

DIN ISO 23138



Diese Norm ist Bestandteil des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Band 2.

ICS 91.140.30

Einsprüche bis 2023-07-19

Entwurf

**Biologische Ausrüstung zur Behandlung von Luft und anderen Gasen –
Allgemeine Anforderungen (ISO/DIS 23138:2023);
Text Deutsch und Englisch**

Biological equipment for treating air and other gases –
General requirements (ISO/DIS 23138:2023);
Text in German and English

Équipements biologiques pour le traitement de l'air et autres gaz –
Exigences générales (ISO/DIS 23138:2023);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-05-19 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an krdl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss, 40002 Düsseldorf, Postfach 10 11 39 oder VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 59 Seiten

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Prozessprinzipien	12
4.1 Grundlegende Fundamente	12
4.2 Schritte der Elimination von Schadstoffen.....	13
4.2.1 Allgemeines	13
4.2.2 Massentransferphänomene.....	13
4.2.3 Biochemische Umwandlung durch Mikroorganismen (enzymkatalytische Reaktion).....	13
4.2.4 Klassifizierung der Techniken.....	16
4.3 Planungsparameter	17
4.4 Biofilter	17
4.4.1 Allgemeine Beschreibung.....	17
4.4.2 Allgemeine Beschreibung des Verfahrens	18
4.4.3 Filtermaterialien.....	19
4.4.4 Nährstoff- und Nährsalzquelle.....	20
4.4.5 Feuchtigkeitsreservoir	20
4.4.6 Regeneration, Ersatz und Entsorgung von Filtermaterial.....	20
4.5 Biotricklingfilter	21
4.5.1 Allgemeine Beschreibung.....	21
4.5.2 Allgemeine Beschreibung des Verfahrens	22
4.5.3 Filtermedien	23
4.5.4 Verstopfung in Biotricklingfiltern für die Reinigung von organischen Verbindungen (VOC)	23
4.5.5 Nährstoffe und Befeuchtung.....	24
4.5.6 Regeneration, Ersatz und Entsorgung von Filtermedien.....	25
4.6 Biowäscher.....	25
4.6.1 Allgemeine Beschreibung.....	25
4.6.2 Allgemeine Beschreibung des Verfahrens	25
4.6.3 Nährstoffe und Befeuchtung.....	27
5 Anwendung	27
6 Messung und Prüfung.....	28
Literaturhinweise.....	30

Nationales Vorwort

Das Dokument (ISO/DIS 23138:2023) wurde von der Arbeitsgruppe ISO/TC 142/WG 13, „Biological equipment for treating air and other gases“, des Technischen Komitees ISO/TC 142, „Cleaning equipment for air and other gases“, erarbeitet. Obmannschaft und Sekretariat der WG 13 liegen bei der Volksrepublik China. An der Erstellung dieser Norm war der Fachbereich I „Umweltschutztechnik“ der VDI/DIN Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss maßgeblich beteiligt.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 134-01-37 AA der VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

EN 13725 siehe DIN EN 13725

Um Zweifelsfälle auszuschließen, ist die englische Originalfassung des Norm-Entwurfes beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 13725, *Luftbeschaffenheit — Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Directives, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Directives, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 142, *Cleaning Equipment for air and other gases*, erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Einige Teile des folgenden Dokuments basieren auf den deutschen Standards VDI 3477 [1] (Biofilter, erste Ausgabe gültig seit 1984), VDI 3478-1 [2] (Biowäscher, erste Ausgabe gültig seit 1985) und VDI 3478-2 [3] (Biotricklingfilter, erste Ausgabe gültig seit 1985). (Mit Erlaubnis des Vereins Deutscher Ingenieure VDI).

Die biologische Abgasreinigung hat in den letzten Jahren ein sehr schnelles Wachstum erlebt. Für diverse Anwendungsbereiche gibt es sehr gute Erfahrungen (siehe unten).

Der wichtigste Vorteil ist die Tatsache, dass der Reinigungsprozess natürlich ist und von Mikroorganismen ausgeführt wird. Momentan ist sie die mit Abstand umweltfreundlichste Abgasreinigungstechnologie.

Die Hauptvorteile dieser Technologie sind unten aufgeführt:

- es ist ein natürlicher Prozess bei Umgebungsdruck und Umgebungstemperatur;
- das Prinzip ist mit der Abwasserreinigungstechnologie vergleichbar, die ebenfalls seit Jahren gut etabliert ist;
- es ist keine zusätzliche Energie in Form von Erdgas oder Erdöl erforderlich;
- es ist eine beinahe CO₂-neutrale Luftreinigungstechnologie;
- die Betriebskosten sind gering;
- die Investitionskosten sind gering;

Langjährige Erfahrungen haben gezeigt, dass biologische Systeme insbesondere zur Reinigung von Folgendem nützlich sein können:

- geruchsbelastende Luft von Abwasserreinigungsanlagen (H₂S, Sulfide etc.);
- geruchsbelastende Luft von Abfallbehandlungsanlagen, z. B. Kompostierungsanlagen, Anlagen für anaerobe Gärung (H₂S, NH₃, organische Verbindungen);
- geruchbelastende Luft von Industrieprozessen;
- Abluft von Lackiereinrichtungen und anderen Industrieprozessen, die flüchtige organische Verbindungen (VOC) enthalten [9];

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt die Technologie der biologischen Abgasreinigung. Zum besseren Verständnis werden die wichtigsten Prozessprinzipien dieser Methode zuerst beschrieben. Anschließend werden darauf basierend die relevanten Anforderungen für eine mögliche Anwendung spezifiziert. Außerdem wird auf die verschiedenen Varianten dieser Technik eingegangen.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Biofilter

Bioreaktor zur Behandlung von Abgasen mithilfe von an den Packungsmedien angebrachtem Biofilm, wobei die Feuchtigkeit durch einen vorgelagerten Befeuchter oder zeitweilige Wasserzufuhr zum Filterbett erhalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Als Trägermaterialien werden in der Regel organische Materialien verwendet. Es werden aber auch anorganische Materialien mit großer Innenoberfläche und zugehöriger Mikroorganismuspopulation verwendet. Die verwendeten Materialien werden in der Regel als Schüttungen, durch die die Abgase strömen, angeordnet.

3.2

Biotricklingfilter

Bioreaktor zur Reinigung von Abgasen mit frei beweglichen Flüssigkeitsfilmen auf der Oberfläche von inerten Packungsmaterialien, um Nährstoffe zuzuführen, Stoffwechselprodukte zu entfernen oder den pH-Wert für den an den Packungsmedien anhaftenden Biofilm zu kontrollieren

3.3

Biowäscher

Absorber, in dem Schadstoffe aus dem Abgas zum flüssigen Absorptionsmittel transportiert und in dem die gelösten Schadstoffe durch Mikroorganismen mit pausiertem Wachstum in einem zusätzlichen Bereich entfernt werden

3.4

Abgas

mit Geruchs- und Schadstoffen belastete Gasströme aus industriellen und landwirtschaftlichen Prozessen und Abgasluftströme aus Tanks und aus nicht zur permanenten Nutzung durch Menschen geeigneten Räumen

3.5

absolute Luftfeuchtigkeit (Wasserdampfkonzentration, a)

Masse an Wasserdampf pro Masse an trockener Luft

3.6

Adaption

Anpassung von Mikroorganismen an Substratmenge und -zusammensetzung sowie an andere Umweltfaktoren

3.7

Absorptionsmittel

Absorbens (Waschflüssigkeit)

3.8

Absorbensregeneration

Wiederherstellung der Absorptionskapazität des Absorptionsmittels durch biologischen (biochemischen) Abbau von gelösten Substanzen

3.9

Absorber

siehe Biowäscher

3.10

Absorption

selektive Abscheidung einer oder mehrerer Komponenten aus Gasgemischen durch Waschen mit einem Waschmedium (üblicherweise Wasser)

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird zwischen physikalischer Absorption, für deren Anwendung die physikalische Gleichgewichtskurve als Basis genutzt wird, und chemischer oder biochemischer Absorption, während der das Absorptiv und das Absorptionsmittel eine chemische Reaktion miteinander eingehen und die Substanzen umgewandelt werden, unterschieden.

3.11

Absorptiv

zu absorbierende Substanz

3.12

Aktivität der Mikroorganismen

biologische Umwandlung/Elimination von Abgaskomponenten pro Zeiteinheit

3.13

Anströmboden

Spaltenboden oder Gitter mit ausreichend kleinen Öffnungen, um ein Bett aus festen Partikeln (z. B. Filtermaterialien) tragen zu können

3.14

Anströmgeschwindigkeit

Oberflächengeschwindigkeit, mit der der Einlassgasstrom auf den Anströmboden zuströmt

3.15

biogener Geruch

Geruch, der vom Stoffwechsel der Mikroorganismen hervorgerufen wird

3.16

C:N:P-Verhältnis (Kohlenstoff:Stickstoff:Phosphor-Verhältnis)

Verhältnis von im Abgas biologisch verfügbarem Kohlenstoff zu Stickstoff und Phosphor in den Filtermedien

3.17

Druckverlust

Δp

Differenz zwischen den statischen Drücken am Einlass und Auslass eines Systems mit definierter Durchströmung, mithilfe dessen der Energieverlust durch die Durchströmung innerhalb des Systems gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Druckverlust innerhalb eines Biofiltersystems ist der Gesamtwert der Durchströmungswiderstände durch Rohrleitungen, Klappen, Filterbett etc. [4]

3.18

Endotoxine

Bestandteile der Zellwand gram-negativer Bakterien; Lipid-A-enthaltende Lipopolysaccharide

Anmerkung 1 zum Begriff: Endotoxine werden bei der Lyse oder beim Tod der Bakterienzellen freigesetzt und können aufgrund des niedrigen Dampfdrucks nur nach der Aerosolbildung inhaliert werden.

3.19

Feuchtegehalt

Wassergehalt

Massenanteil an Wasser bezogen auf Feuchtmasse des Filtermaterials

3.20

Filterbelastung

Belastung der Biofilter zusammengesetzt aus der Filterflächenbelastung, der Filtervolumenbelastung und der spezifischen Filterbelastung

3.21

Filterflächenbelastung

Abgasvolumenstrom, bezogen auf die Filterfläche

3.22

Filtervolumenbelastung

Abgasvolumenstrom, bezogen auf das Filtervolumen

3.23

Geruchseinheit

Menge (einer Mischung) von Geruchsstoffen in einem Kubikmeter des geruchsbehafteten Gases (unter Normbedingungen für die Olfaktometrie) an der Kollektivschwelle

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Definition unterscheidet sich von der Definition der europäischen Geruchseinheit dahingehend, dass die letztere auf einer als EROM festgelegte bekannte Geruchsstoffmasse zurückführbar ist. [5]

3.24

Geruchsminderungsgrad

Geruchsstoffminderungsgrad, η_G

Prozess-Wirkungsgrad, der die Minderung des emittierten Geruchsstoffstroms q_G beschreibt:

$$\eta_G = \frac{q_{G,roh} - q_{G,rein}}{q_{G,roh}}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Solange der Volumenstrom des Abgases nicht oder nicht wesentlich vom Emissionskontrollprozess beeinträchtigt wird, kann der Geruchsminderungsgrad auch anhand folgender Gleichung aus der zugehörigen Geruchsstoffkonzentration berechnet werden:

$$\eta_G = \frac{c_{G,roh} - c_{G,rein}}{c_{G,roh}}$$

Der verfahrenstechnische Wirkungsgrad ist jedoch nicht proportional zur Minderung der wahrgenommenen Geruchsempfindungsstärke. Außerdem berücksichtigt die Geruchsminderungsgrad keine Änderungen in der Geruchsqualität, die aus der veränderten Abgaszusammensetzung nach der Reinigung und/oder dem spezifischen vom Abgasreinigungssystem erzeugten Geruch entstehen.

3.25

Geruchsstoffkonzentration

C_G

Anzahl der Geruchseinheiten in einem Kubikmeter Gas unter Normbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Geruchsstoffkonzentration ist keine lineare Messgröße für die Intensität eines Geruchs. Die Stevenssche Potenzfunktion beschreibt nicht die lineare Beziehung zwischen dem Geruchsstimulus und der wahrgenommenen Geruchsstärke. Wenn Geruchsstoffkonzentrationen in der Dispergiermodellbildung verwendet werden, wird es durch die ausgleichenden Effekte im Dispergiermodell zu Problemen kommen, wodurch die Nutzung von Geruchsstoffkonzentrationen als direkte Messgröße für eine Dosis weiter erschwert wird. Wenn ein nicht belastendes Niveau definiert werden soll, resultiert die gesamte Dosenevaluierungsmethode inklusive des Dispergiermodells in einer Dosis. Die Beziehung zwischen dieser „Dosis“ und ihrer Wirkung (Geruchsbelästigung) sollte in einer praktischen Situation verifiziert werden, bevor sie als valides Prognosewerkzeug für das Auftreten von Geruchsbelästigungen verwendet werden kann. [5]

3.26

hydraulischer Durchmesser

Quotient aus dem Vierfachen des Durchströmungsquerschnitts eines fluidfördernden Rohrs und seines Umfangs

3.27

Leerrohrgeschwindigkeit

Strömungsgeschwindigkeit einer Flüssigkeit in Bezug auf den freien Querschnitt eines Rohrs oder eines Kanals

3.28

Nährsalz

Stickstoff und Phosphor enthaltendes Salz aus anorganischen Ionen, wie z. B. Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , das in großen Mengen erforderlich ist, um die Zellfunktion zu erhalten

3.29

Porosität

(e)

Volumenanteil der Spalte, Poren und Sacklöcher, die sich in festen Partikeln häufig auf mikroskopische Dimensionen verjüngen, in Bezug auf das Gesamtvolumen der Partikel

$$e = \dot{V}_H / \dot{V}_G$$

3.30

Porengrößenverteilung

Verteilung der Porenvolumina in einem festen Partikel

3.31

Pufferwirkung

Fähigkeit eines Systems, den Einfluss von variablen Rohgaskonzentrationen auf die Reingaskonzentration auszugleichen

Anmerkung 1 zum Begriff: Variationen in den Rohgaskonzentrationen können durch angemessene Biofiltergrößen kompensiert werden.

3.32

Reaktionsgeschwindigkeit

Abbaugeschwindigkeit

umgesetzte Stoffmasse pro Zeiteinheit

3.33

Relative Feuchte

(U)

Verhältnis von Wasserdampfpartialdruck zum Sättigungsdampfdruck bei gegebener Temperatur:

$$U = \frac{p_D}{p_{DS}} \Big|_T$$

3.34

Rohgasgeruch

typischer Geruch der zu behandelnden Emissionsquelle

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Rohgasgeruch kann im Reingas wahrnehmbar sein, wenn der Abscheidegrad des Biofilters unzureichend ist.

3.35

Saugspannung (pF)

Spannung, mit der das Wasser am Boden gebunden ist

3.36

Schadstoffkonzentration

Verhältnis der Schadstoffmasse zum Abgasvolumen bei Normtemperatur und Druckbedingungen (0 °C, 1 013 hPa), Trockenbasis

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheit ppm (v/v oder m/m) bezeichnet das Volumen oder den Massenanteil.

3.37

Atmungsaktivität

spezifischer Sauerstoffverbrauch des aktivierten Schlammes

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Atmungsaktivität hängt z. B. von der Substratkonzentration und der Anzahl an aktiven Mikroorganismen ab. Der spezifische Sauerstoffverbrauch dient als Messgröße für die oxidative BioAbbaugeschwindigkeit im Schlamm, in den Schlammflocken mit pausierter Aktivierung oder, falls vorhanden, im Biofilm der organischen Substanzen, die aus dem Rohgas herausgewaschen wurden. Die Atmungsaktivität kann durch Messung des Sauerstoffverbrauchs oder der Kohlenstoffdioxidproduktion bestimmt werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Sie wird als mg/(l · h)), d. h. der Sauerstoffverbrauch in Bezug auf Zeit und Volumen

3.38

Sorption

Prozess, bei dem eine Substanz selektiv an eine andere Substanz, mit der sie in Kontakt gebracht wird, angelagert oder von ihr aufgenommen wird

3.39

spezifische Filterbelastung

Masse der Abgasinhaltsstoffe, die pro Filtervolumen- und Zeiteinheit in den Biofilter einströmen

3.40

spezifische Luftfeuchtigkeit

(q)

Verhältnis der Wasserdampfmasse in g zur Gesamtmasse der feuchten Luft in kg

3.41

Schüttdichte

Masse des Trägermaterials bezogen auf das Schüttvolumen

3.42

Standzeit

Zeitraum, über den das Filtermaterial seine Funktion bei ausreichendem Wirkungsgrad behält

3.43

Substrat

Substanzen, die den Mikroorganismen sowohl als Aufwuchsmedium als auch als Nährstoffe dienen und zum Aufbau der Zellsubstanz oder zur Energiegewinnung für die Stoffwechsellätigkeit geeignet sind

3.44

Verweilzeit

Verhältnis des Filtervolumens zum Volumenstrom des Fluids

3.45

Wasserhaltevermögen

Wasserspeicherkapazität

maximaler Massengehalt an Wasser, der vom Filtermaterial über längere Zeiträume gespeichert werden kann, angegeben in Prozent als Feuchtmasse des Filtermaterials

3.46

Wirkungsgrad

Abscheidegrad, η

Differenz zwischen den Einlass- und Auslasskonzentrationen eines oder mehrerer definierter Abgasbestandteile im Biofilter in Bezug auf deren Konzentrationen im Rohgas:

$$\eta = \frac{\rho_{crude}^G - \rho_{clean}^G}{\rho_{crude}^G}$$

3.47

Eliminationsleistung

EC

mikrobiell umgewandelte VOC-Fracht pro m³ des Packungs- oder Belüftungsbeckenvolumens in g C m⁻³ h⁻¹.

$$Ev = \frac{\rho_{crude}^G - \rho_{clean}^G}{V_{filter}} \cdot \dot{V}^G = \frac{\eta \cdot \rho_{crude}^G}{V_{filter}} \cdot \dot{V}^G$$

4 Prozessprinzipien

4.1 Grundlegende Fundamente

Biologische Abluftreinigungssysteme sind besonders für alle Abgasreinigungsanwendungen mit Luftschadstoffen geeignet, die leicht biologisch abbaubar sind [10, 11]. Der biologische Abbau der Luftschadstoffe wird unter aeroben Bedingungen erreicht, indem Mikroorganismen auf einem festen Trägermedium angesiedelt werden oder als aktivierter Schlamm in Waschflüssigkeit vorhanden sind.

Die wichtigsten Anforderungen für eine mögliche Anwendung biologischer Luftreinigungstechniken sind:

- Gute biologische Abbaubarkeit der Schadstoffe. Dies bedeutet, dass die biochemische Umwandlung nicht zu lange dauern darf. Andernfalls wäre die Verweilzeit in der Filterkammer oder im Wäscher zu lang, was zu sehr großen Filtervolumina führen würde. Falls die Abbaugeschwindigkeit der Substanzen unbekannt ist, werden Pilotversuche empfohlen.
- Gute Wasserlöslichkeit der Schadstoffe. Das ist wichtig, da beinahe alle biochemischen Reaktionen in einer wasserhaltigen Umgebung stattfinden.
- Eine Temperatur im mesophilen Bereich (unter besonderen Bedingungen auch im thermophilen Bereich möglich).
- Keine toxischen Gemische.

4.2 Schritte der Elimination von Schadstoffen

4.2.1 Allgemeines

Die biologische Abgasreinigung basiert auf zwei Schritten:

Eine physikalische Absorption gefolgt von der biochemischen Umwandlung von Schadstoffen durch Mikroorganismen (enzymkatalysierte Reaktionen).

Die Bakterien sind hauptsächlich in Wasser enthalten (Biowäscher) oder auf Trägerelementen fixiert (Biotricklingfilter, Biofilter).

4.2.2 Massentransferphänomene

Der Massentransfer von der Gasphase in die Flüssigphase (Absorption und Diffusion) wird durch die vereinfachte Zweifilmtheorie beschrieben [13].

Insbesondere finden die folgenden Schritte statt:

- Massentransfer zur Gas/Flüssig-Schnittstelle
- Absorption in die Flüssigphase
- Massentransfer durch die Flüssigphase zur Bakterienzelle
- Sorption und Abbau durch die Zelle

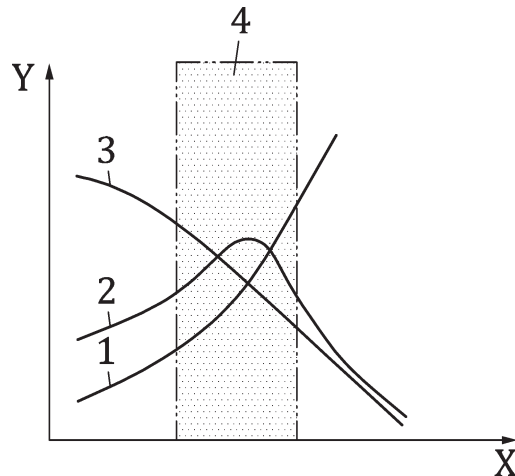
Die Antriebskraft ist der Konzentrationsgradient zwischen der Schadstoffkonzentration in der Gasphase und der Konzentration in der Flüssigphase. Üblicherweise wird dieser Prozess von der bekannten Zweifilmtheorie beschrieben [13].

4.2.3 Biochemische Umwandlung durch Mikroorganismen (enzymkatalytische Reaktion)

Zu den Faktoren, die die Reaktionsgeschwindigkeit (Abbaugeschwindigkeit) bestimmen, gehören Abbaugeschwindigkeit:

- Löslichkeit der Abgaskomponenten;
- biologische Abbaubarkeit der Abgaskomponenten;
- Konzentration und Struktur der Abgaskomponenten;
- Art, Anzahl und Aktivität der auf den entsprechenden Filtermedien angesiedelten Mikroorganismen;
- Temperatur;
- pH-Wert;
- Feuchtigkeitsinhalt des Abgases und der Filtermedien;
- Art und Konzentration von Reaktionsprodukten, die sich in den Filtermedien ansammeln.

Eine Temperaturerhöhung beschleunigt zunächst die enzymatischen und nichtenzymatischen Reaktionen (RRT-Regel). Wird die Temperatur weiter erhöht, verringert sich die Beschleunigungsrate. Bei erhöhten Temperaturen beginnen die Enzyme zu denaturieren und ihre Form zu verändern, wodurch sie ihre Funktion nicht mehr erfüllen können. Dieser entgegenwirkende Effekt verringert die Gesamtreaktionsgeschwindigkeit. Dies resultiert in dem typischen Profil enzymkatalysierter Reaktionen mit einem Temperaturoptimum (siehe Bild 1).



Legende

X	Temperatur in °C	2	Gesamtgeschwindigkeit
Y	Reaktionsgeschwindigkeit	3	Wärmedenaturierung der Enzyme
1	RRT-Funktion	4	optimaler Temperaturbereich 20 °C bis 35 °C

Bild 1 — Abhängigkeit der Reaktion von der Temperatur [1]

Wie bei allen biologischen Reinigungsprozessen (Abwasser/Abluftreinigung, Bodenschadstoffsanierung) wird die zu reinigende Substanz nach der Absorption in die Mikroorganismuszelle von den Mikroorganismen biochemisch verarbeitet und nach und nach umgewandelt, um Energie für die Zelle und Biomasse zu erzeugen. Die Abluftreinigung ist bisher immer ein aerober Prozess gewesen, d.h. die Substanzen werden durch Oxidation abgebaut – idealerweise, um die Endprodukte vollständiger Oxidation, CO₂ und H₂O sowie Sulfat und Nitrat im Fall von Schwefel- und Stickstoffkomponenten im Rohgas, zu erhalten.

Während das Abgas durch das Filterbett oder Packungsmaterial strömt, werden die Schadstoffe auf die Oberfläche der Filtermedien sorbiert, wo sie in die Medien umgebenden Flüssigkeitsfilm von Mikroorganismen abgebaut werden.

Die beteiligten Mikroorganismen sind üblicherweise ubiquitär, d.h. Mikroorganismen kommen überall in der Umgebung vor. Um sicherzugehen kann es aber nicht schaden, die Biodiversität der mikrobiellen Gemeinschaft durch Hinzufügen von Biomasse, z.B. aus Klärschlamm oder Bodenschlamm, weiter zu erhöhen. Der Abbau von Abgas wird von einer Bakteriengruppe dominiert. Alle beteiligten Mikroorganismen haben die Fähigkeit, sich an große Veränderungen in der Nährstoffzufuhr anzupassen, wobei dies manchmal etwas dauern kann. Organische Kohlenstoffgemische werden beispielsweise zu harmlosen Produkten mineralisiert, idealerweise über Biooxidation mit Luftsauerstoff zu Kohlenstoffdioxid und Wasser. Üblicherweise sind viele verschiedene Arten von Mikroorganismen an den biologischen Abbauprozessen beteiligt.

Eine veränderte Substratzufuhr führt zu Änderungen in der Zusammensetzung der mikrobiellen Population, ohne die Systemleistung zu beeinträchtigen. Ein wichtiger Faktor für biologischen Abbau ist ein relativ konstanter pH-Wert zwischen 5,5 und 9. Für besondere Anwendungen, z.B. Elimination von Schwefelwasserstoff, wird gelegentlich ein pH-Bereich von 2 bis 3 angewandt. Der optimale Bereich für einen stabilen Transfer biologischer Masse muss bei der Konstruktion des Systems definiert werden. Im Fall von Abweichungen von den bei der Konstruktion festgelegten pH-Werten kann die Aktivität der Mikroorganismen sinken.

Eine ausreichende Wasserversorgung ist für die Funktion der biologischen Abbauprozesse unerlässlich. Außerdem ist das Vorhandensein von Wasser als Massentransfermittel eine grundsätzliche Voraussetzung für alle biologischen Abbauprozesse. Aus diesem Grund ist das Wassergleichgewicht / der Massentransfer in den Filtermedien von wesentlicher Bedeutung.

Der bevorzugte Betriebstemperaturbereich von Biofiltern ist der sogenannte mesophile Temperaturbereich (etwa 20 °C bis 35 °C).

Die im mikrobiellen Abbau von organischen Kohlenstoffgemischen beteiligten Prozesse finden im neutralen bis schwach sauren pH-Bereich statt. Der Effekt der End- und Zwischenprodukte des biologischen Abbaus wird üblicherweise von den Filtermedien ausgeglichen.

Biologische Systeme sind außerdem für maximale Leistung auf eine ausgewogene Nährstoffzufuhr angewiesen. Abgesehen von Kohlenstoff benötigen Mikroorganismen für ihren Stoffwechsel Stickstoff, Phosphat, Schwefel und Spurenelemente.

Konsistente optimale Leistung der Mikroorganismen ist nur gewährleistet, wenn die Umgebungsbedingungen im Filterbett im Hinblick auf die oben genannten Faktoren innerhalb enger Grenzen kontrolliert werden. Da Mikroorganismen von Änderungen in ihrer Umgebung beeinflusst werden, können sie nach der Biofilteraktivierung oder Änderungen der Betriebsbedingungen einige Zeit zur Adaption benötigen, bevor sie ihre volle Aktivität erreichen.

Die Nettoumwandlung von Schadstoffen im Filterbett wird von der Reaktionsgeschwindigkeit, der Verweilzeit des Gases im Biofilter und der Schadstoffkonzentration im Rohgas bestimmt. Wenn die biologischen Reaktionen relativ schnell ablaufen und die zu entfernenden Schadstoffe schwer löslich sind, können die Transportprozesse der Reaktionspartner von der Gasphase zur inneren Oberfläche der Filtermedien die Geschwindigkeit begrenzen.

Die Geschwindigkeit der biologischen Reaktionen und der Transportprozesse der Reaktionspartner sind temperaturabhängig. Im Temperaturbereich von etwa 5 °C bis etwa 40 °C erhöht sich die Reaktionsgeschwindigkeit in der Regel mit ansteigender Temperatur. Oberhalb der sogenannten Optimaltemperatur kann sie jedoch aufgrund von Enzymdeaktivierung stark abfallen.

Es sollte erwähnt werden, dass es auch Mikroorganismen gibt, die bei höheren Temperaturen gedeihen (thermophile Bakterien). Solche Systeme müssen jedoch sorgfältig konstruiert werden. Ein Wechsel zwischen mesophilen und thermophilen Bedingungen sollte unter allen Umständen vermieden werden.

Faktoren, die die Verweilzeit beeinflussen, umfassen den Gasvolumenstrom, das Schüttvolumen und das Porenvolumen des Filterbetts. Da physikalische und chemische Daten, wie z. B. kinetische Konstanten und effektive Diffusionskoeffizienten, nur für sehr wenige Kombinationen von Filtermedien und Schadstoffen verfügbar sind, werden Biofiltersysteme auf Basis von in angemessen dimensionierten Pilotanlagen durchgeführten Pilotprüfungen dimensioniert und konstruiert.

Übermäßiger Schadstoffmassenstrom und/oder Sauerstoffmangel führen zu unvollständigem Schadstoffabbau und der Ansammlung von Zwischenprodukten (z. B. Bildung von Säure bei der Umwandlung von Alkoholen oder Aldehyden).

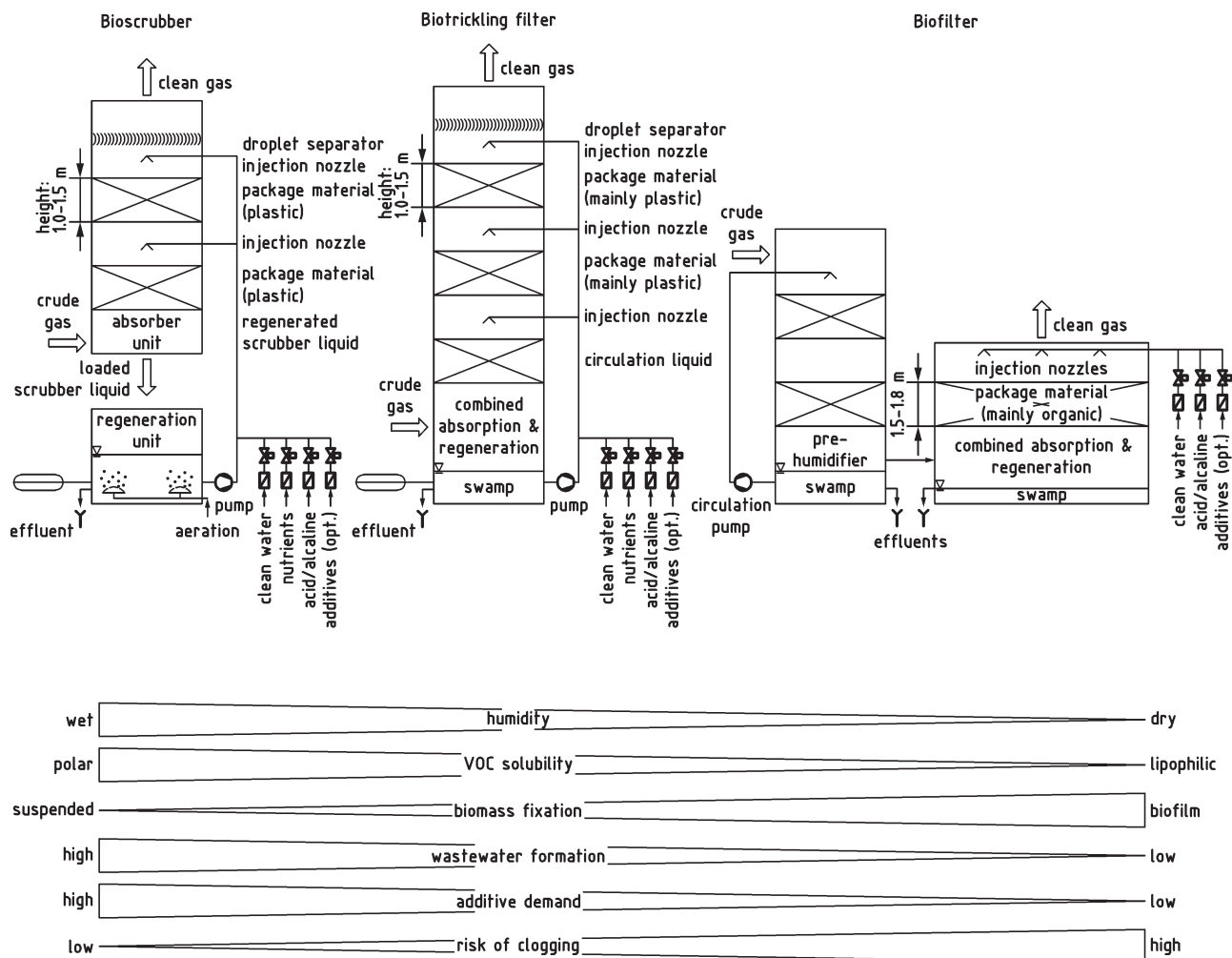
Die Pilotprüfungen sollten über einen ausreichend langen Zeitraum durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass das Abgas keine Substanzen enthält, die die Mikroorganismen voraussichtlich hemmen, z. B. SO₂. Je nach Anwendung müssen solche Substanzen aus dem Einlassgasstrom entfernt werden, z. B. in einer separaten vorgelagerten Reinigungsphase, bevor sie die biologische Abbaureinigung erreichen. Das gleiche gilt für Aerosole, Staub und Fette, die dazu neigen, das Filtermaterial zu verstopfen oder zu verunreinigen.

Zusätzliche Nährstoffzufuhr während Abschaltungsphasen – selbst im Fall von längeren Abschaltungen – ist nicht erforderlich, solange die Mikroorganismen die nötigen Nährstoffe über die Trägermedien erhalten können. Umgekehrt muss für den Fall von hohen Kohlenstoffbelastungen des zu reinigenden Abgases und/oder niedrigem Nährstoffgehalt der Filtermedien das C:N:P-Verhältnis ausreichend beachtet werden.

Die zur Abgasreinigung verwendeten Mikroorganismen sind sogenannte organo-heterotrophe Mikroorganismen. Bezüglich der biochemischen Reaktion kann angenommen werden, dass je nach Gemischart die Abbaugeschwindigkeit entweder als Reaktion nullter Ordnung oder als Reaktion erster Ordnung beschrieben werden kann.

4.2.4 Klassifizierung der Techniken

Beruhend auf unterschiedlichen Betriebsprinzipien gibt es momentan drei verschiedene Arten von biologischen Abluftreinigungssystemen (siehe Bild 2). Die Auswahl des Anlagentyps hängt von diversen Parametern, wie z. B. der Schadstoffart, der Wasserlöslichkeit und der Abbaugeschwindigkeit der Substanzen, Platzanforderungen usw., ab.



Legende

- | | |
|--|---|
| 1 Biowäscher | 16 Kombinierte Absorber- und Regenerationseinheit |
| 2 Biotricklingfilter | 17 Vorbefeuchter |
| 3 Biofilter | 18 Injektionsventil für Tröpfchenseparator |
| 4 Reingas | 19 Packungsmaterial (Kunststoff) |
| 5 Höhe des Packungsmaterials 1,0–1,5 m | 20 Injektionsventil |
| 6 Rohgas | 21 Packungsmaterial (Kunststoff) |
| 7 Höhe des Packungsmaterials 1,5–1,8 m | 22 Regenerierte Waschflüssigkeit |
| 8 Abwasser | 23 Packungsmaterial (größtenteils Kunststoff) |
| 9 Pumpe | 24 Packungsmaterial (größtenteils Kunststoff) |
| 10 Umlaufpumpe | 25 Umlaufflüssigkeit |
| 11 Belüftung | 26 Packungsmaterial (größtenteils organisch) |
| 12 Belastete Waschflüssigkeit | 27 Reinwasser |
| 13 Sumpf | 28 Nährstoffe |
| 14 Absorbereinheit | 29 Säure/Basen |
| 15 Regenerationseinheit | 30 Zusatzstoffe (optional) |

Bild 2 — Arten von biologischen Luftreinigungssystemen

Der wesentliche Unterschied liegt darin, ob der biologische Abbau von suspendierten Mikroorganismen (Biowäscher) oder an Oberflächen fixierten Mikroorganismen (Biofilter und Biotricklingfilter) durchgeführt wird.

Die beiden letzteren Techniken unterscheiden sich entweder durch permanentes Berieseln im Fall von Biotricklingfiltern oder gelegentlichem Berieseln im Fall von Biofiltern.

Im Folgenden werden die drei verschiedenen Arten mit ihren Vor- und Nachteilen näher beschrieben.

4.3 Planungsparameter

Die VOC-Konzentration muss durch biologische Prozesse mindestens auf nationale Emissionsgrenzen reduziert werden. Im Fall von VOC-Elimination basiert die Auslegung der Anlagen in der Regel auf der Eliminationsleistung und liegt im Bereich von $10 \text{ g C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ bis hin zu $100 \text{ g C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ im Fall von Biotricklingfiltern und Biofiltern und 20 bis hin zu $200 \text{ g C m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ im Fall von Biowäschern.

4.4 Biofilter

4.4.1 Allgemeine Beschreibung

Diese seit 40 Jahren weithin bekannte Technologie ist die häufigste in Europa [8]. Bei dieser Methode wird festes und biologisch aktives Filtermaterial basierend auf organischen Substanzen verwendet (siehe unten).

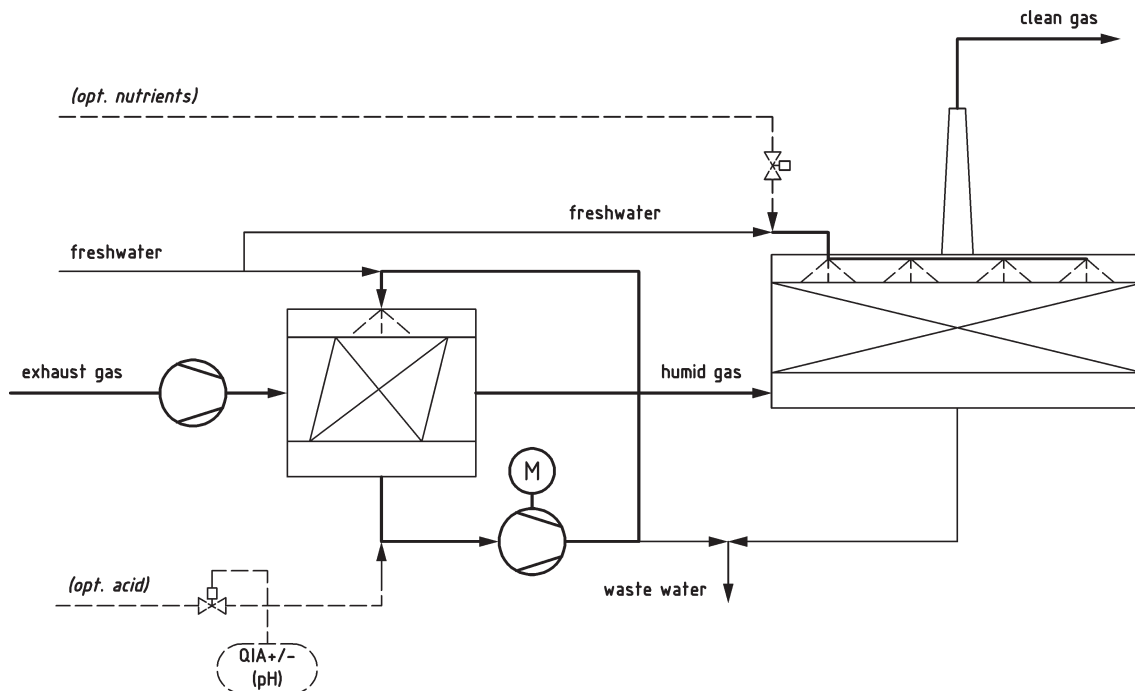
Während das Abgas durch das Filterbett strömt, werden die Schadstoffe auf die Oberfläche des Filtermaterials sorbiert, wo sie im die Medien umgebenden flüssigen Film von Mikroorganismen abgebaut werden.

Wie schon erwähnt sind die beteiligten Mikroorganismen üblicherweise ubiquitär, d. h. Mikroorganismen kommen überall in der Umgebung vor. Die Hauptvertreter gehören zu unterschiedlichen Bakteriengattungen, die auf komplizierte Art und Weise miteinander interagieren und eine sogenannte Biozönose bilden.

Eine veränderte Substratzufuhr kann zu Änderungen in der Zusammensetzung der mikrobiellen Population führen, ohne die Systemleistung zu beeinträchtigen.

Der Biofilter wird üblicherweise mit einem vorgelagerten Wäscher kombiniert, wobei es sich häufig um einen Biowäscher (siehe Bild 3) oder einen chemischen Wäscher handelt.

Biofilter können offen und geschlossen konstruiert werden. Die offene Konstruktion wird häufig für Geruchsbehandlungsanwendungen verwendet, z. B. Luftreinigung in Abwasserreinigungsanlagen, Kompostieranlagen [6] und Landwirtschaft ([1], [7]). In den letzten Jahren haben sich geschlossene Biofilter (siehe Bild 5) als vorteilhafter erwiesen. Wettereffekte werden vermieden und feinere Filtermaterialien mit größerer spezifischer Oberfläche und höherer Aktivität der Mikroorganismen können genutzt werden. Außerdem kann das Abgas gesammelt und über einen Kamin abgegeben werden. Daher werden sie häufig in Industrieanwendungen genutzt.



Legende

- | | |
|------------------------|----------------|
| 1 Optionale Nährstoffe | 6 feuchtes Gas |
| 2 Frischwasser | 7 Abwasser |
| 3 Abgas | 8 Reingas |
| 4 Optionale Säure | M Motor |
| 5 Bediengerät | |

Bild 3 — Schema eines geschlossenen Biofilters

4.4.2 Allgemeine Beschreibung des Verfahrens

Um die Durchströmung von Gasen durch poröses Material zu beschreiben, müssen einige vereinfachte Annahmen getroffen werden:

Zuerst wird angenommen, dass der Gasstrom durch die Medien stabil und isotherm ist. Das bedeutet, dass die Durchströmungsgeschwindigkeit an allen einzelnen Punkten auf jeder Strömungslinie im Filter mit der Zeit nicht variiert.

Für einen konstant betriebenen Biofilter bietet diese Annahme eine gute Annäherung.

Zweitens wird die Filterbetttemperatur als größtenteils konstant angenommen. Temperaturvariationen basierend auf Kondensationsprozessen oder biochemischen Reaktionen werden zunächst vernachlässigt. Außerdem wird angenommen, dass der Strömungszulauf über den gesamten Filterquerschnitt gleichmäßig ist.

Drittens wird der Gasstrom durch das Bett des Biofilters als inkompressibel behandelt.

Die Mikroorganismen siedeln sich auf natürlichem organischen Material an. Die Auswahl des richtigen Materials hängt von mehreren Parametern ab, darunter die biologische Aktivität des Materials (Anzahl an Mikroorganismen), Druckverlust, pH-Wert, spezifische Oberfläche, Betriebszeit, essentielle Nährstoffe im Material etc.

Typische verwendete Trägermedien sind organische Materialien, wie z. B. gehacktes Holz und Holzrinde, Wurzelholz, Bioabfallkompost, Holzrinde oder andere Quellen, Fasertorf und Heidekraut, die miteinander oder mit anderen strukturgebenden Materialien kombiniert werden können. Materialien mit hohem Wirkungsgrad sind in der Regel komplexe Mischungen aus verschiedenen einzelnen Materialien.