweiligen zeitlichen Rahmenbedingungen entsprechende Inhalte aufzuweisen.

12.2.2 Gesetze in Deutschland/Niedersachsen

Für Torfabbau genutzte Flächen wurden bis in die 1970er Jahre vor allem in eine landwirtschaftliche Folgenutzung überführt. In Niedersachsen und Schleswig-Holstein kam infolge des Umweltschutzgedankens die Wiedervernässung von ehemaligen Torfabbauflächen als Möglichkeit der Folgenutzung auf (EIGNER & SCHMATZLER 1980). So wurde in das Niedersächsische Moorschutzprogramm, Teil I, die Wiedervernässung als

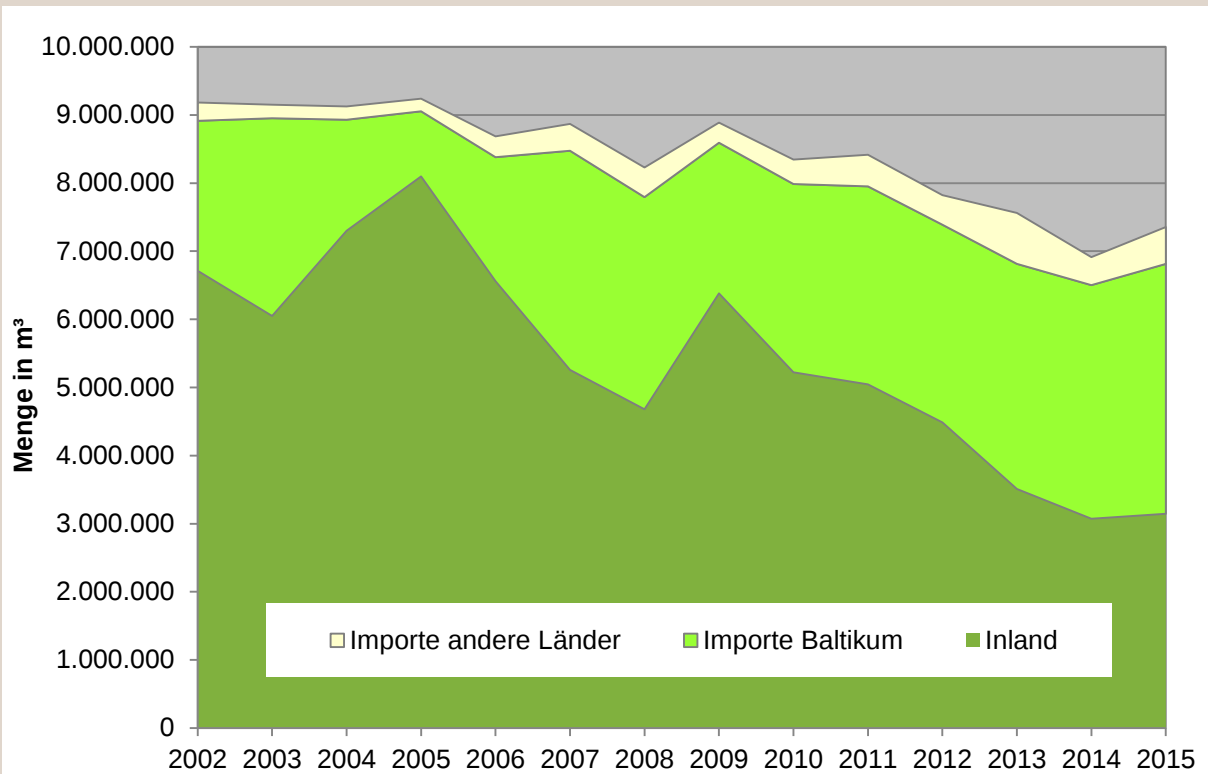


Abbildung 53: Herkunft und Menge (Mio. m³) des in Deutschland verarbeiteten Torfes (INDUSTRIEVERBAND GARTEN E. V. 2016).

vorrangige Folgenutzung nach Torfabbau und der Verbleib einer Resttorfmächtigkeit (50 cm) aufgenommen. Damit sollen betroffene Flächen in das Wirkungsgefüge der Landschaft zurückgeführt werden. Im Niedersächsischen Moorschutzprogramm, Teil II (1986 und 1994), wurden weitere Moorflächen aufgenommen und ihre Bedeutung für den Naturschutz bewertet.



Abbildung 54: Nach Torfabbau wiedervernässte Moorfläche mit beginnendem Torfmooswachstum (© Klasmann-Deilmann GmbH).

Auf der Basis der Moorschutzprogramme wurde für Niedersachsen der „Leitfaden zur Zulassung des Abbaus von Bodenschätzen unter besonderer Berücksichtigung naturschutzrechtlicher Anforderungen“ erarbeitet (NMU 2003). Darin sind die Rahmenbedingungen für die Herrichtung nach Torfabbau festgelegt. Die „Arbeitshilfe zur Anwendung der Eingriffsregelung bei Bodenabbauvorhaben“ gibt weitere Erläuterungen zum oben genannten Leitfaden. Demnach ist beim Abbau von Torf (und anderen Bodenschätzen wie Kies, Sand, Ton und Festgestein) die Eingriffsregelung des Niedersächsischen Naturschutzrechts zu beachten. Das bedeutet, dass

- Kartierungen und Bewertungen über Zustand und Wert des vom Abbau betroffenen Gebiets durchzuführen sind,
- mögliche Beeinträchtigungen der Natur durch den Abbau beurteilt und so weit wie möglich vermieden werden,
- die Ausgleichbarkeit erheblicher Beeinträchtigungen bewertet wird und

- bei zulässigen Eingriffen Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen vorgenommen werden.

12.2.3 Richtlinien der EU mit Bezug zum Torfabbau

Eine Reihe von EU-Regelwerken mit Gültigkeit für alle EU-Mitgliedsstaaten sind beim Abbau von Torf zu beachten und nachfolgend aufgeführt.

- **Richtlinie über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)** – Richtlinie des Rates 85/337/EWG vom 27. Juni 1985 über die Beurteilung der Auswirkungen bestimmter öffentlicher und privater Projekte auf die Umwelt, geändert durch die Richtlinie des Rates 97/11/EG vom 3. März 1997 (gleicher Titel).
Die UVP-Richtlinie soll sicherstellen, dass die nationale Behörde, die die Entscheidung trifft, ob eine Maßnahme (Torfabbau) genehmigt wird, im Vorfeld über ein Höchstmaß an Informationen über die Auswirkungen des Projektes auf die Umwelt verfügt.
- **Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH)** – Richtlinie des Rates 92/43/EWG vom 21. Mai 1992 über die Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie des Bestandes der wildlebenden Tiere und Pflanzen, die in der Richtlinie aufgelistet sind.
Die Richtlinie über Lebensräume bezieht sich auf die Verpflichtung der Mitgliedsstaaten, Gebiete zu identifizieren und zu melden, um sie in ein europäisches Netz von besonderen Schutzgebieten (Special Areas of Conservation), bekannt als Natura 2000, aufzunehmen. Es ist das Ziel, die natürlichen Lebensräume und den Bestand an wildlebenden Tieren und Pflanzen in den EU-Mitgliedsstaaten zu erhalten oder wiederherzustellen. Einige unberührte Moore sowie einige nach dem Torfabbau regenerierte Moore sind als besondere Schutzgebiete geschützt.

- **Vogelschutz-Richtlinie** – Richtlinie des Rates 79/409/EWG vom 2. April 1979 über die Erhaltung von wildlebenden Vogelarten. Die Richtlinie verpflichtet die Mitgliedsstaaten, die erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um ein Schutzsystem für alle Arten von natürlich vorkommenden wildlebenden Vogelarten in der EU zu etablieren. Einige unberührte Moore sowie einige nach dem Torfabbau regenerierte Moore sind als besondere Schutzgebiete für Vögel geschützt.
- **Richtlinie über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU)** – Richtlinie des Rates 96/61/EG vom 24. September 1996 und **Richtlinie 2008/1/EG des Europäischen Parlaments und des Rates** vom 15. Januar 2008 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung.
Die IVU-Richtlinie bezweckt die integrierte Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung, die infolge bestimmter Tätigkeiten entsteht. Obwohl die Torfindustrie nicht zu den in der Richtlinie genannten Industriezweigen gehört, kann Torfabbau in den nationalen Rechtsvorschriften über die Umsetzung dieser Richtlinie aufgeführt sein.
- **Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)** – Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Die Wasserrahmenrichtlinie bezweckt, die aquatische Umwelt in der Gemeinschaft zu erhalten und zu verbessern, z. B. durch Erstellen von Bewirtschaftungsplänen für Flussgebiets-einheiten.

Die oben in Kürze vorgestellten niedersächsischen und europäischen Regelwerke sind umfangreich und bedingen, dass Torfab-

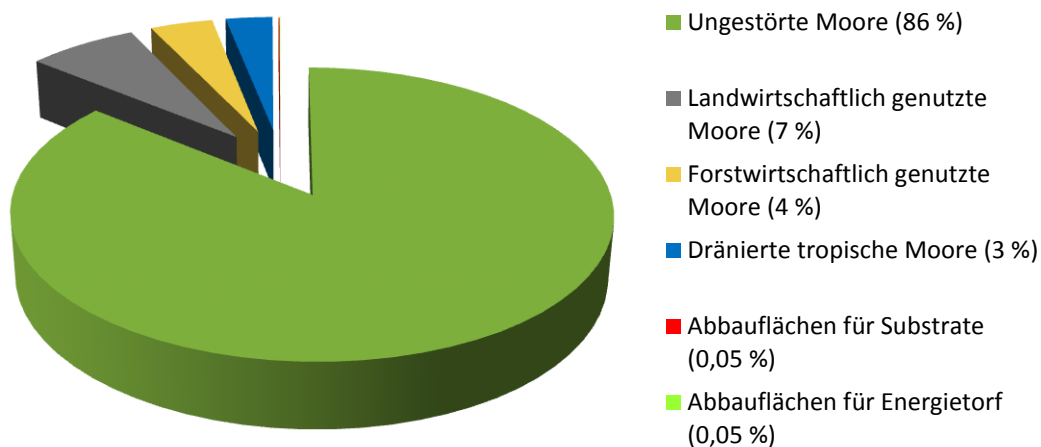


Abbildung 55: Weltweite Moornutzung (IPs 2010).

baugenehmigungen viele Jahre Vorlaufzeit beanspruchen. Sie decken die Belange des Moor- und Naturschutzes vollständig ab und stellen diese sicher. Aspekte des in den Fokus gerückten Klimaschutzes werden in diesen Regelwerken wenig berücksichtigt.

12.2.4 Moor und Torf in Europa und weltweit

Die Landfläche der Erde ist zu etwa 3 % mit Mooren (alle Moortypen) bedeckt, das sind etwas mehr als 4 Mio. km² (LAPPALAINEN 1996, IPs 2010). Alle Moortypen sind in dieser Gesamtmoorfläche erfasst. Der weitaus größte Teil (86 %) dieser Fläche wird nicht vom Menschen genutzt; 14 % werden anthropogen genutzt, vorwiegend land- und forstwirtschaftlich. Der weltweite Torfabbau für energetische, gartenbauliche und sonstige Zwecke findet auf ca. 0,1 % der weltweiten Gesamtmoorfläche statt (Abbildung 55). Für gartenbaulich genutzten Torf sind es 0,05 % der Gesamtmoorfläche weltweit (≈ 2.000 km²).

Eine Erhebung der in Europa vorkommenden Moore wurde von LAPPALAINEN & ZUREK (1996) publiziert. Die Autoren geben für die

heutige EU mit 28 Mitgliedsstaaten (ermittelt aus Angaben der Veröffentlichung) eine Gesamtmoorfläche aller Moortypen von etwa 282.000 km² an. Wie in Deutschland werden Moore in anderen europäischen Ländern vor allem land- und forstwirtschaftlich genutzt. Die Torfgewinnung für energetische Zwecke macht nach ALTMANN (2008) etwa die Hälfte der gesamten Torfgewinnung aus, demnach mehr als Torf für gartenbauliche Zwecke (ca. 42 %).

In einer Erhebung für das Jahr 2013 ermittelte SCHMILEWSKI (2017) für 16 der wichtigsten substratproduzierenden Länder in der EU eine Torfmenge von fast 26 Mio. m³. Dabei ist Deutschland mit ca. 6,8 Mio. m³ Gartenbautorf (einschließlich mehrerer Mio. m³ importierten Torfes) das bedeutendste Torfnutzungsland in der EU. Insgesamt ist die Torfverwendung für die Substratproduktion seit der vorletzten Veröffentlichung dieser Art für das Jahr 2005 (SCHMILEWSKI 2009) um etwa 2 % zurückgegangen. Die Verwendung anderer Ausgangsstoffe in der EU hat leicht zugenommen (Abbildung 56).

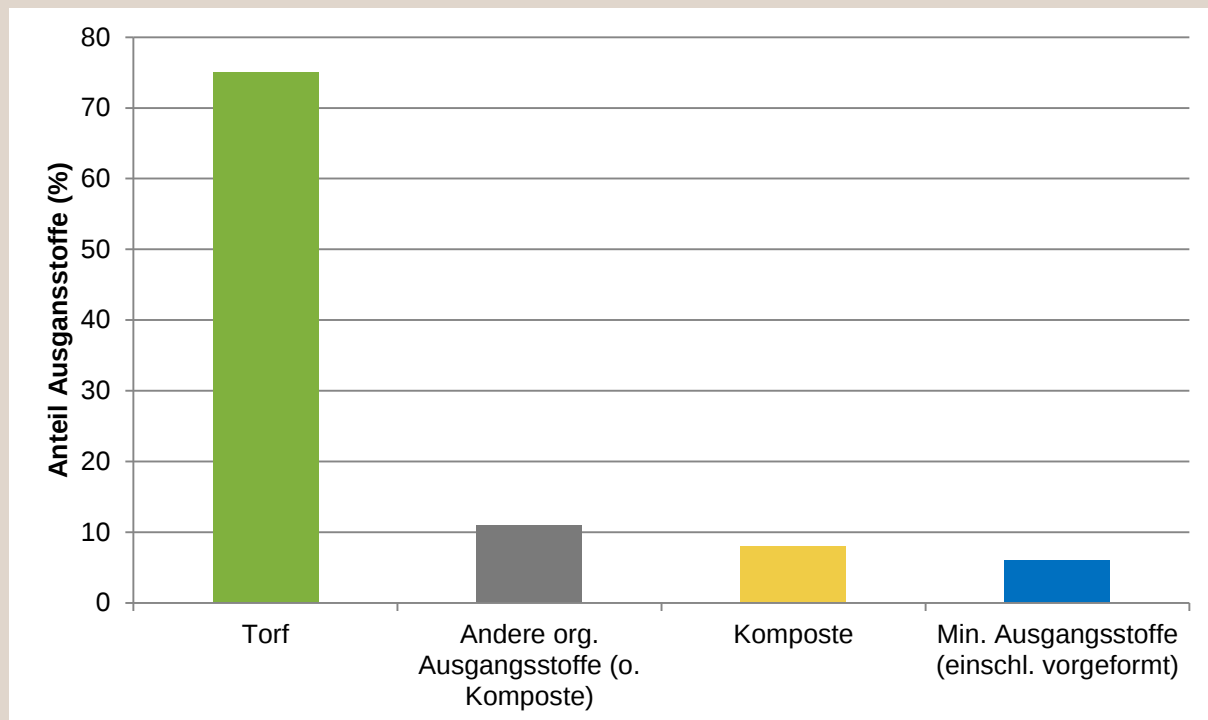


Abbildung 56: Verwendung von Substratausgangsstoffen für die Produktion von Kultursubstraten und Blumenerden (gesamt = 34,6 Mio. m³) in der EU 16 in 2013 (SCHMILEWSKI, 2017).

12.3 Moornutzung und Klimaschutz

Lebende, torfakkumulierende Moore speichern fortlaufend Kohlenstoff, nachdem die darin lebenden Pflanzen oder Teile dieser Pflanzen abgestorben sind (s. Kap. 5.1.1.2). Etwa 1,9 % der Moorflächen in Deutschland sind torfakkumulierende Moore und somit Kohlenstoff-Senken (HÖPER 2007). Somit können alle anderen Moorkörper zwar als C-Speicher bezeichnet werden, sie setzen aber fortlaufend Treibhausgase (THG) frei, vor allem CO₂ (Kohlendioxid), CH₄ (Methan) und N₂O (Distickstoffmonoxid = Lachgas). Das THG-Potential dieser Gase ist aber unterschiedlich. Bezogen auf eine Tonne CO₂ hat Methan den 21-fachen und Lachgas den 310-fachen Treibhausgaseffekt. Man spricht deshalb von CO₂-Äquivalenten (abgekürzt CO₂e oder CO₂Äq) bei der Ermittlung von Treibhausgasbilanzen (QUANTIS 2012). Trotz der höheren Klimawirksamkeit von CH₄ und N₂O ist die CO₂-Freisetzung unter Klimaschutzaspekten das Hauptproblem bei der Moornutzung (HÖPER 2007, DGMT 2009). Die freigesetzten THG-Mengen je Flächeneinheit sind von Wasserstand, Moortyp,

Torfart, dem Moorzustand, der Moornutzung und der Nutzungsintensität (z. B. Düngung landwirtschaftlich genutzter Moorböden) abhängig.

Der weitaus größte Teil der Moorflächen in Deutschland wird als Acker- und Grünland genutzt. DRÖSLER et al. (2011) betonen in ihrer Studie ‚Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis‘: „Die Nutzung von Moor als Acker und Intensivgrünland belastet das Klima am meisten.“ Die Autoren begründen dies mit dem Einfluss von Entwässerungsmaßnahmen und landwirtschaftlicher Nutzung, weshalb diese degradierten Moore große Mengen an CO₂ und teilweise Lachgas durch Torfschwund (durch mikrobielle Zersetzung verursachte Oxidation und Torfmineralisation) emittieren. Der Torfschwund und die damit verbundenen THG-Emissionen werden durch heutigen Torfabbau ebenfalls freigesetzt, die freigesetzten Mengen sind jedoch im Vergleich zu den emittierten CO₂-Äquivalenten aus der Landwirtschaft relativ gering (Tabelle 69).

Durch Torfabbau und vor allem landwirtschaftliche Nutzung wird Torf seinen konservierenden Bedingungen (vor allem Was-

Tabelle 69: THG-Emissionen aus Moorböden in Deutschland (HÖPER 2007).

Nutzungsform der Moorböden	Emissionen in Mio. t CO ₂ -Äquivalente	%
In Deutschland insgesamt (ca.) freigesetzt	1.107,0	100,00
• Aus Mooren und ihrer Nutzung insgesamt freigesetzt	31,0	2,80
• Davon bezogen auf Deutschland insgesamt aus:		
○ land- und forstwirtschaftlich genutzten Moorflächen	26,0	2,35
○ nicht oder extensiv genutzten Moorflächen	3,0	0,27
○ industriellen Torfabbauf Flächen und durch gärtnerische Nutzung	1,9	0,18

serüberschuss) entzogen. HÖPER (2007) geht davon aus, dass der in Substraten eingesetzte Torf innerhalb von 10 Jahren weitgehend abgebaut ist und errechnet: Auf 2 % der Gesamtmoorfläche in Deutschland wird Torf abgebaut. Der auf dieser Fläche gewonnene Torf und der importierte Torf für die Substratherstellung (Torfverwendung dafür insgesamt etwa 8 Mio. m³) emittieren ca. 1,9 Mio. t CO₂-Äq. beziehungsweise 0,18 % aller in Deutschland verursachten THG-Emissionen. Das wiederum entspricht etwa 7 % der aus Mooren und Torfen emittierten THG.

Substratproduzenten haben die Bedeutung ihrer unternehmerischen Tätigkeiten bezüglich Rohstoffgewinnung, -verarbeitung und Distribution ihrer Produkte für das Klima aufgegriffen und beginnen, eigene Klimabilanzen durchzuführen. Der Europäische Torf- und Substratverband (EPAGMA) hat eine entsprechende Ökobilanz-Studie erstellen lassen (QUANTIS 2012, s. Kap. 4.7.1). Ziel solcher Erhebungen ist die Erkennung eigener Klimaauswirkungen durch den Einsatz von Torf und anderen Ausgangsstoffen und die möglichst weitgehende Minderung von THG-Emissionen in allen Bereichen der Rohstoffgewinnung und -verarbeitung, des Energieverbrauchs, des Transports, der Substrat-Endnutzung und der Folgenutzung von Torfgewinnungsflächen (KLASMANN-DEILMANN GMBH 2015) und anderen Rohstoffgewinnungsflächen (z. B. für den Abbau mineralischer Rohstoffe für Substratausgangsstoffe). Nachhaltigkeit als Unternehmensstrategie hat die Substratwirtschaft längst erreicht (RÖSE 2015).

13 Zukünftige Entwicklungen bei Kultursubstraten und Blumenerden

Die Zusammensetzung von Substraten befindet sich seit der Nutzung der ersten bodenunabhängigen Kultur von Bäumen in einfachen Trögen im Wandel. Dieser vor Jahrtausenden beginnende, aber wenig zielgerichtete Wandel hat in den letzten Jahrzehnten eine rasante wissenschaftliche, industrielle und von der Praxis begleitete Entwicklung genommen. Festgestellt werden muss auch, dass Nichtregierungsorganisationen, Naturschutzverbände und nicht zuletzt die Politik erheblichen Einfluss auf diesen Wandel nehmen. Grundsätzlich ist das Zusammenwirken aller Anspruchsgruppen in unserer heutigen von nachhaltiger Entwicklung geprägten Gesellschaft sinnvoll und notwendig, um Konsens zu erzielen. Substratausgangsstoffe und aus ihnen hergestellte Substrate werden weiterhin an ihrer Funktionalität gemessen; ökologische und soziale Aspekte nehmen aber eine zunehmend wichtige Rolle ein.

13.1 Torf und andere Substratausgangsstoffe

„Die Substitution von Torfprodukten nimmt in der öffentlichen Diskussion einen breiten Raum ein...“ (ZIT 1992). Dieser Satz hat nach wie vor Gültigkeit. Jeder Substratausgangsstoff hat aus ökologischer, ökonomischer und sozialwirtschaftlicher Sicht bestimmte Vor- und Nachteile. An ihre Bewertung muss mit wissenschaftlichen Erkenntnissen und gärtnerischem Sachverstand herangegangen werden. Im Rahmen dieses Buches wurde versucht, die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften wesentlicher Ausgangsstoffe zu beleuchten sowie die Möglichkeiten und Grenzen der Stoffe aufzuzeigen, die kaum oder gar nicht eingesetzt, aber immer wieder diskutiert werden. Auch wurde versucht, die wirtschaftlichen und ökologischen Aspekte bei der Wahl von Ausgangsstoffen zu erklären.

Abbildung 57 fasst die Aspekte zusammen, die bei der Auswahl und Produktion von Kultursubstraten und Blumenerden berücksichtigt werden müssen.

Es gibt seit Jahren oder gar seit Jahrzehnten sowohl in Deutschland als auch in England, Österreich, der Schweiz, den Niederlanden und anderen Ländern anhaltende Diskussionen zum Thema Torf und den Einsatzmöglichkeiten von anderen Ausgangsstoffen. Jedes Ausgangsmaterial hat seine Berechtigung. Bei der Beurteilung von Ausgangsstoffen sollte unvoreingenommen und nach einheitlichen Kriterien vorgegangen werden. Objektivität ist hierfür eine Bedingung, die allerdings nicht zweifelsfrei gewährleistet ist, da die verschiedenen Anspruchsgruppen durchaus unterschiedliche Interessen vertreten und bestimmte Schwerpunkte bei ihrer Bewertung der verschiedenen Indikatoren einer nachhaltigen Entwicklung im Gartenbau und Substratsektor haben. Aus Sicht des Substratherstellers und -verwenders muss die Funktionalität des Substrats im Vordergrund stehen.

Die Politik der EU bestärkt den Gartenbau darin, ihre Produktqualität fortlaufend zu verbessern (EU COMMISSION 2003). Die Substratwirtschaft und die von ihr abhängigen Bereiche des Produktionsgartenbaus sind auf flankierende Worte der EU-Kommission nicht angewiesen, um ein Höchstmaß an Kultursicherheit und Produktivität zu gewährleisten – Kultursicherheit und Produktivität sind existenziell. Daher ist die Substratrezeptur, abgestimmt auf die Kultur und das Kulturverfahren, von so großer Bedeutung. Aus dem gleichen Grund dominiert Torf als Basis so vieler Rezepturen, der im Vergleich zu anderen Ausgangsstoffen in Bezug auf Eigenschaften, Verfügbarkeit und Preis Vorteile aufweist, den Substratmarkt. Es ist aber nach wie vor davon auszugehen, dass andere Ausgangs-

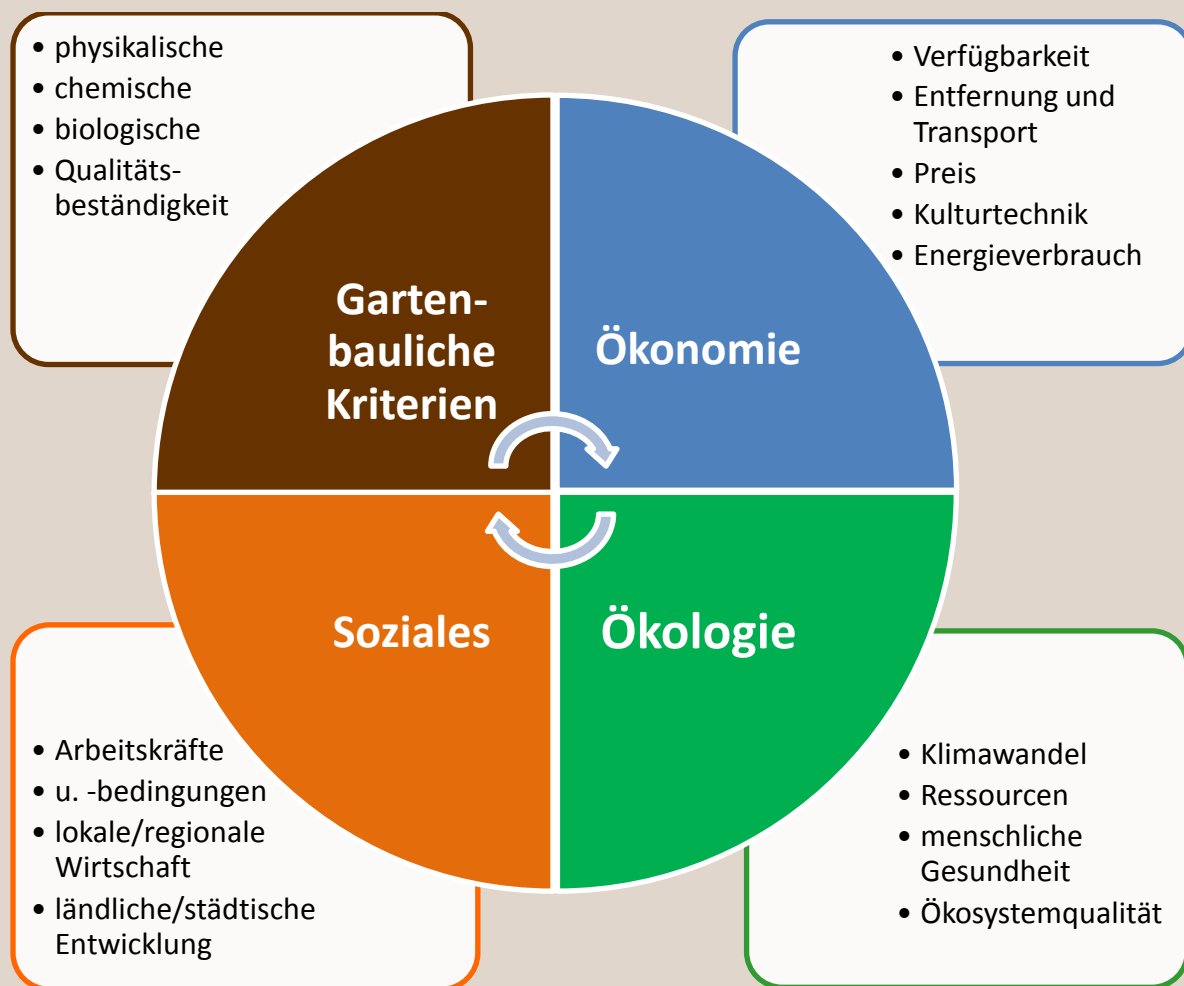


Abbildung 57: Kriterien, die bei der Auswahl von Kultursubstraten und Substratausgangsstoffen berücksichtigt werden müssen (SCHMILEWSKI).

stoffe wie Kompost, Kokos und Holzfaserstoffe zunehmend eingesetzt werden, soweit sie zukünftig der stofflichen Verwertung zur Verfügung stehen und preislich tragbar sind.

Die meisten sogenannten Torfersatzstoffe werden in den meisten Applikationen nicht für sich zu verwerten sein und in vielen Bereichen auch miteinander vermischt nicht optimale Substrate darstellen, obwohl es solche torffreien Produkte längst gibt. Viele sind eher im Hobbybereich als im Profibereich zu verwenden. Torf wird künftig zunehmend als Trägermaterial für andere (vielleicht neue) Ausgangsstoffe geschätzt werden. Kokosmark ist ein Beispiel für die alleinige Verwendung eines organischen Nicht-Torf-Ausgangsstoffes, der in manchen Substraten zu 100 % eingesetzt wird.

13.1.1 Torf-Trends

Die deutsche und europäische Torf- und Substratwirtschaft steht in den nächsten Jahren vor großen Herausforderungen wie der Konkurrenz um Ressourcen, steigenden Kosten, anhaltender Steigerung der Produktivität, Wettbewerb im internationalen Markt, der Balance zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten (nachhaltige Entwicklung) und der Ungewissheit bei der Entwicklung regionaler, nationaler und europäischer Regelwerke. Auch wenn die Verwendung anderer Substratausgangsstoffe zunehmen wird, wird Torf wegen seiner qualitativen Eigenschaften, seiner ländersübergreifenden Verfügbarkeit und der mangelnden Verfügbarkeit und/oder unzureichender Eignung anderer Materialien auf

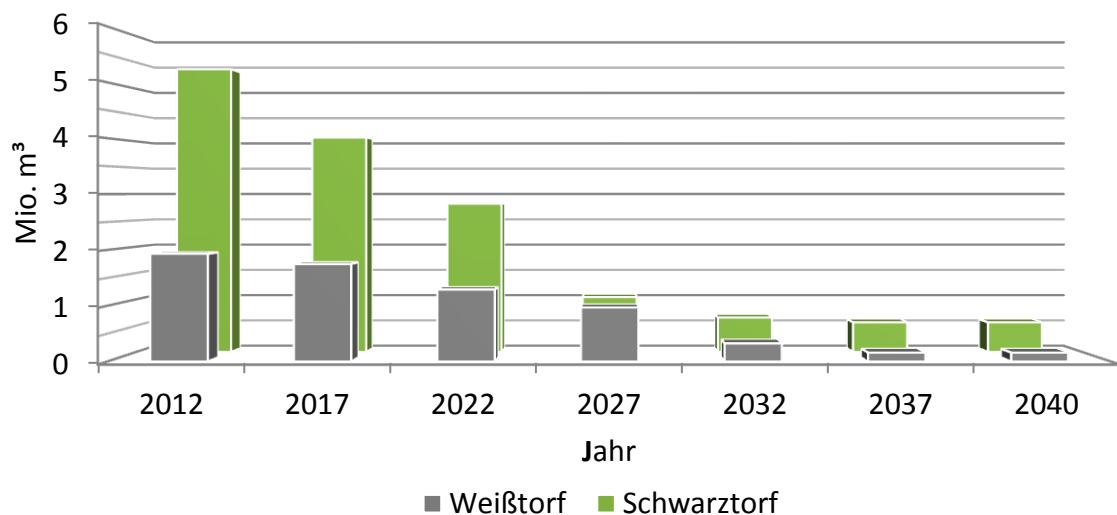


Abbildung 58: Entwicklung der gesicherten Torfrohstoffmengen in Niedersachsen, getrennt nach Weiß- und Schwarztorf (nach SCHMATZLER 2012).

lange Zeit der wichtigste Substratausgangsstoff bleiben. Nicht nur die Substratwirtschaft ist von diesem Rohstoff und anderen Substratausgangsstoffen abhängig. Vorgelagerte Wirtschaftszweige wie die Düngemittelindustrie, der Maschinenbau, der Gewächshausbau und viele andere Zulieferbereiche sowie Logistikfirmen sind davon teilabhängig. Vollständig abhängig von Torf und daraus hergestellten Kultursubstraten sind die meisten Produktionsgartenbaubetriebe und zu einem großen Teil auch der Hobbygartenbau.

SCHMATZLER (2012) hat sehr genau die Entwicklung der Torfgewinnung in Niedersachsen aufgezeigt, wo 90 % der deutschen Torfgewinnung erfolgt (Abbildung 58). Ähnliche Prognosen hat bereits SCHNEEKLOTH (1983) aufgestellt mit dem wichtigen Hinweis, dass die theoretisch verfügbaren Torfressourcen (unter landwirtschaftlichen Nutzflächen) noch erheblich sind – was auch heute noch der Fall ist.

Auch wenn im Laufe der nächsten Jahre und Jahrzehnte darüber hinausgehende

Torfrohstoffmengen in Niedersachsen abgebaut werden dürfen, wird die inländische Torfproduktion langfristig auslaufen. Das ist von der deutschen Torf- und Substratwirtschaft früh erkannt worden, weshalb man sich intensiv um die Sicherung von Torfreserven im Baltikum gekümmert hat. Es wird sich in Deutschland eine Substratwirtschaft entwickeln, die – wie es seit langem schon in den Niederlanden oder in Italien der Fall ist (den zweit- und drittgrößten substratproduzierenden EU-Ländern) – ausschließlich auf Torfimporte sowie andere organische und mineralische Ausgangsstoffe aus in- und ausländischer Produktion angewiesen sein wird (Tabelle 70).

Tabelle 70: Entwicklung bei Kultursubstraten in Deutschland (SCHMILEWSKI 2000, ergänzt).

Aspekte der Substrat-herstellung	Vor 1950 Keine Fertigsubstrate	1950-1975 1. Substratgeneration	1975-2000 2. Substratgeneration	2000-2025 3. Substratgeneration
	Betriebseigene Erden	Erste Fertigsubstrate	Maßgeschneiderte Substrate	„Intelligente“ Substrate
Forschung und Entwicklung	- kaum vorhanden - traditionelles Gärtnerwissen als Basis für Mischungen - Suche nach Verwendungsmöglichkeiten für den Abraum Weißtorf bei der Brenntorfgewinnung	- beginnende Grundlagenforschung der Substratphysik und -chemie - bessere Kenntnis der Ansprüche von Kulturpflanzen - Weißtorf als bester Ausgangsstoff anerkannt - Entwicklung nationaler Analysemethoden und Normen	- umfassende Erkenntnisse der Substratphysik und -chemie - beginnende Erforschung der Substratmikrobiologie - ab 1990 doppelt so viel F&E zu Torfalternativen wie zu Torf - Entwicklung moderner Kulturverfahren (z. B. Ebbe/Flut) - erste Europäische Normen für die Substratanalyse	- mehr biologische Substratzusätze (org. Dünger, Biostimulatoren etc.) sind Standard - verstärkte Erforschung der chemischen/physikalischen/biologischen Wechselwirkungen - weitreichende Prüfung von Torfersatzstoffen - Qualitätsstandards aller wesentlicher Ausgangsstoffe
Politische, ökonomische und ökologische Aspekte	- Moorschutzgesetze mit dem Ziel, Siedlungsraum und landw. Nutzflächen auf Mooren zu schaffen - Moorentwässerung und Abtorfung politisches Ziel (Emslandplan als Teil des Marshall-Plans) - keine ökologischen Bedenken zum Torfabbau	- staatlich gelenkte Entwässerung und Kultivierung der Moore - Industrialisierung der Torfproduktion und –verarbeitung	- Druck von Umweltverbänden und Politik, den Torfabbau zu stoppen - starker ökonomischer Druck und Rationalisierung im Gartenbau - Abhängigkeit des Gartenbaus von Torfsubstraten - zunehmende Torfimporte und Teilverlagerung der Torfgewinnung ins Ausland	- landwirtschaftliche Torfnutzung als Hauptverursacher von Treibhausgasen aus Moorflächen erkannt - Torfabbau als Verursacher von Treibhausgasen am Pranger - weiterhin Abhängigkeit von Torf - EU-Regelwerk für Substrate - Substratkennzeichnung nach Europ. Normen - Ökobilanzen belegen, dass alle Ausgangsstoffe Einfluss haben auf das Klima, die Ökosystemqualität, die menschliche Gesundheit und natürliche Ressourcen
Zusammensetzung der Substrate	- Erden hergestellt aus Betriebskomposten, Wirtschaftsdünger, Wald- und Nadelstreu, Oberboden, Lehm, Sand, Asche, etwas Torf	- immer mehr Substrate auf Torfbasis - Torf-Ton-Substrate - kaum andere Ausgangsstoffe	- Torf dominiert als Ausgangsstoff - Rindenhumus, Kompost, Holzfaserstoffe finden Eingang in Standardsubstrate - starke Produktdiversifikation	- Torf dominiert weiterhin - andere Ausgangsstoffe werden verstärkt eingesetzt (vor allem Komposte, Kokosmark und Holzfaserstoffe) - Anteil vieler anderer org. Stoffe wegen unzureichender Qualität und Verfügbarkeit sehr begrenzt verwendbar - ökologische Zertifizierung der wesentlichen Ausgangsstoffe



Abb. 59: Ausgangsstoffe für die Herstellung von Kultursubstraten und Blumenerden (SCHMILEWSKI 2003, ergänzt). Die Graphik erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

¹⁾ Materialien, die kaum eingesetzt werden oder in der Diskussion sind.

²⁾ Hierzu gehören z. B. Hanf, Chinaschilf, Weiden, Bambus, Reet, Gräser, u.a.

13.1.2 Komposte, Holzfaserstoffe und Kokos

Diese drei Gruppen von Substratausgangsstoffen haben in den letzten 20 Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen und sind fester Bestandteil vieler Substratrezepturen.

Dieser Trend ist bei Rindenhumus nicht mehr festzustellen. Ein bei Komposten seit Jahren zu beobachtender Trend ist die Eigenherstellung beim Substratproduzenten, um die Kompostqualität selbst steuern zu können und im Griff zu haben. Dieser Trend ist auch bei der Eigenherstellung von Holz-

faserstoffen im In- und Ausland zu beobachten. Als nachwachsender Rohstoff wird der Rohstoff Holz bei der Substratherstellung eine weiter zunehmende Bedeutung erlangen. Holz ist in den verschiedensten Aufbereitungsstufen verfügbar, unterliegt aber dem Preisdruck des Energiemarktes. Manche Substrathersteller gehen Kooperationen mit Produzenten von Kokosprodukten ein, um Mengen und Qualitäten dieser Produkte sicherzustellen. Neben Torf lässt sich Kokosmark in manchen Einsatzbereichen ohne Mitverwendung anderer Ausgangsstoffe verwenden. Die Verfügbarkeit von Kokos kann durch lang anhaltenden Monsun-Niederschlag beeinträchtigt werden.

13.1.3 Torfmooskultivierung

Vor allem in Deutschland und Kanada, aber auch in anderen Ländern wird die Torfmooskultivierung seit einigen Jahren erforscht. Torfmooskultivierung ist eine Form der Paludikultur (lateinisch: palus = Sumpf, Morast) und ist die landwirtschaftliche Nutzung nasser Hochmoorflächen. Am besten eignen sich ehemalige Torfabbauf Flächen mit Resttorfmächtigkeiten an schwach bis mäßig zersetztem Torf (Weißtorf), wie man sie in Kanada vorfindet. In Deutschland kommen nur landwirtschaftlich vorge nutzte Flächen (degradierte Moorstandorte) mit Resttorfmächtigkeiten an Weißtorf oder ehemalige Torfabbauf Flächen mit den üblichen Resttorfmächtigkeiten in Frage. Die Resttorfschicht (50 cm) besteht aus stark zersetztem Torf (Schwarztorf) und eignet sich aufgrund der geringeren Wasserleitfähigkeit weniger gut für die Torfmooskultivierung als eine Weißtorf-Restauf lage.

GAUDIG et al. (2014) geben einen guten Überblick über die bisher in verschiedenen Forschungsprojekten gesammelten Erfahrungen zur Torfmooskultivierung. Sie gehen davon aus, dass 145.000 ha Moorgrünland in Niedersachsen (die sich fast ausschließlich in Privatbesitz von Landwirten befinden) für die Torfmooskultivierung zur Verfügung

stehen könnten. Diese Annahme ist Theorie und aus Sicht der Landwirte, die diese Flächen besitzen und auch zukünftig konventionell landwirtschaftlich nutzen wollen, praktisch nur sehr begrenzt umsetzbar. Ursache dafür sind die bestehenden Beihilfe-Regelungen im Rahmen der gemeinsamen europäischen Agrarpolitik, die dazu führen, dass Landwirte ihr Recht auf eine Flächenprämie verlieren, wenn sie Paludikultur-Pflanzen anbauen. Denn diese sind nicht in der Liste der förderfähigen Nutzpflanzen gelistet.

CASPERS (2015) führt aus, dass es deutschlandweit bisher keine von einem privaten Landnutzer betriebene Paludikultur gibt. Viel früher führen JOOSTEN & TIMMERMANN (1999) Fragen auf, die deutlich machen, warum sich die Torfmooskultivierung für die Produktion eines wertvollen Ausgangsstoffes noch nicht etabliert hat: „Die Paludikultur wirft Fragen auf zur Auswahl geeigneter *Sphagnum*-Sippen, zu Techniken der Etablierung und Beerntung von Moorflächen, zur Optimierung der Erträge und Substratqualitäten, zu erforderlichen Flächengrößen, zur Rentabilität und zu möglichen positiven und negativen Nebenwirkungen.“ An der Beantwortung dieser Fragen arbeitet man im Rahmen verschiedener Projekte in Deutschland und anderen Ländern.

Neben dem Problem der Flächenbeschaffung für die Torfmooskultivierung ist zu bedenken, dass alle freiwachsenden Torfmoosarten in Deutschland geschützt sind und daher das potentielle Impfmateri al fehlt. Entweder müssten a) Torfmoose aus anderen Ländern importiert werden oder b) es müssten Torfmoose speziell für die Anlage solcher Paludikulturen in Torfmoos-Banken kultiviert werden oder c) es müssten in vitro vermehrte und zur vereinfachten Ausbringung verkapselte bzw. in Lösung gebrachte (zum Versprühen) Torfmoosteilchen als Lösungswege weiter verfolgt werden. Diese drei Ansätze wurden und werden bereits in verschiedenen Forschungsprojekten verfolgt. Ansatz c) wird bereits kommerziell umgesetzt (MICROPROPAGATION SERVICES

2014). Wenn in den nächsten Jahrzehnten nennenswerte Mengen aus heimischer Torfmooskultivierung für die Substratproduktion zur Verfügung stehen sollen, muss neben der Eigeninitiative von Substratproduzenten und Landwirten auch die Politik mit finanziellen Förderungsprogrammen ihr eigenes Bestreben, nämlich Torf zu ersetzen, verstärkt unterstützen.

13.1.4 Substratmikrobiologie

Zukünftig wird ein größerer Aufwand in die mikrobielle Substratforschung investiert werden. Einige suppressive und konduktive Eigenschaften von Substratausgangsstoffen sind erforscht worden, letztendlich aber nie in ihrer Komplexität verstanden worden. Die Substratmikrobiologie und die Wechselwirkungen zwischen Substratmikrobiologie, -chemie und -physik bestehen weiterhin als Black Box. Wir werden weiter lernen müssen, die Zusammenhänge zu verstehen, um ungewollte mikrobiologisch-chemische Abläufe (z. B. Stickstoff-Immobilisierung) besser im Griff zu haben und um günstige Abläufe (z. B. antipathogene Potentiale und Suppressivität) besser nutzen zu können. In Substraten vorkommende saprophytische Pilze stellen in der Regel kein Kulturproblem dar. Jedoch kommen manchmal „Pilzausbrüche“ vor, die ganze Kulturen betreffen und zu Totalausfällen führen können. Wir verstehen das Wieso und Warum nur zu einem Bruchteil. Es scheint, als ob das zunehmende Auftreten von Schimmel-, Becher- und Hutpilzen mit der zunehmenden Verwendung anderer Ausgangsstoffe einhergeht, da sie von Natur aus stärker belebt sind als Torf. Der Zusatz von biologischen Präparaten im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes liegt im Trend, bedarf aber weiterer Anstrengungen in der Forschung und Entwicklung.

13.1.5 Zertifizierung aller Substratausgangsstoffe

Es ist davon auszugehen, dass zukünftig praktisch alle Substratausgangsstoffe zertifi-

ziert werden. Hier ist nicht die Zertifizierung der qualitätsrelevanten Substrateigenschaften gemeint, die bereits über die verschiedenen Qualitätssicherungssysteme Standard ist. Vielmehr sind umweltrelevante Bewertungen bei der Gewinnung und Produktion von Substratausgangsstoffen gemeint. Alle Ausgangsstoffe hinterlassen einen ökologischen Fußabdruck, der sich über ihren Einfluss auf Klimawandel, Ökosystemqualität, Ressourcenverbrauch und menschliche Gesundheit bewerten lässt und eine objektivere Beurteilung von Ausgangsstoffen möglich macht als die einzelner Personen oder Anspruchsgruppen.

14 Organisationen und Institutionen

Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V. (BGK)

Deutsche Gesellschaft für Moor- und Torfkunde (DGMT)

European Biochar Certificate

European Compostnetwork (ECN)

European Quality Assurance Scheme for Compost and Digestate

Growing Media Europe AISBL

Foundation Responsibly Produced Peat (RPP)

Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V. (GGS)

Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

Humboldt Universität zu Berlin Fakultät für Urbane Ökophysiologie der Pflanzen

Industrieverband Garten e. V. (IVG)

International Peatland Society (IPS)

International Society for Horticultural Science (ISHS)

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie – Niedersachsen (LBEG)

LVG Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Bad Zwischenahn

LVG Lehr- und Versuchsanstalt Gartenbau, Erfurt

LVG Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Hannover-Ahlem

LVG Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau, Heidelberg

LWG Veitshöchheim – Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau

Mess- und Eichwesen Niedersachsen

Staatsschule für Gartenbau Stuttgart-Hohenheim – Versuchsstation für Gartenbau

Stichting MPS

Stichting Regeling Handels Potgronden (RHP)

Verband Deutscher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA)

Zentralverband Gartenbau e. V. (ZVG)

15 Literatur

- ADAS UK LTD. (2014): Developing a robust scheme for assessing the responsible sourcing and manufacture of growing media – interim report. Prepared for The Horticultural Trade Association; Boxworth UK, 1-24.
- AGNER, H. (2003): Denitrification in cultures of potted ornamental plants. Dissertation im Fachbereich Gartenbau der Universität Hannover.
- ALT, D. (1998): Minderertrag durch Substratlagerung. Gärtnerbörse 11: 31.
- ALTMANN, M. (2008): Socio-economic impact of the peat and growing media industry on horticulture in the EU. [http://coconcept.lu/fileadmin/Downloads/Socio_Economic_Study1.pdf, 134 S., abgerufen am 26.04.2015.]
- AMBERGER-OCHSENBAUER, S. (2008): Substratkomponenten – Pinienrinde. Informationsdienst Weihenstephan, Ausgabe Juli. Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan.
- AMBERGER-OCHSENBAUER, S. (2009): Substrate für Orchideen. Deutscher Gartenbau 5: 36-28.
- ANDERKERK, TH. G. L., CEVAT, H., DOLMANS, N., VAN ELDEREN, C., KIPP, J. A., SONNEVELD, C., VERHAGEN, J. B. G. M. & WEVER, G. (2000): International substrate manual. Hrsg.: Armstrong, H. & McIntyre, J., Elsevier, Doetinchem.
- ANONYM (1990): Reisspelzen luftiger als Torf. Deutscher Gartenbau 2: 14.
- ANONYM (2001): Die Kunst des Korks. Broschüre der Firma AMORIM.
- ANONYM (2014): Exploring the benefits of biochar. European Compost Network (ECN) News 02: 7-8.
- AUBÉ, M., QUENUM, M. & RANASINGHE, L. L. (2015): Characteristics of Eastern Canadian cultivated *Sphagnum* and potential use as a substitute for perlite and vermiculite in peat-based horticultural substrates. Mires and Peat 16: article 03, 1-18. [<http://www.mires-and-peat.net/> abgerufen am 11.11.15.]
- BELKA, H.-G. (2000): The production of frozen black peat in Germany. In: Rochefort, L. & Daigle, J.-Y. (Hrsg.): Proc. 11th Int. Peat Congress "Sustaining our peatlands", Quebec City, Aug. 2000. Int. Peat Soc., Jyväskylä, and Can. soc. of peat and peatlands, Shippagan: Vol. 2, 507-513.
- BGK BUNDESGÜTEGEMEINSCHAFT KOMPOST E. V. (2006/2013): Methodenbuch zur Analyse organischer Düngemittel, Bodenverbesserungsmittel und Substrate mit Ergänzungslieferungen 2013. Selbstverlag, Köln-Gremberghoven.
- BIOLAND – VERBAND FÜR ORGANISCH-BIOLOGISCHEN LANDBAU E. V. (2013): Bioland-Richtlinien – Fassung vom 26. November 2013. [http://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP_Dokumente/Richtlinien/2013_11_26_Bioland-Richtlinien.pdf, 54 S., abgerufen am 23.02.2015.]
- BLIEVERNICH, A., IRRGANG, S., ZANDER, M. & ULRICH, C. (2012): The youngest peat – sustainable production of *Sphagnum* sp. and its use in professional horticulture. Proceedings 14th International Peat Congress (Stockholm); No. 247, International Peat Society, Jyväskylä.
- BLOK, C. & WEVER, G. (2008): Experience with selected physical methods to characterize the suitability of growing media for plant growth. Acta Hort. (ISHS) 779:239-250.
- BLUME, H.-P., BRÜMMER, G.W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. & WILKE, B.-M. (2010): Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage, Nachdruck 2013; Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg.
- BMELV BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2006): Verordnung über Probenahmeverfahren und Analysemethoden für die amtliche Düngemittelüberwachung (Düngemittel-Probenahme- und Analyseverordnung). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2006 Teil 1 Nr. 38, ausgegeben zu Bonn am 11. August 2006; S. 1823-1826.
- BMELV BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2009): Düngegesetz vom 9. Januar 2009 (BGBl. I S. 54, 136), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 15. März 2012 (BGBl. I S. 481).

BMELV BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2012): Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV) vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2482).

BMJ BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ (1989/2015): Produkthaftungsgesetz vom 15. Dezember 1989 (BGBl. I S. 2198), das zuletzt durch Artikel 180 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist.

BMJ BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ (2012): Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz – PflSchG) vom 6. Februar 2012 (BGBl. I S. 148, 1281), das durch Artikel 4 Absatz 87 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154) geändert worden ist.

BMJ BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ (2013): Gesetz über das Inverkehrbringen und die Bereitstellung von Messgeräten auf dem Markt, ihre Verwendung und Eichung sowie über Fertigpackungen (Mess- und Eichgesetz – MessEG). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil 1 Nr. 43 am 31. Juli 2013.

BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2013): Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung – BioAbfV). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013 Teil I Nr. 16, ausgegeben zu Bonn am 8. April 2013.

BOHNE, H. (1996): Holzfasern statt Torf: Wachstum gleich oder besser. Deutsche Baumschule 6: 282-283.

BOHNE, H. (2006): Physikalische Substrateigenschaften. Gehölzforschung Band 6. Hrsg.: Abt. Baumschule, Institut für Zierpflanzen- und Gehölzwissenschaften, Naturwissenschaftliche Fakultät Universität Hannover.

BOHNE, H., LÜDTKE, M., GRANTZAU, E. & MEINKEN, E. (2005): Chemische Substrateigenschaften und Analysemethoden. Band 5. Hrsg.: Abt. Baumschule, Institut für Zierpflanzen- und Gehölzwissenschaften, Naturwissenschaftliche Fakultät Universität Hannover.

BØRSHEIM, K. Y., CHRISTENSEN, B. E. & PAINTER, T. J. (2001): Preservation of fish by embedment in *Sphagnum* moss, peat or holocellulose: experimental proof of the oxopolysaccharidic nature of the preservative substance and its antimicrobial and tanning action. Innovative Food Science & Engineering Technologies 2: 63-74.

BRAGG, N. (1998): Growing media. Grower Handbook 1, 2. Edition, Grower Books, Nexus Media Limited, Kent.

BRAGG, N. & MCCANN, A. (2003): The use of wetting agents in modern substrate production. Proc. Int. Peat Symp. Amsterdam 4 Nov. 2003. Int. Peat Soc., Jyväskylä.

BREHM, K. (1975): Mineralstoffernährung und Kationenaustausch auf Hochmooren. Biologie in unserer Zeit, 5 (3): 85-91.

BRESINSKY, A., KÖRNER, C., KADEREIT, J. W., NEUHAUS, G., SONNEWALD, U., JAROSCH, B. & STRASBURGER, E. (2008): Begründer: Strasburger – Lehrbuch der Botanik. Spektrum Akademischer Verlag; 36. Aufl., 1176 S.

BREUER, K. (1992): Schwermetallakkumulation und Kationenaustausch bei Moosen der Gattung *Sphagnum* – Experimentelle Bestimmung von Selektivitätskoeffizienten. Dissertation am Institut für Botanik und Mikrobiologie der Fakultät für Chemie, Biologie und Geowissenschaften der TU München.

BUNT, A. (1988): Media and mixes for container-grown plants. Unwyn Hyman, London.

BURMESTER, E. G. (1990): Die Tierwelt der Moore (speziell der Hochmoore). In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde, S. 29-49. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.

BURMESTER, E. G., GÖTTLICH, K., GROSPIETSCH, T. & KAULE, G. (1990): Begriffsbestimmungen anhand der Moortypen Mitteleuropas. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde, S. 1-28. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.

BUXTON, P. A. (1960): British *Diptera* associated with fungi. 3. Flies of all families reared from about 150 species of fungi. Entomol. Mon. Mag. 96: 61-94.

CARLILE, B. & SCHMILEWSKI, G. (2010): Life in growing media: the good, the bad and the ugly? Proc. Int. Peat Symp. Amsterdam 2010, Peat in Horticulture – Life in Growing Media; S. 7-14. International Peat Society, Jyväskylä.

CARUS, M., GAHLE, C., PENDAROVSKI, C., VOGT, D., ORTMANN, S., GRPTENHERMEN, F., BREUER, T. & SCHMIDT, C. (2008): Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaser-Werkstoffen (Deutschland und EU). Gülzower Fachgespräche Band 26. Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow.

CASPERS, G. (2015): Potenziale zur Realisierung des Natur- und Klimaschutzes in niedersächsischen Mooren. TELMA Beiheft 5: 159-182, Hannover.

CHASSIN, P. (1979): Détermination de l'angle de contact acides humiques-solutions aqueuses de diols. Conséquences sur l'importance relative des mécanismes de destruction des agrégats. Ann. Agron. 30: 481-491.

CSPMA Canadian Sphagnum Peat Moss Association (2011): Environmental product fact sheet – quantitative environmental information on the life cycle of Canadian sphagnum peat in horticulture. 6 S., St. Albert, Kanada.

DEMETER E. V. (2013): Erzeugung – Richtlinien für die Zertifizierung der Demeter-Qualität. [http://www.demeter.de/sites/default/filesC/richtlinien/ERZ-Rili_2014_II.pdf, 40 S., abgerufen am 23.02.2015.]

DEUTSCHES PATENTAMT (1952): Verfahren zur Herstellung gärtnerischer Erden. Patentschrift Nr. 832897, Klasse 16, Gruppe 14.

DGMT DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR MOOR- UND TORFKUNDE E. V. (2009): Was haben Moore mit dem Klimawandel zu tun? Faltblatt. Hannover.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1989): DIN 11540 Torfe und Torfprodukte – Technische Lieferbedingungen, Eigenschaften, Prüfverfahren. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1998a): DIN 4047-4 Landwirtschaftlicher Wasserbau; Teil 4: Begriffe, Moore und Moorböden. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1998b): DIN EN 45020 Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten – Allgemeine Begriffe. Dreisprachige Fassung. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (1999): DIN-Fachbericht 83 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Kennzeichnung, Anforderungen und Produktlisten; Deutsche Fassung CR 13456:1999. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2000a): DIN EN 12944-1 Düngemittel und Calcium-/Magnesium-Bodenverbesserungsmittel – Wörterbuch; Teil 1: Allgemeine Begriffe (enthält Berichtigung AC : 2000); Deutsche Fassung EN 12944-1:1999 + AC:2000. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2000b): DIN EN 12944-2 Düngemittel und Calcium-/Magnesium-Bodenverbesserungsmittel – Wörterbuch; Teil 2: Begriffe für Düngemittel (enthält Berichtigung AC:2000); Deutsche Fassung EN 12944-2:1999 + AC:2000. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2001a): Grundlagen der Normungsarbeit des DIN. DIN-Normenheft 10. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2001b): DIN-Fachbericht 90 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Leitfaden zur Sicherheit von Anwendern, der Umwelt und von Pflanzen; Deutsche Fassung CR 13455:1999. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2001c): DIN 60001-1 Textile Faserstoffe – Teil 1: Naturfasern und Kurzzeichen. Ausgabe 2001-05. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2002a): DIN EN 13650 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Extraktion von in Königswasser löslichen Elementen; Deutsche Fassung EN 13650:2001. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2002b): DIN EN 13651 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Extraktion von in Calciumchlorid/DTPA (CAT) löslichen Nährstoffen; Deutsche Fassung EN 13651:2001. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2002c): DIN EN 13652 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Extraktion wasserlöslicher Nährstoffe und Elemente; Deutsche Fassung EN 13652:2001. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2002d): DIN EN 13654-1 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung von Stickstoff – Teil 1: Modifiziertes Verfahren nach Kjeldahl; Deutsche Fassung EN 13654-1:2001. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2002e): DIN EN 13654-2 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung von Stickstoff – Teil 2: Verfahren nach Dumas; Deutsche Fassung EN 13654-1:2001. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2005): DIN 11540 Torfe und Torfprodukte im Gartenbau und Garten- und Landschaftsbau – Prüfverfahren, Eigenschaften, Technische Lieferbedingungen. Ausgabe 2005-04. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); deutsche und englische Fassung EN ISO 14044:2006. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2007a): DIN EN 15238 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der Menge für Materialien mit einer Partikelgröße über 60 mm; Deutsche Fassung EN 15238:2006. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2007b): DIN EN 15428 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung; Deutsche Fassung EN 15428:2007. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2008): DIN EN 13040 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Probenherstellung für chemische und physikalische Untersuchungen, Bestimmung des Trockenrückstandes, des Feuchtigkeitsgehaltes und der Laborschüttdichte; Deutsche Fassung EN 13040:1999. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2010): DIN EN 15761 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung von Länge, Breite, Dicke, Volumen und Schüttdichte; Deutsche Fassung EN 15761:2009. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2012a): DIN EN 13037 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung des pH-Wertes; Deutsche Fassung EN 13037:1999. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2012b): DIN EN 13038 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit; Deutsche Fassung EN 13038:1999. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2012c): DIN EN 13039 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung des Gehaltes an organischer Substanz und Asche; Deutsche Fassung EN 13039:1999. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2012d): DIN EN 13041 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der physikalischen Eigenschaften Rohdichte (trocken), Luftkapazität, Wasserkapazität, Schrumpfungswert und Gesamtporenvolumen; Deutsche Fassung EN 13041:1999. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2012e): DIN EN 16086-1 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung des Pflanzenverträglichkeit – Teil 1: Wachstumstest mit Chinakohl; Deutsche Fassung EN 16086-1:2011. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2012f): DIN EN 16086-2 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung des Pflanzenverträglichkeit – Teil 2: Petrischalentest mit Kresse; Deutsche Fassung EN 16086-2:2011. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2012g): DIN EN 16087-1 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der aeroben biologischen Aktivität – Teil 1: Sauerstoffaufnahme (OUR); Deutsche Fassung EN 16087-1:2011. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2012h): DIN EN 16087-2 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Bestimmung der aeroben biologischen Aktivität – Teil 2: Selbsterhitzungstest für Kompost; Deutsche Fassung EN 16087-2:2011. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2014a): DIN EN 12579 Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate – Probenahme; Deutsche Fassung EN 12579:1999. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2014b): DIN EN 12580 Bestimmung der Menge – Bodenverbesserungsmittel und Kultursubstrate; Deutsche Fassung EN 12580:1999. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2015a): DIN EN ISO 9001:2015-11 Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (2015b): DIN EN ISO 14001:2015-11 Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIRKSMEYER, W. & FLUCK, K. (2013): Wirtschaftliche Bedeutung des Gartenbausektors in Deutschland. Thünen Report 2. Hrsg.: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.

DIW Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (1999): Die wirtschaftliche Bedeutung von Kultursubstraten auf Torfbasis für die pflanzliche Produktion – insbesondere im Erwerbsgartenbau; Gutachten im Auftrag des Bundesverbandes Torf- und Humuswirtschaft e. V., Berlin.

DRÖSLER, M., FREIBAUER, A., ADELMANN, W., AUGUSTIN, J., BERGMANN, L., BEYER, C., CHOJNICKI, B., FÖRSTER, C., GIEBELS, M., GÖRLITZ, S., HÖPER, H., KANTELHARDT, J., LIEDERSBACH, H., HAHN-SCHÖFL, M., MINKE, M., PETSCHOW, U., PFADENHAUER, J., SCHALLER, L., SCHÄGNER, P., SOMMER, M., THUILLIE, A. & WEHRHAN, M. (2011): Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis. Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz – Moornutzungsstrategien“ 2006-2010. Arbeitsberichte aus dem vTI-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung, 042011, Braunschweig.

DULTZ, S., SCHELLHORN, M., WALSCH, J., BELOW, M., SCHMILEWSKI, G., SCHENK, M., BINNER, I., SCHMIDT, E., MEYER, M. & FRANKE, R. (2012): Control mechanisms of clays and their specific surface area in growing media – assessment of clay properties and their parametrization for the optimization of plant quality. Final report to project number 03G0722A funded by the Bundesministerium für Bildung und Forschung in the frame of the special program 'Mineral surfaces – from atomic processes to industrial application' of the R&D program 'Geotechnologien'.

DULTZ, S., BELOW, M., WALSCH, J., SCHMILEWSKI, G., SCHELLHORN & SCHMIDT, E. (2013). Optimization of clay amendment for improving the re-wettability of peat-based growing media. *Acta Horticulturae* 1013: 131-138.

EBC EUROPEAN BIOCHAR CERTIFICATE (2012): 'European Biochar Certificate'-Richtlinien für die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle, European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. [<http://www.european-biochar.org/en/download>. Version 6.1 of 19th June 2015, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043, abgerufen am 14.07.2015.]

ECN EUROPEAN COMPOST NETWORK E. V. (2014): Europäische Qualitätssicherung für Kompost und Gärprodukte – ECN-QAS Quality Manual, Kurzportrait. [www.ecn-qas.eu, abgerufen am 22.02.2015.]

EGGELSMANN, R. (1990): Moor und Wasser. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde. S. 288-320. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.

EIGNER, J. & SCHMATZLER, E. (1980): Bedeutung, Schutz und Regeneration von Hochmooren. *Naturschutz aktuell*, Nr. 4, 78 S., Greven.

EMMEL, M. (2008): Growing ornamental plants in *Sphagnum* biomass. *Acta Horticulturae*, 779: 173-178.

EMMEL, M. (2014): Kokosmark mit wachsender Bedeutung als Ausgangsstoff. *Gärtnerbörse*, April, 42-46.

EPAGMA EUROPEAN PEAT AND GROWING MEDIA ASSOCIATION (2006): International sales conditions of.... Inc. for use in international business operations.

EU-KOMMISSION (1990): EU VERORDNUNG 737/90/EWG: Zu den Bedingungen für die Einfuhr von landwirtschaftlichen Produkten aus Drittländern nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl. *Amtsblatt Nr. L* 82, 29/3/1990 S. 1.

EU-KOMMISSION (1992): EU VERORDNUNG 598/92/EWG: Aufstellung einer Liste von Produkten, die von der Anwendung der Verordnung 737/90/EWG ausgenommen sind. *Amtsblatt Nr. L* 64, 10/03/1992 S. 15.

EU-KOMMISSION (2003): The horticulture sector in the European Union – Fact Sheet. Hrsg.: EU-Kommission, Direktorat für Landwirtschaft; Brüssel.

EU-KOMMISSION (2015): Beschluss (EU) 2015/2099 der Kommission vom 18. November 2015 zur Festlegung der Umweltkriterien für die Vergabe des EU-Umweltzeichens für Kultursubstrate, Bodenverbesserer

und Mulch. (Bekannt gegeben unter Aktenzeichen C(2015) 7891). Amtsblatt der Europäischen Union, L 303/75-99.

EU-RAT (2007): Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates vom 28. Juni 2007 über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91.

EU-RAT (2008): Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008 mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hinsichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle.

EVERS, G. (1998): Düngelexikon für den Gartenbau – Begriffe der Pflanzenernährung und Düngung von A bis Z. Bernhard Thalacker Verlag GmbH & Co. KG, Braunschweig.

FIKUART, W. (1979): Zur Bedeutung des Schawrztorfes als Basisrohstoff – Neue Aspekte zur Gewinnung, Verarbeitung und Verwertung. Neues Archiv für Niedersachsen: 28, Heft 3, S. 390-400, Göttingen.

FIKUART, W. (1984): Gärtnerische Substrate sachgerecht lagern. Deutscher Gartenbau 9: 394-395.

FINK, D. H. (1970): Water repellency and infiltration resistance of organic-film-coated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 34: 189-194.

FISCHER, P. (2003): Hydrokultur – Qualität von Blähtonen wird überwacht. Deutscher Gartenbau 32: 16-17.

FISCHER, P. (2010): KULTURSUBSTRATE IM GARTENBAU. Hrsg.: aid infodienst Ernährung, Landwirtschaft, Verbraucherschutz e. V., Bonn; aid: 1085, 56 S.

FISCHER, P. & MEINKEN, E. (1993): Holzfaserstoffe im Test. Gärtnerbörse und Gartenwelt 26: 1220-1222.

FISCHER, P., MEINKEN, E. & POPP, L. (1999): Schäden durch Fluor im Blähton? Deutscher Gartenbau 11: 31-33.

FISCHER, P & SCHMITZ, H.-J. (2004): Kompostierte Gärreste als Substratzuschlag. DeGa 40: 38-40.

FORNES, F., BELDA, R. & LIDON, A. (2015): Analysis of two biochars and one hydrochar from different feedstock: focus set on environmental, nutritional and horticultural considerations. Journal of Cleaner Production, 86: 40-48.

FUNKE, A. (2012): Hydrothermale Karbonisierung von Biomasse – Reaktionsmechanismen und Reaktionswärme. Dissertation an der TU Berlin.

GAUDIG, G., FENGLER, F., KREBS, M., PRAGER, A., SCHULZ, J., WICHMANN, S. & JOOSTEN, H. (2014): Sphagnum farming in Germany – a review of progress. Mires and Peat 13: Art. 8. [<http://www.mires-and-peat.net/pages/volumes/map13/map1308.php>, abgerufen am 22.07.2015.]

GORDON, M. (1971): Studien über den Einfluß der Lagerung von Torf in Großmieten und Ballen-Stapeln auf seine Eigenschaften. Sonderdruck Torfnachrichten 21/1.

GOSSOW, W., GRANTZAU, E. & SCHARPF, H.-C. (1995a): Keimpflanzentest zur Substratprüfung (1). DeGa 26: 1568-1571.

GOSSOW, W., TEMMING, W., GRANTZAU, E. & SCHARPF, H.-C. (1995b): Keimpflanzentest zur Substratprüfung (2). DeGa 2: 1702-1706.

GÖTTLICH, K. & KUNTZE, H. (1990): Moorkultivierung für Land- und Forstwirtschaft. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde., S. 385-410. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.

GÖTZ, W. (1987): Riso vergrößert den Kreis der Kultursubstrate. Zierpflanzenbau 2, 46-50.

GRAF, W. & KREß, O. (1996a): Flachsschäben als Zuschlagstoff im Substrat. Taspo Gartenbaumagazin 4: 8-10.

GRAF, W. & KREß, O. (1996b): Kulturtöpfe aus Flachs. Taspo Gartenbaumagazin 4: 4-6.

GRANTZAU, E. (1986): Reisspelzen als Zugabe für Substrate. Taspo 120 (35): 8.

GRANTZAU, E. (1989): Kultursubstrate im Zierpflanzenbau. Taspo-Praxis 16: 47-62.

GRANTZAU, E. (1999): Wissen für junge Gärtner – Salze in Substraten (1). Deutscher Gartenbau 11: 45-46.

GRANTZAU, E. (1999): Wissen für junge Gärtner – Salze in Substraten (2). Deutscher Gartenbau 13: 41-42.

- GRANTZAU, E. (2000): Identifikation selbsterhitzter Torfe. Deutscher Gartenbau 4: 19-20.
- GRANTZAU, E., GENNRICH, J. & DANG, D. P. (1993): Mit Kokos Substrate verbessern? Gärtnerbörse+Gartenwelt 11: 544-555.
- GRANTZAU, E. & TER HELL, B. (1993): Impatiens: Substrate und Zuschlagstoffe im Vergleich. Gärtnerbörse und Gartenwelt 11.
- GROSSE-BRAUCKMANN, G. (1990): Stoffliches – Ablagerungen der Moore. . In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde, S. 175-236. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.
- GRÜNSTEMPEL (2015): www.gruenstempel.de [abgerufen am 14.8.2015].
- GUENZI, W. D., MCCALLA, T. M. & NORDSTADT, F. A. (1967): Presence and presistence of phytotoxic substances in wheat, oat and corn residues. Agron. Journal 59: 163-165.
- GUMY, N. (2001): Toresa® and other wood-fibre products: Advantages and drawbacks when used in growing media. Proc. IPS Symp. on 'Peat in horticulture – Peat and its alternatives in growing media', Amsterdam, 30. Oct., 2001. Int. Peat Soc., Jyväskylä, 39-46.
- GÜNTHER, J. (1990): Torf im Gartenbau. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde, S. 454-472. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.
- GÜNTHER, F., GÜNTHER, J. & BARTELS, W. (1972): Über den Einfluß der Korngröße und weiterer Eigenschaften von kohlen-sauren Kalkdüngemitteln bei der Aufkalkung von Torf und Torfkultursubstraten. Torfnachrichten 22: 3-16.
- GÜNTHER, J., BARTELS, W., SCHMILEWSKI, G., HENZE, R. & POLLEHN, J. (1990): The effect of calcium carbonate on the pH of peat substrates during storage as influenced by the quantity and fineness of lime-stone. Proc. Int. Conf. on 'Peat production and use', June 11-15, 1990, Jyväskylä.
- GÜTEGEMEINSCHAFT SUBSTRATE FÜR PFLANZENBAU E. V. (ohne Jahresangabe): Schulungsmappe. Hannover.
- GUTSER, R. & EBERTSEDER, T. (2002): Grundlagen zur Nährstoff- und Sonderwirkung sowie zu optimalen Einsatzstrategien von Komposten im Freiland. In: Handbuch Kompost im Gartenbau, Hrsg.: Zentralverband Gartenbau e. V., S. 47-72.
- HANDRECK, K. A. & BLACK, N. D. (1999): Growing media for ornamental plants and turf. University of New South Wales Press, Sydney. 448 S.
- HAUCK, M. (1988): Die Bergbauprodukte der Insel Milos/Griechenland – ein geologischer Überblick. Aufschluss 39: 357-370; Heidelberg.
- HAVERKAMP, C. (1991): Die Erschließung des Emslandes im 20. Jahrhundert als Beispiel staatlicher Wirtschaftsförderung. Reihe Emsland/Bentheim, Beiträge zur Geschichte, Band 7, Emsländische Landschaft, Sögel, 349 S.
- HEALTH PROTECTION SCOTLAND (2013): Increased incidence of Legionnaires' disease caused by *Legionella longbeachae* in Scotland. Report from a national incident management team.
- HESCH, R., MEYER, A., BECKMANN, F. & HESCH, K. (1996): Hanf – Perspektiven für eine ökologische Zukunft, eine realistische Betrachtung. Taosis Verlag, Lemgo, 256 S.
- HENRIKS, L. & SCHARPF, H.-C. (1992): Bedarfsorientierte Ernährung von Zierpflanzen. Düngen im Zierpflanzenbau. Verlag Bernhard Thalacker, Braunschweig.
- HENZE, R. (1986): Turbulenzen am Düngemittelmarkt. Ernährungsdienst 8. März 1986. Hrsg.: Düngerkalk-Hauptgemeinschaft im Bundesverband der Deutschen Kalkindustrie e. V., Köln.
- HM GOVERNMENT (2011): The Natural Choice: securing the value of nature. Presented to Parliament by the Secretary of State for Environment, Food and Rural Affairs by Command of Her Majesty, June 2011. [www.official-documents.gov.uk, abgerufen am 23.11.2014.]
- HOFER, B. & SCHMILEWSKI, G. (2005): Peat extraction – Nature conservation – Eco-label: Breaking of taboos and visions. Peatlands International 1: 23-27.
- HÖPER, H. (2007): Freisetzung von Treibhausgasen aus deutschen Mooren. Telma 37: 85-116; Hannover.
- HORTICON & RHEINBRAUN BRENNSTOFF GMBH (2007): Xylit – Entwicklungen 2006/2007, Xylit-Informationen zum Torf- und Humustag 2007.

- HORTICON (2014): Datenblätter Xylit. [<http://www.horticon.net/substrate-und-ausgangsstoffe/xylit/xylit-eine-gute-voraussetzung-in-torfreduzierten-produkten.html>, abgerufen am 15.07.2014.]
- INGHAM, E. R. (2000): The living soil: nematodes. In: Tugel, A., Lewandowski, A. & Happe von Arb, D. (Hrsg.): Soil biology Primer. Rev. Ed Ankeny, Soil and Science Conservation Society, Iowa.
- IPS INTERNATIONAL PEAT SOCIETY (2010): Strategy for responsible peatland management. Hrsg.: Clarke, D. & Rieley, J., 39 S; Jyväskylä.
- JACKSON, B. E., WRIGHT, R. D. & BARNES, M. C. (2010): Methods of constructing a pine tree substrate from various wood particle sizes, organic amendments, and sand for desired physical properties and plant growth. HortScience 45: 103-112.
- JAUCH, M. (2009a): Substratkomponenten – Flachsschäben: Ein Nebenprodukt der Flachsfasergewinnung. Informationsdienst Weihenstephan, Ausgabe März. Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan.
- JAUCH, M. (2009b): Mineralische Substrate und Substratzuschlagstoffe, Poröses Vulkangestein – Schaumlava und Bims. Informationsdienst Weihenstephan, Ausgabe März. Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weihenstephan.
- JEFFERY, S. & FORAN, C. L. (1997): Potting mixes – reservoirs of human fungal pathogens. Proc. Int. Symp. 'Growing media and plant nutrition', Freising, 2-7 Sept 1996.
- JOBIN, P., CARON, J., ROCHEFORT, L. & DANSERAU, B. (2005): Developing new substrates with Sphagnum fibres. Poster; Intern. Symposium on Growing Media, Angers, unveröffentlicht.
- JOOSTEN, H. & TIMMERMANN, T. (1999): Torf als nachwachsender Rohstoff. Telma 29: 171-181; Hannover.
- KAMMANN, C., KÜHNEL, Y., VON BREDOW, C. & GÖßLING, J. (2010): C-Sequestrierungspotential und Eignung von Torfersatzstoffen, hergestellt aus Produkten der Landschaftspflege und Biochar. Abschlussbericht des Projekts. Justus-Liebig-Universität Gießen, Inst. für Pflanzenökologie.
- KAYSER, F. H., BÖTTGER, E. C., ZINKERNAGEL, R. M., HALLER, O., ECKERT, J. & DEPLAZES, P. (2010): Taschenlehrbuch Medizinische Mikrobiologie. 12. Auflage; 774 S. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- KÄMPF, A. N. & JUNG, M. (1991): The use of carbonised rice hulls as a horticultural substrate. Acta Horticulturae 294, 271-279.
- KAULE, G., GÖTTLICH, K. (1990): Begriffsbestimmungen anhand der Moortypen Mitteleuropas. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart: 1-28.
- Kawollek, W. (2012): Trauermücken in der Kultur. GeGa 8: 59-62.
- KEHRES, B. (2012): Legionellen – Arbeit mit 'Komposterde' riskant? Humuswirtschaft & Kompost aktuell 8/9, 7-8.
- KERN, M. (1999): Stand und Perspektiven der biologischen Abfallbehandlung in Deutschland. In: Wiemer, K. & Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Restabfallbehandlung III, in Witzenhausen-Institut, Neues aus Forschung und Praxis, S. 293-323.
- KLASMANN-DEILMANN GMBH (2015): Nachhaltigkeitsbericht 2014 – Vorausschauend denken, verantwortlich handeln. [www.klasmann-deilmann.com/nachhaltigkeit, abgerufen am 01.10.2015.]
- KLASMANN WERKE GMBH (1983): 75 Jahre Klasmann Werke – Der Pionier. Gestern. Heute. Morgen. Geeste-Groß Hesepe, 104 S.
- KLUMPP, E., STRUCK, B. D. & SCHWUGER, M. J. (1992): Wechselwirkungen zwischen Tensiden und Schadstoffen in Böden. Nachr. Chem. Tech. Lab. 40 (4):428-435.
- KNAFLA, H. (2005): Xylit ist als Zuschlagstoff geeignet. Deutscher Gartenbau 41: S. 19.
- KOCH, E. (1996): Wirkungsweise und Anwendungsmöglichkeiten mikrobieller Antagonisten von Pflanzenkrankheiten. Gesunde Pflanzen 48: 11-19.
- KOCH, R. & DEGEN, B. (2006): Xylit als Zuschlagstoff für Primulasubstrat geeignet. Das Magazin für Zierpflanzenbau; 5, S. 32-33.
- KOLBERG-BARZ, M., KERSTJENS, K.-H. (1994): Anforderungen an Friedhofssubstrate. Taspo Gartenbaumagazin 3: 14-15.

- KÜHNE, S. & HELLER, K. (2010): Sciarid larvae in growing media – biology, occurrence, substrate and environmental effects and biological control measures. Proc. Intern. Peat Symposium, Amsterdam, 11 Oct. 2010. Int. Peat Soc., Jyväskylä.
- KURZMANN, P. (1981): Auswirkung selbsterhitzter Torfe auf gärtnerische Kulturen. Jahresbericht Weißenstephan: 33-34.
- KÜSTER, E. (1986): Mikroorganismen im Moor. Telma, 16: 235-244.
- KÜSTER, E. (1990): Mikrobiologie von Moor und Torf. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart: 262-271.
- LAPPALAINEN, E. (1996): General review on world peatland and peat resources. In: Lappalainen, E. (Hrsg.): Global peat resources; 53-56. International Peat Society, Jyväskylä.
- LAPPALAINEN, E. & ZUREK, S. (1996): Peat in other European countries. In: Lappalainen, E. (Hrsg.): Global peat resources; 153-162. International Peat Society, Jyväskylä.
- LEIFERT, I. (2002): Vom Bioabfall zum qualitätsgeprüfem Kompostprodukt: Inputstoffe, Verfahrens-/Prozesstechnik und Qualitätskontrolle in der Praxis der Kompostierung. In: Handbuch Kompost im Gartenbau, Hrsg.: Zentralverband Gartenbau e. V., S. 17-46.
- LELLEY, J. (1991): Pilzanbau – Biotechnologie der Kulturspeisepilze. Handbuch des Erwerbsgärtners. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- LEMAIRE, F., DARTIGUES, A. & RIVIÈRE, L. M. (1989): Physical and chemical characteristics of a lingo-cellulosic material. Acta Horticulturae 238, 9-22.
- LOHR, D. & MEINKEN, E. (2007): Xylit als Torfersatz? Deutscher Gartenbau 43: 18-19.
- LOHR, D. & MEINKEN, E. (2015): Verbesserung der pflanzenbaulichen Eignung von HTC-Kohle durch eine Co-Kompostierung. Versuche im Deutschen Gartenbau
- LOHR, D. (2009a): Mineralische Substrate und Substratausgangsstoffe – Blähton. Informationsdienst Weißenstephan, Ausgabe Mai. Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weißenstephan.
- LOHR, D. (2009b): Mineralische Substrate und Substratausgangsstoffe – Vermiculit/Vermiculite. Informationsdienst Weißenstephan, Ausgabe September. Staatliche Forschungsanstalt für Gartenbau Weißenstephan.
- LOHR, D., WÖCK, C. & MEINKEN, E. (2015a): Use of ergosterol as an indicator for colonization of peat based growing media by saprophytic fungi. Poster auf dem ISHS/IPS Symposium SusGro, Wien, 7-11. Okt. 2015.
- LOHR, D., WÖCK, C., VON TUCHER, S. & MEINKEN, E. (2015b): Analysing carbon fraction of growing media by near-infrared spectroscopy. Poster auf dem ISHS/IPS Symposium SusGro, Wien, 7-11. Okt. 2015.
- LUCK, H.-J. (1994): Substrate mit Klebern. Deutscher Gartenbau 44: 2616-2617.
- MAKAS, M. (2001): Chemisch-physikalische Untersuchungen an Pflanzsubstraten auf Holzbasis. Dissertation an der Studienfakultät für Forstwissenschaften und Ressourcenmanagement der Technischen Universität, München.
- MARUTZKY, R., SPRINGER, S. & FLEISCHER, O. (2000): Generelle Eignung von Gebraucht- und Restholzsortimenten zur Substratherstellung. Im Tagungsband zum Workshop: Holzspäne aus dem Spanplattenrecycling als hochwertige Torfersatzstoffe für den Pflanzenbau, Verein für Technische Holzfragen e. V.
- MARUTZKY, R., SPRINGER, S., MOLITOR, H.-D., FABER, A. & LUDWIG-OHM, S. (2000): Untersuchungen zur Gewinnung von Substraten für Gartenbau und Landwirtschaft aus Spanplatten- und MDF-Resten, verleimt mit stickstoffhaltigen Bindemitteln. Schlussbericht AIF-Forschungsvorhaben 11437 n.
- MATTUSCH, P., BOTZ, T. & HILGENBERG, W. (1988): Untersuchungen zur Kontamination von Rohtorfen und gärtnerischen Anzuchtgeräten mit dem Erreger der Kohlhernie, *Plasmodiophora brassicae*. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 240: 1-56.
- MEIER-UHLHERR, R., SCHULTZ, C. & LUTHARDT, V. (2011): Steckbriefe Moorsubstrate – Teil I: Einführung und Teil II: Geländeunterlagen. Hrsg.: HNE Eberswalde, Berlin.
- MEINKEN, E. (1992): Das Pufferungsvermögen von Rindenkultursubstraten. In: Wie sieht das Substrat der Zukunft aus? Festschrift 10 Jahre Gütegemeinschaft „Rinde für Pflanzenbau“ e. V. S. 40-51.

- MEINKEN, E. (2013): Torfersatzstoffe, was gibt es Neues? Vortrag gehalten auf der Mitgliederversammlung der Gütegemeinschaft Substrate für Pflanzen e. V. am 18./19.11.2013 in Hohenkammen/Freising.
- MEINKEN, E. & SCHARPF, H. C. (1988a): Hohe verfügbare Kaliumgehalte in Rinden. In: Rindenprodukte für den Gartenbau, S. 13-18. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig.
- MEINKEN, E. & SCHARPF, H. C. (1988b): Gelegentlich Gefahr von Eisenmangel. In: Rindenprodukte für den Gartenbau, S. 23-29. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig.
- MICHAELIS, D. (2011): Die *Sphagnum*-Arten der Welt. Bibliotheca Botanica 160, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart, 408 S.
- MICHEL, J.-C., RIVIÈRE, L.-M., BELLON-FONTAINE, M. N. & AILLERIE, C. (1997): Effects of wetting agents on the wettability of air-dried sphagnum peats. Proc. Int IPS Conf. 'Peat in horticulture' 2-7 Nov., 1997, Amsterdam. Int. Peat Soc., Jyväskylä: 74-79.
- MICROPROPAGATION SERVICES (EM) LTD. (2014): BeadaMoss® – family of products. Informationsfaltblatt, East Leake, UK.
- NATURLAND – VERBAND FÜR ÖKOLOGISCHEN LANDBAU E. V. (2013): Naturland Richtlinien – Erzeugung. [http://www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Richtlinien_deutsch/Naturland-Richtlinien_Erzeugung.pdf, 50 S., abgerufen am 23.02.2015.]
- NAUCKE, W. (1974): Chemische Kennzeichnung von vier Stufen der Selbsterwärmungsprozesse von Torfen und das Vorkommen verschiedener physiologisch bedeutsamer Substanzen. Telma, 4: 217-233.
- NAUCKE, W. (1990): Chemie von Moor und Torf. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart: 237-261.
- NAUCKE, W. & TÜXEN, J. (1971): Untersuchungen über technische Möglichkeiten zur Beeinflussung physiologisch wirksamer Inhaltsstoffe des Schwarztorfes. Torfnachrichten, Sonderdruck, 21, 2. Halbjahr.
- NAUNDORF, W. (2001): Presswerkstoffe aus Braunkohlenxylit. Surface mining, Braunkohle and other materials, 53: 311-317.
- NAUNDORF, W., STRAßBURGER, U. & BIEGEL, A. (2002): Braunkohlenxylit als Bodenverbesserungs- und Bodenbedeckungsstoff. Surface mining, brown coal and other materials, 54: 252-259.
- Naville, E. H. (1913): The temple of Deir el-Bahari (Parts I-III), Vol. 16, London: Memoirs of the Egypt Exploration Fund. S. 12-17.
- NELSON, P. V. (1996): Macronutrient fertilizer programs. In: Reed, D. (Hrsg.): Water, media and nutrition for greenhouse crops – a grower's guide. Ball Publishing, Batavia, S. 141-170.
- NMU NIEDERSÄCHSISCHES UMWELTMINISTERIUM UND NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE (2003): Arbeitshilfe zur Anwendung der Eingriffsregelung bei Bodenabbauvorhaben. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen, Heft 4/03, 36 S.
- NIGGEMANN, J. (1968): Selbsterwärmung von Torf in Mieten und deren Auswirkungen. Torfnachrichten. 19 (3/4): 7-8.
- NIGGEMANN, J. (1970): Versuche zur Messung der Benetzungsfähigkeit von Torf. Torfnachrichten. 21: 14-18.
- NIGGEMANN, J. (1971): Einflüsse auf die Benetzungsfähigkeit von Torf. Torfnachrichten. 21 (2): 5-16.
- NOGUERA, P. (2001): Caracterización agronómica del residuo de fibra de coco: un nuevo material para el cultivo en sustrato. Engl. Zusammenfassung: Characterisation and horticultural evaluation of coconut coir waste: A new material for soilless substrate cultivation. Dissertation, Fakultät Chemie, Polytechnische Universität Valencia, Spanien.
- OVERBECK, F. (1975): Botanisch-geologische Moorkunde – unter besonderer Berücksichtigung der Moore Nordwestdeutschlands als Quellen zur Vegetations-, Klima- und Siedlungsgeschichte. Karl Wachholtz Verlag, Neumünster.
- PAETZKE, M. (1988): *Rhododendron simsii*, Substratversuche in Mischungen. Gärtnerbörse & Gartenwelt 32: 1370.
- PAULUS, D. (1998): Untersuchungen an Holzfaserstoffen sechs verschiedener Gehölzgattungen als Substratzuschlagstoff. Diplomarbeit, Inst. für Baumschule, Fachhochschule Weihenstephan.

- PIECHOCKI, R. (1989): Das berühmteste Bakterium. 100 Jahre *Escherichia coli*-Forschung. Urania-Verlag, Köln.
- POSTMA, J., WILLEMSSEN DE KLEIN, M. J. E. I. M. & HOOGLAND, E. E. (1996): Biocontrol of *Pythium aphanidermatum* in closed culture systems. In: Alabouvette, C. (Hrsg.): Biological and integrated control of root diseases in soilless cultures. IOBC/WPRS bulletin, 19 (6): 42-46.
- PRASAD, M. (1997): Physical, chemical and biological properties of coir dust. Acta Horticulturae 450: 21-29.
- PUUSTJÄRVI, V. (1983): Effect of self-heating in stockpiles on the structure of horticultural peat. Peat and plant yearbook. Association of the Finnish peat industry, Finland, 57-63.
- QUANTIS (2012): Comparative life cycle assessment of horticultural growing media based on peat and other growing media constituents. [http://www.epagma.eu/default/home/newspublications/news/Files/MainBloc/EPAGMA_Growing-media-LCA_Final-report_2012-01-17_Quantis.pdf, abgerufen am 12.06.2015.]
- RAL DEUTSCHES INSTITUT FÜR GÜTESICHERUNG UND KENNZEICHNUNG E. V. (1995): Gütesicherung RAL-GZ 545 Dügekalk. Saint Augustin.
- RAL DEUTSCHES INSTITUT FÜR GÜTESICHERUNG UND KENNZEICHNUNG E. V. (2001): Gütesicherung RAL-GZ 250 Rinde für Pflanzenbau. Saint Augustin.
- RAL DEUTSCHES INSTITUT FÜR GÜTESICHERUNG UND KENNZEICHNUNG E. V. (2007): Gütesicherung RAL-GZ 251 Kompost. Saint Augustin.
- RAL DEUTSCHES INSTITUT FÜR GÜTESICHERUNG UND KENNZEICHNUNG E. V. (2015): Gütesicherung RAL-GZ 250 Substrate für Pflanzen. Saint Augustin.
- RANNEKLEV, S. B. (2001): Chemical and microbial changes in peat caused by self-heating. Dissertation – Department of Horticulture and Crop Sciences der Agricultural University of Norway.
- REICHSPATENTAMT (1944): Verfahren zur Herstellung eines Düngemittels aus älterem Moostorf (Schwarztorf). Patentschrift Nr. 748716, Klasse 16, Gruppe 14, vom 9.11.1944, Berlin.
- REINIKAINEN, O. & HERRANEN, M. (1997): The influence of wetting agent on physical properties of peat. Acta Horticulturae 450: 375-379.
- REINIKAINEN, O., KORPI, J., TAHVONEN, R., NÄKKILÄ, J., SILVAN, N. & SILVAN, K. (2012): Harvesting of *Sphagnum* biomass and its use as a growing medium constituent. Proc. 14th Int. Peat Congress Stockholm, No. 137, International Peat Society, Jyväskylä. [<http://www.peatsociety.org>, abgerufen am 03.03.15.]
- RICHARD, K.-H., (1990): Torfgewinnung und Torfverwertung. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde, S. 411-454. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart.
- REST, M., SCHÄFER, B. & GRANTZAU, E. (2001): Lagerung ohne Einfluß auf die Substratphysik. Deutscher Gartenbau 46: 29-31.
- Rheinische Vermiculite GmbH (2015): www.rheinische-vermiculite.de [abgerufen am 05.06.2015].
- ROMBERG & SOHN GMBH & CO. KG (2000): Der Romberg Ratgeber – Von Profis für Profis (Firmeninformationsschrift), 34 S.
- RÖMPP (1997): Lexikon Chemie. Band 3, H-L; Hrsg.: Falbe, J. & Regitz, M., Thieme Verlag, Stuttgart.
- RÖMPP (1998a): Lexikon Chemie. Band 4, M-Pk; Hrsg.: Falbe, J. & Regitz, M., Thieme Verlag, Stuttgart.
- RÖMPP (1998b): Lexikon Chemie. Band 5, Pl-S; Hrsg.: Falbe, J. & Regitz, M., Thieme Verlag, Stuttgart.
- RÖMPP (1999): Lexikon Chemie. Band 6, T-Z; Hrsg.: Falbe, J. & Regitz, M., Thieme Verlag, Stuttgart.
- RÖSE, D. (2015): Nachhaltigkeit als Unternehmensstrategie für die Torf- und Substratbranche. Telma 45: 133-148; Hannover.
- ROTH-KLEYER, S. (1999): Bedarfsgerechte Dachsubstrate. Deutscher Gartenbau 36: 20-22.
- ROTH-KLEYER, S. (2008): Xylit im Substrat? Deutscher Gartenbau 22: 16-19.
- RUDOLPH, H. & BREHM, K. (1965): Kationenaufnahme durch Ionenaustausch? Neue Gesichtspunkte zur Frage der Ernährungsphysiologie der Sphagnen. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 78: 484-491.

- SAI SOCIAL ACCOUNTABILITY INTERNATIONAL (2014): SA8000. International Standard by SAI. June 2014. New York.
- SANTIAGO, A. & SANTIAGO, L. A. (1989): Charcoal chips as a practical substrate for container horticulture in the humid tropics. *Acta Horticulturae* 238: 141-147.
- SAUERBECK, D. & RIETZ, E. (1984): Ein Verfahren zur Bestimmung der Reaktionsfähigkeit kohlenaurer Düngesalze. *Landwirtschaftliche Forschung*: S. 682-690.
- SCHACHT, H. & HÖRMANDIGER, K. (1993): Erfahrungen mit Flachs in Baumschulsubstraten positiv. *Baumschulpraxis* 11.
- SCHARPF, H. C. (1988): Eigenschaften und Besonderheiten von Rindenprodukten für die Verwendung im Gartenbau. In: *Rindenprodukte für den Gartenbau*, S. 13-18. Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig.
- SCHELLHORN, M., SCHMIDT, E., DULTZ, S., WALSCH, J., BELOW, M., SCHMILEWSKI, G., SCHENK, M., BINNER, I., MEYER, M. & FRANKE (2012): Control mechanisms of clays and their specific surface area in growing media – assessment of clay properties and their parametrization for the optimization of plant quality. Final report to project number 03G0722A funded by the Bundesministerium für Bildung und Forschung. 114 S.
- SCHELLHORN, M., SCHENK, M., SCHMILEWSKI, G., BINNER, I., DULTZ, S., WALSCH, J., SCHMIDT, E., BELOW, M. & MEYER, M. (2013): Bedeutung von Toneigenschaften für die Wahl der Tonbeimengung in gärtnerischen Torfsubstraten. *Telma* 43: 19-38.
- SCHLECHTE, G. B. & SCHMILEWSKI, G. K. (2010): Saprophytische Pilze in Kultursubstraten. Ringordner mit Lieferung 1. Erschienen im Selbstverlag.
- SCHMATZLER, E. (2012): Die Torfindustrie in Niedersachsen – Ergebnisse einer Umfrage zur Zukunft der Torfgewinnung in Niedersachsen. *Telma* 42: 27-42; Hannover.
- SCHMIDTHANS, H. G. & SCHENK, M. (1991): Schäden durch Reisspelzen im Substrat – Einfluß auf das Wachstum von *Saintpaulia ionantha* und *Elatior-Begonien*. *Deutscher Gartenbau* 26: 1616-1618.
- SCHMILEWSKI, G. (1996): Horticultural use of peat. In: Lappalainen, E. (Hrsg.): *Global peat resources*. S. 327-334. Saarijärven Offset Oy, Jyväskylä.
- SCHMILEWSKI, G. (1999): Substrat-Mikrobiologie – Was ist das? *Deutscher Gartenbau* 50: 26-29.
- SCHMILEWSKI, G. (2003): Fine-tuning growing media with additives – An introductory overview. *Proc. Int. Peat Conference, Amsterdam*, 4. Nov. 2003. *Int. Peat Soc., Jyväskylä, Finland*.
- SCHMILEWSKI, G. (2005): Einsatzgebiet und Zusammensetzung prägen die Güte. Was bedeutet Substratqualität? – Teil 1.: Torfe, Kompost und Holzfasern. *Der Gartenbau/Wochen-Fachzeitschrift* 4: 8-10; Solothurn, Schweiz.
- SCHMILEWSKI, G. (2014): Producing growing media responsibly to help sustain horticulture. *Acta Horticulturae* 1034: 299-305.
- SCHMILEWSKI, G. (2015): Kultursubstrate auf Torfbasis: Notwendige Produktionsmittel für die nachhaltige Entwicklung des Gartenbaus. *Telma Beiheft* 5: 71-92; Hannover.
- SCHMILEWSKI, G. (2017): Growing media constituents used in the EU in 2013. *Acta Horticulturae* 1168, 85-92
- SCHMILEWSKI, G. & FALKENBERG, H. (2000): Production and processing of peat-based growing media – a precondition for sustainable horticulture in Europe. In: Rochefort, L. & Daigle, J.-Y. (Hrsg.): *Proc. 11th Int. Peat Congress 'Sustaining our peatlands'*, Quebec City, August 6-12, 2000; 533-541. Canadian Soc. for Peat and Peatlands, Shippagan and Int. Peat Soc, Jyväskylä.
- SCHNEEKLOTH, H. (1983): Die Torfindustrie in Niedersachsen. 59 S. Kommissionsverlag Göttinger Tageblatt GmbH & Co. KG; Göttingen – Hannover.
- SCHRÖDER, H.-W., NAUNDORF, W. & STRÄßBURGER, U. (2005): Braunkohlenfaserxylit als Substratboden. *World of mining – Surface and underground* 57, No. 1, S. 29-37.
- SCHULZE, D. (2009): *Pulver und Schüttgüter*. 2. Auflage. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- SCHULZE, D. (2014): *Pulver und Schüttgüter – Fließeigenschaften und Handhabung*. 3. Auflage. Springer Vieweg Verlag, Berlin/Heidelberg.
- SCHÜTT, P., SCHUCK, H. J. & STIMM, B. (2002): *Lexikon der Baum- und Straucharten – Das Standardwerk der Forstbotanik*.

- SCHWAGER, C. & LANGE, W. (1998): Biologischer Holzschutz. Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe (FNR). Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe, Band 11.
- SCHWEIKLE, V. (1990): Physik des Torfes und Moorböden. In: Göttlich, K. (Hrsg.): Moor- und Torfkunde. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller), Stuttgart: 272-283.
- SCOTTS (2001): Düngung mit System – Baumschule und Stauden. Informationsbroschüre der Firma Scotts.
- SELMAR-OLSEN, A. R. & GISLERØD, H. R. (1986): Storage of fertilized peat. *Acta Horticulturae* 178: 163-172.
- SOHI, S., GAUNT, J. & ATWOOD, J. (2013): Biochar in growing media: A sustainability and feasibility assessment. A project commissioned for the Sustainable Growing Media Task Force (Defra project ref. SP1213). UK Biochar Research Centre, University of Edinburgh.
- SPRINGER, P. (2015): Das wichtigste über Baums substrate – Anforderungen und Eigenschaften. *DEGA GaLaBau* 8: 40-43.
- STEEL, T. W., LANSE, J. & SANGTER, N. (1990): Isolation of *Legionella longbeachae* serogroup 1 from potting mixes. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 49-53.
- STICHTING RHP & ECAS B. V. - EUROPÄISCHE ZERTIFIZIERUNGSSTELLE FÜR DEN AGRARSEKTOR (1999): Produktzertifizierungsschema RHP-Gütezeichen, 1-65.
- SUN, Y., GAO, B., YAO, Y., FANG, J., ZHANG, M., ZHOU, Y., CHEN, H. & YANG, L. (2014): Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydro char properties. *Chemical Engineering Journal* 240: 574-578.
- TAHVONEN, R. (1982): The suppressiveness of Finnish light coloured *Sphagnum* peat. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland*, 54, S. 345-356.
- TEICHER, K., FISCHER, P., BARTELS, W. & GÜNTHER, J. (1987): Haupt- und Spurennährstoffe in Hochmoortorfen und die physikalischen Eigenschaften dieser Torfe. *Telma*, Hannover, 17: 199-211.
- THEIL, J. (1995): Untersuchungen zur Quellung von Polyacrylamid- und Poly(acrylamidmethacrylsäure)-Gelen in wässrigen Lösungen; Universität Kaiserslautern.
- TRÄNKER, A. & DEHNE, H.-W. (2002): Kompost und Pflanzenschutz. In: *Handbuch Kompost im Gartenbau*, Hrsg.: Zentralverband Gartenbau e. V., S. 95-109.
- VAN DOREN, J. J. M. (2001): Coir pith potentials. *Proc. IPS Symp. 'Peat in horticulture – Peat and its alternatives in growing media'*, 30. Oct., 2001. *Int. Peat Soc.*, Jyväskylä, 39-46.
- VDLUFA VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (2000): *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch) – Methodenbuch Band II.2 – Die Untersuchung von Sekundärrohstoffdüngern, Kultursubstraten und Bodenhilfsstoffen*, Erste Auflage, 2000, mit 1. Ergänzungslieferung, 2008, und 2. Ergänzungslieferung, 2014, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA VERBAND DEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTLICHER UNTERSUCHUNGS- UND FORSCHUNGSANSTALTEN (2007): *Methodenbuch Band I – Die Untersuchungen von Böden, Methode A 13.5.1, Stabilität N-Haushalt*; 5. Teillieferung. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VERDONCK, O. & DE VLEESCHAUWER, D. (1982): Cocofibre dust, a new growing medium for plants in the tropics. *Proc. XXIst Int. Hort. Cong.*, Hamburg, Germany.
- VERHAGEN, J. B. G. M. (1999): CEC and the saturation of the adsorption complex of coir dust. *Acta Horticulturae* 481: 151-155.
- VIRDUNG, C. (1982): Gödslad torv som odlingssubstrat – kväveinnehållets förändring vid lagring. Trädgård 226. Swedish University of Agricultural Science, Research Information Centre, Alnarp.
- VOGEL, K. (1999): Die Eignung von Holz als Wärmedämmstoff. Vergleichende Untersuchungen an Spänen und Fasern. Dissertation, Forstwirtschaftliche Fakultät, Ludwig-Maximilian-Universität München, Shaker, Aachen.
- VON POST, L. & GRANLUND, E. (1926): Södra Svergestorvtillgångar 1 (Peat resources in southern Sweden 1). *SGU, Ser. C:335 (= årsbok 19:2)*, Stockholm, 127 S.
- WALLER, P. (2006): Peat usage in growing media – from John Innes to Peater Out™. *Proc. Int. Symp. 'Peat in Horticulture – Peat in the stranglehold of interest groups'*, Amsterdam 30 Oct. 2006, S. 81-89.

- WALLER, P. & EDWARDS, G. (2010): Are Legionellae an issue in growing media and soil improvers and is labelling required? Proc. Int. Symp. 'Peat in Horticulture – Life in growing media'; Amsterdam 11 Oct. 2010; S. 53-52.
- WELLER, D., RAAIJMAKERS, J. M., MCSPADDEN GARDENER, B. B. & THOMASHOW, L. S. (2002): Microbial populations responsible for specific soil suppressiveness to plant pathogens. *Annu. Rev. Phytopathol.* 2002, 40: 309-348.
- WEVER, G. & KIPP, J. A. (1997): The influence of self-heating on horticultural aspects of peat. Proc. IPS Conference 'Peat in horticulture', 2-7 Nov., 1997. Int. Peat Soc., Jyväskylä, 80-86.
- WEVER, G., VAN LEEUWEN, A. A. & VAN DER MEER, M. C. (1997): Saturation and hysteresis of substrates. *Acta Hort.* 450: 287-296. Int. Soc. Hort. Sci., Leuven.
- WEVER, G. & KIPP, J. A. (1998): Characterisation of the hydrophysical behaviour of stonewool. Proc. 16th World Congress of Soil Science, Montpellier.
- WILSON, D. P. & CARLILE, W. R. (1991): Storage properties of peat based growing media containing worm worked duck waste. *Acta Horticulturae* 294: 13-27. Int. Soc. Hort. Sci., Leuven.
- WITT, H. H. (1987): In: Sachweh, U. (Hrsg.): *Der Gärtner 1 – Grundlagen des Gartenbaus*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart; 520 S.
- WOHANKA, W. (2010a): Krankheitshemmende Wirkungen von Torfkultursubstraten. *Taspo* 3, S. 3.
- WOHANKA, W. (2010b): Microbiological and disease suppressive properties of peat from different sources. Proc. Int. Peat Symp. 'Peat in Horticulture – Life in Growing Media', Amsterdam, 11 Oct. 2010, 35-43. International Peat Soc., Jyväskylä.
- WOHANKA, W., MOLITOR, H.-D. & BRÜCKNER, U. (2012): Mikroflora beugt vor. *Taspo Magazin* 4, 41-43.
- WOLFFHECHEL, H. (1988): The suppressiveness of Sphagnum peat to *Pythium* spp. *Acta Horticulturae* 221: 217-222.
- ZEVENHOVEN, M. (2011): RHP Peat bog flora. Stichting RHP, Niederlande.
- ZIECHMANN, W. (1980): *Huminstoffe*. 408 S., Verlag Chemie GmbH, Weinheim.
- ZIT ZENTRALE INFORMATIONSTELLE TORF UND HUMUS (1992): Kultursubstrate im Gartenbau: Ausgangsstoffe – Eigenschaften – Verwendung. Lehrer-Service Medienpaket. 111 S., Hannover.
- Zöttl, H. W. (1988): Bestimmung und Beseitigung der Stickstoffimmobilisierung in Rindenhumus. In: *Rindenprodukte für den Gartenbau*, S. 13-18., Bernhard Thalacker Verlag, Braunschweig.
- ZVG ZENTRALVERBAND GARTENBAU E. V. (2012): Pressemeldung – Gartenbauzahlen. [http://www.g-net.de/download/daten_fakten/Gartenbauzahlen.pdf, 10 S., abgerufen am 22.05.2014.]