

DIGIT~Bio~TECH



LO7 UMWELTNUTZEN DURCH MODERNE BIOTECHNOLOGIE UND IKT-ANWENDUNGEN

Basisniveau

AUTOR:

DIANA DI GIOIA



Inhalt

Erneuerbare Energien: Biotechnologie für die Biogas- und Bioethanolproduktion	3
Biogas.....	3
Bioethanol	8
Biotechnologie zur Altlastensanierung	15
Abwasser	15
Kontaminierte Böden	23
STÄRKEN und SCHWÄCHEN von Bioremediation-Technologien	30
Verweise.....	31



Erneuerbare Energien: Biotechnologie für die Biogas- und Bioethanolproduktion

Aktuelle Aktualisierungen der Gesetzgebung zu erneuerbaren Energien → Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Der Klima- und Energierahmen 2030 umfasst EU-weite Ziele und politische Ziele für den Zeitraum von 2021 bis 2030. Die wichtigsten Ziele sind:

- *Reduzierung der CO₂-Emissionen (von 1990) um 40%*
- *Steigerung der erneuerbaren Energiequellen um 32%*
- *Verbesserung der Energieeffizienz um 32,5%*

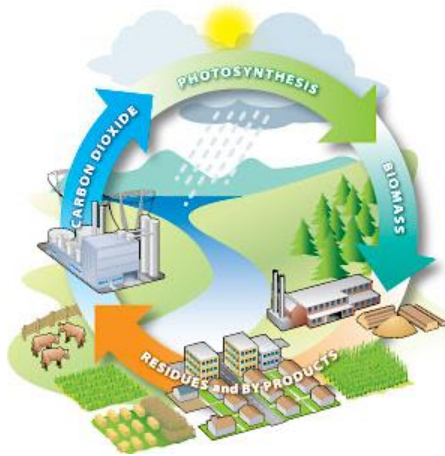
BIOGAS

Biogas ist das Gasmisch, das beim Abbau organischer Stoffe in Abwesenheit von Sauerstoff (anaerob) entsteht und hauptsächlich aus Methan und Kohlendioxid besteht. Biogas kann aus Rohstoffen wie landwirtschaftlichen Abfällen, Gülle, Siedlungsabfällen, Pflanzenmaterial, Abwasser, Grünabfällen oder Lebensmittelabfällen hergestellt werden. Biogas ist ein erneuerbarer Energieträger (Abb. 1). Biogas gilt als erneuerbarer Rohstoff, da sein Produktions- und Nutzungszyklus kontinuierlich ist und kein Netto-Kohlendioxid erzeugt wird. Wenn das organische Material wächst, wird es umgewandelt und verwendet. Es wächst dann in einem sich ständig wiederholenden Zyklus nach. Aus Sicht des Kohlenstoffs wird beim Wachstum der primären Bioressource so viel Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufgenommen, wie bei der letztendlichen Umwandlung des Materials in Energie freigesetzt wird.

Biogas entsteht durch anaerobe Vergärung mit methanogenen oder anaeroben Organismen, die organische Stoffe in einem geschlossenen System abbauen, oder durch Fermentation von biologisch abbaubaren Stoffen. Dieses geschlossene System wird als anaerober Fermenter oder Biodigester bezeichnet.



2019-1-BG01-KA203-062371



Components	% (dry gas)
Methane (CH ₄)	50-80
Carbondioxide (CO ₂)	35-45
Sulphide (H ₂ S)	0.02-0.2
Water Vapour	saturation
Hidrogen, Ammonia	traces
Oxigen, Nitrogen	traces

Abb. 1. Kreislauf der erneuerbaren Energien **Abb. 2. Hauptkomponenten des Biogases**

Biogas besteht hauptsächlich aus Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂) und kann geringe Mengen an Schwefelwasserstoff (H₂S) und Feuchtigkeit enthalten (Abb. 2). Nach der Reinigung von H₂S und Feuchtigkeit kann das Biogas zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Auf diese Weise kann Biogas in einem Blockheizkraftwerk (einer Art Gasmotor) genutzt werden, um die im Gas enthaltene Energie in Strom und Wärme umzuwandeln.

Methan aus Biogas (nach CO₂-Elimination) kann als Brennstoff und für beliebige Heizzwecke verwendet werden. Biogas kann daher gereinigt und auf Erdgasstandard aufbereitet werden, wenn es zu Biomethan wird.

Biogas kann aus den unterschiedlichsten Rohstoffen (Rohstoffen) hergestellt werden. Die größte Rolle im Biogas-Produktionsprozess spielen Mikroben, die sich von der Biomasse ernähren (Details im zugehörigen Power Point). Geeignete Materialien für die Biogasproduktion sind:

- biologisch abbaubare Abfälle aus Betrieben und Industrieanlagen, wie z.B. Laktoseüberschuss aus der Herstellung laktosefreier Milchprodukte
- verdorbenes Essen aus Geschäften
- Bioabfälle, die von Verbrauchern erzeugt werden
- Schlamm aus Kläranlagen
- Gülle und Feldbiomasse aus der Landwirtschaft



2019-1-BG01-KA203-062371

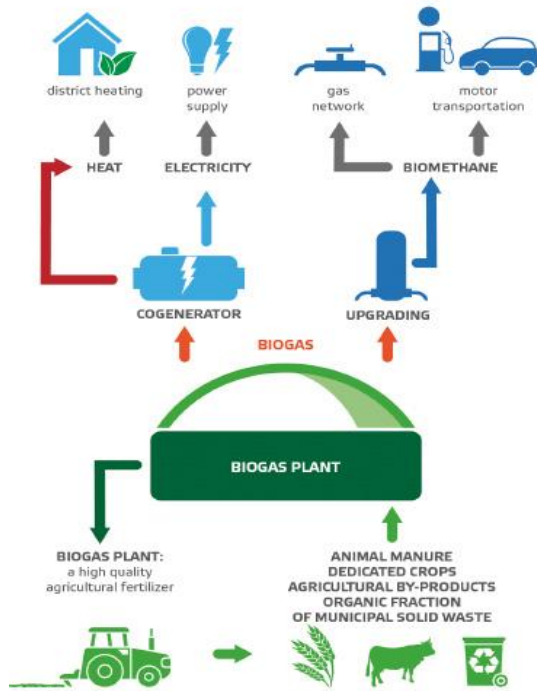


Abb. 3. Schema einer Biogasanlage

Die Anlieferung des Materials in die Annahmegrube der Biogasanlage erfolgt in der Regel per LKW oder Entsorgungsfahrzeug. Eine Anlieferung von Feststoffen wie Bioabfall wird anschließend zerkleinert, um eine möglichst gleichmäßige Konsistenz zu erreichen. An dieser Stelle wird auch nährstoffhaltiges Wasser, das aus einer weiteren Stufe des Produktionsprozesses gewonnen wird, mit dem Einsatzstoff vermischt, um den Feststoffanteil auf nur noch etwa ein Zehntel des Gesamtvolumens zu reduzieren.

Dies ist auch der Fall, wenn unerwünschter, nicht biologisch abbaubarer Abfall, wie Verpackungsmüll oder veraltete Lebensmittelabfälle aus Geschäften, aus dem Gemisch getrennt werden. Dieser Abfall wird einer Abfallbehandlungsanlage zugeführt, wo er zur Erzeugung von Wärme und Strom verwendet wird. Die aufgeschlammte Biomasse wird mit der als Gülle in die Biogasanlage gelieferten Biomasse kombiniert und in den Vorgärtank gepumpt, wo von Bakterien abgesonderte Enzyme die Biomasse noch feiner zerlegen. Ein Schema einer Biogasanlage ist in Abb. 3 dargestellt.

Biomethane potential of different by-products

By-products	Biomethane potential (55% biogas) MNm ³ /year
Cattle waste	809,6
Pig waste	190
Slaughter waste	65,7
Crop residues and waste	1541
Agro-food industry by-products	598
FORSU (organic fraction of municipal solid waste)	561,7
Total	3766

Abb. 4. Biomethanpotenzial verschiedener Nebenprodukte

Die bei der Biogasproduktion anfallenden Reststoffe an Feststoffen und Flüssigkeiten werden als Gärreste bezeichnet. Dieser Gärrest gelangt in einen Nachgärreaktor und von dort weiter in Lagertanks. Gärreste eignen sich gut für Anwendungen wie die Düngung von Feldern. Gärreste können auch zentrifugiert werden, um die festen und flüssigen Anteile zu trennen.

Feste Gärreste werden als Düngemittel in der Landwirtschaft oder im Landschaftsbau verwendet und können durch einen Reifungsprozess mit Kompostierung auch zu Gartenerde verarbeitet werden.

Gärreste werden zu Beginn des Prozesses zentrifugiert, um Prozesswasser für die Aufschlammung von Bioabfällen zu gewinnen. Dies hilft, den Verbrauch von sauberem Wasser zu reduzieren. Die zentrifugierte Flüssigkeit ist reich an Nährstoffen, insbesondere Stickstoff, die mit Methoden wie der Stripptechnik

2019-1-BG01-KA203-062371

weiter abgetrennt und als Düngemittel oder Nährstoffquelle in industriellen Prozessen verwendet werden können. Methan, das möglicherweise aus verschiedenen Nebenprodukten/Abfällen gewonnen werden kann, ist in Abb. 4 dargestellt.

Stufen der Biogasproduktion. Die anaerobe Vergärung ist ein mehrstufiger Prozess, bei dem die Hydrolyse einer der Hauptschritte ist. Während der Hydrolyse werden die komplexen unlöslichen Substratmakromoleküle von Bakterien zu einfacheren und besser löslichen Zwischenprodukten hydrolysiert. Eine große Anzahl mikrobieller Spezies ist in der Lage, im Zusammenspiel organische Substrate wie Kohlenhydrate, Proteine und Lipide zu nutzen, um flüchtige Fettsäuren (VFAs) zu produzieren, die von methanogenen Mikroorganismen in Methan und Kohlendioxid umgewandelt werden können. Bakterien scheiden Enzyme aus, die das partikuläre Substrat zu kleinen transportablen Molekülen hydrolysieren, die die Zellmembran passieren können. Im Inneren der Zelle werden diese einfachen Moleküle verwendet, um Energie bereitzustellen und Zellbestandteile zu synthetisieren. Polysaccharide werden in Einfachzucker umgewandelt; Hydrolyse von Cellulose durch Cellulase-Enzyme ergibt Glucose. Der Abbau von Hemicellulose führt zu Monosacchariden wie Xylose, Glucose, Galactose, Pentosen, Arabinose und Mannose, während Stärke durch Amylaseenzyme in Glucose umgewandelt wird. Ein Schema des Verfahrens und Beispiele für beteiligte Mikroorganismen wird unten dargestellt (Abb. 5).

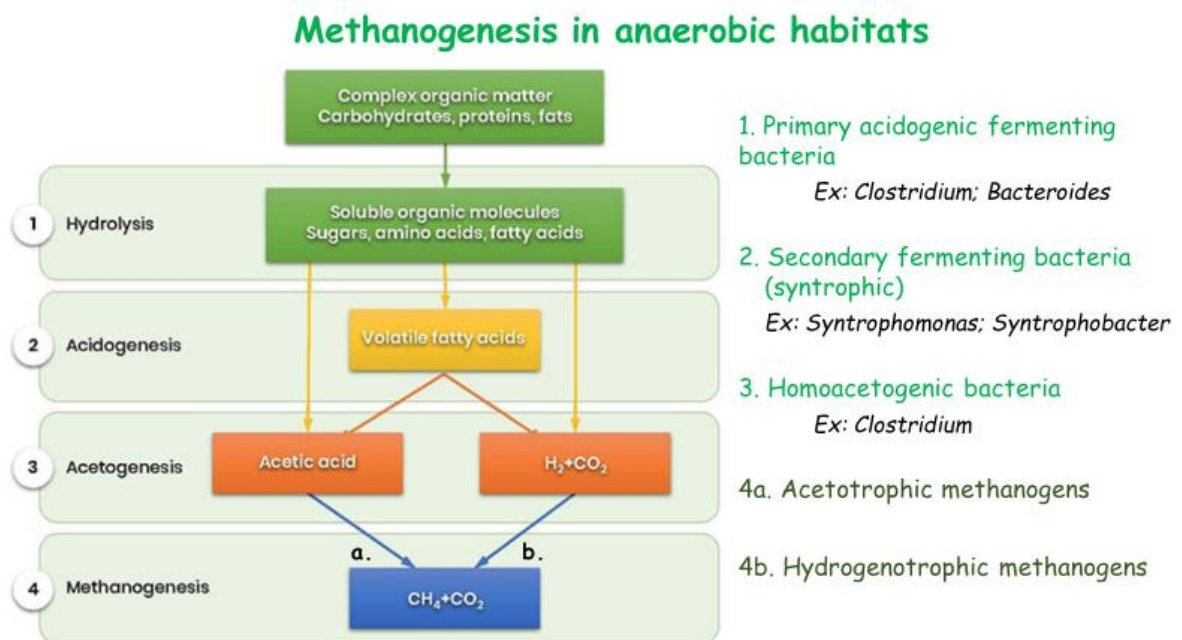


Abb. 5. Methanogenese in anaeroben Lebensräumen



2019-1-BG01-KA203-062371

Methanogene sind Archea. Sie können in verschiedenen Lebensräumen leben und sind eine heterogene Gruppe von Mikroorganismen. Ihnen fehlen Zellkerne und sie sind daher Prokaryonten. Archaeen wurden ursprünglich als Bakterien klassifiziert und erhielten den Namen Archaeobacteria (im Reich der Archaeobacteria), aber dieser Begriff ist nicht mehr verwendet worden. Archaeenzellen haben einzigartige Eigenschaften, die sie von den anderen beiden Domänen, Bakterien und Eukaryoten, unterscheiden. Archaea werden weiter in mehrere anerkannte Stämme unterteilt. Eine Klassifizierung ist schwierig, da die meisten nicht im Labor isoliert wurden und nur anhand ihrer Gensequenzen in Umweltproben nachgewiesen wurden. Archaeen und Bakterien sind im Allgemeinen in Größe und Form ähnlich, obwohl einige Archaeen sehr unterschiedliche Formen haben. Trotz dieser morphologischen Ähnlichkeit mit Bakterien, Archaea besitzen Gene und mehrere Stoffwechselwege, die denen von Eukaryoten näher verwandt sind, insbesondere für die an der Transkription und Translation beteiligten Enzyme. Andere Aspekte der Archaeenbiochemie sind einzigartig, wie beispielsweise ihre Abhängigkeit von Etherlipiden in ihren Zellmembranen. Archaeen verbrauchen mehr Energiequellen als Eukaryoten: Diese reichen von organischen Verbindungen wie Zucker über Ammoniak, Metallionen bis hin zu Wasserstoffgas. Salztolerante Archaeen (die Haloarchaea) verwenden Sonnenlicht als Energiequelle, und andere Archaeenarten fixieren Kohlenstoff, aber im Gegensatz zu Pflanzen und Cyanobakterien tut keine bekannte Archaeenart beides. Archaea vermehren sich ungeschlechtlich durch binäre Spaltung, Fragmentierung oder Knospung; im Gegensatz zu Bakterien bilden keine bekannten Archaea-Arten Endosporen. Die ersten beobachteten Archaeen waren Extremophile, die in extremen Umgebungen lebten, wie heiße Quellen und Salzseen ohne andere Organismen. Verbesserte molekulare Erkennungswerkzeuge führten zur Entdeckung von Archaeen in fast jedem Lebensraum, einschließlich Boden, Ozeanen und Marschland. Archaeen sind in den Ozeanen besonders zahlreich, und die Archaeen im Plankton könnten eine der am häufigsten vorkommenden Organismengruppen auf dem Planeten sein. Archaeen sind ein wichtiger Bestandteil des Lebens auf der Erde. Sie sind Teil der Mikrobiota aller Organismen. Im menschlichen Mikrobiom sind sie im Darm, Mund und auf der Haut wichtig. Ihre morphologische, metabolische und geografische Vielfalt ermöglicht es ihnen, mehrere ökologische Rollen zu spielen: Kohlenstoffbindung, Stickstoffkreislauf, Umsatz organischer Verbindungen und Aufrechterhaltung mikrobieller symbiotischer und syntrophischer Gemeinschaften sowie Methanbildung. Verbesserte molekulare Erkennungswerkzeuge führten zur Entdeckung von Archaeen in fast jedem Lebensraum, einschließlich Boden, Ozeanen und Marschland.

Substrate für die Methanogenese sind eine große Auswahl und sie sind unten aufgeführt.



2019-1-BG01-KA203-062371

Substrates transformed into methane	$\Delta G^{0'}$ (kJ mol/CH ₄)	Microorganisms	
CO ₂ + 4H ₂	- 135	The majority of methanogens	Hydrogenotrophs
Formate	- 281	The majority of methanogens that uses CO ₂ + 4H ₂	
CO	- 196	Methanobacterium and Methanosarcina	
Methanol	- 105	Methanosarcina and other methylotrophic archaea	Methylothrophs
Methanol + H ₂	- 113	Methanosphaera stadtmaniae and cuniculi	
Trimethylamine/methylamine /dimethylamine	- 76	Methanosarcina and other methanogens	Acetothrophs
Dimethylsulphyde	- 49	Some methylotrophic methanogens	
Acetate	- 31	Methanosarcina and Methanosaeta	

Abb. 6. Substrate für die Methanogenese

BIOETHANOL

Der Einsatz von Bioethanol in Europa wird beschrieben und die wichtigsten zur Bioethanolproduktion eingesetzten Mikroorganismen (Hefen und Bakterien) werden vorgestellt und deren Leistungen verglichen.

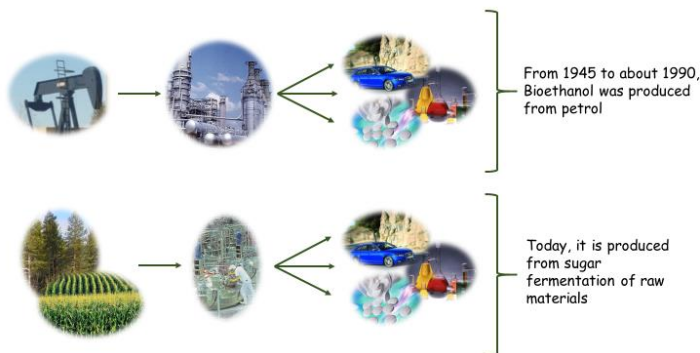


Abb. 7. Ethanol vs. Bioethanolproduktion

Ethanol wird häufig als Lösungsmittel, Reagens, in der Lebensmittelindustrie und als Kraftstoff verwendet (Abb. 7 und 8). Die Herstellung von Ethanol durch Fermentation basiert auf der Verwendung von Rohstoffen, Mikroorganismen und Technologien, die sich von denen für die Herstellung von alkoholischen Getränken (Wein und Bier) unterscheiden, um die maximale Ausbeute an Ethanol in kürzester Zeit und mit dem niedrigsten Kosten. 95% der weltweiten

Ethanolproduktion sind BIOETHANOL (Zuckerfermentationsverfahren), während nur 5% durch den chemischen Prozess der Reaktion von Ethylen mit Wasserdampf hergestellt werden.



2019-1-BG01-KA203-062371

Renewable ethanol is manufactured in a biorefinery by fermenting sugars into alcohol. In the EU, these sugars typically come from a variety of agricultural sources such as wheat, corn, barley, rye, triticale, and sugar beet. The majority of renewable ethanol biorefineries are built to specifically process either grains or sugar beets. Currently, the most commonly used feedstocks in Europe are corn, sugar beet and wheat.

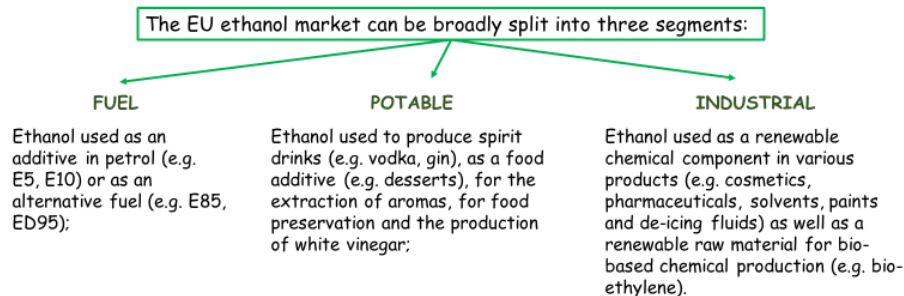


Abb. 8. Verwendung von Bioethanol auf dem EU-Markt

Bioethanol ist der Hauptkraftstoff, der als Benzinersatz für Straßenfahrzeuge verwendet wird. Ethanol oder Ethylalkohol (C_2H_5OH) ist eine klare, farblose Flüssigkeit, biologisch abbaubar, wenig toxisch und verursacht beim Verschütten nur eine geringe Umweltbelastung. Ethanol verbrennt unter Bildung von Kohlendioxid und Wasser. Ethanol ist ein Kraftstoff mit hoher Oktanzahl und hat Blei als Oktanzahlverbesserer in Benzin ersetzt. Durch die Beimischung von Ethanol zu Benzin können wir auch das Kraftstoffgemisch mit Sauerstoff anreichern, damit es vollständiger verbrennt und die Schadstoffemissionen reduziert werden. Ethanol-Kraftstoffmischungen werden in den Vereinigten Staaten weit verbreitet verkauft. Die gebräuchlichste Mischung ist 10% Ethanol und 90% Benzin (E10). Fahrzeugmotoren erfordern keine Modifikationen, um mit E10 zu laufen, und die Fahrzeuggarantien sind ebenfalls nicht betroffen. Nur Fahrzeuge mit flexiblem Kraftstoff können mit bis zu 85% Ethanol und 15% Benzinmischungen (E85) betrieben werden.

Die wichtigsten **Zuckerquellen**, die für die Ethanolproduktion benötigt werden, stammen aus Kraftstoff- oder Energiepflanzen. Diese Pflanzen werden speziell für die Energienutzung angebaut und umfassen Mais-, Mais- und Weizenpflanzen (1. Generation Bioethanol), Abfallstroh, Weiden und beliebte Bäume, Wald- und Agrarabfälle, Reststoffe aus der Zellstoffproduktion, feste Siedlungsabfälle (2. Generation Bioethanol), 3. Generation Bioethanol wurde aus Algenbiomasse einschließlich Mikroalgen und Makroalgen gewonnen (Abb. 9).

2019-1-BG01-KA203-062371

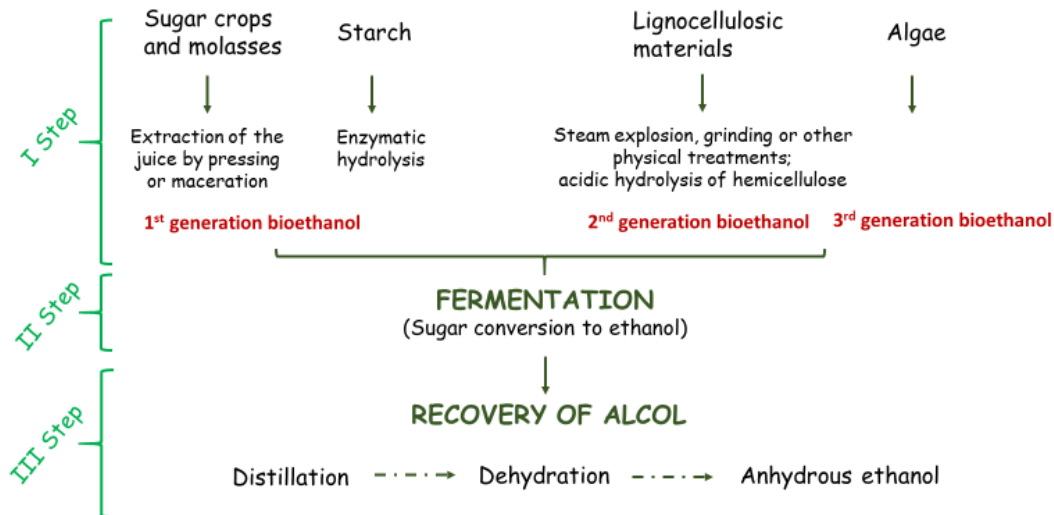


Abb. 9. Bioethanol der ersten, zweiten und dritten Generation

Vorteile von Bioethanol. Bioethanol hat gegenüber herkömmlichen Kraftstoffen eine Reihe von Vorteilen. Es stammt aus einer erneuerbaren Ressource, dh aus Pflanzen und nicht aus einer endlichen Ressource, und die Pflanzen, aus denen es gewonnen wird, können in Europa gut wachsen (wie Getreide, Zuckerrüben und Mais). Ein weiterer Vorteil gegenüber fossilen Brennstoffen sind die Treibhausgasemissionen. Auf das Straßenverkehrsnetz entfallen 22% aller Treibhausgasemissionen, und durch die Verwendung von Bioethanol werden einige dieser Emissionen reduziert, da die Kraftstoffpflanzen das CO₂ absorbieren, das sie durch den Anbau emittieren. Außerdem wird die Beimischung von Bioethanol zu Benzin dazu beitragen, die Lebensdauer der schwindenden Ölvorräte zu verlängern und eine größere Kraftstoffsicherheit zu gewährleisten, wodurch eine starke Abhängigkeit von ölproduzierenden Nationen vermieden wird. Durch die Förderung des Einsatzes von Bioethanol würde auch die ländliche Wirtschaft durch den Anbau der notwendigen Pflanzen angekurbelt. Bioethanol ist zudem biologisch abbaubar und weit weniger giftig als fossile Brennstoffe. Darüber hinaus kann die Verwendung von Bioethanol in älteren Motoren dazu beitragen, die vom Fahrzeug produzierte Kohlenmonoxidmenge zu reduzieren und so die Luftqualität zu verbessern. Ein weiterer Vorteil von Bioethanol ist die einfache Integration in das bestehende Kraftstoffsystem des Straßenverkehrs. Bioethanol kann in Mengen bis zu 5% konventionellem Kraftstoff ohne Motormodifikationen beigemischt werden.

Bioethanol kann aus Biomasse durch Hydrolyse- und Zuckerfermentationsverfahren hergestellt werden. Biomasseabfälle enthalten ein komplexes Gemisch von Kohlenhydratpolymeren aus den



2019-1-BG01-KA203-062371

pflanzlichen Zellwänden wie Zellulose, Hemizellulose und Lignin. Um aus der Biomasse Zucker herzustellen, wird die Biomasse mit Säuren oder Enzymen vorbehandelt, um die Größe des Einsatzmaterials zu reduzieren und die Pflanzenstruktur aufzubrechen. Die Zellulose und die Halbzelluloseanteile werden durch Enzyme oder verdünnte Säuren zu Saccharosezucker abgebaut (hydrolysiert), der dann zu Ethanol fermentiert wird. Das Lignin, das auch in der Biomasse enthalten ist, wird normalerweise als Brennstoff für die Kessel der Ethanolproduktionsanlagen verwendet.

Es gibt drei prinzipielle Methoden, Zucker aus Biomasse zu extrahieren: konzentrierte Säurehydrolyse, verdünnte Säurehydrolyse und enzymatische Hydrolyse. Die erste funktioniert durch Zugabe von 70-77% Schwefelsäure zu der Biomasse, die auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 10% getrocknet wurde. Die Säure wird im Verhältnis von 1,25 Säure zu 1 Biomasse zugegeben und die Temperatur wird auf 50°C kontrolliert. Dann wird Wasser zugegeben, um die Säure auf 20-30% zu verdünnen, und die Mischung wird erneut 1 Stunde lang auf 100°C erhitzt. Das aus dieser Mischung hergestellte Gel wird dann gepresst, um eine saure Zuckermischung freizusetzen, und eine Chromatographiesäule wird verwendet, um die Säure- und Zuckermischung zu trennen. Das Verfahren der verdünnten Säurehydrolyse ist eines der ältesten, einfachsten und effizientesten Verfahren zur Herstellung von Ethanol aus Biomasse. Verdünnte Säure wird verwendet, um die Biomasse zu Saccharose zu hydrolysieren. Die erste Stufe verwendet 0,7% Schwefelsäure bei 190°C zur Hydrolyse der in der Biomasse enthaltenen Hemicellulose. Die zweite Stufe wird optimiert, um die widerstandsfähigere Cellulosefraktion zu erhalten. Dies wird durch den Einsatz von 0,4%iger Schwefelsäure bei 215°C erreicht. Die flüssigen Hydrolate werden dann neutralisiert und aus dem Verfahren gewonnen. Anstatt die Biomasse mit Säure zu Saccharose zu hydrolysieren, können wir die Biomasse auf ähnliche Weise mit Enzymen abbauen.

Mais, eine der landwirtschaftlich wichtigsten Quellen zur Gewinnung von Ethanol, kann entweder durch Trockenmahlen oder Nassmahlen zu Ethanol verarbeitet werden. Beim Nassmahlverfahren wird das Maiskorn in warmes Wasser eingeweicht, dies hilft, die Proteine aufzubrechen und die im Mais vorhandene Stärke freizusetzen und hilft, das Korn für den Mahlprozess aufzuweichen. Der Mais wird dann gemahlen, um Keim-, Faser- und Stärkeprodukte herzustellen. Der Keim wird extrahiert, um Maisöl herzustellen, und die Stärkefraktion wird zentrifugiert und verzuckert, um einen nassen Glutencuchen herzustellen. Das Ethanol wird dann durch den Destillationsprozess extrahiert. Das Nassmahlverfahren wird normalerweise in Fabriken verwendet, die jedes Jahr mehrere hundert Millionen Gallonen Ethanol produzieren. Das Trockenmahlverfahren beinhaltet das Reinigen und Zerkleinern des Maiskorns in feine Partikel unter Verwendung eines Hammermühlenverfahrens. Dadurch entsteht ein Pulver mit einer groben mehlartigen Konsistenz. Das Pulver enthält den Maiskeim, Stärke und Ballaststoffe. Zur Herstellung einer Zuckerlösung wird die Mischung anschließend mit Enzymen oder einer verdünnten Säure hydrolysiert oder in Saccharosezucker zerlegt. Anschließend wird die Mischung abgekühlt und mit Hefe versetzt, um die Mischung zu Ethanol zu fermentieren.

2019-1-BG01-KA203-062371

Zuckerfermentationsprozess

II Step: Alcoholic fermentation

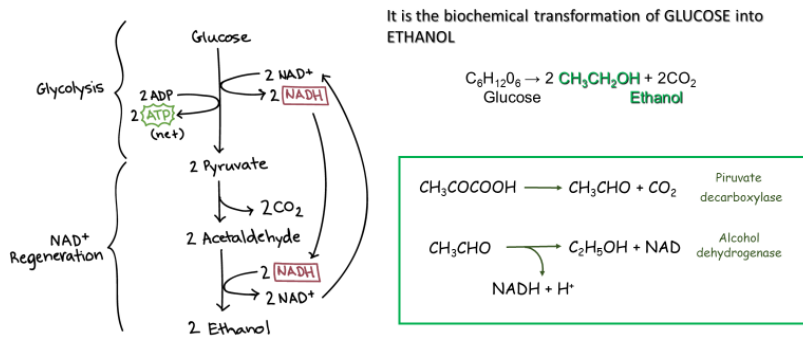


Abb. 10. Alkoholische Gärung der Hefe

Der Hydrolyseprozess zerlegt den Zelluloseanteil der Biomasse oder des Maises in Zuckerlösungen, die dann zu Ethanol fermentiert werden können. Hefe wird zu der Lösung gegeben, die dann erhitzt wird. Die Hefe enthält ein Enzym namens Invertase, das als Katalysator wirkt und hilft, den Saccharosezucker in Glukose und Fruktose umzuwandeln.

Die Hauptmerkmale von Mikroorganismen, die bei der industriellen Herstellung von Ethanol verwendet werden, sind:

- **hohe Ausbeuten bei der molaren Umwandlung von Zucker** (Mol Ethanol produziert/Mol Zucker verbraucht)
- **hohe Produktionsrate** (Mol produziertes Ethanol/Zeit × Kulturvolumen) mol/Lh oder g/Lh
- **hohe Ethanolausbeute im Gewicht** (Gramm produziertes Ethanol/Kulturvolumen, ≥ 120 g/L) g/L
- **hohe Toleranz gegenüber Ethanol**
- möglichst geringe Produktion **von Nebenprodukten aus Nebenfermentationen** (zB Glycerin)

Hefen für die Bioethanol-Fermentation: Mikroorganismen wie Hefen spielen eine wesentliche Rolle bei der Bioethanolproduktion, indem sie eine Vielzahl von Zuckern zu Ethanol fermentieren. Sie werden in Industrieanlagen aufgrund wertvoller Eigenschaften in Ethanolausbeute (>90,0% theoretische Ausbeute), Ethanoltoleranz (>40,0 g/L), Ethanolproduktivität (>1,0 g/L/h), Wachstum in einfachen, kostengünstigen Medien und unverdünnte Fermentationsbrühe mit Resistenz gegen Inhibitoren und verzögern Verunreinigungen aus Wachstumsbedingungen. Als Hauptkomponente bei der Gärung beeinflussen Hefen die Menge an Ethanolausbeute. *Saccharomyces cerevisiae* ist die am häufigsten verwendete Hefe. Seit Jahrtausenden wird *S. cerevisiae* zur Alkoholherstellung insbesondere in der Brauerei- und Weinindustrie verwendet. Es hält die Destillationskosten niedrig, da es eine hohe Ethanolausbeute, eine hohe Produktivität und eine hohe Ethanolkonzentration aushält. Heutzutage werden Hefen verwendet, um Kraftstoffethanol aus erneuerbaren Energiequellen herzustellen. Einige Hefestämme der Spezies *Pichia stipitis*, *S. cerevisiae* und *Kluyveromyces fragilis* wurden als gute



2019-1-BG01-KA203-062371

Ethanolproduzenten aus verschiedenen Zuckerarten beschrieben. *S. cerevisiae* toleriert einen weiten pH-Bereich, wodurch der Prozess weniger anfällig für Infektionen ist. Bäckerhefe wurde aufgrund ihrer geringen Kosten und leichten Verfügbarkeit traditionell als Starterkultur in der Ethanolproduktion verwendet. Bäckerhefe und andere *S. cerevisiae*-Stämme waren jedoch nicht in der Lage, mit Wildtyphefen zu konkurrieren, die während industrieller Prozesse zu Kontaminationen führten. Stressige Bedingungen wie eine Erhöhung der Ethanolkonzentration, Temperatur, osmotischer Stress und bakterielle Kontamination sind die Gründe, warum die Hefe während der Gärung nicht überleben kann. Flockige Hefen wurden auch während der biologischen Fermentation für die Ethanolproduktion verwendet, da sie die Weiterverarbeitung erleichtert, den Betrieb bei hoher Zelldichte ermöglicht und eine höhere Gesamtproduktivität ermöglicht. Es reduziert die Kosten der Zellgewinnung, da es sich ohne Zentrifugation leicht vom Fermentationsmedium trennen lässt. Häufige Herausforderungen für Hefen während der Zuckergärung sind ein Anstieg der Temperatur (35–45°C) und der Ethanolkonzentration (über 20%). Die Wachstumsrate und der Stoffwechsel der Hefen nehmen mit steigender Temperatur zu bis der optimale Wert erreicht ist. Eine Erhöhung der Ethanolkonzentration während der Fermentation kann das Wachstum und die Lebensfähigkeit von Mikroorganismen hemmen. Die Unfähigkeit von *S. cerevisiae*, in Medien mit hohem Alkoholgehalt zu wachsen, führt zur Hemmung der Ethanolproduktion. Die anderen Probleme bei der Bioethanolfermentation durch Hefe sind die Fähigkeit, Pentosezucker zu fermentieren. *S. cerevisiae* wird am häufigsten in der Bioethanolproduktion verwendet. Es kann jedoch nur Hexosen fermentieren, aber keine Pentosen. Nur einige Hefen der Gattungen *Pichia*, *Candida*, *Schizosaccharomyces* und *Pachysolen* sind in der Lage, Pentosen zu Ethanol zu vergären. Durch den Einsatz hemmstofftoleranter Hefen soll die Effizienz der Ethanolproduktion im industriellen Maßstab gesteigert werden. Die gemeinsamen Herausforderungen von Hefen können durch die Verwendung von ethanol-toleranter und thermotoleranter Hefe überwunden werden. Ethanol- und thermotolerante Stämme, die Stress widerstehen können, können aus natürlichen Ressourcen wie Boden, Wasser, Pflanzen und Tieren isoliert werden. Die Ethanolfermentation bei hoher Temperatur ist ein vorteilhafter Prozess, da sie thermotolerante Mikroorganismen auswählt und keine Kühlkosten und keine Cellulase erfordert. *K. marxianus* ist beispielsweise eine thermotolerante Hefe, die sowohl Hexose- als auch Pentosezucker co-fermentieren kann und die Temperatur von 42–45°C überleben kann.

***Zymomonas mobilis* zur Bioethanol-Fermentation:** *Zymomonas mobilis* ist ein gramnegatives, fakultativ anaerobes, nicht sporenbildendes, polar-fageliertes, stäbchenförmiges Bakterium. Es ist die einzige Art der Gattung *Zymomonas*. Es hat bemerkenswerte Fähigkeiten zur Bioethanolproduktion, die Hefe in einigen Aspekten übertreffen. Es wurde ursprünglich aus alkoholischen Getränken wie dem afrikanischen Palmwein, dem mexikanischen Pulque und auch als Verunreinigung von Apfelwein und Bier (Apfelweinkrankheit und Bierverderb) in europäischen Ländern isoliert. *Zymomonas mobilis* baut Zucker über den Entner-Doudoroff-Weg zu Pyruvat ab. Das Pyruvat wird dann fermentiert, um als einzige Produkte Ethanol und Kohlendioxid (analog zu Hefe) zu produzieren. Die Vorteile von *Z. mobilis* gegenüber *S. cerevisiae* in Bezug auf die Herstellung von Bioethanol sind:



2019-1-BG01-KA203-062371

- ✓ höhere Zuckeraufnahme und Ethanolausbeute (bis zu 2,5 mal höher),
- ✓ geringere Biomasseproduktion,
- ✓ höhere Ethanoltoleranz bis 16% (v/v),
- ✓ erfordert keine kontrollierte Zugabe von Sauerstoff während der Fermentation.

Trotz dieser attraktiven Vorteile verhindern jedoch mehrere Faktoren die kommerzielle Verwendung von *Z. mobilis* in der Zellulose-Ethanol-Produktion. Die größte Hürde besteht darin, dass sein Substratspektrum auf Glucose, Fructose und Saccharose beschränkt ist. *Z. mobilis* vom Wildtyp kann C5-Zucker wie Xylose und Arabinose, die wichtige Bestandteile von Lignocellulosehydrolysaten sind, nicht fermentieren. Im Gegensatz zu *E. coli* und Hefe kann *Z. mobilis* toxische Inhibitoren, die in Lignocellulosehydrolysaten wie Essigsäure und verschiedene Phenolverbindungen enthalten sind, nicht tolerieren. Die Konzentration von Essigsäure in Lignocellulosehydrolysaten kann bis zu 1,5% (w/v) betragen, was weit über der Toleranzschwelle von *Z. mobilis* liegt. Das technisch hergestellte *Z. mobilis* konnte seine inhärenten Mängel überwinden und erweiterte daher sein Substratangebot um C5-Zucker wie Xylose und Arabinose. Essigsäureresistente Stämme von *Z. mobilis* wurden durch rationale metabolische Engineering-Bemühungen, Mutagenesetechniken oder adaptive Mutation entwickelt. Darüber hinaus wurde ein umfangreicher Anpassungsprozess verwendet, um die Xylose-Fermentation in *Z. mobilis* zu verbessern. Durch die Anpassung eines Stammes an eine hohe Xylosekonzentration traten signifikante Veränderungen des Stoffwechsels auf. Eine auffällige Veränderung war der reduzierte Xylitspiegel, ein Nebenprodukt der Xylose-Fermentation, das den Xylose-Stoffwechsel des Stammes hemmen kann. Ein interessantes Merkmal von *Z. mobilis* ist, dass seine Plasmamembran Hopanoide enthält, pentazyklische Verbindungen, die eukaryotischen Sterinen ähnlich sind. Dies ermöglicht ihm eine außergewöhnliche Toleranz gegenüber Ethanol in seiner Umgebung von etwa 13%.

Ein Vergleich zwischen der Produktion von Bioethanol durch *S. cerevisiae* und *Z. mobilis* ist in Abb. 11 dargestellt.



2019-1-BG01-KA203-062371

Ethanol production: comparison between *S. cerevisiae* and *Z. mobilis*

Saccharomyces cerevisiae

- metabolic versatility
- produces EtOH with high yields and rate until EtOH reaches 11-12% (v/v)

Ethanol productivity rate:
0.67 g of ethanol/g of glucose × h

Zymomonas mobilis

- uses a limited number of substrates with respect to yeasts (glucose, fructose and sucrose)
- glucose uptake and fermentation rate to EtOH 8 times higher than *Saccharomyces*
- no oxygen request
- grows at higher temperature than yeast (40 °C), more favorable for the recovery of EtOH

Ethanol productivity rate:
5.67 g of ethanol/g of glucose × h

Abb. 11. Vergleich zwischen verschiedenen mikrobiellen Wirkstoffen, die Bioethanol-Fermentation betreiben operating

Biotechnologie zur Altlastensanierung

ABWASSER

Wasser ist eine zu schützende Ressource. Nachfolgend finden Sie die wichtigsten Orte, an denen sich Süßwasser auf der Erde befindet, und einige der Gründe, warum das Wasser langsam zur Neige geht. Fast 70 % des Wassers werden heute für die Landwirtschaft verbraucht, etwa ein Viertel für die gewerbliche Nutzung und etwa 10 % für den Haushalt. Daher ist der Hauptsektor, der Wasser verwendet, die Landwirtschaft/Landwirtschaft. Landwirtschaftliches Wasser wird hauptsächlich für die Bewässerung sowie für Pestizid- und Düngemittelanwendungen und für die Tierhaltung verwendet. Es



2019-1-BG01-KA203-062371

gibt drei Quellen für landwirtschaftliches Wasser:

i) Grundwasser aus unterirdischen Brunnen; ii) Oberflächenwasser, das aus offenen Kanälen, Bächen, Bewässerungsgräben gewonnen und aus Stauseen abgeleitet wird; iii) Regenwasser, das normalerweise in Fässern, Wannern und großen Zisternen gesammelt wird.

Wasser ist oft vergiftet. Die Hauptursachen für Vergiftungen sind: häusliche

Wassernutzung (organische Stoffe, Tenside...), landwirtschaftliche und industrielle Wassernutzung (Düngemittel und Pestizide, Wasser aus industriellen Prozessen), Atmosphäre (Kontamination von Regenwasser durch giftige Substanzen in der Atmosphäre, die aus Industrie, Flugzeugen, Kraftfahrzeugmotoren).

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes im Rahmen für Gemeinschaftsaktionen im Bereich der Wasserpolitik geschaffen. Diese Rechtsvorschriften schaffen einen Rahmen für den Schutz von Binnenoberflächengewässern, Küstengewässern und Grundwasser. Die Ziele der Richtlinie sind:

- die Absicherung gegen weitere Verschlechterung;
- die Verbesserung des Zustands der Ökosysteme;
- die Förderung einer nachhaltigen Wassernutzung;
- Verringerung der Grundwasserverschmutzung;
- Verringerung der Einleitungen;
- Abmilderung der Auswirkungen von Überschwemmungen und Dürren.

Die Reinigung des Abwassers wird durch verschiedene Behandlungen erreicht, die oft nacheinander angewendet werden: primäre, sekundäre (biologische), tertiäre Behandlungen, wie im Bild gezeigt) (Abb. 13 und 14).

Water: a resource that needs to be protected

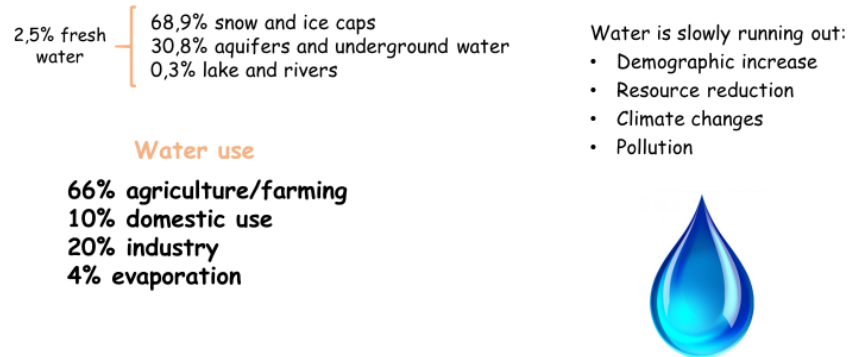


Abb. 12. Standort und Verwendung des Wassers

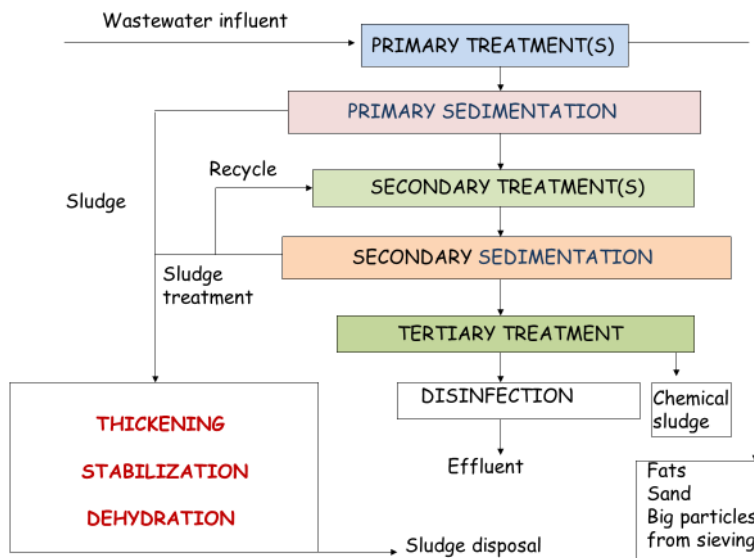


2019-1-BG01-KA203-062371

Biological depuration of wastewater

Primary treatment (mechanical treatments)	Sieving Trituration Equalization of flow rates Omogenization of pollutants Desanding (sedimentation or centrifugation) Defatting Primary sedimentation
Secondary treatment (biological treatment)	Activated sludge Percolating filters Biocircles Anaerobic digestion Phytodepuration
Tertiary treatment (chemical treatment)	Chlorination Ozonization

Abb. 13 (oben) und 14 (unten). Primär-, Sekundär- und Tertiärbehandlung zur biologischen Reinigung von Abwasser





2019-1-BG01-KA203-062371

Das **Belebtschlammverfahren** ist eines der am häufigsten verwendeten Verfahren zur **sekundären** Abwasserbehandlung zivilen und industriellen Ursprungs. Es handelt sich um ein biologisches Behandlungsverfahren mit suspendiertem Wachstum, bei dem eine dichte mikrobielle Kultur in Suspension verwendet wird, um organisches Material unter aeroben Bedingungen biologisch abzubauen und spontan eine biologische Flocke (als Belebtschlamm bezeichnet) zu bilden. Durch diffuse oder mechanische Belüftung wird die aerobe Umgebung im Reaktor aufrechterhalten. Typische Retentionszeiten betragen 5–14 Stunden in konventionellen Einheiten und bis zu 24–72 Stunden in



Abb. 15. Aerobe Oxidationstank

Systemen mit niedriger Rate. Der Belebtschlammprozess hängt von der aeroben biologischen Wirkung ab (Abb. 15). Die Mikroorganismen zerlegen die komplexen organischen Substanzen in einfache Moleküle wie Wasser und CO₂. Dieser Prozess führt zur Entfernung von löslichen und suspendierten organischen Stoffen aus dem Abwasser. Das Wachstum von Mikroorganismen in Gegenwart von gelöstem Sauerstoff entfernt den Großteil der Schadstoffe; Protozoen wiederum wachsen und ernähren sich von diesen Organismen. Der resultierende Rest ist eine lebende Kultur in suspendierter Form in den Belebtschlammflocken. Zu den Hauptelementen der

Anlage gehört ein Belebungsbecken (Nachbehandlung), in dem das Abwasser mit kontinuierlich belebtem Schlamm und Sauerstoff durchmischt wird. Von diesem Prozessteil gelangt er in ein Klärbecken (Nachsedimentation), wo der abgesetzte Schlamm aus dem gereinigten Wasser entfernt und durch die Rücklauf-Belebtschlammumpfen recycelt wird. Damit dieses System funktioniert, müssen zwei Voraussetzungen erfüllt sein: Das Belüftungsgerät muss in der Lage sein, sowohl Sauerstoff aus der Atmosphäre in die Flüssigkeit zu übertragen, als auch und Verteilen dieses Sauerstoffs im gesamten Abwasser an den suspendierten lebenden Mikroorganismus. Diese Art von System ist für Abfälle geringer Konzentration geeignet, typischerweise in der Größenordnung von 50-200 mg L⁻¹ BSB. Eine Vor- oder Nachbehandlung von Abwasser kann ebenfalls angewendet werden. Nach dem Belebungsbecken fließt das Gemisch aus Mikroorganismen und Abwasser (Mischlauge) in ein Absetzbecken oder Klärbecken, wo man den Schlamm absetzen kann. Ein Teil des Schlammvolumens wird kontinuierlich aus dem Klärbecken als rückgeführter Belebtschlamm in das Belebungsbecken zurückgeführt, um sicherzustellen, dass ausreichende Mengen an Mikroorganismen im Belebungsbecken gehalten werden.

Das Belebtschlammverfahren ist unter geeigneten Bedingungen sehr effizient. Es entfernt 85 bis 95 Prozent der Feststoffe und reduziert den biochemischen Sauerstoffbedarf (BSB) in etwa gleich viel. Die Effizienz dieses Systems hängt von vielen Faktoren ab, darunter das Abwasserklima und die Eigenschaften. Giftige Abfälle, die in das Aufbereitungssystem gelangen, können die biologische Aktivität stören. Abfälle mit hohem Seifen- oder Waschmittelanteil können zu übermäßiger Schaumbildung und damit zu ästhetischen oder störenden Problemen führen. In Bereichen, in denen Industrie- und Sanitärabfälle zusammengeführt werden, muss Industrieabwasser häufig vorbehandelt



2019-1-BG01-KA203-062371

werden, um die giftigen chemischen Bestandteile zu entfernen, bevor es in die Belebtschlammbehandlung eingeleitet wird. Dennoch ist die mikrobiologische Behandlung von Abwasser bei weitem das natürlichste und effektivste Verfahren, um Abfälle aus dem Wasser zu entfernen.

Mikrobielle Populationen in Belebtschlamm: Die am biologischen Reinigungsprozess beteiligte mikrobielle Gemeinschaft bildet Flockenagglomerate, die als **Belebtschlamm** bezeichnet werden. Der Belebtschlamm einer Nachkläranlage ist eine mikrobielle Kultur, die sich um organische und anorganische Partikel herum entwickelt und die im Abwasser vorhandene organische Substanz verstoffwechselt. Belebtschlammflocken neigen dazu, sich aufgrund der Schwerkraft in der „sekundären“ Sedimentationsphase abzusetzen. Für den Ausscheidungsprozess sind mehrere Gruppen von Mikroorganismen verantwortlich:

- **Bacteria**
 - **Fungi**
 - **(Algae)**
 - **Protozoa**
 - **Rotifers and Nematodes**
- } *Decomposers: microorganisms involved in decomposition of organic matter (heterotrophic, saprotrophs = obtain nutrients directly from decomposition of dead organic matter)*
- } *Predators*

Bakterien sind in erster Linie für die Entfernung organischer Nährstoffe aus dem Abwasser verantwortlich. Sie entwickeln auch eine klebrige Schleimschicht um die Zellwand herum, die es ihnen ermöglicht, sich zu Biofeststoffen oder Schlamm zu verklumpen, der dann von der flüssigen Phase getrennt wird. Die erfolgreiche Entfernung von Abfällen aus dem Wasser hängt davon ab, wie effizient die Bakterien das organische Material verbrauchen und von der Fähigkeit der Bakterien, zusammenzukleben, Flocken zu bilden und sich aus der Hauptflüssigkeit abzusetzen. Die Flockungs- (Verklumpungs-)Eigenschaften der Mikroorganismen in Belebtschlamm ermöglichen ihnen, sich zu festen Massen anzusammeln, die groß genug sind, um sich am Boden des Absetzbeckens abzusetzen.

PILZE sind auch heterotrophe Organismen, die beim Abbau organischer Stoffe helfen.

Protozoen spielen eine entscheidende Rolle im Behandlungsprozess, indem sie frei schwimmende, dispergierte Bakterien und andere Schwebeteilchen entfernen und verdauen. Dies verbessert die Klarheit des Abwassers. Wie Bakterien brauchen einige Protozoen Sauerstoff, andere nur sehr wenig Sauerstoff und einige können ohne Sauerstoff überleben. Die vorhandenen Arten von Protozoen werden wie folgt klassifiziert:

- Amöben → Geringe Wirkung auf die Behandlung und sterben ab, wenn die Nahrungsmenge abnimmt.
- Geißeln → Ernähren Sie sich hauptsächlich von löslichen organischen Nährstoffen.
- Ciliaten → Klären Sie das Wasser, indem Sie suspendierte Bakterien entfernen.

2019-1-BG01-KA203-062371

Rädertiere und **Nematoden** sind vielzellige Organismen, die größer als die meisten Protozoen sind und organisches Material grundsätzlich nicht aus dem Abwasser entfernen. Obwohl sie Bakterien fressen können, ernähren sie sich auch von Algen und Protozoen. Eine Dominanz von Metazoen findet sich normalerweise in Systemen mit längerem Alter; nämlich Lagunenbehandlungssysteme. Obwohl ihr Beitrag zum Belebtschlammbehandlungssystem gering ist, weist ihr Vorhandensein auf die Bedingungen des Behandlungssystems hin.

Neben Belebtschlammanlagen gibt es weitere Arten der sekundären Abwasserbehandlung. Einige von ihnen können IMMOBILISIERTE ZELLEN PROZESSE sein, wie in Abb. 16 dargestellt.

- ✓ Cells involved in the depuration process develop on a solid support rather than in the form of suspended flocs;
- ✓ a biological film is formed, some mm thick, through which soluble substrates and oxygen spread by diffusion;
- ✓ the biological depuration process takes place in the presence of three phases: solid, liquid and gas, consisting of the support, the wastewater and air;
- ✓ aerobic and anaerobic technologies have been developed.

Percolating filters



Biocircles



Abb. 16. Immobilisierte Zelltechnologien zur Reinigung von Abwasser

Sickerfilter sind eine biologische Reinigungstechnologie durch Mikroorganismen, die sich in einer aeroben Umgebung auf geeigneten Trägermaterialien entwickeln, durch die das Abwasser versickert. Das Sickerfilterbecken ist mit inerten, natürlichen oder synthetischen Materialien (z. B. oben). Die AUSREISEPHASEN umfassen: 1) Primärbehandlungen, um eine Verstopfung des Bettes zu verhindern; 2) Bildung des Biofilms (3-4 mm dick); 3) Zellablösung vom Biofilm und erneuter Aufbau des Biofilms; 4) Abschließende Sedimentation. Die Hauptvorteile dieser Technologie sind die geringen Einrichtungs- und Wartungskosten und die Tatsache, dass sie Schwankungen der organischen Belastung des Zuflusses tolerieren kann. Zu den Hauptnachteilen zählen die großen Flächen für den Aufbau und die Geruchsbelästigung. Biocircles sind eine modifizierte Version der Perkolationsfilter, bei denen die den Biofilm tragenden Oberflächen um eine Achse rotieren, halb in die zu behandelnde Flüssigkeit eingetaucht; die Rotation ermöglicht die Sauerstoffanreicherung der an der Scheibe haftenden Biomasse. Anaerobe Systeme funktionieren gut, wenn die eintretende Flussrate gering ist und die organische Belastung, die in das System eindringt, ausreichend hoch ist. Die erforderliche Reinigungsleistung ist



2019-1-BG01-KA203-062371

nicht hoch (anaerobe Mikroorganismen zeichnen sich durch eine geringere Wachstumsrate und einen langsameren Stoffwechsel gegenüber aeroben aus, sodass die organische Substanz nicht vollständig abgebaut wird). Diese Bedingungen sind **typisch für einige industrielle Abwässer**, anaerobe Reaktoren eignen sich nicht gut für die Behandlung von großen zivilen Abwässern.

Ein weiteres wichtiges System zur Reinigung von Abwasser ist die Phytodepuration (Abb. 17), eine Reinigungstechnologie, die durch biologische Behandlungen gekennzeichnet ist, bei der Pflanzen, die in wassergesättigten Böden wachsen, eine Schlüsselrolle spielen, unterstützt durch die direkte Wirkung der sich ansiedelnden Bakterien Wurzelsystem und Wurzelstock. Diese Behandlungen werden sowohl als Alternative als auch als Unterstützung zu traditionellen Systemen angesehen, die auf biologischen Prozessen und chemischen und physikalischen Reaktionen basieren. Der Begriff „Feuchtgebiete“ bezeichnet „Phytodepuration“-Systeme von Abwässern, die künstlich die gleichen ökologischen Bedingungen schaffen, die in wässrigen Gebieten natürlich vorkommen. „Phytodepuration“-Systeme, die entwickelt, entworfen und gebaut wurden, um natürliche Selbstreinigungsprozesse in einer kontrollierbaren Umgebung zu reproduzieren. Im Vergleich zu natürlichen Feuchtgebieten Pflanzenreinigungssysteme ermöglichen die Wahl des Standorts, die Flexibilität in der Dimension, die Kontrolle der hydraulischen Flüsse und die Verweilzeiten. Phytodereinigungsfunktionen können bevorzugt und zusätzlich mit geeigneten Strategien, wie der Wahl der Pflanzenart und des Substrats und der Steuerung des Wasserflusses, genutzt werden. Mit Phytodepuration-Systemen werden Schadstoffe durch eine Kombination chemischer, physikalischer und biologischer Prozesse entfernt. Die wirksamsten Prozesse sind Sedimentation, Fällung, Adsorption, Aufnahme aus Pflanzen und mikrobielle Aktivität. Die Phytodepurationstechnologie fügt die Adsorptionsfähigkeit des Mediums zu der traditionellen biologischen Oxidationsreinigungsbehandlung (Filterwirkung durch Pflanzenwurzeln, die auch eine große Oberfläche bieten, die für die Entwicklung der an der Behandlung beteiligten mikrobiellen Massen geeignet ist) und die Entfernung von Nährstoffen aufgrund ihres Wachstums hinzu. In Abb. 18 werden verschiedene Strategien beschrieben:



2019-1-BG01-KA203-062371

Phytodepuration

Phytodepuration is a natural wastewater treatment system consisting of a waterproof basin filled with gravel and aquatic plants. Depuration takes place through the combined action of gravel, plants and microorganisms.

Phytodepuration technology has developed throughout Europe, particularly in the Nordic countries (United Kingdom, Denmark, the Netherlands, Austria, Sweden) since the mid-1980s. In Italy, as well as in the Mediterranean countries, phytodepuration started to be tested starting from the early 90s.

➤ **Advantages**

- Simple management;
- No (or very low) energy consumption and/or use of chemical reagents;
- Ability to adapt to variations of hydraulic load and pollutants in entrance;
- High depuration capacity of: organic load and bacterial load.

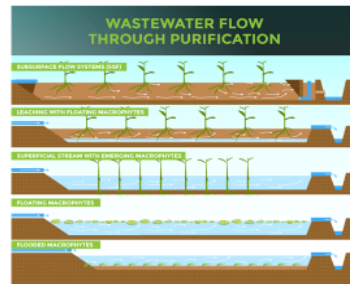


Abb. 17. Allgemeine Merkmale der Phytodepuration

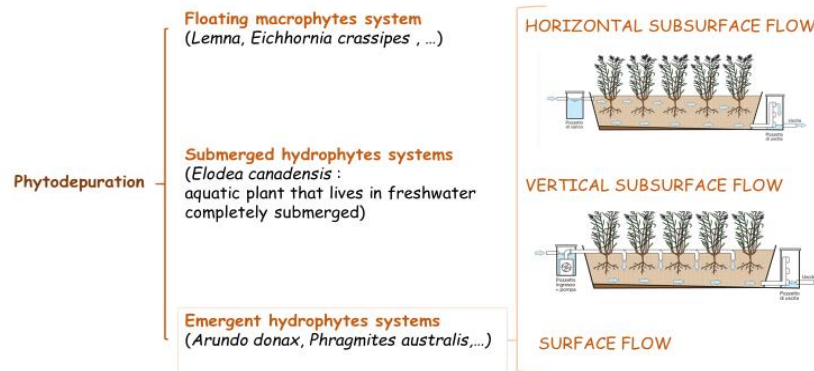


Abb. 18. Verschiedene Strategien der Phytodepuration

Schwimmende Makrophyten, einschließlich Wasserhyazinthe (*Eichhornia crassipes*), sind dominante invasive Organismen in tropischen Wassersystemen und können eine wichtige Rolle bei der Veränderung des Gasaustauschs zwischen Wasser und Atmosphäre spielen. Hydrophyten sind Pflanzen, die im Wasser leben und sich ihrer Umgebung anpassen. Sie bleiben entweder vollständig im Wasser oder die meisten ihrer Körperteile bleiben unter Wasser. Auf dem Bild können Sie verschiedene Beispiele für aufstrebende Hydrophytensysteme unterscheiden.



2019-1-BG01-KA203-062371

KONTAMINIERTE BÖDEN

Chemical compounds released in the environment

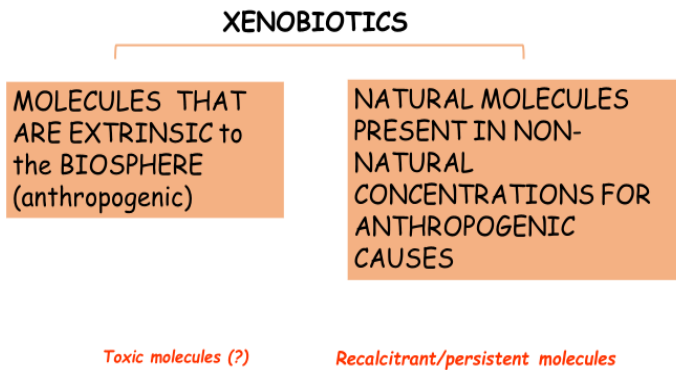


Abb. 19. Definition von Xenobiotika

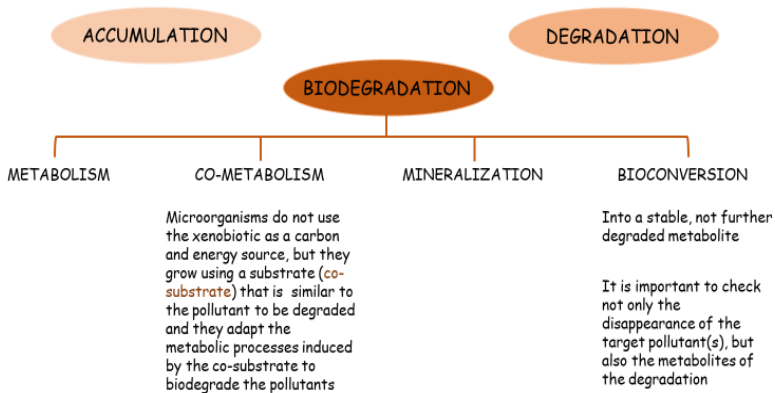


Abb. 20. Verbleib von Xenobiotika in der Umwelt

Produkten entstehen halogenierte Moleküle, darunter Chlorlignin.

- 3) **Synthetische Kunststoffindustrie:** Styrol, Vinylchlorid, Lösungsmittel, Vernetzungsmittel zur Herstellung von Polymeren.
- 4) **Pestizidindustrie:** Benzol und heterocyclische Derivate, Harnstoff, Organophosphorverbindungen
- 5) **Pharma- und Kosmetikindustrie**

Was sind xenobiotische Verbindungen (Abb. 19)? Welches Schicksal können sie in der Umwelt haben (Abb. 20)? Xenobiotika sind nicht unbedingt biosphärenfremde Moleküle, sondern können auch natürliche Moleküle sein, die in nicht natürlichen Konzentrationen in der Umwelt vorkommen. Sie sind nicht unbedingt toxische Moleküle, aber im Allgemeinen widerstreben sie dem biologischen Abbau.

Antropogene Moleküle können aus verschiedenen Quellen stammen:

1) Petrochemische Industrie: - Kraftstoffe (aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffgemische), - Reinchemikalien für die chemische und pharmazeutische Industrie ((Alkohole, Ether, Ester, Aldehyde, häufig substituiert mit Cl⁻, Amino- oder Nitrogruppen).

2) Zellstoff- und Papierindustrie: Holz als Rohstoff nutzen und Zellstoff, Papier und andere zellulosebasierte Produkte herstellen. - Beim Bleichen von Papier mit chlorhaltigen



2019-1-BG01-KA203-062371

- 6) **Textilindustrie:** Reagenzien zur Herstellung von synthetischen Fasern, Waschmittel zum Weichmachen von Fasern und Pestizide zur Insekten-/Mottenbekämpfung
- 7) **Lackindustrie**
- 8) **Verwendung von Chemikalien im Haushalt** (Körperpflegeprodukte, Reinigungsmittel,)

Ein typisches Beispiel für natürliche Moleküle, die in nicht natürlichen Konzentrationen vorkommen, ist das Abwasser von Olivenmühlen: Sie stammen aus der Olivenmahlung zur Herstellung von Olivenöl, haben jedoch einen hohen CSB (siehe unten) und müssen behandelt werden, bevor sie in die Umwelt entsorgt werden.

Bevor entschieden werden kann, ob ein kontaminierter Boden einer biologischen Sanierung unterzogen werden kann, müssen mehrere Fragen beantwortet werden. Der erste zu berücksichtigende Aspekt ist, wenn wir uns auf einen chronisch kontaminierten Boden beziehen oder eine kürzliche, plötzliche Kontamination aufgetreten ist. Im ersten Fall können wir uns etwas Zeit nehmen, um zu entscheiden, was zu tun ist, die Situation eingehend untersuchen, einige vorläufige Labortests durchführen und die beste Strategie festlegen. Im second-Fall müssen wir nach den Erfahrungen, die für die gleichen Schadstoffe und die gleichen Böden gesammelt wurden, zeitnah handeln.

Bitte lesen Sie die Fragen, die beantwortet werden müssen, bevor Sie sich für eine Strategie entscheiden (Abb. 21).

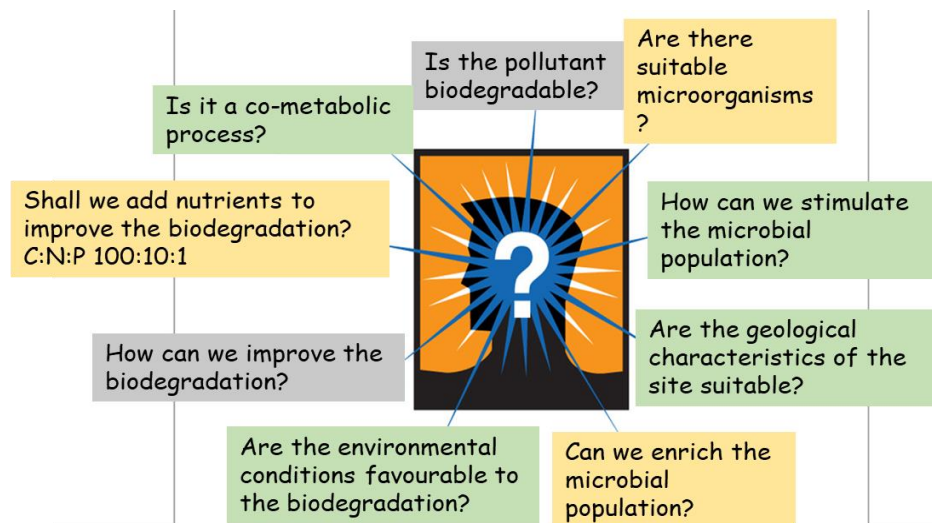


Abb. 21. So entscheiden Sie, welche Bioremediationsstrategie für Ihren kontaminierten Boden am besten geeignet ist

2019-1-BG01-KA203-062371

Zur Dekontamination kontaminierter Standorte kann eine Vielzahl von Bioremediationstechnologien eingesetzt werden (Abb. 22).

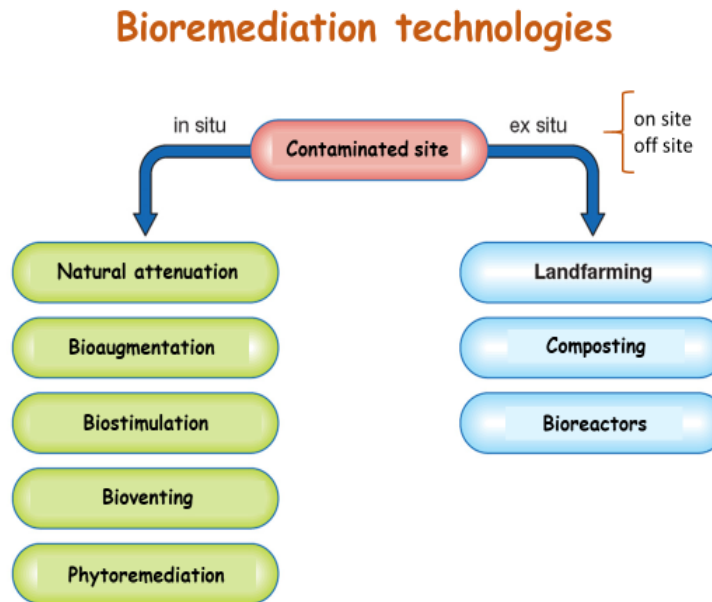


Abb. 22. In-situ- und Ex-situ-Bioremediationstechnologien

VOR ORT bedeutet, dass der Boden nicht von seinem ursprünglichen Standort entfernt wird und an demselben Ort behandelt wird, an dem die Kontamination aufgetreten ist.

NATÜRLICHE DÄMPFUNG: unter diesen Begriff fallen „eine Vielzahl von physikalischen, chemischen oder biologischen Prozessen“. Diese Prozesse wirken unter günstigen Bedingungen ohne menschliches Zutun, um die Konzentration, die Toxizität und die Mobilität von Schadstoffen im Boden oder Grundwasser zu reduzieren. Diese *in situ* Prozesse umfassen den biologischen Abbau. Eine genaue Überwachung des Prozesses wird durchgeführt, um sicherzustellen, dass der Boden saniert wird. Die Verwendung der natürlichen Abschwächung wird oft als Sanierungslösung für Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol (BTEX) vorgeschlagen. Mehr kürzlich wurde eine natürliche Abschwächung für chlorierte Lösungsmittel, Nitroaromaten, Schwermetalle und andere Verunreinigungen vorgeschlagen, für die das wissenschaftliche Verständnis und die Felderfahrung robust genug sind. Die natürliche Abschwächung wird angewendet, wenn es solide Beweise dafür gibt, dass natürliche Abschwächungsprozesse die Schadstoffe in harmlose Produkte umwandeln.



2019-1-BG01-KA203-062371

BIOAUGMENTATION: Es ist die Zugabe von mikrobiellen Kulturen, um den Abbau einer Verunreinigung zu beschleunigen. In den kontaminierten Gebieten vorhandene einheimische Mikroorganismen können die Schadstoffe möglicherweise bereits abbauen, ihre Wirkung kann jedoch ineffizient und langsam sein. Die Bioaugmentation erfordert die Untersuchung der am Standort vorhandenen einheimischen Sorten, um festzustellen, ob eine Biostimulation möglich ist. Dieselben einheimischen Bakterienkulturen können isoliert, kultiviert und am Standort eingesetzt werden, um den Abbau der Schadstoffe zu fördern. Wenn die einheimische Sorte nicht über die metabolische Fähigkeit verfügt, den Sanierungsprozess durchzuführen, können exogene Sorten mit unterschiedlichen Abbauwegen eingeführt werden.

BIOSTIMULATION: Das ist die Zugabe von Nahrungsergänzungsmitteln für die einheimische Mikrobiota zur Förderung ihres Stoffwechsels. Normalerweise bezieht sich dies auf die Zugabe von geschwindigkeitsbegrenzenden Nährstoffen wie Phosphor, Stickstoff, Sauerstoff, Elektronendonatoren zu stark verschmutzten Orten, um die vorhandenen Bakterien zum Abbau der gefährlichen und toxischen Verunreinigungen anzuregen. Die Zugabe dieser Nährstoffe verbessert das Abbaupotential der einheimischen Mikroorganismen. Unter allen biologischen Sanierungstechniken gilt die Biostimulation als die effizienteste Methode zur Sanierung von Kohlenwasserstoffen, insbesondere von Erdölprodukten und deren Derivaten. Dies ist hauptsächlich auf die leichte Verfügbarkeit einer Kohlenstoffquelle zurückzuführen, die einer der geschwindigkeitsbegrenzenden Nährstoffe ist, die von den einheimischen Mikroorganismen für ihre Stoffwechselaktivitäten aus den Erdölverunreinigungen benötigt werden. Zusätzlich zu den genannten mengenbegrenzenden Nährstoffen kann auch der Einsatz anderer nährstoffreicher organischer Stoffe den Sanierungsprozess weitgehend auslösen. In diesem Zusammenhang wurde gezeigt, dass die Zugabe von Biofeststoffen (nährstoffreiche organische Substanz) aus der Behandlung von häuslichem Abwasser und anorganischen Düngemitteln, reich an Stickstoff und Phosphor, die Abbaurate von Erdölkohlenwasserstoffen verbessern und beschleunigen kann.

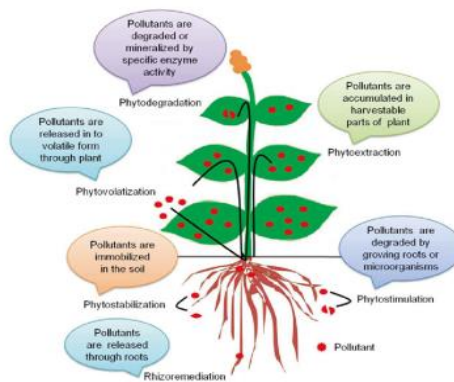
BIOVENTING: Wird auch als „Bioenhanced Soil Venting“ bezeichnet; es ist eine In-Situ-Technologie, die auf der natürlichen Stimulation der einheimischen biologischen Aktivität durch die Zufuhr von Sauerstoff durch eine Luftflüssigkeit basiert; es wird erfolgreich auf alle aerob biologisch abbaubaren organischen Stoffe angewendet, insbesondere bei der Sanierung von durch Erdölderivate verunreinigten Standorten. Die Luftzufuhr erfolgt mit geringer Strömungsgeschwindigkeit, da sie nur den Sauerstoff liefert, der zur Unterstützung der mikrobiellen Aktivität benötigt wird. Innerhalb des verschmutzten Bereichs werden giftige Verbindungen aus dem Luftstrom entfernt, während organische Verbindungen aerob biologisch abgebaut werden. Die Luft wird direkt durch einen oder mehrere Brunnen injiziert, die mit Vakuumpumpen verbunden sind, die die Zwangsumwälzung der Luft in den ungesättigten kontaminierten Boden gewährleisten.

PHYTORBEHANDLUNG: Es ist die Behandlung von kontaminiertem Boden unter Verwendung von Pflanzen zur Reinigung von Böden, die mit gefährlichen Schadstoffen kontaminiert sind (Abb. 23). Es wird genauer definiert als "die Verwendung von grünen Pflanzen und den damit

2019-1-BG01-KA203-062371

verbundenen Mikroorganismen, zusammen mit geeigneten Bodenverbesserungen und agronomischen Techniken, um giftige Umweltschadstoffe entweder einzudämmen, zu entfernen oder unschädlich zu machen". Da die Pflanzen in Synergie mit Mikroorganismen in der Rhizosphäre wirken, die sehr oft mit der Realisierung des Prozesses eng mit den Werken zusammenarbeiten. Phytoremediation wird als kosteneffektiver pflanzenbasierter Ansatz zur Umweltsanierung vorgeschlagen, der die Fähigkeit von Pflanzen nutzt, Elemente und Verbindungen aus der Umwelt zu konzentrieren und verschiedene Verbindungen zu entgiften. Der Konzentrationseffekt resultiert aus der Fähigkeit bestimmter Pflanzen, die als Hyperakkumulatoren bezeichnet werden, Chemikalien zu bioakkumulieren. Der Sanierungseffekt ist ganz anders. Giftige Schwermetalle können nicht abgebaut werden, aber organische Schadstoffe können und sind im Allgemeinen die Hauptziele für die Phytosanierung. Mehrere Feldversuche bestätigten die Machbarkeit des Einsatzes von Pflanzen zur Umweltsanierung.

Phytoremediation



Phytovolatilization: process in which plants take up contaminants from soil and release them as volatile form into the atmosphere through transpiration.

Phytoextraction: contaminants in soil are removed by plant roots and accumulate in the plant

Phytostabilization: reduction of the mobility of contaminants in soil via precipitation within the root zone (e.g. lowering the pH or use of chelating agents such as EDTA).

Abb. 23. Phytoremediation-Technologie

EX-SITU bedeutet, dass der Boden von seinem ursprünglichen Standort entfernt und sehr nahe am Ort der Kontamination (*on site*) oder weit entfernt (*off site*) behandelt wird.

LANDHALTUNG: es handelt sich um eine umfassende Bioremediationstechnologie, bei der die kontaminierten Böden, Sedimente oder Schlämme ausgehoben und an einem Ort abgelagert werden müssen, an dem sie behandelt werden können. Dies ist in der Regel eine Sanierungstechnologie vor Ort, die verwendet wird, um den mikrobiellen Abbau gefährlicher Verbindungen zu verbessern. Normalerweise werden Auskleidungen und Kunststoffabdeckungen verwendet, um das Auswaschen von Schadstoffen unter Tage zu kontrollieren, um eine Kontamination von Grundwasserleitern zu vermeiden.



2019-1-BG01-KA203-062371

Die Bodenbedingungen werden häufig kontrolliert, um die Abbaurate von Schadstoffen zu optimieren, insbesondere:

- Feuchtigkeitsgehalt (normalerweise durch Bewässerung oder Besprühen).
- Belüftung (indem der Boden mit einer vorbestimmten Häufigkeit bearbeitet wird, wird der Boden gemischt und belüftet).
- pH (gepuffert nahe dem neutralen pH durch Zugabe von zerkleinertem Kalkstein oder landwirtschaftlichem Kalk).
- Andere Ergänzungen (zB Bodenfüllstoffe, Nährstoffe usw.).

Kontaminierter Boden wird in der Regel in bis zu 1 Meter dicken Aufzügen behandelt. Wenn das gewünschte Behandlungsniveau erreicht ist, wird der Lift entfernt und ein neuer platziert. Sehr oft wird nur der obere Teil des sanierten Aufzugs entfernt, dann wird der neue Aufzug gebaut, indem mehr kontaminiertes Erdreich zum verbleibenden Material hinzugefügt und gemischt wird. Dies dient der Beimpfung des frisch zugegebenen Materials mit einer aktiv abbauenden Mikrobekultur und kann die Behandlungszeiten verkürzen. Diese Technik wird seit Jahren erfolgreich bei der Verwaltung und Entsorgung von Ölschlamm und anderen Erdölraffinerieabfällen eingesetzt. Im Allgemeinen ist die Abbaugeschwindigkeit umso langsamer, je höher das Molekulargewicht des Zielmoleküls ist (dh je mehr Ringe in einem polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoff vorhanden sind). Je stärker die Verbindung chloriert oder nitriert ist, desto schwieriger ist ihr Abbau. Zu den Faktoren, die die Anwendbarkeit und Wirksamkeit des Verfahrens einschränken können, gehören: (a) großer Platzbedarf; (b) die für den biologischen Abbau von Schadstoffen vorteilhaften Bedingungen können nicht erreicht werden, was die Zeitdauer bis zur vollständigen Sanierung verlängert, insbesondere für widerspenstige Verbindungen; (c) anorganische Verunreinigungen werden nicht biologisch abgebaut; (d) das Potenzial großer Partikelmengen, die durch den Betrieb freigesetzt werden; und (e) das Vorhandensein von Metallionen kann für Mikroben toxisch sein und aus dem kontaminierten Boden in den Boden sickern. Landbewirtschaftung, kombiniert mit anderen biologischen Behandlungen, ist weit verbreitet und wurde erfolgreich bei vielen Abfallarten angewendet, insbesondere bei der Entsorgung von Ölschlamm und anderen Erdölraffinerieabfällen. insbesondere für widerspenstige Verbindungen; (c) anorganische Verunreinigungen werden nicht biologisch abgebaut; (d) das Potenzial großer Partikelmengen, die durch den Betrieb freigesetzt werden; und (e) das Vorhandensein von Metallionen kann für Mikroben toxisch sein und aus dem kontaminierten Boden in den Boden sickern. Landbewirtschaftung, kombiniert mit anderen biologischen Behandlungen, ist weit verbreitet und wurde erfolgreich bei vielen Abfallarten angewendet, insbesondere bei der Entsorgung von Ölschlamm und anderen Erdölraffinerieabfällen.

KOMPOSTIERUNG: Kompostierung ist ein Prozess, der den natürlichen Zerfall von organischem Material beschleunigt, indem er ideale Bedingungen für das Gedeihen von Mikroorganismen bietet (Abb. 24). Das Endprodukt dieses konzentrierten Zersetzungsprozesses ist ein nährstoffreiches Produkt (Kompost), das Feldfrüchten, Gartenpflanzen und Bäumen beim Wachsen helfen kann.



2019-1-BG01-KA203-062371

Composting is the aerobic decomposition and transformation of the organic matter of urban solid waste by aerobic microorganisms. The process gives rise to a stable product that is called COMPOST.

The aim of composting

- production of a soil amendment used in agriculture
- production of a substrate for the production of mushrooms
- disposal of activated sludge derived from water treatment

Raw material for compost production

- straw and lignocellulosic materials
- agricultural by-products
- animal sludge
- organic fraction of urban solid waste
- activated sludge
- soil remediation (quality of the compost should be checked!)

Who is involved?

- mesophilic bacteria
- thermophilic bacteria
- yeasts
- Actinomycetes (Actinobacteria)

Abb. 24. Kompostierung

Bioremediation mit Kompost bezieht sich auf die Verwendung eines biologischen Systems von Mikroorganismen in einem reifen, ausgehärteten Kompost, um Schadstoffe in Wasser oder Boden zu sequestrieren oder abzubauen. Mikroorganismen verbrauchen Schadstoffe in Böden, Grund- und Oberflächengewässern sowie in der Luft. Die Schadstoffe werden verdaut, metabolisiert und in Humus und inerte Nebenprodukte wie Kohlendioxid, Wasser und Salze umgewandelt. Die biologische Kompostierung hat sich beim

Abbau oder der Veränderung vieler Arten von Verunreinigungen, wie chlorierte und nichtchlorierte Kohlenwasserstoffe, holzkonservierende Chemikalien, Lösungsmittel, Schwermetalle, Pestizide, Erdölprodukte und Sprengstoffe, als wirksam erwiesen. Kompost, der in der Bioremediation verwendet wird, wird als „maßgeschneiderter“ oder „entworfener“ Kompost bezeichnet, da er speziell für die Behandlung bestimmter Schadstoffe an bestimmten Standorten hergestellt wurde. Das ultimative Ziel bei jedem Sanierungsprojekt besteht darin, den Standort wieder in seinen Zustand vor der Kontamination zu versetzen, der häufig eine Begrünung zur Stabilisierung des behandelten Bodens beinhaltet. Kompost reduziert nicht nur den Schadstoffgehalt, sondern fördert dieses Ziel, indem er das Pflanzenwachstum fördert. In dieser Funktion sorgt Kompost für die Bodenconditionierung und versorgt eine Vielzahl von Pflanzen mit Nährstoffen.

2019-1-BG01-KA203-062371

BIOREAKTOREN: Die Behandlung eines kontaminierten Bodens in einem Bioreaktor ist die beste Sanierungstechnologie, wenn auch die teuerste (Abb. 25). Es handelt sich um eine Ex-situ-Off-Site-Technologie: Der Boden kann nach seiner Entfernung vom ursprünglichen Standort weit entfernt von seinem ursprünglichen Standort behandelt werden. Der Boden wird in der Güllephase in einem Bioreaktor aus verschiedenen Materialien (Glas, Stahl, Beton oder andere Materialien) behandelt und alle Parameter des Sanierungsprozesses werden überwacht und gesteuert, um den Prozess so effektiv wie möglich zu gestalten (pH, Redoxpotential, Temperatur, Konzentration des oder der Schadstoffe, Vorhandensein von Abbaumetaboliten). Mikroorganismen können daher unter ihren optimalen Bedingungen arbeiten.

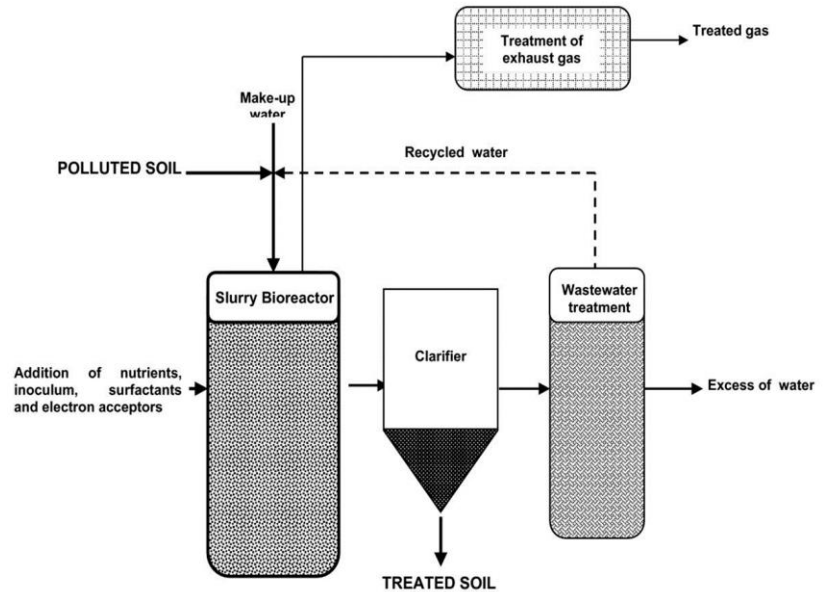


Abb. 25. Beispiel einer Bodenbehandlung in einem

STÄRKEN und SCHWÄCHEN von Bioremediation-Technologien

STÄRKEN

- Reduzierte Kosten in Bezug auf chemische und physikalische Strategien (geringere Energiekosten);
- Reduzierte Umweltbelastung: Der Boden kann vor Ort wiederverwendet werden;
- Das Problem (dh die Kontamination) ist gelöst (Schadstoffe verschwinden, sie werden nicht einfach von einem Standort zum anderen transportiert);
- Akzeptanz durch die öffentliche Meinung.

SCHWÄCHEN

- Probleme der Bioverfügbarkeit von Schadstoffen;
- Probleme bei mehreren Schadstoffen;
- Probleme angemessener Umgebungsbedingungen (pH, Temperatur, Sauerstoffverfügbarkeit).



2019-1-BG01-KA203-062371

Verweise

Meegoda JN, Li B, Patel K, Wang LB. 2018. A review of the processes, parameters, and optimization of anaerobic digestion. *International journal of environmental research and public health*, 15(10): 2224

Wang P, Wang H, Qiu Y, Ren L, Jiang B. 2018. Microbial characteristics in anaerobic digestion process of food waste for methane production—A review. *Bioresource technology*, 248: 29-36

Azhar S HM, Abdulla R, Jambo SA, Marbawi H, Gansau JA, Faik AAM, Rodrigues KF. 2017. Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 10: 52-61

Prasad RK, Chatterjee S, Mazumder PB, Gupta SK, Sharma S, Vairale MG, Gupta DK. 2019. Bioethanol production from waste lignocelluloses: A review on microbial degradation potential. *Chemosphere*, 231: 588-606

Sivagami K, Sakthivel KP, Nambi IM. 2018. Advanced oxidation processes for the treatment of tannery wastewater. *Journal of environmental chemical engineering*, 6(3): 3656-3663

Krzeminski P, Tomei MC, Karaolia P, Langenhoff A, Almeida CMR, Felis E, Fatta-Kassinos D. 2019. Performance of secondary wastewater treatment methods for the removal of contaminants of emerging concern implicated in crop uptake and antibiotic resistance spread: A review. *Science of the Total Environment*, 648: 1052-1081

Abatenh E, Gizaw B, Tsegaye Z, Wassie M. 2017. The role of microorganisms in bioremediation—A review. *Open Journal of Environmental Biology*, 2(1): 038-046

Wan X, Lei M, Chen T. 2020. Review on remediation technologies for arsenic-contaminated soil. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 14(2): 1-14.



Project website: www.digit-biotech.eu

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.