

Grundwissen

für Betreiber von

Kläranlagen



VTA Engineering und Umwelttechnik GmbH
Hauptstr. 2 A-4675 Weibern
Tel. +43(0)7732/4133 Fax: +43(0)7732/2270
E-mail: vta@vta.cc
Homepage: vta.cc

Chemie in der Abwassertechnik

Die Aufgabe einer Kläranlage ist es, die im Abwasser enthaltenen Stoffe, die für den Vorfluter schädlich sind, aus dem Abwasser zu entfernen, oder in Stoffe umzuwandeln, die für den Vorfluter unschädlich sind.

Die Lehre von den Stoffen und Stoffumwandlungen nennt man "**Chemie**". Die Grundbegriffe der Chemie sind daher für das Verständnis der Vorgänge bei der Abwasserreinigung erforderlich.

Alle Stoffe bestehen aus **Elementen**, die selbst nicht weiter zerlegt werden können, wie z.B. Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Aluminium.

Man unterscheidet zwischen **Metallen** und **Nichtmetallen**, wie z.B. Eisen, Aluminium, Magnesium, Zink,... (Metalle), sowie Sauerstoff, Wasserstoff, Chlor,... (Nichtmetalle).

Am häufigsten kommen die Elemente jedoch in **Verbindungen** vor. Wasser z.B. ist eine Verbindung aus den Elementen Sauerstoff und Wasserstoff. Sauerstoff und Wasserstoff sind bei normaler Temperatur Gase, aus denen die Flüssigkeit Wasser entsteht. Eine chemische Verbindung hat demnach ganz andere Eigenschaften als die Elemente, aus denen sie zusammengesetzt sind.

Die kleinsten Teilchen eines **Elements** nennt man **Atome**.

Die kleinsten Teilchen einer chemischen **Verbindung** heißen **Moleküle**.

Vereinigen sich zwei oder mehrere Atome miteinander, so entsteht ein Molekül. Zur Veranschaulichung und Darstellung chemischer Reaktionen hat man den Elementen chemische Zeichen (Symbole) gegeben, damit nicht immer der Name des Stoffes ausgeschrieben werden muss, z.B.

Kohlenstoff	C	Sauerstoff	O	Wasserstoff	H
Stickstoff	N	Phosphor	P	Schwefel	S
Chlor	Cl	Natrium	Na	Kalzium	Ca
Eisen	Fe	Aluminium	Al	Kupfer	Cu

Vereinigen sich mehrere Atome zu einem Molekül, so wird ihre Anzahl durch eine **tiefgestellte** Zahl angegeben, z.B. Wasser = H_2O , d.h. das Wassermolekül besteht aus zwei Atomen Wasserstoff (H_2) und einem Atom Sauerstoff (O).

Mit Hilfe chemischer Zeichen und Formeln lassen sich nicht nur chemische Reaktionen anschaulich darstellen, sondern sie zeigen auch an, welche Mengen der beteiligten Stoffe miteinander reagieren bzw. in welchem Mengenverhältnis die einzelnen Elemente einer Verbindung zueinander stehen. Dazu ist jedoch die Kenntnis der **Atomgewichte** erforderlich.

Unter Atomgewicht (Atommasse) versteht man eine Verhältniszahl, die angibt, wie groß die Atommasse eines Elementes im Vergleich zu der eines anderen ist, z.B.

Wasserstoff	1	Sauerstoff	16
Kohlenstoff	12	Stickstoff	14
Aluminium	27	Eisen	55,85

Bei der Reaktion von Wasser vereinigen sich zwei H-Atome mit einem O-Atom zu einem Molekül H₂O; das entspricht nach den Atomgewichten einem Gewichtsverhältnis von

$$2\text{H} : \text{O} = 2 \cdot 1 : 16 = 1 : 8$$

Das **Molekulargewicht** (Molekular- oder Molmasse) eines Moleküls ergibt sich aus den Atomgewichten der darin enthaltenen Elemente.

Es beträgt für Wasser:

$$\text{H}_2\text{O} = 2 \cdot 1 + 16 = 18$$

Die Menge eines Stoffes in Gramm (g), die durch das Molekulargewicht angegeben ist, bezeichnet man als Mol (mol). Unter 1 mol Wasser versteht man also 18 g.

Metalle sind positiv geladen, und reagieren mit Wasser zu einer **Lauge**.

Nichtmetalle sind negativ geladen, und reagieren mit Wasser zu einer **Säure**.

In einem Molekül heben sich die Ladungen immer gegenseitig auf.

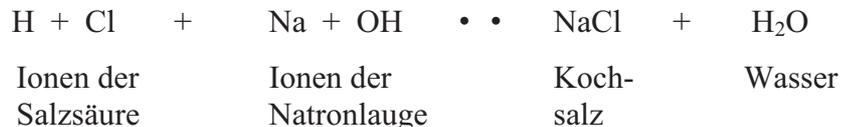
Unter **Neutralisation** versteht man die Reaktion zwischen einer Säure und einer Lauge.

Säuren sind Verbindungen, die in wässriger Lösung Wasserstoff-Ionen (H⁺) abspalten.

Laugen sind Verbindungen, die in wässriger Lösung Hydroxyd-Ionen (OH⁻) abspalten.

Säuren und Laugen reagieren miteinander unter Bildung von Wasser und einem Salz.

Zum Beispiel:



Je mehr Wasserstoff-Ionen im Wasser enthalten sind, umso stärker ist die Säure. Je mehr OH-Ionen enthalten sind, umso stärker ist die Lauge. Man kann den sauren bzw. alkalischen Charakter einer Lösung durch ihren Gehalt an H⁺-Ionen ausdrücken. Als Maß für diesen Gehalt an H⁺-Ionen und damit die Stärke einer Säure bzw. Lauge wird der **pH-Wert** verwendet.

pH-Abstufungen:

0 1 2 3	4 5 6	7	8 9 10	11 12 13 14
stark sauer	schwach sauer	neutral	schwach alkalisch	stark alkalisch

Die für die Neutralisation einer sauren Lösung erforderliche Menge an Lauge hängt vom pH-Wert der Lösung ab. Die Menge an Neutralisationsmittel wird umso geringer, je näher man dem Neutralpunkt (pH = 7) kommt.

Man spricht von einer **Fällung** (Phosphatfällung,...), wenn bei der Reaktion zweier oder mehrerer Verbindungen in einer Lösung ein Niederschlag entsteht.

Abwasseranfall

Grundsätzlich muss man zwischen dem Trockenwetteranfall (nur Schmutzwasser) und dem Regenwetteranfall (Schmutz- und Regenwasser unterscheiden).

Das Schmutzwasser setzt sich zusammen aus dem:

- Häuslichen Schmutzwasser
- Schmutzwasser aus Gewerbe und Industrie (eventuell der Landwirtschaft)
- Fremdwasser

Das **häusliche Abwasser** fällt täglich an, aber es gibt starke Schwankungen in Menge und Zusammensetzung über den Tag hin.

Nachdem der Wasserverbrauch 150 - 200 l pro Einwohner und Tag beträgt (in kleinen Gemeinden weniger) errechnet sich im Mittel bei der Tagesspitze eine Abwassermenge von 0,5 - 0,8 Liter pro Sekunde je 100 Einwohner.

Das **Abwasser aus Industrie und Gewerbe** kann ebenfalls sehr unterschiedlich anfallen. Bei kleineren Abwasserreinigungsanlagen sollte aber der Anlagenzulauf bedingt durch die baulichen Grundvoraussetzungen keinen starken Schwankungen unterlegen sein.

Fremdwasser ist sauberes Grund- oder Quellwasser, das bei Trockenwetter ins Kanalnetz gelangt. Grund dafür sind meistens undichte Kanäle, Dränagen usw.. Am einfachsten lässt sich das Fremdwasser in den frühen Morgenstunden (ca. 4 - 6 h früh) auf der Kläranlage feststellen, weil zu dieser Zeit die Menschen fast alle schlafen und daher kein Abwasser verursachen.

Die **Regenwassermengen**, die bei starkem Regen im Kanalnetz abgeführt werden müssen, können etwa das hundertfache des Schmutzwasserabfalls ausmachen. Bei kleineren Anlagen darf aber meistens kein Regenwasser eingeleitet werden (Vorsicht bei eingeleiteten Dachwässer).

Abwasserzusammensetzung

Das Schmutzwasser besteht zu einem großen Teil aus den menschlichen Ausscheidungen und Reinigungsmitteln, gegenüber dem Regenwasser, dass hauptsächlich vorwiegend mineralische Stoffe enthält.

Die Verunreinigungen im häuslichen Schmutzwasser bestehen zu etwa 2/3 aus organischen Stoffen und zu 1/3 aus mineralischen Stoffen. Bedingt durch den hohen organischen Anteil ist deshalb Abwasser fäulnisfähig.

Die 3 wichtigsten Gruppen von Abwasserinhaltsstoffen:

- Mineralische oder anorganische Stoffe
- Organische oder fäulnisfähige Stoffe
- Krankheitskeime (Erreger von Krankheiten)

Für den Kläranlagenbetrieb reicht diese grobe Unterteilung jedoch nicht aus.

Einteilung nach einzelnen Schritten der Abwasserreinigung:

1. **Grobe Sperrstoffe** (z.B. Holzstücke, Konservendosen,...) Entfernung durch Grobrechen (Spaltweite 5 - 10 cm)
2. **Feine Sperrstoffe** (z.B. Kotballen, Tampons, Papier,...) Entfernung durch Feinrechen (Spaltweite 1 - 5 cm) Siebe (Spaltweite 0,5 - 5 mm).
3. **Schwere Sinkstoffe** (z.B. Sand) Rückhalt in Sandfängen
4. **Absetzbare Stoffe** (z.B. Kotpartikel, Speisereste, ...) Entfernung durch Absetzen in Absetzbecken.
5. **Aufschwimmbare Stoffe** (z.B. Fett und Öl) Unbedingt diese Stoffe an der Anfallstelle zurückhalten (Fett- oder Ölabscheider).
6. **Nicht absetzbare Schwebstoffe** und Kolloide (Teilchengröße so klein das mit freiem Auge nur Trübe erkennbar ist). Entfernung durch biologische Reinigung.
7. **Gelöste organische Schmutzstoffe** (z.B. Zucker, Abwaschwasser). Entfernung durch biologische Reinigung
8. **Gelöste Pflanzennährstoffe** (Stickstoff und Phosphor). Entfernung des Stickstoffs durch biologische Reinigung, Entfernung des Phosphors durch chem. und biol. Reinigungsvorgänge.
9. **Krankheitserreger** (z.B. Bazillen, Wurmeier, Viren); trotz weitgehender Entfernung in biologischen Reinigungsanlagen bleibt das Abwasser ansteckungsfähig. • **Hygiene**

Die **Punkte 1 - 5** nennt man in der Fachsprache "**mechanische Reinigung**" und unterliegen physikalischen Gesetzmäßigkeiten.

Durch die **mechanische Reinigung** können etwa **1/3 der organischen (fäulnisfähigen) Stoffe** des Abwassers entfernt werden.

Die **Punkte 6 - 9** nennt man in der Fachsprache "**biologische Reinigung**" und diese Inhaltsstoffe werden in der Abwasserreinigungsanlage weitgehend entfernt bzw. umgewandelt.

Es ist daher leicht einzusehen, dass die Entfernung der **2/3 der fäulnisfähigen Stoffe** am wichtigsten ist. Werden diese Stoffe nicht zurückgehalten, so führt die Einleitung des Abwassers zu einer deutlichen Verschlechterung der Gewässergüte, und somit der Bach bzw. Fluss oder See bedingt durch die Selbstreinigungskraft selbst zur Kläranlage.

Biologische Abwasserreinigung

Die biologische Abwasserreinigung mit Kohlenstoffentfernung und Nitrifikation bzw. Denitrifikation (Abbau des Ammoniumstickstoffes bzw. des Nitratstickstoffes) ist heute auch für Einzelobjekte in Österreich vorgeschrieben. Sie gilt als Mindestanforderung, bevor die gereinigten Abwässer in die Fließgewässer (Vorfluter) eingeleitet werden.

Abbau der Kohlenstoffverbindungen

Bei der biologischen Abwasserreinigung dienen die im Abwasser enthaltenen Schmutzstoffe (Kohlenstoffverbindungen) den Mikroorganismen als Nahrung. Dabei verwandeln sie die organischen Schmutzstoffe teilweise in anorganische Endprodukte (z.B. Wasser, Kohlendioxid), zum Teil dienen sie als Baustoffe für die eigene Körpersubstanz (Zellaufbau). Je nach der Menge des Nahrungsangebotes wachsen und vermehren sich die Mikroorganismen. Bei Nahrungsmangel "veratmen" sich die Mikroorganismen unter Verminderung der Zellsubstanz selbst. Das „zuviel“ an Bakterien (Biomasse) wird als Überschussschlamm bzw. Klärschlamm aus dem System entfernt.

Beide Prozesse, die hier getrennt beschrieben wurden, laufen in der Natur gleichzeitig und miteinander eng verzahnt ab.

Entfernung der Stickstoffverbindungen (Nitrifikation - Denitrifikation)

Die im Abwasser vorhandenen Stickstoffverbindungen werden sehr rasch, teilweise schon in der Kanalisation im Ammoniumstickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) umgewandelt. In hochbelasteten Anlagen, in denen keine Zeit zur Entwicklung von Stickstoff-oxidierenden Bakterien (Nitrifikanten) zur Verfügung steht, findet man den Stickstoff in dieser Form ($\text{NH}_4\text{-N}$) im Ablauf. In niedriger belasteten Anlagen können sich Nitrifikanten bilden, die Oxidation von Ammonium-Stickstoff zum Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$) unter zusätzlichem Verbrauch von Sauerstoff und Produktion von Säure (H^+) in einer zweistufigen Reaktion durchführen.



Dieser Prozess der Oxidation der Stickstoff-Verbindungen wird als Nitrifikation bezeichnet. Das Wachstum von nitrifizierenden Bakterien wird stark von der Temperatur beeinflusst, d.h. dass die Nitrifikanten während des Sommers wesentlich leichter als während des Winters erreicht werden kann.

Bei Störungen (z.B. hohe N-Konzentrationen, ungünstige pH-Verhältnisse) kann es zu einer Unterbrechung der Nitrifikation und zur Anreicherung von Nitrit-N ($\text{NO}_2\text{-N}$) im Ablauf kommen. (Fischgift!). Für die Nitrifikation und für das Wachstum von nitrifizierenden Bakterien muss gelöster Sauerstoff vorhanden sein (aerobe Bedingungen).

Der Abbau von $\text{NO}_3\text{-N}$ zu Stickstoff-Gas (N_2) wird Denitrifikation bezeichnet. Die Denitrifikation wird von den meisten Kohlenstoffabbauenden Bakterien in Gegenwart von Nitrat-N und bei

Abwesenheit von gelöstem Sauerstoff (anoxische Bedingungen) durchgeführt. Durch das Fehlen von gelöstem Sauerstoff entnehmen die Bakterien den für ihren Stoffwechsel erforderlichen Sauerstoff dem Nitrat-Molekül, das dabei in Stickstoff-Gas übergeführt wird. Daneben verbrauchen sie auch einen Teil der bei der Nitrifikation gebildeten Säure. Unkontrollierte Denitrifikation im Nachklärbecken kann zur Bildung von Schwimmschlamm führen.

Phosphor-Entfernung

Zum Aufbau ihrer Körpersubstanz brauchen die Bakterien unbedingt eine bestimmte Menge an Phosphorverbindungen (Erfahrungswert $\text{BSB}_5 : \text{N} : \text{P} = 100 : 5 : 1$). Da der Phosphorgehalt im häuslichen Abwasser aber höher liegt, können auf diese Weise nur ca. 30 bis 40% des Phosphors aus dem Abwasser entfernt werden. In der Regel muss bei höheren Anforderungen an die Phosphatentfernung eine chemische Fällung des Phosphors erfolgen.

Da Phosphorverbindungen nur über den Klärschlamm aus dem Abwasser entfernt werden können, ist bei der Zugabe von Fällungsmitteln auf deren Gehalt an **Schwermetallen** besonderes Augenmerk zu richten. Bei der Verwendung von Fällmitteln mit hohen Schwermetallgehalten steigt die Schwermetallkonzentration im Klärschlamm, wodurch Probleme bei der landwirtschaftlichen Verwertbarkeit des Klärschlammes entstehen können.

Die Fällungs- und Flockungsprodukte waschen durch physikalische und verfahrenstechnische Einflüsse unter Einschluss im Wasser enthaltener ungelöster, suspendierter Stoffe zu größeren Partikeln, die durch die herkömmlichen physikalischen Verfahren der Phasentrennung (z.B. Sedimentation, Filtration) von der flüssigen Phase (gereinigtes Abwasser) abgeschieden werden können.

Grundsätzlich muss gesagt werden:

„Wer keine schwermetallhaltigen Fällmittel einsetzt, braucht im nachhinein diese Schwermetalle auch nicht wieder teuer aus dem Reinigungsprozess zu entfernen.“

Ein wirksames Verfahren zur Phosphorfällung muss im wesentlichen vier Verfahrensschritte enthalten:

- Dosierung des Fällmittels in Abwasser
- kurze intensive Durchmischung von Fällmittel und Abwasser bei hoher Turbulenz. Es kommt zur chemischen Fällung, Koagulation und Bildung von Mikroflochten. Als Aufenthaltszeit wird im allgemeinen ca. 1 min empfohlen.
- Bildung von Makroflochten. Reaktionszeit 20 - 30 min, bei geringer Turbulenz
- Abscheiden der Flochten

Im Kleinkläranlagenbereich unterscheiden wir verschiedene Systeme der biologischen Abwasserbehandlung, die im folgenden Abschnitt genauer beschrieben werden.

Belebtschlammverfahren

Verfahrenstechnik

Beim Belebtschlammverfahren wird das Abwasser kontinuierlich durch das **Belebungsbecken** geleitet. Die Mikroorganismen, von denen die organischen Schmutzstoffe abgebaut werden, schwimmen im Wasser. Sie siedeln sich in Kolonien auf vorhanden fein verteilten Schweb- und Feststoffen an und bilden als **Flocken** den belebten Schlamm. Die Flocken sind nur wenig schwerer als Wasser und setzen sich daher im allgemeinen schlechter als Tropfkörperschlamm ab. Je nach Abwasserzusammensetzung und Konzentration der Schmutzstoffe finden sich sehr unterschiedliche Arten von Mikroorganismen im Schlamm. Daher kann man aus der Art und Zusammensetzung des Schlammes Rückschlüsse auf die Funktion oder Störung der Abwasserbehandlung ziehen.

Der von den Organismen zum Leben benötigten **Sauerstoff** wird künstlich zugeführt. Durch Oberflächenbelüfter oder Kompressoren und Filterkerzen wird Luft in das Abwasser eingetragen. Diese verteilt sich in kleinen Bläschen im Wasser. Durch die Grenzfläche zwischen Wasser und Luft wird der in der Luft enthaltene Sauerstoff im Wasser gelöst. Dabei ist die Ausnutzung des Luftsauerstoffes um so größer je feiner die Bläschen sind. Gleichzeitig wird durch den Luft-eintrag das Abwasser intensiv mit dem Belebtschlamm vermischt.

Nahrungsangebot und Biomasse müssen zueinander in ein bestimmtes Verhältnis gebracht werden. Im Gegensatz zum Tropfkörper, dessen Bewuchs fest ist, kann beim Belebtschlammverfahren der Schlammgehalt verändert werden. Daneben hängt die Abbauleistung vom vorhandenen Beckenvolumen ab.

Wird der Belebtschlamm hoch belastet, so erfolgt überwiegend ein Abbau der Kohlenstoffverbindungen. Die langsam wachsenden **Nitrifikanten** werden verdrängt. Daher müssen Anlagen, in denen Stickstoffverbindungen abgebaut werden sollen, niedriger belastet werden. Senkt man die Belastung noch weiter, dann wird auch die organische Substanz des Schlammes abgebaut und dieser mineralisiert.

Probleme ergeben sich allerdings häufig mit der Veränderung der Absetzeigenschaften des belebten Schlammes. Besonders nachteilig wirkt sich das Wachstum fadenförmiger **Organismen** (Blähschlamm-bildung) aus. Sie beeinträchtigen zwar die Abwasserreinigung nicht, der Schlamm setzt sich jedoch nicht mehr ab. Die Ursachen sind bis heute nicht restlos erforscht. Man vermutet aber, dass

- ein zu einseitiges Nährstoffangebot (z.B. Gemüseabwasser),
- eine zu hohe Substratkonzentration,
- zu geringer Sauerstoffgehalt,
- zu lange Lagerzeiten des Schlammes im Nachklärbecken,

- Stoßbelastungen,
- Faulvorgänge in der Vorklärung,
- Phosphatmangel,
- Temperaturänderungen im Frühjahr und Herbst

die Blähschlamm Bildung begünstigen.

Verfahrenstechnisch bilden Belebungsraum und Nachklärbecken eine in sich geschlossene Einheit. Verschlechtern sich die Absetzeigenschaften des Belebtschlammes oder reicht die Absetzleistung des Nachklärbeckens nicht aus, so kann der Schlammgehalt im Belebungsbecken nicht eingehalten werden. Das Reinigungsergebnis wird gefährdet. Die richtige Bemessung des Nachklärbeckens ist daher genauso wichtig wie die richtige Bemessung der Belebungsbecken.

Verfahrensbeschreibung

Das Rohabwasser wird nach der Vorklärung im Belebungsbecken mit dem Belebtschlamm vermischt. Die Konzentration des Schlammes im Belebungsbecken richtet sich nach der Abwasserart und dem Reinigungsziel. Sie kann in weiten Grenzen verändert werden.

Der von den Mikroorganismen zum Leben benötigte Sauerstoff wird künstlich eingetragen. Wichtig ist die Erzeugung einer hohen Turbulenz im Belebungsbecken, damit Nährstoffe (Abwasser), Mikroorganismen (belebter Schlamm) und Sauerstoff ständig gut miteinander vermischt werden. Es dürfen sich weder Schlammablagerungen noch tote Zonen bilden.

Die Aufenthaltszeit des zu reinigenden Abwassers im Belebungsbecken richtet sich wieder nach der Abwasserbeschaffenheit und dem Reinigungsziel. Sie kann zwischen 4 und 24h bei den üblichen technischen Verfahren betragen.

In einem **Nachklärbecken** wird der belebte Schlamm vom gereinigten Abwasser getrennt. Der Schlamm wird als Rücklaufschlamm wieder in das Belebungsbecken zurückgeführt. Die Trennleistung des Nachklärbeckens bestimmt den Umfang, in dem der Belebtschlammgehalt im Belebungsbecken verändert werden kann. Der Belebtschlamm befindet sich also in einem ständigen Kreislauf zwischen Belebungsbecken und Nachklärbecken im Verfahren. Auf diese Weise bilden Belebungsbecken und Nachklärbecken verfahrenstechnisch gesehen eine Einheit. Die Reinigungsleistung des einen hängt von der Trennleistung des anderen ab.

Der Zuwachs an Organismen durch die ständige Nährstoffzufuhr muss aus dem Kreislauf als **Überschußschlamm** abgezogen werden. Durch eine Steigerung oder Verminderung der Entnahme von Überschusschlamm lässt sich der Schlammgehalt im Belebungsbecken steuern. Der Überschusschlamm muss getrennt behandelt werden.

Tropfkörper

Das Tropfkörperverfahren ist aus den Erkenntnissen der Vorgänge bei der Bodenfiltration entwickelt worden. In einem Behälter wird durch geeignete Füllmaterialien (Gesteinsbrocken, Lavaschlacke oder Kunststoffelemente) eine möglichst große Oberfläche für das Wachstum von Bakterien und Kleinlebewesen bereitgestellt. Das Abwasser, also die Nährlösung, wird gleichmäßig über die Oberfläche des Tropfkörpers - auch Festbettreaktor bezeichnet - verteilt und fließt in einem dünnen Film über die Füllkörper. In Abhängigkeit von der Abwasserzusammensetzung und der Beschickungsmenge entwickelt sich ein Bewuchs mit Mikroorganismen, der **biologische Rasen**.

Der Abbau der organischen Substanzen erfolgt auf dem Fließweg des Abwassers von oben nach unten, so dass im Tropfkörper in den verschiedenen Höhen verschiedene Abbaubereiche mit unterschiedlichem Bewuchs angetroffen werden. Im oberen Bereich befinden sich bei entsprechender Belastung vorwiegend kohlenstoffabbauende Bakterien, im unteren Bereich siedeln sich stickstoffabbauende (Nitrifikanten) an.

Die Sauerstoffversorgung der Mikroorganismen erfolgt aus der durch den Tropfkörper hindurchstreichenden Luft. Je nach Temperaturstand zwischen der Außenluft und dem Inneren des Tropfkörpers streicht diese Luft von oben nach unten oder von unten nach oben durch die Füllung hindurch. Bei abgedeckten Tropfkörpern muss eine künstliche Belüftung mit Ventilatoren eingerichtet werden. Der Schlamm, also die aus dem Tropfkörper abgespülte Bakterienmasse, ist körnig und kompakt. Er setzt sich daher im nachgeschalteten Nachklärbecken gut ab.

Tauchkörper

Das Tauchkörperverfahren liegt bezüglich seiner Wirkungsweise zwischen den Tropfkörper und dem Belebungsverfahren. Es wird vorwiegend für kleinere Anlagen eingesetzt. Ursache ist der Platzbedarf und die Notwendigkeit, die Tauchkörper gegen **Frost** zu sichern und zu überbauen.

Die Aufwuchsflächen für den biologischen Rasen sind z.B. kreisrunde Scheiben, die zentrisch in geringem Abstand auf einer waagrecht laufenden Welle befestigt sind. Auch Kunststoffelemente verschiedenster Bauformen werden verwendet. Die so gebildete Walze taucht etwa bis zur Hälfte in das Abwasser ein. Sie wird von einem Motor langsam **in Fließrichtung** des Abwassers gedreht. Die Geschwindigkeit am Walzenumfang soll 20 m/min nicht überschreiten, damit eine übermäßige Auswaschung des biologischen Rasens vermieden wird.

Wie beim Tropfkörper lösen sich infolge des ständigen Zuwachses Teile des biologischen Rasens von den Flächen, die in der Nachklärung abgetrennt werden müssen. Vorher schweben sie im Abwasser, in das die Walzen ständig eintauchen. Sie können sich also noch am Reinigungsvorgang beteiligen, solange Sauerstoff vorhanden ist.

Diese Wirkung kann durch Schlammrückführung und Einblasen von Luft verstärkt werden. Beim Tauchkörper mit Druckluftantrieb können die aufsteigenden Luftblasen in Lufttaschen gesammelt werden. Dadurch setzt sich die Walze ohne weitere Energiezufuhr in Bewegung.

Pflanzenkläranlagen

Seit einigen Jahren wird über die Pflanzenkläranlagen als ein neues Reinigungsverfahren gesprochen. In der Fachwelt werden diese Anlagen sehr unterschiedlich aufgenommen und bewertet. Auch werden unterschiedliche Begriffe verwendet. Sinnvoll erscheint folgende Zuordnung:

Pflanzenkläranlage ist der Oberbegriff für Anlagen mit einem Bodenkörper, der mit ausgewählten Sumpfpflanzen besetzt ist. Das Abwasser wird durch oder über diesen Bodenkörper geleitet.

Wurzelraumanlage, bewachsener Bodenfilter, Schilf-Binsen-Kläranlage, hydrobotanische Stufe usw. sind Bezeichnungen für bestimmte Verfahrensvariationen.

Die Anbieter von Pflanzenkläranlagen haben unterschiedliche Vorstellungen von dem Einsatzbereich ihrer eigenen Variante. Gemeinsames Merkmal ist die Verwendung der Sumpfpflanzen (Schilf, Binsen, Wasserschwertlilien, Rohrkolben). Der wesentliche Unterschied liegt in den verschiedenen Bodenkörpern, die für Pflanzenaufwuchs und Abwasseraufschluss empfohlen werden: Grobkies, Kiessand, Feinsand und Böden mit unterschiedlich bindigem Anteil, aber auch künstliche Blähtonkugeln und Kunststoffgitter werden eingesetzt.

Eine Abgrenzung der Verfahren ist etwa wie folgt möglich:

- Sumpfpflanzenbeete mit kiesig-sandigem Bodenmaterial und etwa 3 - 5 m²/E Flächenangebot eignen sich für die biologische Behandlung von Hausabwasser. Dabei sind niedrige BSB₅ - und CSB - Restschmutzkonzentrationen zu erreichen. Eine Nitrifikation findet teilweise statt; Phosphorrückhalt ist kaum zu erzielen.
- Sumpfpflanzenbeete mit bindigem Bodenmaterial werden meist auf 1 - 4 m²/E bemessen. Ein nennenswerter horizontaler Abwasserdurchfluss durch den Wurzelraum ist nicht möglich. Eine Reinigung im Boden ist somit nicht zu erwarten. Sumpfpflanzenbeete mit bindigem Material können damit die erforderliche Ablaufwerte nur dann einhalten, wenn sie sehr viel größer als bisher bemessen werden.
- Überstaute Pflanzenbeete mit einem ständigen Abfluss über die Beetoberfläche (Flächendargebot 2 - 5 m²/E) oder mit intermittierender Versickerung (Flächendargebot 5 - 10 m²/E) erreichen sehr niedrige BSB₅ - und CSB - Restschmutzkonzentrationen. Geringe Stickstoffumsetzungen und Phosphorverminderungen sind möglich.

Nach der Theorie wird davon ausgegangen, dass durch die Pflanzenwurzeln Sauerstoff und andere Wurzelausscheidungen in den mit Abwasser gesättigten Boden eingetragen werden. Der Sauerstoffeintrag ermöglicht es, dass neben den anaeroben gleichzeitig auch aerobe Abbauprozesse ablaufen. Von den übrigen Wurzelausscheidungen wird erwartet, dass sie sich am Umwandlungsprozess der organischen Substanzen beteiligen, pathogene Keime eliminieren oder gar Schwermetalle aufnehmen.

Abwasserteiche

Abwasserteiche zeichnen sich durch große **Naturnähe** und geringen Technikeinsatz aus. Wegen der großen Wasservolumen sind sie gegenüber Belastungsschwankungen und sogar schwachen Giftstößen recht stabil, der Wartungsaufwand ist gering.

In Abwasserteichen wird der mit dem Abwasser zufließende und bei der Reinigung gebildete Schlamm über längere Zeit am Boden zwischengespeichert, ausgefault und stabilisiert. In bestimmten Abständen sind alle nacheinander durchflossenen Teiche zu entschlammen, weil ansonsten die Reinigungsleistung stark nachlassen kann. Vor dem Ablauf in das Gewässer sollte immer noch ein kleiner bepflanzter, flacher Teich angeordnet werden, damit die manchmal erzeugten **Sekundärverschmutzungen** (z.B. Algen) zurückgehalten werden können.

In belüfteten Abwasserteichen erfolgt die Reinigung des Abwassers ähnlich wie in organisch hochbelasteten, stehenden Gewässern. Die schmutzabbauenden Organismen-Gesellschaften befinden sich im wesentlichen über dem Bodenschlamm. Die Teiche werden flach angelegt und so großräumig geplant, dass die Wasser - Schlammzone immer ausreichend mit Sauerstoff aus der Luft versorgt werden kann.

Üblicherweise sind unbelüftete Abwasserteiche so gebaut, dass im ersten tiefen Absetzteich die mit dem Abwasser zufließenden absetzbaren mineralischen und organischen Bestandteile ausfaulen können. Das vorgereinigte Wasser wird dann in mindestens zwei hintereinander durchflossenen, ca. 1 m tiefen Teichen biologisch gereinigt. In jedem Teich bildet sich entsprechend dem Fortgang der Abwasserreinigung eine besondere biologische Lebensgemeinschaft aus, die sich im Verlauf der Jahreszeiten bei unterschiedlichen Temperaturen und Einstrahlungsbedingungen verschieben kann.

Belüftete Abwasserteiche können höher belastet werden als unbelüftete, da der benötigte Sauerstoff mit technischen Hilfsmittel eingetragen wird. In gewissem Umfang bilden sich hier auch freischwebende Schlammflocken. Es werden immer mindestens zwei belüftete Teiche hintereinander durchflossen, denen mindestens ein unbelüfteter Nachklärteich folgt. Vorgeschaltete Absetzteiche sind bei belüfteten Abwasserteichanlagen nicht üblich. Der Schlamm wird mit Hilfe der technischen Belüftung stabilisiert und lagert sich am Boden ab.

Mit steigenden Anforderungen an die Reinigungsleistung kleiner Kläranlagen haben sich auch Abwasserteiche mit zwischengeschalteten biologischen Reaktoren, wie z.B. Tropf- oder Tauchkörpern, durchgesetzt. Solche Anlagen können bei ausreichender Bemessung nitrifizieren. Sie bestehen aus einem Absetzteich, dem Tropf- oder Tauchkörper mit zugehöriger Grobentschlammung und mindestens einem nachgeschalteten unbelüfteten Nachklärteich. Der Schlamm wird im Absetzteich ausgefault. Der Abwasserteich kann bei Abwasserrückführung zur Denitrifikation genutzt werden.

Untersuchung von Abwasser und Schlamm:

Probenahme

Die Probe sollte im Hinblick auf die Feststoffe dieselbe Zusammensetzung wie das Abwasser (bzw. der Beckeninhalt) aufweisen. Allgemein sollten Proben:

- an Stellen mit möglichst **großer Durchmischung** (z.B. Überfall, Verteilungsbauwerk,...)
- immer an den **gleichen Stellen** (z.B. Zulauf, Ablauf, Nachklärung, Belebungsbecken,...) entnommen werden, um die so erhaltenen Werte mit den vorher bzw. nachher ermittelten Werten vergleichbar zu sein.

Eine **Stichprobe** liefert eine Momentaufnahme der zum Zeitpunkt der Probenahme herrschenden Situation.

Bei **Mischproben** unterscheidet man zwischen **zeitproportionaler** Entnahme (Probenahme z.B. alle 15 Minuten) und **mengenproportionaler** Entnahme (Probenahme z.B. alle 10 m³).

Die Proben sollten am besten **sofort** nach der Entnahme untersucht werden. Ist das nicht möglich, müssen sie kühl aufbewahrt werden (z.B. Kühlschrank), da sich die Proben mit der Zeit verändern.

Vor den Untersuchungen müssen die Proben **gut durchmischt** und - falls möglich - homogenisiert werden.

Alle entnommenen Proben sind **genau zu beschriften** (Zeit und Ort der Probenahme). Dies gilt besonders dann, wenn die Proben in einem anderen Labor analysiert werden sollen.

Messung der Temperatur

Von der Temperatur ist im wesentlichen die **Aktivität** und damit die Leistungsfähigkeit der Bakterien abhängig. Je tiefer die Temperatur, desto langsamer ist im allgemeinen die Aktivität aller Bakteriengruppen.

Zur Temperaturmessung kann ein Schöpftthermometer eingesetzt werden. Es wird ca. 1 - 2 Minuten in das Gerinne oder Becken gehalten und dann, ohne das Wasser aus dem unteren Teil herauszugießen, sofort abgelesen.

Steht kein Schöpftthermometer zur Verfügung, kann auch ein durch einen Drahtkorb geschütztes, gewöhnliches Thermometer verwendet werden. Man entnimmt dann die Probe mit dem Schöpfbecher, hält sofort nach der Entnahme das Thermometer ca. 1 Minute in den Probenschöpfer und liest die Temperatur ab, während sich das Thermometer im Probenschöpfer befindet.

Messung der absetzbaren Stoffe

Die im Rohabwasser enthaltenen absetzbaren Stoffe sind ein Maß für den Feststoffgehalt des Abwassers und beinhalten die absetzbaren, ungelösten Schmutzstoffe.

Der Gehalt an absetzbaren Feststoffen wird im **Imhofftrichter** gemessen. Der Trichter besteht aus Glas oder Kunststoff und soll aufrecht in einem Gestell stehen.

Die Imhofftrichter werden mit gut durchmischem Abwasser bis zur 1000 ml Marke gefüllt. Die Menge der absetzbaren Stoffe wird durch Ablesung des von den Sinkstoffen eingenommenen Volumens in der Trichterspitze nach **2 Stunden** bestimmt. Weil sich auf den schrägen Glaswänden Schlamm ablagert, muss 15 Minuten vor dem Ablesen der Imhofftrichter ruckartig hin- und hergedreht werden, damit der dort sitzende Schlamm nach unten rutscht.

Der Gehalt an absetzbaren Stoffen liegt in häuslichen Abwasser zwischen 2 und 15 ml/l. Im Ablauf von Nachklärbecken soll der Gehalt an absetzbaren Stoffen 0,3 ml/l nicht überschreiten.

Messung des Schlammvolumens

Das Schlammvolumen ist das Volumen, das 1 Liter Belebtschlamm nach einer Absetzzeit von 30 Minuten einnimmt und ein Maß für die Schlammmenge bei den gegebenen Eindickungseigenschaften (Schlammindex).

Da die Leistungsfähigkeit des Nachklärbeckens stark vom Schlammvolumen abhängt, bestimmt dies die Schlammkonzentration, mit der das Belebungsbecken betrieben werden kann.

Die Messung erfolgt in einem 1000 ml Meßzylinder. Die gut durchmischte Probe aus dem Belebungsbecken wird in den Meßzylinder bis zur 1000 ml Marke gefüllt und der Meßzylinder erschütterungsfrei und vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt aufgestellt.

Die Ablesung erfolgt nach einer Standzeit von 30 Minuten.

Der Meßwert wird auf 10 ml/l abgerundet angegeben. Bei einem Schlammvolumen das größer als 250 ml/l ist, muß die Bestimmung mit einem verdünnten Schlamm wiederholt werden. Dazu wird die Belebtschlammprobe mit Ablauf des Nachklärbeckens verdünnt, damit das Verdünnungswasser dieselbe Temperatur wie der Belebtschlamm aufweist und keine temperaturbedingten Strömungen den Absetzvorgang behindern können. Die Verdünnung ist so zu wählen, daß der Meßwert in der verdünnten Probe zwischen 200 und 250 ml/l liegt.

Der so erhaltene Wert muß dann entsprechend der Verdünnung mit dem Faktor multipliziert werden.

Der Verdünnungsfaktor beträgt damit für die einzelnen Mischanteile:

belebter Schlamm	+	Ablauf Nachklärbecken	=	Verdünnungsfaktor
500 ml	+	500 ml	=	1 + 1 = Faktor 2
333 ml	+	667 ml	=	1 + 2 = Faktor 3
250 ml	+	750 ml	=	1 + 3 = Faktor 4

Beispiel:

Bei der Messung des Schlammvolumens wurde ein Wert größer als 250 ml/l erhalten. Die Messung ist zu wiederholen. Dazu füllt man den Meßzylinder bis zur 500 ml Marke mit Belebtschlamm, ergänzt mit Ablauf Nachklärbecken auf 1000 ml und mischt. Die Verdünnung war 500 ml + 500 ml, also 1 + 1; der Verdünnungsfaktor beträgt daher 2. Der nach 30 Minuten abgelesene Wert (z.B. 200 ml/l) muß mit dem Verdünnungsfaktor multipliziert werden. Ins Betriebstagebuch wird als Wert für das Schlammvolumen daher 400 ml/l eingetragen.

Messung der Sinkgeschwindigkeit

Die Sinkgeschwindigkeit ist ein Maß für die **Absetzeigenschaften** des Schlammes. Ihre Bestimmung erfolgt gleichzeitig mit der Bestimmung des Schlammvolumens.

Um einen Schlammabtrieb aus dem Nachklärbecken zu verhindern, muß die Sinkgeschwindigkeit gleich oder größer als die 1,5-fache Flächenbeschickung bei Regenwetter sein.

Zur Messung wird der Belebtschlamm falls notwendig, wie im vorigen Kapitel beschrieben mit Ablauf Nachklärbecken verdünnt, sodaß das Schlammvolumen nach 30 Minuten zwischen 200 und 250 ml/l liegt. Die durchmischte Probe wird in den 1000 ml Meßzylinder eingefüllt. Danach wird genau jede Minute die Höhe der Schlammgrenzschicht in ml notiert bis der Wert unter 500 ml liegt. Danach wird für jede Minute die Differenz zum Schlamm Spiegelstand der vorigen Minute berechnet und die Summe aus den beiden größten Differenzen als Meßwert genommen. Zum Schluß erfolgt noch die Umrechnung von ml/2min auf m/h.

Beispiel:

Das zu erwartende Schlammvolumen beträgt 480 ml/l, die zu wählende Verdünnung ist daher ein Teil Schlamm und ein Teil Ablauf Nachklärbecken. Der Meßzylinder wird bis zur 500 ml Markierung mit Belebtschlamm gefüllt, mit Ablauf auf 1000 ml ergänzt und durchmischt. Nun wird jede Minute der Stand der Schlammgrenzschicht notiert und die Differenz pro Minute berechnet:

Ablesezeit	Schlammgrenzschicht	Differenz (ml/min)
Start (0 Minuten)	1000 ml	-
nach 1 Minute	930 ml	1000 - 930 = 70 ml/min
2 Minuten	800 ml	930 - 800 = 130 ml/min
3 Minuten	680 ml	800 - 680 = 120 ml/min
4 Minuten	570 ml	680 - 570 = 110 ml/min
5 Minuten	510 ml	570 - 510 = 60 ml/min

Aus diesen berechneten Differenzen sucht man die beiden größten Werte. In unserem Beispiel sind das 130 ml und 120 ml. Der Schlamm sinkt also von der ersten auf die zweite Minute um 130 ml und von der zweiten zur dritten Minute um 120 ml ab.

Die Sinkgeschwindigkeit für diese beiden Minuten beträgt daher:

$$130 \text{ ml/min} + 120 \text{ ml/min} = 250 \text{ ml/2 min}$$

Um daraus eine Sinkgeschwindigkeit in **Meter pro Stunde** berechnen zu können, muß man die Höhe der 1000 ml-Markierung des Standzylinders messen. Im allgemeinen beträgt sie 38 cm (= 0,38 m).

250 ml entsprechen damit einer Höhe von:

$$250 \text{ ml} \times 0,38 \text{ m} / 1000 \text{ ml} = 0,095 \text{ m}$$

die der Schlamm in 2 Minuten absinkt. Die Umrechnung auf die Sinkgeschwindigkeit in m/h erfolgt durch Multiplikation mit 30 (1 Stunde = 60 Minuten):

$$0,095 \times 30 = 2,85 \text{ m/h}$$

oder in einem Rechengang zusammengefaßt:

$$250 \times (0,38 \times 30 / 1000) = 250 \times \underline{0,0114} = 2,85 \text{ m/h}$$

Wie bei der Berechnung des Schlammvolumens muß auch bei der endgültigen Berechnung der Sinkgeschwindigkeit die vorher gewählte **Verdünnung** berücksichtigt werden (in unserem Beispiel $1 + 1 = 2$). Damit ergibt sich als endgültiges Ergebnis die tatsächliche Sinkgeschwindigkeit

$$2,85 / 2 = \underline{1,4 \text{ m/h}}$$

Wird für die Bestimmung immer ein Meßzylinder verwendet, bei dem 1000 ml einer Höhe von **38 cm** entsprechen bleibt der **Faktor** für die Berechnung der Sinkgeschwindigkeit gleich und beträgt **0,0114**. Bei einer 1000 ml-Markierung mit **32 cm** würde der **Faktor 0,0096** betragen. Unter diesen Voraussetzungen gilt für die Berechnung der Sinkgeschwindigkeit die Formel:

$\text{Sinkgeschwindigkeit} = \text{Summe der beiden größten Differenzen} \times \text{Faktor} / \text{Verdünnungsfaktor}$
--

Vom gleichen Standzylinder, mit dem die Sinkgeschwindigkeit gemessen wurde, wird nach 30 Minuten das Schlammvolumen abgelesen. Gleichzeitig sollte auch das Absetzverhalten des belebten Schlammes beobachtet werden. Für die Eintragung ins Betriebsprotokoll kann zwischen folgenden Merkmalen unterschieden werden:

- Klare, diffuse oder keine Trennzone
- Große ausgeprägte Flocken, feine Flocken oder keine erkennbare Flockenstruktur
- Überstand klar, mit Flocken durchsetzt oder trüb
- Schwimmschlamm

Bestimmung der Schlammrockensubstanz

Zur Bestimmung der Schlammrockensubstanz im Belebungsbecken muß der Schlamm filtriert, getrocknet und gewogen werden.

Die Filter werden zunächst mit Bleistift fortlaufend numeriert. Hierauf werden sie 2 Stunden bei 105°C im Trockenschrank getrocknet, danach im Exsikkator 15 Minuten abgekühlt und schließlich rasch gewogen, um eine Feuchtigkeitsaufnahme aus der Luft auszuschließen. Das so ermittelte Filtertrockengewicht wird in das Filterbuch eingetragen. Man bereitet zweckmäßig so viele Filter vor, wie in einem Monat gebraucht werden.

Zur **Filtration** werden **100 ml** gut durchmischter belebter Schlamm mit einem 100 ml Meßzylinder abgemessen. Bei der Verwendung von Faltenfiltern wird in den Trichter ein gewogenes Faltenfilter in einem Zuge in den Filter eingegossen. Bei der Verwendung von Rundfiltern wird der gewogene Rundfilter auf die gelochte Porzellanplatte (Nutsche) gelegt. Die Nutsche wird auf eine Saugflasche gesetzt und das Vakuum angelegt. Nach Anfeuchten des Filters wird der belebte Schlamm vorsichtig aufgebracht.

In beiden Fällen muß darauf geachtet werden, daß keine Feststoffe im Meßzylinder zurückbleiben. Die an der Zylinderwand haftenden Feststoffe können mit wenig Wasser auf den Filter gespült werden. Auch die an der Wand der Filternutsche haftenden Feststoffe müssen auf den Filter gespült werden (Spritzenflasche). Wenn das Wasser durchgetropft ist, läßt man den Filter mit dem Schlamm mehrere Stunden (am besten über Nacht) im Trockenschrank bei **105°C** trocknen.

Nach Abkühlen im Exsikkator wird das Filter mit Schlamm gewogen. Vom ermittelten Gewicht wird das Filtergewicht subtrahiert.

Die Schlammrockensubstanz wird in g/l angegeben. Da für die Messung 100 ml (= 1/10 l) Schlamm verwendet wurden, wird die Differenz zwischen Filtergewicht mit Schlamm und Filtergewicht mit dem **Faktor 10** multipliziert.

Bestimmung des Schlammindex

Der Schlammindex gibt das Volumen an, das **1 g** Trockensubstanz nach einer Absetzzeit von 30 Minuten einnimmt und ist ein Maß für die Eindickfähigkeit des Schlammes.

Der Schlammindex wird folgendermaßen berechnet:

$$\text{Schlammindex} = \text{Schlammvolumen (ml/l)} / \text{Schlammrockensubstanz (g/l)}$$

Der Schlammindex eines normalen Belebtschlammes liegt zwischen 40 und 150 ml/g. Bei höheren Schlammindex spricht man von **Blähschlamm**, der durch einen hohen Anteil von fadenförmigen Organismen verursacht wird.

Messung der Sichttiefe

Zur Messung der **Sichttiefe im Nachklärbecken** verwendet man eine Sichtscheibe. Darunter versteht man **weiße Scheibe** aus Blech oder Kunststoff von ca. **20 x 20 cm**, auf die ein schwarzes Kreuz (Strichbreite 1 - 2 cm, Balkenlänge 5 - 7 cm) angebracht ist. Diese Scheibe wird an einem Stiel befestigt, auf dem eine cm-Einteilung gezeichnet wird.

Für die Messung wird die Scheibe **langsam** ins Nachklärbecken getaucht. In dem Augenblick, in dem das Kreuz gerade noch zu erkennen ist, wird die Eintauchtiefe abgelesen und aufgeschrieben.

Bei **ungefärbtem Abwasser** kann aus der Sichttiefe sehr einfach und vor allem schnell auf die Funktion der Anlage rückgeschlossen werden. **Sinkt die Sichttiefe** plötzlich ab, kann eine **Störung der Reinigungsprozesse** (z.B. durch Stoßbelastung, hemmende Stoffe im Abwasser, Sauerstoffunterversorgung) angenommen werden.

Messung des Schlammspiegels im Nachklärbecken

Durch die Messung des Schlammspiegels kann **abgeschätzt** werden, wieviel Belebtschlamm im Nachklärbecken vorhanden ist. In **horizontal** durchströmten Nachklärbecken sollte bei Trockenwetter in der Nähe der Ablaufrinne **kein Schlamm** beobachtet werden.

Die Messung des Schlammspiegels erfolgt am einfachsten mit einem mind. 2,5 m langem **Plexiglasrohr** (Innendurchmesser 10 - 20 mm), das alle 10 cm markiert ist. Das Rohr wird **langsam senkrecht** in das Nachklärbecken abgesenkt, dann mit einem Stopfen verschlossen und wieder hochgezogen. Dabei soll das untere Rohrende **nicht aus dem Wasser** gezogen werden damit keine Luftblasen hineingelangen können. Durch das durchsichtige Rohr ist leicht zu erkennen, wie hoch die schlammfreie Zone ist.

Bestimmung des pH-Wertes

Der pH-Wert gibt an, ob das Wasser sauer, neutral oder alkalisch ist. Die biologische Reinigung verläuft am besten im pH-Bereich zwischen 6,8 und 8,0.

Den pH-Wert bestimmt man am einfachsten mit Indikatorpapier. Das Indikatorpapier nimmt beim Eintauchen in Wasser eine bestimmte Farbe an. Diese wird mit einer Farbskala verglichen, auf der der pH-Wert abgelesen werden kann.

Man unterscheidet Universal-Indikatorpapier (pH 1 - 12) und Spezial-Indikatorpapier für einen engeren pH-Bereich (z.B. pH 5 - 8), wobei letztere eine höhere Genauigkeit (Auflösung) aufweist.

Genauere pH-Werte (auf 0,1 pH-Einheiten) können mit einem pH-Meter gemessen werden, wobei je nach Gebrauchsanweisung zu messen ist.

Bei diesen Geräten ist zu achten, daß die Glaselektrode nicht in Wasser sondern immer in einer speziellen Lösung (3 molare KCl-Lösung) aufbewahrt wird und nicht austrocknet, da sie sonst schnell unbrauchbar wird.