

Anhang A2: Faktenblätter zu den Wasser- und Abluftbehandlungs- Verfahren

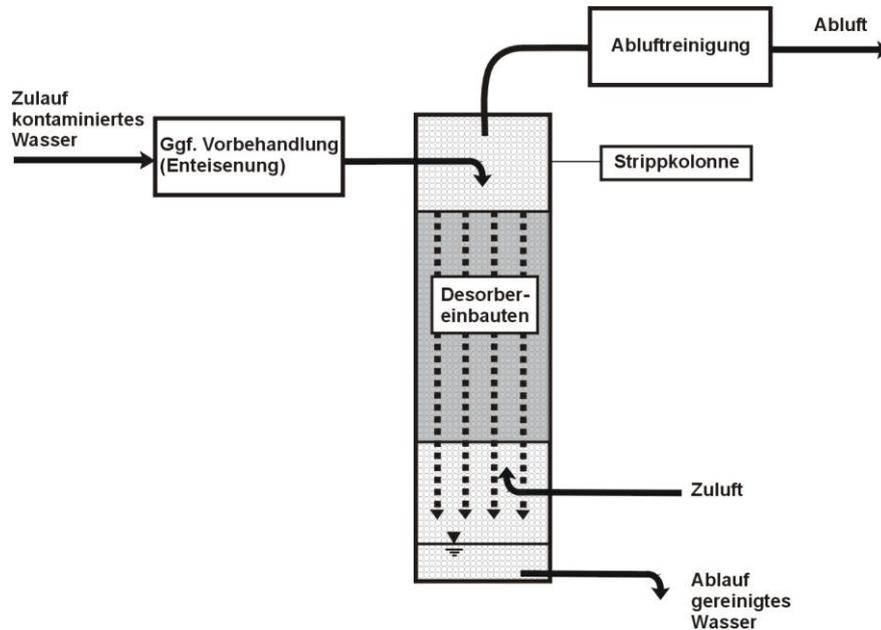
1. Wasseraufbereitung.....	2
1.1 Strippen (mit Luft).....	2
1.2 Oxidation (chemisch und photochemisch mit UV)	5
1.3 Nassaktivkohle-Adsorption.....	7
1.4 Fällung/Flockung/Filtration	10
1.5 Biologische Aufbereitung.....	12
1.6 Membrantechnik.....	15
2. Abluftbehandlung	18
2.1 Aktivkohle-Adsorption.....	18
2.2 Thermische und katalytische Oxidation.....	20
2.3 Biologische Abluftreinigung	22
2.4 Absorption zur Abluftreinigung nach thermischen Prozessen	25

1. Wasseraufbereitung

1.1 Strippen (mit Luft)

Andere Bezeichnungen
Strippen: von «to strip»: ausziehen, abkratzen, wegnehmen.
Prinzip
Beim Strippen werden aus dem Wasser Schadstoffe durch das Durchleiten von Gasen (Luft, Wasserdampf, Rauchgas etc.) aus der Flüssigkeit entfernt und in das Gas übergeführt. Dabei werden leichtflüchtige organische Schadstoffe (LCKW, LHKW, BTEX, MTBE) aus dem belasteten Grundwasser oder Sickerwasser desorbiert.
Wirkungsweise
Der relative Dampfdruck der Schadstoffe im Wasser zum Gas muss ausreichend gross sein, damit ein Übergang aus der Lösung in den dampfförmigen Zustand ermöglicht wird. Dieser Vorgang kann auch mit der Henry-Konstante abgeschätzt werden. Die Desorption kann durch eine Temperaturerhöhung, eine pH-Wert-Veränderung und /oder Druckabsenkung optimiert werden. In der Wassertechnik wird bevorzugt die Umgebungsluft als «Stripmedium» verwendet.
Technische Beschreibung
<p>Das belastete Wasser wird aus einem Brunnen der Altlast entnommen und zum Kopf der Strippanlage gepumpt. Es existieren zwei Bauarten von Stripkolonnen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Bei der Füllkörperkolonne wird das Wasser mit Düsen gleichmässig über eine Füllkörperpackung verteilt, wobei es - durch die Schwerkraft - nach unten rieselt. Im Gegenstrom dazu fördert ein Ventilator Luft durch die Anlage. An den Füllkörpern wird die zum Stoffaustausch verfügbare Wasseroberfläche sehr stark vergrössert. ▪ Die Siebbodenkolonne (Kompaktstripper) setzen sich aus einem oder mehreren übereinander angeordneten Siebböden zusammen. Das Wasser wird auf den obersten Siebboden eingebracht. Durch die Löcher des Siebbodens tritt von unten soviel Luft in die Flüssigkeitsschicht ein, dass das Wasser nicht „durchregnen“ kann. Ein Überlauf bringt das Wasser auf den darunter liegenden Siebboden und der Stoffaustausch erfolgt in den Sprudelschichten der einzelnen Böden. <p>Die leichtflüchtigen Schadstoffe gehen vom Wasser in die Luft über, d.h. sie werden «ausgestriipt» und nach oben ausgetragen (allenfalls unter Vakuum). Die Abluft verlässt die Strippanlage am Kopf und wird nachgereinigt, wobei Tropfenabscheider die Wassertropfen zurückhalten. Die spezifische Oberfläche der Füllkörper, respektive die Oberfläche der im Siebboden erzeugten Blasen, beeinflussen neben der Flüchtigkeit der Schadstoffe die zur Erreichung des Reinigungsziels erforderliche Schütthöhe bzw. die Anzahl der Siebböden. Je grösser der zu reinigende Volumenstrom ist, desto grösser wird der Anlagendurchmesser – und je grösser die Schadstoff-Belastung ist, desto länger wird die Stripkolonne. Das Verhältnis von Luft- zu Wasservolumenstrom liegt in der Praxis zwischen 15 : 1 und 50 : 1. Strippanlagen sind in der Regel aus Kunststoff gefertigt.</p>

Verfahrensschema



Verfahrensflussbild einer Wasserbehandlung mit einer Strippanlage inklusive Abluftreinigung und einer gegebenenfalls erforderlichen Vorbehandlung zur Entkalkung oder zur Enteisung.

Einsatzmöglichkeiten

Medium	Wasser
Schadstoffe	<p>Leichtflüchtige, halbflüchtige oder andere organische Schadstoffe, wie:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ LHKW (wie Dichlormethan, Dichlorethen, Trichlorethan, Trichlorethen, Tetrachlorethen, Vinylchlorid) ▪ BTEX, Naphthalin ▪ MTBE (eingeschränkt) ▪ Leichtflüchtige Stickstoffverbindungen (wie Ammoniak, Schwefelwasserstoff)

Erforderliche Infrastruktur

Ebene Aufstellfläche und ggf. Anschluss an die Kanalisation oder einen Vorfluter. Übliche Anschlüsse wie Strom, Wasser sollten vorhanden sein.

Überwachung

- Reinwasser und gereinigte Strippluft sind zu überwachen (periodische Probenahme oder kontinuierliche Messwerterfassung);
- Überwachung des Anlagenbetriebes mittels Datenfernübertragung und automatischem Störmelder über Festnetz oder Mobilfunknetz.

Verfahrensvarianten

Pro Kolonne können Wasservolumenströme von 0.25 m³/h (bei Kompaktstrippern) bis zu 500 m³/h (bei Füllkörperkolonnen) gereinigt werden. Höhere Durchsatzleistungen werden durch Parallelschaltung von Kolonnen realisiert. Bei Schadstoffen mit geringem Dampfdruck, hohen Schadstoffbelastungen im Wasser bzw. sehr hohen Anforderungen an die Reinigungsleistung können Strippanlagen auch hintereinander geschaltet werden (zweistufige Anlagen, Aufstellung übereinander oder nebeneinander). Eventuell ist eine Vorbehandlung des Grundwassers, wie die Entfernung von Eisen und Mangan und Stabilisierung von Härtebildnern erforderlich. Die Strippluft kann zur Reduzierung von Kalkausfällungen in der Strippanlage auch im Kreislauf geführt werden, um dadurch Veränderungen des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts zu vermeiden.

Mögliche oder erforderliche Verfahrenskombinationen

- Kombination der Strippanlage mit allen aufgeführten Luftreinigungsverfahren (Biofilter/ Biowäscher, katalytischer oder thermischer Nachverbrennung, Aktivkohlefilter);
- Kombination mit Wasseraktivkohleanlagen zur Entfernung von PAK, Phenolen und anderen schlecht strippbaren organischen Schadstoffen;
- Gleichzeitige Bodenluftabsaugung zur Verhinderung der Rücklösung der Schadstoffe aus dem ungesättigten Bereich ins Grundwasser.

Anwendungserfahrung

- Ist Stand der Technik: vielfach bewährte Sanierungsmassnahme zur Abreinigung von vorwiegend leichtflüchtigen Schadstoffen aus dem Grundwasser;
- Mit einem Strippturm können Abreinigungen von über 99% erzielt werden;
- Gefahr der Verockerung durch Carbonatausfall;
- Mittlerer bis hoher Reparatur- und Wartungsaufwand;
- Relativ hohe Energiekosten.

1.2 Oxidation (chemisch und photochemisch mit UV)

Andere Bezeichnungen
Engl. Bezeichnungen: Chemical Oxidation, Ultraviolet Purification.
Prinzip
Durch die Oxidation und die Ultraviolett (UV)-Bestrahlung werden die organischen und anorganischen Wasserinhaltsstoffe zerstört oder derartig verändert, dass sie aus dem Wasser entfernt werden können.
Wirkungsweise
Mit der Oxidation wird eine chemische Reaktion bezeichnet, bei welcher ein Oxidationsmittel (meist Sauerstoff) einem anderen Element oder Verbindung Elektronen entzieht. Durch den Einsatz von Sauerstoff, Ozon, Wasserstoffperoxid, Permanganat wird diese chemische Reaktion zwischen Sauerstoff und Schadstoffen im Wasser ausgelöst und kann mit Hilfe von Katalysatoren noch verstärkt werden. Dabei oxidieren organische Stoffe im Wesentlichen zu Kohlendioxid (CO ₂) und Wasser (H ₂ O). Anorganische Stoffe, wie beispielsweise Eisen bilden Oxide, welche ausfallen und somit aus dem Wasser entfernt werden können. Auch durch UV-Bestrahlung lassen sich organische Stoffe – durch photochemische Umwandlung – physikalisch zerstören.
Technische Beschreibung
<p>Oxidation mit Ozon: Ozon gelangt über Begasungsrohre in der Form fein verteilter Gasblasen in das zu behandelnde Wasser. Ozon ist aufgrund seiner hohen Reaktivität instabil und damit nicht lagerfähig. Es wird deshalb in der Regel vor Ort hergestellt. Bei der Produktion grösserer Ozonmengen (> 1kg/h) wird als Einsatzgas zunehmend technischer Sauerstoff oder sauerstoffangereicherte Luft verwendet.</p> <p>Oxidation mit Wasserstoffperoxid: Wasserstoffperoxid wird über eine Dosierpumpe</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ direkt in das zu behandelnde Wasser führende Rohrleitung eindosiert und über einen nach geschalteten statischen Rohrmischer homogen verteilt, oder ▪ über gelochte Rohre oder Schläuche in das zu behandelnde Wasser eingeleitet. <p>Im Gegensatz zum Ozon ist das Wasserstoffperoxid lagerfähig, aber in der Herstellung aufwändiger.</p> <p>Katalytische Nassoxydation: Bei der katalytische Nassoxydation wird Druckluft (15 bis 60 bar) unter erhöhter Temperatur (120°C bis 310°C) mit dem zu reinigenden Wasser über einen wasserbeständigen Festbettkatalysator geführt. Als Katalysatoren kommen polymere Harze, Aluminiumoxid, Siliziumoxid, Zeolithe und Aktivkohle zur Anwendung. Katalysatoren adsorbieren an ihrer Oberfläche sowohl Sauerstoff bzw. Sauerstoffdonatoren als auch Schadstoffe und die katalytische Oxidation erfolgt unmittelbar in der Adsorptionsschicht. Anschliessend desorbieren die Oxidationsprodukte von der Katalysatoroberfläche und müssen allenfalls aus dem Wasser entfernt werden.</p> <p>UV-Bestrahlung: Die UV-Bestrahlung erfolgt mit Quecksilberniederdruckdampflampen. Die grösste Wirkung für die Inaktivierung von Mikroorganismen ist bei einer Wellenlänge von 254 nm zu erzielen (photochemische Umwandlung). Die Schädigung erfolgt durch eine photochemische Veränderung der Nukleinsäuren, die eine weitere Zellteilung verhindert. Voraussetzung für eine wirksame UV-Anlage ist eine definierte Bestrahlungsdosis von mindestens 25 mJ/cm², die sich aus der Bestrahlungsstärke errechnet. Diese ist eine Funktion der Wasserschichtdicke, der Trübung des Wassers und der Bestrahlungsdauer (Verweilzeit der Zelle im UV-Licht als Funktion der Durchflussgeschwindigkeit).</p>

Einsatzmöglichkeiten	
Medium	Wasser
Schadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Organische Abwasserinhaltsstoffe, wie Mikroorganismen; ▪ Oxidierbare anorganische Substanzen, wie Cyanide, Ammoniak, Stickstoff-, Schwefel- und Schwermetallverbindungen.
Erforderliche Infrastruktur	
<p>Ausser der Aufstellungsfläche und die üblichen Medienanschlüsse (Strom, Wasser, ggf. Anschluss an Abwasserkanal) gibt es keine speziellen Anforderungen an die Infrastruktur. Die Oxidationsmittel müssen sicher gelagert bzw. in speziell gesicherten Räumen hergestellt werden.</p>	
Verfahrensvarianten	
<p>Falls ein vollständiger Abbau der chemisch oxidierbaren Substanzen (CSB) nicht erforderlich ist, können bei der Oxidation die Luftrate, die Temperatur und der Druck gesenkt werden, wodurch sich auch die Betriebskosten verringern.</p>	
Mögliche oder erforderliche Verfahrenskombinationen	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Durch die Kombination von chemischer Oxidation (Ozon, Wasserstoffperoxid) und biologischer Nachreinigung (Festbettreaktor) oder UV-Bestrahlung lässt sich der Reinigungsaufwand um bis zu 30% gegenüber der alleinigen Oxidation vermindern. ▪ Eine mehrfache Wiederholung der Abfolge oder die Rückführung des Ablaufes der biologischen Nachreinigung in die Oxidationsstufe kann zu einer weiteren Absenkung des Reinigungsaufwandes um bis zu 10% führen. ▪ Findet eine oxidative Fällung statt, muss das Wasser durch Flockung und Abscheidung (Absetzbecken oder Filter) nachgereinigt werden. 	
Anwendungserfahrung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schwer abbaubare organische Substanzen können durch die Oxidation in leichter abbaubare Bruchstücke zerlegt, die dann in weiteren Reinigungsschritten entfernt werden können. ▪ Das Verfahren der katalytischen Nassoxidation bietet den Vorteil, dass es sehr leicht automatisiert werden kann, eine relative kleine Stellfläche benötigt und in der Lage ist, sich an Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten und Zusammensetzungen des Abwassers anzupassen. Der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) wird gegenüber der normalen Nassoxidation um 75% bis 99% reduziert und es lassen sich leicht verschmutzte (CSB < 5'000 mg/l) wie auch hochkonzentrierte (CSB 10'000 bis > 100'000 mg/l) Abwässer behandeln. ▪ Die UV-Bestrahlung gilt als wirksam und sicher und verändert weder den Geschmack, die Farbe noch den Geruch des Wassers. ▪ Die Durchsatzleistungen der Wasserbehandlungsanlagen variieren über einen grossen Bereich von 1 m³/h bis zu mehreren 100 m³/h Wasser. ▪ Die Verfahren sind vielfach bewährt und Stand der Technik. Anlagenhersteller gibt es in allen europäischen Ländern. 	

1.3 Nassaktivkohle-Adsorption

Andere Bezeichnungen
Engl. Bezeichnung: Granulated Activated Carbon (GAC)
Prinzip
Aktivkohle (AK) entfernt durch Adsorption schwer- und leichtflüchtige organische Substanzen (LHKW, BTEX, MTBE; Ozon, Chlor, Farbstoffe, Geruchsstoffe) aus belastetem Grund- oder Abwasser. Nass-AK ist insbesondere zur Reinigung von kontaminiertem Grundwasser und Sickerwasser mit relativ geringen organischen Schadstofffrachten und Schwermetallen geeignet (Pump and treat-Sanierungen und hydraulischen Sicherungsmassnahmen).
Wirkungsweise
Die Adsorption ist der Umkehrvorgang der Desorption – d.h. in Flüssigkeiten gelöste Schadstoffe werden nicht durch «stripfen», einen Phasenübergang vom gelösten in den gasförmigen Zustand, ausgetrieben, sondern physikalisch an die in der Flüssigkeit fein verteilten Feststoffe gebunden. Man versteht darunter die Anlagerung eines Moleküls unterschiedlicher Grösse an die Oberfläche eines anderen Moleküls oder Molekülkomplexes. Das im Rahmen der Wasseraufbereitung am weitesten verbreitete Adsorbens ist die Aktivkohle. Jedes Aktivkohlekorn ist von unzähligen Poren und Kapillaren durchzogen, an deren Wänden, der so genannten "inneren Oberfläche", die zu beseitigenden Stoffe physikalisch gebunden werden. Aktivkohlen besitzen eine "innere Oberfläche" in der Grössenordnung von 500 bis 1'500 m ² /g.
Technische Beschreibung
Die Aktivkohle kann entweder direkt in das zu reinigende Wasser gegeben werden oder das zu reinigende Wasser durchströmt Behälter, die mit Aktivkohle gefüllt sind. Meist wird kornförmige Aktivkohle verwendet, damit sie einfacher entfernt oder ausgetauscht werden kann. In der Regel wird das mit Schadstoffen belastete Wasser durch einen oder mehrere parallel geschaltete Behälter direkt auf die Nass-AK geleitet.
Verfahrensschema
<p>Das Diagramm zeigt den Prozess der Wasseraufbereitung mit Nassaktivkohle. Es beginnt mit dem 'Zulauf kontaminiertes Wasser', das in einen Kasten 'Ggf. Vorbehandlung' fließt. Danach führt der Wasserfluss zu einem 'Arbeitsfilter', gefolgt von einem 'Polzefilter', der mit 'Aktivkohle' gefüllt ist. Am Ende des Systems führt der Fluss nach unten und rechts als 'Ablauf gereinigtes Wasser' ab.</p>

Einsatzmöglichkeiten	
Medium	Wasser
Schadstoffe	<p>Mit Aktivkohle können folgende Stoffe entfernt werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Geruchs- und Geschmacksstoffe, ▪ Kohlenwasserstoffe, ▪ organische Chlorverbindungen, z.B. Lösungsmittel, ▪ Pflanzenschutzmittel, ▪ Huminstoffe, ▪ LHKW, BTEX, PAK, Phenole.
Erforderliche Infrastruktur	
Planebene Aufstellfläche, Stromanschluss.	
Überwachung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Probennahme: Durch die regelmässige Kontrolle des gereinigten Wassers wird ein Durchbruch des Filters aufgrund der überschrittenen Beladekapazität der Aktivkohle rechtzeitig erkannt und die Aktivkohle kann ausgetauscht werden. ▪ Kontinuierliche Messwerterfassung: Überwachung des Anlagenbetriebes mittels Datenfernübertragung und automatischem Störmelder über Festnetz oder Mobilfunknetz. 	
Verfahrensvarianten	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einsatz anderer sorptiver Materialien (z. B. Tone und Zeolithe); ▪ Mehrstufige Aktivkohlefiltration mit speziellen bzw. selektiven Aktivkohlen. 	
Mögliche oder erforderliche Verfahrenskombinationen	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Voraussetzung für eine optimale Wirksamkeit der Aktivkohle ist eine gute Vorreinigung des Wassers vor der eigentlichen Adsorptionsstufe, da andernfalls die Wirksamkeit der Aktivkohle bezüglich der Spurenstoffentfernung durch Belegung mit Trübstoffen bzw. konkurrierender Adsorption anderer Wasserinhaltsstoffe deutlich zurückgeht (z. B. vorgeschaltete Enteisenung und die Stabilisierung von Härtebildnern). ▪ Um ein Zusetzen des Aktivkohlefilters zu verhindern, wird in der Regel ein Sand- oder Kiesfilter vor die Reinigungsstufe geschaltet, um die Sink- und Schwebstoffe zu entfernen. ▪ Nass-Aktivkohle werden oft in Kombination mit anderen Verfahren als so genannte „Polizeifilter“ zur Eliminierung etwaiger Restkontaminationen eingesetzt - z. B. nach vorgeschalteter Strippanlage. ▪ Gleichzeitige Bodenluftabsaugung zur Verhinderung der Rücklösung der Schadstoffe aus dem ungesättigten Bereich ins Grundwasser. 	

Anwendungserfahrung

- Das Verfahren der Aktivkohleadsorption von gelösten Schadstoffen im Wasser ist Stand der Technik und vielfach bewährt. Dieses Verfahren wird weltweit eingesetzt und Anbieter (Planer und Hersteller) sind in allen Ländern vertreten.
- Die Vorteile dieser einfachsten konventionellen Wasserreinigungsanlage sind:
 - fast universell einsetzbar;
 - sehr geringe Anschaffungskosten;
 - ohne Vorversuche sofort einsetzbar;
 - sehr einfache Handhabung;
 - hohe Betriebssicherheit;

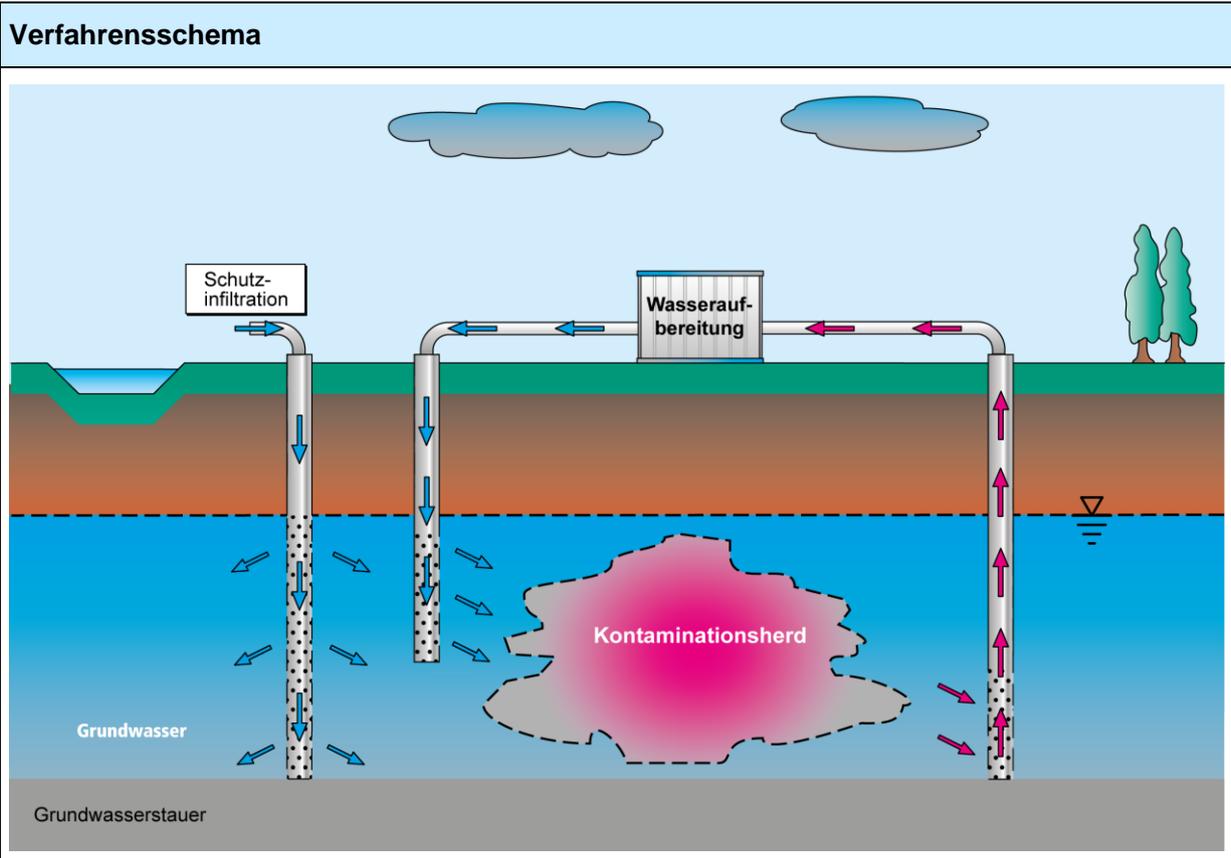
1.4 Fällung/Flockung/Filtration

Andere Bezeichnungen	
Engl. Bezeichnungen: Precipitation, Flocculation, Filtration	
Prinzip	
<p>Vor oder nach der Oxidation, UV-Bestrahlung oder biologischen Reinigung wird das belastete Wasser durch Fällung mit Eisensalzen, Kalkhydrat und einem Flockungshilfsmittel behandelt. In dieser Stufe werden in erster Linie Sink- und Schwebstoffe, gelöste anorganische Stoffe und solche Stoffe aus dem Abwasser entfernt, die biologisch schwer oder überhaupt nicht abgebaut werden können. Hierzu zählt auch eine Reihe von Farbstoffen.</p>	
Wirkungsweise	
<p>Fällung: Bei der Fällung werden im Wasser gelöste Stoffe durch Fällungsmittel in einen ganz oder teilweise unlöslichen Zustand überführt. Die Fällung wird zur Abtrennung von Metallionen, Sulfiden und Phosphaten und zur Enthärtung angewendet. Das entstandene Fällungsprodukt - in kolloidaler Form - wird durch Flockung in eine abscheidbare Form gebracht.</p> <p>Flockung: Die Anfangsphase der Flockung ist die Koagulation. Damit die fein verteilten Kolloide wirkungsvoll abgeschieden werden können, ist es notwendig, möglichst grosse Flocken aus den kleinen Partikeln zu bilden. Die Flockenbildung wird durch die Zugabe von mineralischen, organischen, künstlichen oder natürlichen Flockungshilfsmitteln begünstigt.</p> <p>Filtration: Die Flocken werden anschliessend durch Sedimentation, Filtration oder Flotation aus dem Wasser entfernt.</p>	
Technische Beschreibung	
<p>Fällung: Die Fällung erfolgt in Reaktionsbecken mit Rührwerk oder statischem Mischer und ist ein chemisches Verfahren, welches durch Zugabe geeigneter Chemikalien - Eisen- und Aluminiumsalze gehören zu den gängigen Fällungsmitteln - gelöste Verbindungen in einen ungelösten Zustand überführt. Das entstehende Produkt kann nach einer Flockung durch geeignete physikalische Verfahren (Sedimentation, Flotation, Filtration) abgeschieden werden.. In der Gegenwart von Komplexbildnern (anorganische oder organische Verbindungen, die Metallione binden) kann eine Sulfidfällung erforderlich sein. Störende Anionen werden in der Form ihrer Salze (Calcium-, Eisen- oder Aluminiumsalze) gefällt.</p> <p>Flockung: Ein Grossteil der nach einer Fällungsreaktion gebildeten und im Wasser suspendierten Partikel (Kolloide) sind so klein, dass sie nicht abgetrennt werden können. Durch das Hinzufügen eines Koagulationsmittels (z.B. Eisenchlorid, Aluminiumsulfat, Calciumhydroxid) und der anschliessenden Zugabe eines Flockungshilfsmittels (z.B. Polyelektrolyt PE) erfolgt unter definierten pH-Bedingungen eine Flockenbildung. Die grossen Flocken ermöglichen eine Fest-Flüssig-Trennung durch Sedimentation (Absetzbecken, Schrägklärer) oder Filtration (Kieselfilter mit Rückspülung).</p>	
Einsatzmöglichkeiten	
Medium	Wasser.
Schadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schwermetalle (Schwermetall-Kationen, Chromate, Arsen); ▪ Schwebstoffe; ▪ Härtebildner.

Erforderliche Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none">▪ Ebene Aufstellungsfläche, sichere Chemikalienlagerung, Zufahrt für Transportfahrzeuge ;▪ Übliche Anschlüsse wie Strom, Wasser sollten vorhanden sein;▪ Lagertanks für den abgetrennten Schlamm;▪ Eventuell Platz für Schlammbehandlungsanlagen (Eindicker, Filterpressen, Dekanter, Trockner
Überwachung
<ul style="list-style-type: none">▪ Reinwasser ist zu überwachen (Probenahme oder kontinuierliche Messwerterfassung), z.B. pH-Wert, Trübung;▪ Überwachung des Filterdruckverlustes (automatische oder händische Rückspülvorrichtung);▪ Überwachung des Anlagenbetriebes mittels Datenfernübertragung und automatischem Störmelder über Festnetz oder Mobilfunknetz.
Verfahrensvarianten
<ul style="list-style-type: none">▪ Filtration durch mit anorganischen Ionentauschern bestücktem Festbettfilter;▪ An Stelle einer Kammerfilterpresse kann eine Zentrifuge oder ein Dekanter eingesetzt werden; Liegen nach der Flockung keine absetzbaren Stoffe vor, kann eine Flotation zur Trennung genutzt werden - Um den Trennvorgang zu beschleunigen, werden bei der Flotation die Agglomerate mit Gasbläschen beladen, während klares Wasser im unteren Behälterteil abläuft.
Mögliche oder erforderliche Verfahrenskombinationen
Organische Bestandteile sind vor oder nach der Fällung/ Flockung durch Oxidation oder biologisch abzubauen.
Anwendungserfahrung
Das Verfahren ist langjährig und in den verschiedensten Anwendungsfällen erprobt. Es ist dem Stand der Technik zuzuordnen. Planer und Hersteller sind in allen europäischen Ländern vertreten.

1.5 Biologische Aufbereitung

Andere Bezeichnungen
Biochemische Abwasserreinigung Engl. Bezeichnung: biological wastewater treatment
Prinzip
<p>Die im verunreinigten Grundwasser enthaltenen organischen Bestandteile werden in der biologischen Abwasserreinigung einem Abbauprozess unterzogen. Der oxidative Abbau erfolgt durch Mikroorganismen wie Bakterien und Pilze in Verbindung mit Sauerstoff. Dabei entstehen durch Umwandlungsprozesse anorganische Verbindungen (Kohlendioxid CO₂, Wasser H₂O) und eine nicht weiter abbaufähige Biomasse. Es kommen auch anaerobe Verfahren zum Einsatz.</p> <p>Hydraulische in situ-Verfahren werden oft mit oberirdischen Behandlungsanlagen für das zirkulierende Grundwasser kombiniert. Durch gezielte Milieuoportimierungen in der oberirdischen Behandlungsanlage wird der mikrobielle Abbau von organischen Schadstoffen durch eine verbesserte Sauerstoff- und Nährstoffversorgung in den kontaminierten Zonen des Untergrunds und im Grundwasser beschleunigt.</p>
Wirkungsweise
<p>Die biologische Abwasseraufbereitung ist auch ein biochemischer Prozess, da neben biologischen Abbauprozessen auch chemische Reaktionen der Metabolite (Zwischenprodukte der biochemischen Umsetzung) stattfinden können. Bei den aeroben Prozessen wird über die Luft Sauerstoff in das zu behandelnde Wasser zugeführt. Bei anaeroben Prozessen werden unter weitgehendem Ausschluss von Sauerstoff reduzierende Abbaubedingungen geschaffen (z.B. Denitrifikation, Faulschlammbehandlung).</p> <p>Die biologische Abwasserreinigung erfolgt ohne Störung, solange die Kleinstlebewesen vor Säuren, Laugen und Giftstoffen geschützt sind und ihnen mit dem Abwasser stets neue Nahrung und technisch genügend Sauerstoff oder andere Elektronenakzeptoren (Nitrat, Eisen, CO₂, uva.) zugeführt wird. In ausreichend bemessenen und sorgfältig betriebenen mechanisch-biologischen Wasserbehandlungsanlagen können Abwässer sehr weitgehend gereinigt werden.</p>
Technische Beschreibung
<p>Ex situ-Verfahren: Kontaminiertes Wasser wird aus Grundwasserentnahmehrunden an die Oberfläche in ein Bioanlagensystem gepumpt. Ein dazwischen geschalteter Abscheider trennt vorhandene Öle ab und ein intensives Belüftungssystem gewährleistet im nährstoffbeladenen Wasser eine gute Sättigung mit Sauerstoff. Das Bioanlagensystem kann ein Tropfkörperverfahren sein, d. h. eine Abwasserreinigung mit Hilfe von aeroben Mikroorganismen, die auf fester Materie angesiedelt sind (sogenannter biologischer Rasen).</p> <p>In situ-Verfahren: Nach der biologischen Reinigung in der oberirdischen Bioreaktoreinheit wird das schadstofffreie, aber nährstoff- und mit Mikroorganismen beladene Wasser oberhalb der Schadstofffahne wieder in den Untergrund eingebracht. Die langsame Verteilung der Mikroorganismen und der Nährstoffe in die gesättigte bzw. ungesättigte Zone generiert zusätzlich eine In-situ-Sanierung des Grundwassers. Der biologische Abbau findet dort statt, wo der Schadstoff sich im Untergrund und im Grundwasser befindet - die mikrobiologischen In-situ-Verfahren verwenden den Untergrund als eigentlichen In-situ-Bioreaktor. Falls der Grundwasserspiegel tief liegt, werden Belüftungslanzen abgeteuft, um genügend Sauerstoff in der kontaminierten Zone zu gewährleisten. Die Umgebungsluft kann aktiv mittels einer Vakuumpumpe oder mittels Einblastechnik (Blower) durch die kontaminierte Zone gezogen bzw. gedrückt werden. Die erfasste Porenluft kann über einen Biofilter/Aktivkohlefilter geleitet und abgereinigt werden.</p>



Einsatzmöglichkeiten

Medium	Verunreinigtes Wasser.
Schadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mineralölkohlenwasserstoffe, ▪ Halogenierte Kohlenwasserstoffverbindungen ▪ BTEX, ▪ Benzin, ▪ Kerosin, ▪ Naphthalin, ▪ Phenole, ▪ Ammonium, Ammoniak, Nitrat, Nitrit.

Erforderliche Infrastruktur

Eine ebene Aufstellungsfläche. Übliche Anschlüsse wie Strom und Wasser sollten vorhanden sein.
 Behälter für den Überschussschlamm und Platz für eventuelle Schlammbehandlungsanlagen.

Überwachung

- Das Reinwasser aus der Ex-situ-Anlage ist zu überwachen (Probenahme oder kontinuierliche Messwerterfassung).
- Überwachung des Anlagenbetriebes mittels Datenfernübertragung und automatischem Störmelder über Festnetz oder Mobilfunknetz.
- Zusätzlich zu den Entnahme- und Infiltrationsbrunnen sowie allfälligen Belüftungsanlagen werden Überwachungskontrollstellen wie Piezometer installiert. Der Sanierungsfortschritt bzw. der Verlauf des mikrobiologischen Schadstoffabbaus wird über die Bestimmung der Restbelastungen an Schadstoffen im Grundwasser und im Untergrund mittels Abteufen von Kernbohrungen zur Gewinnung von repräsentativem Probenmaterial überprüft.

Verfahrensvarianten
Die Kombination von aeroben mit anaeroben Behandlungsbereichen erlaubt eine weitergehende Wasserreinigung, z.B. Nitrifikation und Denitrifikation.
Mögliche oder erforderliche Verfahrenskombinationen
<ul style="list-style-type: none">▪ Die Verfahren werden oft in Kombination mit Bioventing und Biosparging angewendet.▪ In Kombination mit aktiven Bodenluftabsaugsystemen lassen sich auch leichtflüchtige Schadstoffe behandeln.▪ Durch Flockung und Fällung oder Filtration muss das Wasser allenfalls vor- bzw. nachgereinigt werden.▪ Bei gelösten flüchtigen Schadstoffen müssen u.U. geschlossene Bioreaktoren verwendet und die Abluft gereinigt werden.
Anwendungserfahrung
<ul style="list-style-type: none">▪ Bewährte Sanierungsmassnahme zur Abreinigung biologisch abbaubarer Schadstoffe im Grundwasser und in der gesättigten Zone. Ist Stand der Technik.▪ Mittel- bis langfristige Sanierungsmassnahme bei mittlerem bis hohem technischem Aufwand.▪ On line-Monitoring ist erforderlich.▪ Geringer bis mittlerer Reparatur- und Unterhaltsaufwand.▪ In situ für sandigen und kiesigen Untergrund geeignet, bei Schichtungen aus unterschiedlich durchlässigen geologischen Schichten nur bedingt geeignet.▪ Geologische Linsen mit Feinmaterial können oft nicht ausreichend durchspült werden, weshalb Schadstoffherde in solchen Bereichen mit geringer Durchlässigkeit erhalten bleiben.

1.6 Membrantechnik

Andere Bezeichnungen
Mikrofiltration, Ultrafiltration, Nanofiltration, Umkehrosmose Engl. Bezeichnungen: Micro Filtration, Ultrafiltration (UF), Nanofiltration, Reverse Osmosis (OR)
Prinzip
Bei der Membrantechnik wirkt die Membrane wie ein Filter, d. h. das zu reinigende Wasser dringt durch die Membran hindurch, während die anorganischen wie auch organischen Verunreinigungen zurückgehalten werden.
Wirkungsweise
<p>Von Membrantechnik spricht man bei Verfahren, bei denen das zu reinigende Wasser durch eine poröse bzw. nicht poröse Membran gepresst wird. Dabei gibt es vier unterschiedliche Verfahren, die sich im Wesentlichen durch die Wahl der Membran unterscheiden:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mikrofiltration, ▪ Ultrafiltration, ▪ Nanofiltration, ▪ Umkehrosmose. <p>Bei der Mikro- und Ultrafiltration werden poröse Membranen, bei der Nanofiltration und der Umkehrosmose nicht poröse Membranen verwendet. Je kleiner die Partikel bzw. Kolloide, Moleküle oder Ionen sind, desto mehr Druck muss aufgebracht werden. Dabei muss der Druck bei der UO so hoch sein, dass der osmotische Druck zwischen Rein- und Schmutzwasser überwunden werden kann. Die kleinen Wassermoleküle passieren als «Permeat» die Membrane (Porendurchmesser zwischen 0.01 und 1'000 µm), während die Verunreinigungen als hochkonzentriertes «Retentat» zurückgehalten werden.</p>
Technische Beschreibung
<p>Aus Festigkeitsgründen ist der Betriebsdruck bei der UO üblicherweise auf etwa 65 bar begrenzt - kann aber je nach System bis zu 120 bar betragen. Der Trennvorgang an der Membrane wird dabei durch eine nur ca. 0.2 µm dicke aktive Schicht geleistet - eine darunter liegende poröse Stützschiicht von 0.2 mm Dicke sorgt für die notwendige Festigkeit. Die Aufkonzentrierung ist abhängig vom Betriebsdruck, welcher immer deutlich über dem auftretenden osmotischen Druck liegen muss. Die Filter sind als Rohr-, Scheiben- oder Wickelmembranmodule im Einsatz. Eine gebrauchsfertige Konstruktionseinheit (Modul) besteht aus mehreren Membranelementen. Mehrere Module werden in Blöcken zusammengefasst. Die Blöcke sind mit den entsprechenden Spül- und Reinigungseinrichtungen sowie Pumpen für den Betrieb ausgerüstet. Membrananlagen werden einstufig, aber auch mehrstufig in Serie geschaltet gebaut. Das Filtermaterial besteht aus Zelluloseacetat, Polyamid oder Polyamidhydrazid.</p>

Verfahrensschema	
<p>Das Diagramm zeigt einen Querschnitt durch eine Membranfiltrationsanlage. Oben befindet sich ein Filtermedium, das als 'poröses Stützmaterial' bezeichnet wird. Darunter liegt eine 'Membrane'. Wasser und Mikromoleküle (kleine Kreise) durchdringen die Membran nach unten in den 'Filtrat'. Makromoleküle (große Kreise) werden von der Membran zurückgehalten und nach oben abgeführt. Pfeile verdeutlichen die Durchdringung der Membran durch Wasser und Mikromoleküle sowie die Zurückhaltung von Makromolekülen.</p>	
Einsatzmöglichkeiten	
Medium	Verunreinigtes oder salziges Wasser
Schadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Organische Verunreinigungen, ▪ Schwermetalle, ▪ Phosphorverbindungen, ▪ Stickstoffverbindungen (NH₃), ▪ Gelöste Salze, ▪ Pestizide, Huminstoffe, Viren, Keime, Farben und Härtebildner.
Einsatzgrenzen	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wesentlich für die Funktion dieses Prozesses ist die Vorbehandlung der Emulsion, die weitestgehend frei von Feststoffen sein muss. ▪ Ebenfalls darf sie keine Stoffe enthalten, die das Material der Membrane verkrusten (verblocken) oder angreifen (schädigend sind: freies Chlor resp. Sauerstoff, Säuren, Laugen, Bakterien). 	
Erforderliche Infrastruktur	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ebene Aufstellungsfläche, Einhausung für die Anlagentechnik; ▪ Übliche Anschlüsse wie Strom und Wasser sollten vorhanden sein. 	
Überwachung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Überwachung des Anlagenbetriebes mittels Datenfernübertragung und automatischem Störmelder über Festnetz oder Mobilfunknetz. ▪ Für die Reinigungsleistung der Anlage sind die Betriebsparameter «Druck, Temperatur, pH-Wert» von entscheidender Bedeutung und müssen überwacht werden. 	

Verfahrensvarianten
Die Module werden üblicherweise in mehrere Blöcke mit interner Umwälzung aufgeteilt. Dadurch erreicht man hohe Überströmgeschwindigkeiten, was Belagsbildung und Verblockungen verhindert. Die Verblockungsgefahr steigt vom Rohr- über den Wickel- zum Scheibenmodul. Die Entsorgung des Konzentrates («Retentat») erfolgt üblicherweise durch eine Eindampfung oder Trocknung.
Mögliche oder erforderliche Verfahrenskombinationen
Die Membranverfahren können je nach gewünschter Reinigungsleistung mit konventionellen Filtrationsverfahren und/oder Ionentauscheranlagen kombiniert werden.
Anwendungserfahrung
Membranverfahren werden häufig zur Betriebswasser- und Trinkwasseraufbereitung, Entsalzung und Enthärtung sowie zur Deponiesickerwasserreinigung eingesetzt. Die Verfahren sind Stand der Technik. Die Anwendung für die Grundwasseraufbereitung ist allerdings noch nicht weit verbreitet.

2. Abluftbehandlung

2.1 Aktivkohle-Adsorption

Andere Bezeichnungen	
Luft-Aktivkohle zur Gasreinigung (Unterscheidung zur Nass-Aktivkohle für die Wasserreinigung). Engl. Bezeichnung: Adsorption with activated carbon/charcoal, GAC.	
Prinzip	
Aktivkohle (AK) entfernt durch Adsorption schwer- und leichtflüchtige organische Substanzen aus belasteter Abluft. Sie dient sowohl der Reinigung von Strip- als auch von Porenluft. Die belastete Luft-AK kann anschliessend mit Dampf regeneriert, reaktiviert oder umweltverträglich entsorgt werden.	
Wirkungsweise	
Die in der Luft vorhandenen gasförmigen Schadstoffe werden beim Durchströmen einer Adsorptionskolonne physikalisch an die AK gebunden. Man versteht darunter die Anlagerung eines Moleküls unterschiedlicher Grösse an die Oberfläche eines anderen Moleküls oder Molekülkomplexes.	
Technische Beschreibung	
Das im Rahmen der Luftaufbereitung am weitesten verbreitete Adsorbens ist die AK. Jedes Aktivkohlekorn ist von unzähligen Poren und Kapillaren durchzogen, an deren Wänden, der so genannten "inneren Oberfläche", die zu beseitigenden Stoffe physikalisch gebunden werden. Aktivkohlen besitzen eine "innere Oberfläche" in der Grössenordnung von 500 bis 1'500 m ² /g.	
Einsatzmöglichkeiten	
Medium	Abluft, Porenluft, Abgase
Schadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geruchs- und Geschmacksstoffe, ▪ Kohlenwasserstoffe, ▪ Organische Chlorverbindungen (z. B. Lösungsmittel), ▪ LHKW, BTEX, MTBE, PAK, LCKW, Phenole, ▪ Gasförmige Schwermetalle (Hg, Cd), nur mit Spezialkohle.
Erforderliche Infrastruktur	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ebene Aufstellungsfläche, ggf. Anschluss an Kanalisation. ▪ Übliche Anschlüsse wie Strom und Wasser sollten vorhanden sein. 	
Überwachung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kontinuierliche Messwerterfassung, bevorzugt nach bzw. zwischen zwei hintereinandergeschalteten Aktivkohlefiltern; ▪ Probennahme: Durch regelmässige Kontrolle der gereinigten Abluft wird ein Durchbruch der Kolonne aufgrund der überschrittenen Beladekapazität der Aktivkohle rechtzeitig erkannt und die Aktivkohle ausgetauscht. 	

Verfahrensvarianten
<ul style="list-style-type: none">▪ Die Porenluft kann allenfalls vor dem AK-Filter zur Verdampfung von Restwasser aufgewärmt werden.▪ Dampfbetriebene Regenerationsanlage für die Aktivkohle on-site.
Mögliche oder erforderliche Verfahrenskombinationen
<ul style="list-style-type: none">▪ Voraussetzung für eine optimale Wirksamkeit der Aktivkohle ist eine Wasser- und Staubabscheidung vor der eigentlichen Adsorptionsstufe.▪ AK-Filter werden oft in Kombination mit anderen Verfahren zur Eliminierung etwaiger Restkontaminationen eingesetzt – z.B. in Kombination mit einer vorgeschalteten thermischen Behandlung oder weiteren Filterstufen.▪ Als sogenannte Polizeifilter kommen nachgeschaltete Aktivkohlefilter dann zum Einsatz, wenn ein Durchbrechen von Schadstoffen in den vorgeschalteten Filteranlagen befürchtet werden muss.▪ Neben Seitenkanalverdichtern unterschiedlicher Leistung können auch Vakuumpumpen oder Ventilatoren eingesetzt werden.
Anwendungserfahrung
<ul style="list-style-type: none">▪ Stand der Technik, vielfach bewährt. Hersteller in allen europäischen Ländern vertreten.▪ Die adsorbierten Schadstoffe können wieder gewonnen und die Aktivkohle vor Ort oder in speziellen Anlagen regeneriert werden.▪ Die Vorteile dieser einfachsten konventionellen Luftreinigungsanlage sind:<ul style="list-style-type: none">- fast universell einsetzbar;- sehr geringe Anschaffungskosten;- ohne Vorversuche sofort einsetzbar;- sehr einfache Handhabung;- hohe Betriebssicherheit.

2.2 Thermische und katalytische Oxidation

Andere Bezeichnungen	
Engl. Bezeichnungen: Thermal treatment, catalytic degasification/treatment of exhaust gases	
Prinzip	
Die thermische und die katalytische Oxidation zerstören organische und anorganische Luftinhaltsstoffe oder verändern sie derart, dass sie anschliessend aus der Luft abscheidbar sind.	
Wirkungsweise	
<p>Mit der Oxidation wird eine chemische Reaktion bezeichnet, bei welcher ein Oxidationsmittel (meist Sauerstoff) einem anderen Element oder Verbindung Elektronen entzieht. Bei der thermischen Nachverbrennung sind Temperaturen um 900°C (650 bis 1050°C) und eine ausreichende Verweilzeit im Verbrennungsraum erforderlich.</p> <p>Durch den Einsatz von Katalysatoren erfolgt die Reaktion zwischen Sauerstoff und Schadstoffen in der Luft bei wesentlich niedrigeren Temperaturen. In beiden Fällen oxidieren organische Stoffe zu Kohlendioxid CO₂ und Wasser H₂O, bilden aber auch Restprodukte wie HCl, HF, SO_x und NO_x, die mit dem Wasserdampf stark sauer reagieren. Anorganische gasförmige Schadstoffe können Oxide oder andere Verbindungen bilden, welche im günstigen Fall in einer nachgeschalteten Reinigungsstufe aus der Luft abscheidbar sind.</p>	
Technische Beschreibung	
<p>Thermische Oxidation: Die thermische Oxidation oder Nachverbrennung ist ein optimales, lufthygienisch bewährtes Verfahren, da die gasförmigen Schadstoffe in der Abluft bis auf Stickoxid, Schwefel, Halogene und Schwermetalle komplett zu Kohlendioxid CO₂ und Wasser H₂O umgesetzt werden können. Im einfachsten Fall kann die thermische Nachverbrennung in anderen vorhandenen Verbrennungsanlagen (z.B. Kesselhaus) erfolgen. Andernfalls muss die notwendige Temperatur durch zusätzlichen Brennstoff erzeugt werden. Schadstoffhaltige Porenluft – die z. B. mit Lösungsmitteln belastet ist - wird mittels eines Gebläses gefördert und in einer speziell konstruierten hitzebeständigen Brennkammer an einer offenen Flamme, die durch einen Öl- oder Gasbrenner erzeugt wird, verbrannt. In einem nachgeschalteten Wärmetauscher kann die Energie aus der Verbrennung zur Bodenluftvorwärmung eingesetzt und so rezirkuliert werden.</p> <p>Katalytische Oxidation: Katalysatoren sind Stoffe, die in den Reaktionsmechanismus eingreifen, aber selbst durch die Reaktion nicht verbraucht werden. Sie setzen die zur Reaktion nötige Aktivierungsenergie herab und beschleunigen die Reaktion, verändern aber nicht die Lage des Gleichgewichts. Als «Katalysator» wird das Trägermaterial mit der katalytisch aktiven Beschichtung bezeichnet. Das Trägermaterial ist im Normalfall ein Keramikkörper, in dessen feinen Kanälen das eigentlich katalytische Material aufgebracht ist – die bei Gasreinigungsprozessen am häufigsten verwendeten aktiven Beschichtungen sind Metalle oder Metallverbindungen.</p>	
Einsatzmöglichkeiten	
Medium	Porenluft, Abluft
Schadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Benzin, ▪ organische Kohlenwasserstoffe (VOC), ▪ Mineralölkohlenwasserstoffe, ▪ geruchsintensive Schadstoffe, ▪ Kerosin, ▪ Phenole, ▪ BTEX, ▪ MTBE.

Erforderliche Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none">▪ Ebene Aufstellungsfläche, Kamin, Tanklager oder Gasanschluss;▪ Übliche Anschlüsse wie Strom, Wasser sollten vorhanden sein.
Überwachung
Um die Reinigungsleistung der Anlage beurteilen zu können und die Qualität der Abluft zu überwachen, ist es unbedingt notwendig, sowohl die Roh- als auch die Reinluft online sowie durch stichprobenartige Probenahme in vorzuziehenden Intervallen zu kontrollieren. Die Online-Messung kann zum Beispiel über einen PID (Photoionisationsdetektor) oder einen FID (Flammenionisationsdetektor) erfolgen. Die Messung eines Summenparameters (organischer Kohlenstoff) ist oftmals für die Kontrolle der Abreinigung einer solchen Anlage ausreichend.
Verfahrensvarianten
Üblicherweise muss der thermischen Behandlung eine oder mehrere Absorptionsstufen nachgeschaltet werden, um die schädlichen Rauchgase wie Schwefeloxide, Stickstoffverbindungen sowie HCl und HF abzuscheiden. Siehe hierzu auch Kap. 2.4
Mögliche oder erforderliche Verfahrenskombinationen
Die thermische und die katalytische Verbrennung sind nur dann wirtschaftlich zu betreiben, wenn die Schadstoffkonzentrationen in der Porenluft oder der Abluft sehr hoch sind. Die thermische Behandlung lässt sich mit einer anschließenden Adsorption kombinieren.
Anwendungserfahrung
Generell: <ul style="list-style-type: none">▪ Sehr hoher Wirkungsgrad;▪ die Zusammensetzung der Abluft muss bekannt sein;▪ kleiner Druckverlust;▪ gut steuerbare Prozesse;▪ wegen Kamin problematische Akzeptanz. Katalytische Oxidation: <ul style="list-style-type: none">▪ geringere Temperaturen als andere thermische Verfahren, dadurch weniger Materialprobleme, rascher aufgeheizt, usw.;▪ gewisse chemische Verbindungen sind katalytisch schwierig abbaubar;▪ jeder Katalysator kann vergiftet werden. Die thermische Behandlung ist Stand der Technik. Für die Porenluftbehandlung kommen meistens katalytische Verfahren zum Einsatz, da sie geringere Betriebskosten verursachen und die nachgeschaltete Abluftbehandlung technisch einfacher gestaltet werden kann.

2.3 Biologische Abluftreinigung

Andere Bezeichnungen
Biochemische Luftbehandlung, Biofilter. Engl. Bezeichnung: Biological waste air treatment.
Prinzip
Die in der Abluft enthaltenen wasserlöslichen, organischen Bestandteile werden in der biologischen Abluftreinigung einem Abbauprozess unterzogen. Der Abbau erfolgt durch Mikroorganismen wie Bakterien und Pilze in Verbindung mit Sauerstoff (biologische Oxidation). Dabei entstehen durch Umwandlungsprozesse anorganische Verbindungen (Kohlendioxid CO ₂ , Wasser H ₂ O) und Biomasse.
Wirkungsweise
Im Unterschied zur Abwasseraufbereitung müssen die Stoffe bei den biologischen Abluftreinigungsverfahren erst von der Gasphase in die wässrige Phase übergehen, bevor sie abgebaut werden können. Hierzu muss üblicherweise Wasser in den Prozess eingeleitet werden.. Für Mikroorganismen sind in Wasser gelöste Stoffe zum Energiegewinn geeignet, wobei grundsätzlich alle organischen Verbindungen verwertbar sind. Sie unterscheiden sich allerdings stark in der Abbaugeschwindigkeit. Zusätzlich oxidieren einige Mikroorganismen die geruchsintensiven, anorganischen Verbindungen H ₂ S und NH ₃ zu geruchsneutralem SO ₄ ²⁻ und NO ₃ ⁻ . Die biologische Abluftreinigung erfolgt ohne Störung, solange die Kleinstlebewesen vor Säuren, Laugen und Giftstoffen geschützt sind und ihnen mit der Abluft stets neue Nahrung und genügend Sauerstoff zugeführt wird.
Technische Beschreibung
<p>Biofilter: Ein Ventilator fördert die zu behandelnde Abluft durch ein Filterbett, bestehend aus einem angefeuchteten, organischen Material. Die zu beseitigenden gasförmigen Verbindungen werden im Feuchtfilm des Materials gelöst und von den Mikroorganismen aufgenommen und abgebaut – zusammen mit dem langsamen und von den Abgaskomponenten unabhängigen Abbau des organischen Filtermaterials. Das Filtermaterial stellt den Mikroorganismen Nahrung, Nährsalze und Wasser zur Verfügung. Nach einigen Jahren ist ein Filtermaterialwechsel notwendig, da der Abbau des Bettes eine Zunahme des Feinkornanteils und damit des Druckverlustes bewirkt. Zur Aufrechterhaltung der Filtermaterialfeuchte wird ein Befeuchter vorgeschaltet.</p> <p>Biowäscher: Ein Ventilator fördert die zu behandelnde Abluft in den Wäscher. Hier werden die Abgasinhaltsstoffe im Wasser gelöst. Die im Wasser gelösten Schadstoffe werden durch Mikroorganismen in einem nachgeschalteten Belebungsbecken (Kläranlage) oder auf im Wäscher angeordneten und besprühten Festkörpern (mit Biofilm bewachsen) abgebaut. Die Biowäscher sind volumen- und platzmässig wesentlich kleiner als die unter vergleichbaren Bedingungen arbeitenden Biofilter. Die Mikroorganismen können allerdings auch zu Verstopfungen der Füllkörper und der Sprühdüsen führen. Die Abbautätigkeit der Mikroorganismen erzeugt im Wesentlichen CO₂, H₂O und weitere saure Nebenprodukte (SO_x, HCl, HF etc.), die diese schädigen – daher ist eine pH-Regulierung notwendig.</p>

Einsatzmöglichkeiten	
Medium	Porenluft, Abluft
Schadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Benzin, ▪ organische Kohlenwasserstoffe (VOC), ▪ Mineralölkohlenwasserstoffe, ▪ geruchsintensive Schadstoffe, ▪ Kerosin, ▪ Phenole, ▪ BTEX, ▪ Geruchsstoffe etc.
Erforderliche Infrastruktur	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ebene Aufstellungsfläche, Zufahrt. ▪ Übliche Anschlüsse wie Strom, Wasser sollten vorhanden sein. 	
Überwachung	
<p>Generell:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatur: 10 bis 40°C (in speziell angepassten Anlagen sind auch Temperaturen bis 55°C möglich); ▪ Feuchte > 0.9: Dies entspricht einer Wasserdampfsättigung der Abluft im Bereich der Mikroorganismen von 90%; ▪ pH-Wert: annähernd neutral (beim Abbau anorganische Schwefelverbindungen sind stark saure pH-Werte sinnvoll); ▪ Kein Einleiten von sterilisierenden Gasen: Diese Verbindungen haben eine toxische Wirkung auf die Mikroorganismen und zerstören sie; ▪ Geeignetes Verhältnis von C:N:P: kann bei der Behandlung lösemittelbelasteter Luft ganz wichtig sein, ist aber bei der Geruchseliminierung kein Problem; ▪ Ausreichende O₂-Versorgung: Anwendungen bei < 13% O₂-Gehalt sind nicht möglich; ▪ Online-Monitoring: Abluft- und Abwasserkontrolle. <p>Biowäscher:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Limitierung des Stickstoffangebotes oder mechanische Auswaschvorrichtung (Vermeidung von Verstopfungen durch Biomasse); ▪ pH-Wert Regulierung (Neutralisation saurer Nebenprodukte der Mikroorganismen-Abbautätigkeit); ▪ Teilstromausschleusung und Aufbereitung von Waschwasser; ▪ Kontrolle und Regulierung der Versorgung mit N und P. 	
Verfahrensvarianten	
<p>Biorieselbett: Das Rieselbett ist dem Biofilter sehr ähnlich. Der Unterschied besteht im Einsatz eines inerten Filtermaterials mit "unbegrenzter" Standzeit und geringem Druckverlust. Das Material kann keine Feuchte speichern und es wird deshalb mit Wasser - allenfalls angereichert mit Nährsalzen (Dünger für die Mikroorganismen) - berieselt.</p>	

Mögliche oder erforderliche Verfahrenskombinationen

Biofilter: Je nach Einsatzbereich muss die Abluft vor dem Biofiltereintritt konditioniert werden. Es kommen hierfür spezielle Wäscher zum Einsatz, um die Anforderungen wie Staubabscheidung, Temperierung und Befeuchtung abzudecken.

Biowäscher: Bei den meisten Anwendungsfällen der biologischen Abluftreinigung liegt eine vielfältige Mischung gering konzentrierter und teilweise auch schlecht wasserlöslicher Abluftinhaltsstoffe vor. Daher wird der Biowäscher häufig als Vorbehandlung eines Biofilters benutzt. Er übernimmt dann neben der Vorabscheidung die Aufgabe des Befeuchters und das Biofiltervolumen kann entsprechend seiner Vorabscheidung kleiner dimensioniert werden.

Anwendungserfahrung

- Bewährte Anlagen zur Abreinigung biologisch abbaubarer Schadstoffe in der Porenluft und der Abluft aus Wasserreinigungsanlagen: Stand der Technik.
- Mittel- bis langfristige Sanierungsmassnahme bei mittlerem bis hohem technischem Aufwand.
- Geringer bis mittlerer Reparatur- und Unterhaltsaufwand.
- Die Anwendbarkeit beschränkt sich ausschliesslich auf biologisch abbaubare Schadstoffe.
- **Bioflächenfilter:** Investitionskostengünstig aber mit grossem Platzbedarf verbunden.
- **Containerfilter:** Höhere Betriebssicherheit, niedriger Grundflächenbedarf, homogene Durchströmung, geschützt gegen störenden Umwelteinflüssen, Möglichkeit der Stapelung der Einzelmodule.
- Biofilter (speziell für grosse Abluftvolumenströme) und -wäscher haben sich bei der Eliminierung von organischen Kohlenwasserstoffen und geruchsintensiven Schadstoffen als zuverlässige Systeme bewährt.

2.4 Absorption zur Abluftreinigung nach thermischen Prozessen

Andere Bezeichnungen
Gaswäsche Nasswäscher, Gaswäscher, Trockensorptionsverfahren. Engl. Bezeichnung: Chemical Absorption, Wet Scrubber.
Prinzip
Die in der Abluft enthaltenen sauren Gase werden in einem Reaktor in eine Waschflüssigkeit abgeschieden oder in trockene Partikel chemisch eingebunden. Dabei erfolgt eine chemische Reaktion zwischen den basischen Feststoffpartikeln oder einer Lauge im Waschwasser und es entstehen Salze. Trockene Absorber erfordern einen nachgeschalteten Staubabscheider – nasse Absorber sind zusätzlich in der Lage, Stäube (Schwermetalle) und Aerosole (Säuren, Schwermetalle) abzuscheiden.
Wirkungsweise
In einem trockenen oder nassen Absorber ist die Absorption abhängig von der Teilchen(Tropfen)-dichte und deren Grösse. Trockenes Verfahren: Das Absorptionsmittel ist hier üblicherweise Calciumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Pulverform und die sauren Gase reagieren mit dem Kalk zu Salzen. Nasses Verfahren: Hier spielt beim Absorptionsvorgang zusätzlich die Löslichkeit (abhängig vom Partialdruckgefälle) der sauren Gase im Waschwasser eine wesentliche Rolle. Gut lösliche Gase (z. B. HCl) können ausserhalb der Waschkolonne mit Kalk neutralisiert werden. Schlecht lösliche Gase (z. B. SO_x) werden direkt im Wäscher mit Natronlauge NaOH – um Gipsbildung im Reaktor und damit Verstopfungen zu vermeiden – neutralisiert.
Technische Beschreibung
Trockenes Verfahren: Die zu reinigenden Gase werden durch einen Reaktor mit nachgeschalteter Staubabscheidung gefördert. Im Reaktor werden Calciumhydroxid-Partikel $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in den Gasstrom eingeblasen. Durch Absorption der Schadgase und deren Reaktion mit den Calciumhydroxidmolekülen entstehen auf der Oberfläche dieser Partikel Salze, die sich teilweise ablösen – die Reaktionen erzeugen Wärme und die Reaktionsprodukte spalten sich durch die daraus folgende Wärmedehnung ab. Somit wird die Oberfläche der Calciumhydroxidpartikel partiell erneut reaktiviert. Für eine optimale Reaktion sind Kontaktoberfläche, Verweilzeit und Wassergehalt im Rauchgas von entscheidendem Einfluss. Bei stark schwankenden Schadgasmengen muss die Anlage mit einem höheren Sorptionsmittelüberschuss (stöchiometrischer Faktor: 1.5 bis 3) betrieben werden, damit die Reingaswerte einhaltbar sind. Als Reaktionskammern werden verschiedene Apparate (Zyklon-, Venturireaktor mit expandierender Wirbelschicht, Drallkontaktstrecke) eingesetzt. Zur Abscheidung der Reaktionsprodukte setzt man einen Staubfilter ein. Im Filter findet dabei eine zusätzliche Reaktion in der Sorptionsmittelschicht an der Filteroberfläche statt. Oft wird ein Teil der abgeschiedenen Rückstände rezirkuliert, um möglichst viel Calciumhydroxid durch die Schadgasabscheidung zu verbrauchen. Nasses Verfahren: Im Normalfall führt man die Porenluft nach Absaugung aus der Altlast direkt in den eigentlichen Wäscherbereich – vergleichbar mit einer Waschmaschine. Der Wäscher (Füllkörper-, Düsenwäscher) setzt sich maximal aus drei Stufen zusammen: - saure Wäsche, in welcher HCl und HF abgeschieden werden; - neutrale Wäsche zur Schwefeloxidabscheidung (meist mit Natronlauge neutralisiert); - Feinststaub- und Aerosolabscheidung. Im Normalfall verläuft der Wasserdurchfluss beim Wäschersystem im Gegenstrom zu den Gasen und das Waschwasser wird anschliessend in einer Abwasserreinigungsanlage mit Kalk neutralisiert und aufbereitet. Dabei entstehen durch Fällung und Flockung ein Schlamm und ein salzhaltiges Abwasser.

Einsatzmöglichkeiten	
Medium	Abluft aus thermischen Abluftbehandlungsanlagen
Schadstoffe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ HCl, HF, HI, HBr, SO_x, ▪ Ethylenoxid C₂H₄O, Silan SiH₄, Amin, Ammoniak NH₃ ▪ leichtflüchtiger organischer Lösemittel (VOC) ▪ Aerosole (Hg, HCl, Salze) ▪ Anorganische/organische Stäube ▪ Schwermetallstäube
Erforderliche Infrastruktur	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ebene Aufstellungsfläche, ggf. Anschluss an Kanalisation, sichere Lagerung von Chemikalien und Reststoffen (fest oder schlammförmig); ▪ Übliche Anschlüsse wie Strom, Wasser sollten vorhanden sein. 	
Überwachung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abluftkontrolle; ▪ Abwasserkontrolle; ▪ Temperaturüberwachung (z. B. am Wäschereintritt). 	
Verfahrensvarianten	
<p>Trockensorption mit pulverförmigen Chemikalien, Quasitrockene Absorption mit flüssigen Chemikalien, deren Wasseranteil im Prozess vollständig verdunstet und Nassabsorption (Gaswäscher) die eine aufwendige Abwasserreinigung erfordern. Die Restprodukte sind meist Gips</p>	
Mögliche oder erforderliche Verfahrenskombinationen	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ein Reaktor oder Wäscher ist immer mit einer Staub- oder Aerosolabscheidung zu kombinieren; ▪ Ein Nass-Wäscher muss immer eine Abwasserbehandlung aufweisen, die beiden „trockenvarianten“ nicht; ▪ Die Rückstandsentsorgung muss gewährleistet sein. 	
Anwendungserfahrung	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bewährte Sanierungsmassnahme zur Abreinigung absorbierbarer Schadstoffe in der Abluft. ▪ Bei der Bodenluftreinigung nur als nachgeschaltete Stufe zur Katox-Anlage oder thermischen Verbrennung. ▪ Relativ kostenintensiv. ▪ Geringer bis mittlerer Reparatur- und Unterhaltsaufwand. ▪ Verstopfungsgefahr (Trocken: Feuchte Reaktionsprodukte - Nass: Verblockungsgefahr). ▪ Absorptionsabscheider werden seit den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts in den verschiedensten Bereichen eingesetzt (Chemische Industrie, Stahlindustrie, Abfallverbrennung, usw.) ▪ Die Abscheider können dem Stand der Technik zugeordnet werden. ▪ Relativ aufwendige Verfahrens- und Anlagentechnik. 	