

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

INHALT

1) Was ist Wasser?

1.1) Wissenswertes rund ums Wasser...

1.2) Entstehung und Vorkommen von Wasser

1.3) Wasserarten

1.4) Aufbau und Eigenschaften des Wassermoleküls

1.4.1) Aufbau

1.4.2) Eigenschaften des Wassers

1.4.3) Synthese, Elektrolyse und Nachweis

1.5) Bedeutungen des Wassers

1.6) Wasser in den Wissenschaften

1.7) Kulturelle Bedeutung des Wassers

1.8) Wasser als Trinkwasser und Produkt

2.) Wasserbelastung

2.1) Schwermetalle

2.2) Biozide

2.3) Nitrat und Nitrit

2.4) Hormone & Medikamente

2.5) Tenside

2.6) Trihalogenmethane (THM) und Chlor, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

2.7) Keime

2.8) Biofilm und EPS

3.) Verfahren der Wasserdesinfektion im Überblick

3.1) Chlor/Chlorung

3.2) Chlordioxid

3.3) UV-Bestrahlung

3.4) Elektrolytische Desinfektion

3.4.1) Elektrolyse

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

1) Was ist Wasser?

1.1) Wissenswertes rund ums Wasser...

Was ist Wasser? Geheimnisumwittert, allgegenwärtig, das wichtigste Element. Jeder kennt es. Trotzdem sind viele Fragen offen. Wasser - seine Geschichte beginnt beim Urknall und endet beim täglichen Glas Wasser. Wasser ist die Grundvoraussetzung für das Leben. Das sagen alle Schöpfungsmythen, das belegen die Naturwissenschaften. Obwohl Wasser auf der Erde und im Universum allgegenwärtig ist, gibt es noch immer keine erschöpfende Antwort auf die Frage: *Was ist Wasser?*

Dennoch gibt es einige hochinteressante Fakten und Hintergründe zu dem Element das uns tagtäglich begleitet, eigentlich kaum noch bewusst wahrgenommen wird und trotz seiner unscheinbaren Form mitunter die Grundlage allen Lebens darstellt.

Schon aus dem Weltall wird sichtbar: Die Erde ist ein blauer Planet - die gewaltigen Wasserflächen der Ozeane sind ihr auffallendstes Merkmal. Und doch scheint das blaue Nass Mangelware zu sein: So schlägt die UNO in ihrem Weltwasserreport von 2003 bereits Alarm und spricht von einer Wasserkrise, die das Überleben der Menschheit bedroht und schon jetzt mehr als zwei Milliarden Menschen unter Wasserknappheit leiden lässt.



Blauer Planet Erde
© NASA

Ein Widerspruch? Nur bedingt. Denn Wasser kommt zwar mit einem Volumen von über 1,3 Milliarden Kubikkilometern in einer riesigen Menge auf unserem Planeten vor, von ihm ist aber nur ein verschwindend geringer Teil überhaupt für uns als Trinkwasser nutzbar. Rund 97,4 Prozent der gesamten Wasservorräte sind salzig, sie befinden sich als Meerwasser in den Ozeanen und sind als Trinkwasser nur bedingt zu gebrauchen. Aus Süßwasser bestehen nur etwa 2,6 Prozent.

Doch von diesem Vorrat können wir nur einen winzigen Bruchteil nutzen: Zu mehr als drei Vierteln ist das Süßwasser als Eis in Gletschern und den Polarregionen gebunden. Zwar gab es immer mal wieder Ideen, auch Eisberge zur Trinkwasserversorgung mit heranzuziehen - umsetzbar sind solche Vorstellungen aber bestenfalls als Cartoon, nicht jedoch in der Realität. Gerade mal 0,6 Prozent des gesamten irdischen Wasser ist flüssiges Süßwasser und damit potenziell als Trinkwasser verwendbar. Glücklicherweise ist dieses Wasser aber im Prinzip eine erneuerbare Ressource: Seine Hauptquelle sind Niederschläge, die sich in Oberflächengewässern wie Flüssen und Seen oder aber im Grundwasser sammeln.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Hätten Sie's gewusst? Wissenswertes rund ums Wasser

- Um unseren täglichen Trinkwasserbedarf zu decken, reichen rund vier Liter Wasser aus. Unsere tägliche Nahrung "schluckt" dagegen zwischen 2.000 und 5.000 Liter Wasser. Eine Milchkuh muss rund 60 Liter Wasser trinken um 15 Liter Milch zu erzeugen.
- Zwei Drittel des menschlichen Körpers bestehen aus Wasser. Der Mensch kann rund einen Monat ohne Nahrung überleben, aber nur maximal fünf bis sieben Tage ohne zu trinken.
- Die Produktion eines Liters Bier braucht zehn Liter Wasser, die dazugehörige Dose 25 Liter. Ein Kilogramm Papier "kostet" schon 250 bis 700 Liter Wasser, ein ganzer PKW bereits 200.000 Liter.
- Allein in den USA und Kanada sorgen eineinhalb Millionen Kilometer Pipelines und Aquädukte für die Verteilung und den Transport des Wassers. In Deutschland durchzieht ein immerhin noch 450.000 Kilometer langes Kanalnetz das Land - ausreichend, um die Erde mehr als zehn Mal zu umrunden.
- In einigen Gebieten Deutschlands ist das Leitungsnetz so voller Lecks, dass bis zu 40 Prozent des Wassers ungenutzt im Untergrund versickern.
- In der Antike galt Wasser schon als sauber, wenn es einigermaßen klar war. Hippokrates, der "Vater der Medizin" begnügte sich nicht damit und entwarf im 5. Jahrhundert vor Christus den "hippokratischen Ärmel", einen Stoffsack zur Filterung von Regenwasser.
- Die Römer gingen nicht gerade sparsam mit Wasser um: Pro Person verbrauchten sie rund 1.500 Liter Wasser am Tag. Ein kilometerlanges System aus Rohrleitungen und Aquädukten sorgte für Nachschub und transportierte knapp 500 Millionen Liter Wasser täglich.
- Die erste kommunale Kläranlage begann ihre Arbeit 1832 im schottischen Ort Paisley. John Gibb, Besitzer einer Bleiche errichtete sie zur Versorgung seiner Fabrik und der Stadt. Innerhalb von drei Jahren lieferte sie gefiltertes Wasser sogar bis nach Glasgow. Heute sorgen in Deutschland 10.400 Kläranlagen für die Reinigung und Aufbereitung der Abwässer.

Stand 06.06.2003 www.g-o.de

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

1.2) Entstehung und Vorkommen von Wasser

Die Herkunft des Wassers auf der Erde, insbesondere die Frage warum auf der Erde deutlich mehr Wasser vorkommt als auf den anderen erdähnlichen Planeten, ist bis heute nicht befriedigend geklärt. Zwar dürfte ein Teil des Wasser auf der Erde durch das Ausgasen der Magma entstanden sein, also letztlich aus dem Erdinneren stammen, ob dadurch aber die Menge an Wasser erklärt werden kann ist fragwürdig. Weitere große Anteile könnten aber auch durch Einschläge von Kometen oder wasserreichen Asteroiden auf die Erde gekommen sein. Messungen des Verhältnisses von Deuterium zu Protium (D/H-Verhältnis) deuten dabei eher auf Asteroiden hin, da in Wassereinschlüssen in kohligen Chondriten ähnliche Verhältnisse gefunden wurden wie in ozeanischem Wasser, wohingegen bisherige Messungen dieses Isotopen-Verhältnisses an Kometen nur schlecht mit irdischem Wasser übereinstimmten.

In den Urozeanen wurde vorkommender Schwefelwasserstoff und in der Atmosphäre vorhandenes Kohlendioxid von autotrophen Schwefelbakterien (Prokaryoten) unter Zufuhr von Lichtenergie organische Kohlenstoffverbindungen und Wasser zum Aufbau organischer Verbindungen genutzt, wobei Wasser und Schwefel entstanden:



(Photosystem I).

Die heute größte Menge an Wasser wird biochemisch synthetisiert: Mineralisation, Photosynthese.

Große Teile der Erde sind vom Wasser bedeckt (über 70 %, Wasserhalbkugel). Die Versorgung der Weltbevölkerung mit hygienisch und toxikologisch unbedenklichem Wasser stellt eine der größten Herausforderungen der Menschheit in den nächsten Jahrzehnten dar. Die Wasservorkommen der Erde belaufen sich auf ca. 1,38 Milliarden km³. Der weitaus größte Teil, 97,4 % davon ist das in den Weltmeeren vorkommende Salzwasser. Nur 2,6 % davon (36 Millionen km³) liegen als Süßwasser vor. Das meiste Süßwasser ist als Eis an den Polen und in Gletschern gebunden; nur 0,3 % der weltweiten Wasservorräte (3,6 Millionen km³) sind als Trinkwasser verfügbar.

Auch auf anderen Planeten wie zum Beispiel dem Jupiter kommt Wasser vor, aber nur in sehr geringen Mengen und meist als Eis oder Wasserdampf.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

1.3) Wasserarten

Es werden folgende Wasserarten unterschieden:

Grundwasser

"Grundwasser" wird nach DIN 4049 definiert als "Unterirdisches Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde zusammenhängend ausfüllt und dessen Bewegung ausschließlich oder nahezu ausschließlich von der Schwerkraft und den durch die Bewegung selbst ausgelösten Reibungskräften bestimmt wird."

Das Grundwasser unterliegt nur dem hydrostatischen Druck. Hygroskopisch gebundenes Wasser, durch die Oberflächenspannung sowie durch Kapillareffekte gebundenes Wasser gehören demnach nicht zum Grundwasser.

Grundwasser entsteht dadurch, dass Niederschläge versickern oder Wasser im Uferbereich von Oberflächengewässern (Fluss, See, siehe auch Uferfiltrat) in den Boden infiltrieren. Beim Bodendurchgang wird das Grundwasser physikalisch und chemisch gereinigt, auch biologische Vorgänge laufen dabei ab. Nach einer Durchgangszeit von 50-100 Tagen ist das Wasser nicht nur sauber, sondern meist auch praktisch keimfrei.

Das Grundwasser sinkt durch die verschiedenen Bodenschichten, bis es auf wasserundurchlässige Stauer (Grundwassernichtleiter) trifft. Im Gegensatz zu Oberflächengewässern fließt Grundwasser zumeist mit sehr viel niedrigeren Fließgeschwindigkeiten. In Kies (Korngrößen 2 - 63 mm) beträgt die Durchgangszeit zwischen 5-20 m/Tag, in feinporigeren Sedimenten wie Sand (Korngrößen 0,063 - 2 mm) nur etwa 1 m/Tag, da Kapillar- und Porensaugkräfte das effektiv durchflossene Porenvolumen verringern. Die Grundwasseroberfläche wird Grundwasserspiegel genannt und wird in Bezug auf die Geländeoberkante (m u. GOK) oder in Bezug auf NN (Normalnull) angegeben.

Besonders große Grundwasservorräte enthalten Lockergesteine wie Schotter, Kies oder Sand; insbesondere alluviale und diluviale Kiese und Sande. Dementsprechend befinden sich die größten Grundwasservorräte in Deutschland im Oberrheingraben, dem Alpenvorland und den norddeutschen Urstromtälern. Besonders im Alpenvorland erreichen die grundwasserführenden Schichten Mächtigkeiten von bis zu 100 m.

Örtlich begrenzt tritt Grundwasser in Quellen an die Oberfläche, die, wenn sie gefasst werden, auch zur Trinkwasserversorgung genutzt werden können. An anderen Stellen müssen zur Nutzung des Grundwassers Brunnen angelegt werden, Pumpschächte, die bis unter den Grundwasserspiegel reichen.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Der weitaus größte Teil des deutschen Trinkwasserbedarfs wird heute aus dem Grundwasser gedeckt.

Man bezeichnet den Abstand des Grundwasserspiegels von der Geländeoberkante als "Flurabstand"

Sickerwasser

"Sickerwasser" ist unterirdisches Wasser, welches sich unter Einwirkung der Schwerkraft abwärts bewegt. Dabei durchquert es alle wasserleitenden Boden- und Gesteinsschichten bis es auf eine wasserführende Schicht trifft.

Quellwasser

"Quellwasser" stammt auch aus unterirdischen Wasservorkommen und muss - im Gegensatz zu Mineralwasser - keine ernährungsphysiologische Wirkung nachweisen. Es bedarf keiner amtlichen Anerkennung und hat in seiner Zusammensetzung allen Kriterien zu genügen, die für Trinkwasser vorgeschrieben sind.

➤ ***Wissenswertes zu Quellen:***

"Quellen" sind Orte, an denen Wasser natürlich austritt, ohne dass es gepumpt werden muss.

Diese Stellen können aber auch unter der Erdoberfläche liegen, so dass das Wasser wieder versickert.

Das Quellwasser kommt nicht aus einem Grundwassersee, sondern von oben aus Erd- oder Gesteinsspalten. Wenn man das Quellwasser sammelt, spricht man von einer "'Quellfassung'".

Beschaffenheit des Wassers

- **Quellen mit vadosem Wasser**

Das Wasser ist in den meisten Fällen versickertes Niederschlagswasser, das durch die verschiedenen Bodenschichten gefiltert, gereinigt und mit Mineralien angereichert wird.

Die Qualität des Wassers ist stark von der Dauer des Aufenthalts im Boden abhängig. Man kann bei Quellen oft feststellen, wie lange die Zeit zwischen starken Niederschlägen und einem erhöhten Wasseraustritt ist. Man sagt oft, dass die Quelle "anspringt".

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Wenn ein Quellwasser nur ein kurze Verweildauer im Boden hat, besteht die Gefahr, dass auch zeitweise Einschwemmungen stattfinden. So waren im Jahr 2003 durch die vorjährigen starken Niederschläge sehr viele Quellen leicht verkeimt. Da der Boden wie ein Schwamm voll war, hatte er zu wenig Reinigungskraft und die Oberflächenkeime gelangten ungehindert bis in die Quelle.

- Quellen mit juvenilem Wasser

Es kann aber auch Wasser aus dem Erdinneren sein, welches das erste Mal in den Wasserkreislauf gelangt. Solche Quellen werden derzeit in Libyen erschlossen. Das Wasser ist dort Millionen Jahre alt.

- Quellen mit Thermalwasser

Außerdem gibt es noch Thermalquellen, wo aus dem Erdinneren warmes Wasser an die Oberfläche gelangt. Das Wasser kommt ebenfalls aus dem Erdinneren und hat eine wesentlich höhere Temperatur. Dieses Wasser kann noch zusätzliche Mineralien aufweisen, sodass es bestimmte Heilwirkungen hat. An diesen Orten entstehen meistens Heilbäder.

Lage der Quelle

Je nach Lage einer Quelle unterscheidet man unterschiedliche Quelltypen:

- Auslaufquelle (Schichtquelle)
- Überlaufquelle
- Artesische Quelle (artesischer Brunnen)
- Verwerfungsquelle
- Stauquelle
- Steigquelle
- Schuttquelle
- Talquelle

Abwasser

"Abwasser" ist durch Gebrauch verunreinigtes (bzw. in seinen Eigenschaften oder seiner Zusammensetzung verändertes) Wasser, aber auch das von befestigten Flächen abfließende und gesammelte Niederschlagswasser. Abwässer werden durch die Kanalisation gesammelt und transportiert, in Deutschland praktisch immer in Kläranlagen behandelt und danach in als Vorfluter dienende Gewässer eingeleitet.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Begriffe

Die Definition von Abwasser ist nicht einheitlich und führt immer wieder zu Verwirrungen. Das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) (Deutschland) definiert den Begriff gar nicht, im Abwasserabgabengesetz wird 'Abwasser' definiert als das:

"...durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser, sowie das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen abfließende und gesammelte Wasser (Niederschlagswasser). Als Schmutzwasser gelten auch die aus Anlagen zum Behandeln, Lagern und Ablagern von Abfällen austretenden und gesammelten Flüssigkeiten."

Abwasser ist der Oberbegriff für mehrere Wasserarten: in den Trockenwetterabfluss und den Niederschlagsabfluss. Der Trockenwetterabfluss wiederum besteht aus Schmutzwasser und Fremdwasser.

- Trockenwetterabfluss
 - "Schmutzwasser"
ist häusliches Abwasser aus Toiletten (Fäkal- oder Schwarzwasser), Sanitäreinrichtungen, Küchen und Waschmaschinen (Wasch- oder Grauwasser (auf engl. "Greywater") und Abwasser aus Betrieben, die in die öffentliche Kanalisation ableiten ("gewerbliches" oder "industrielles Abwasser").
 - "Industrieabwasser"
weist meist besondere und starke Verschmutzungen auf, weshalb es oft in industrieeigenen Anlagen behandelt wird, bevor es entweder in die öffentliche Kanalisation oder ein Gewässer abgeleitet wird. Auch aufgeheiztes Wasser aus Kühlanlagen zählt als Abwasser und muss entsprechend behandelt werden.
 - "Fremdwasser"
ist zusammen mit dem Schmutzwasser bei Trockenwetter abfließende unverschmutzte Wasser, das eigentlich nicht in die Kanalisation gelangen soll (Grundwasser, Dränwasser).
- Regenwetterabfluss
 - Bei Regenwetter fließt außer dem oben aufgeführten "Trockenwetterabfluss" auch
 - Regenwasser (Niederschlagswasser) ab, das in die Kanalisation eingeleitet wird. Da Regen aus der Atmosphäre Staub, Ruß, Pollen und Gase löst und auf Dächern, befestigten und landwirtschaftlichen Flächen vorhandene Staub und Schadstoffe mitschwemmt, können Niederschlagsabflüsse manchmal sehr schadstoffhaltig sein und müssen behandelt werden. Man unterscheidet daher

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

zwischen behandlungsbedürftigem Regenwasser, das in Regenklärbecken oder in Kläranlagen abgeleitet werden muss und nicht behandlungsbedürftigem Regenwasser, das ortsnah in ein Gewässer eingeleitet oder vor Ort versickert werden kann.

Inhaltsstoffe

Schmutzstoffe im Abwasser liegen in gelöster und ungelöster Form, sowie als organische Verbindungen vor. Man unterscheidet die Abwasserinhaltsstoffe in

"Zehrstoffe"

Wie etwa Harnsäure, Glukose sind biologisch abbaubar und führen bei anaeroben Abbauprozessen zu Geruchsbelästigungen. Die durch diese Stoffe ausgelöste Sauerstoffzehrung kann darüber hinaus zu reduzierten Sauerstoffgehalten in den Gewässern und dadurch beispielsweise zu Fischsterben führen.

"Nährstoffe"

Wie etwa Stickstoff- und Phosphorverbindungen, die zur Eutrophierung insbesondere stehender Gewässer führen und auch für verstärktes Algenwachstum in Meeren z.Bsp. in Nord- und Ostsee verantwortlich sind.

"Schadstoffe"

Wie etwa Gifte, Schwermetalle, synthetische organische Substanzen, Bakterien, Pilze, oder Viren, die zu Erkrankungen führen können.

"Störstoffe"

Wie etwa Salze, Fette, Öle, Tone, Sand

Nutz-bzw. Brauchwasser

"Nutzwasser" (auch bekannt unter der Bezeichnung "'Brauchwasser'") ist Wasser, das für technische, gewerbliche oder landwirtschaftliche Anwendungen verwendet wird. Nutzwasser ist nicht für den menschlichen Genuss (siehe Trinkwasser) vorgesehen. Das Nutzwasser muss jedoch den technologischen Anforderungen des jeweiligen Prozesses genügen.

Getrennte Nutz- und Trinkwasserversorgungen sind insbesondere in der Industrie üblich. Im kommunalen Bereich ist zumeist keine vom Trinkwasser getrennte Nutzwasserversorgung vorgesehen.

Unter Umständen wird bei der Errichtung oder Modernisierung von Häusern eine Nutzwasserversorgung z.B. zur Toilettenspülung oder zum Wäschewaschen vorgesehen. Das Nutzwasser kann aus dem Regenwasser,

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

dem Grundwasser oder lokalen Quellen und Brunnen gewonnen werden. Mittels eines Hauswasserwerkes wird das Wasser automatisch an die Versorgungspunkte gepumpt.

Nutzwasserversorgungen sind nicht zuletzt durch die damit erzielbaren Kosteneinsparungen sinnvoll, sie entlasten auch die Trinkwasseraufbereitung. Die Kosten einschließlich der doppelten Leitungen müssen kritisch mit den tatsächlichen Einsparungen verglichen werden. Eingespart werden nur die Kosten für das Trinkwasser, nicht die Kosten für die Abwasserreinigung, also die Abwassergebühr. Bei ehrlicher Berücksichtigung dieser Kosten ergibt sich für Wohnhäuser meistens keine Kosteneinsparung.

Oberflächenwasser

Als "Oberflächenwasser" wird Wasser bezeichnet, das sich offen und ungebunden auf der Erdoberfläche befindet. Dazu zählen Flüsse, Seen und noch nicht versickerte Niederschläge.

Oberflächenwasser ist meistens durch Schwebstoffe oder gelöste Schadstoffe verschmutzt und kann erst nach einer Wasseraufbereitung als Trinkwasser genutzt werden.

Regenwasser

"Regenwasser" ist das aufgefangene Wasser aus Niederschlägen bzw. Regen.

Schmelzwasser

"Schmelzwasser" ist in Bächen und Flüssen sich nach der Kälteperiode eintretenden Schnee- und Eisschmelze sammelndes Wasser. Der Abfluss des Wassers führt im Frühjahr und Sommer oft, je nach Lage des Einzugsgebietes, eintretenden Temperaturschwankungen und weiteren Niederschlägen, zu Hochwasser oder Überschwemmungen.

Schmelzwasser in engerem Sinne bezeichnet man in der Glaziologie das an Gletschern entstehende Wasser.

Süßwasser

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

"Süßwasser" ist im Gegensatz zu Salzwasser und Brackwasser derjenige Anteil des auf der Erde frei verfügbaren (also nicht z.B. in Pflanzen gebundenen) Wassers, in dem kein oder nur in geringstem Maße Kochsalz gelöst ist.

Kochsalzfreies Wasser wird unabhängig vom Aggregatzustand als Süßwasser bezeichnet: Auch Eis ist Süßwasser, ja es stellt sogar den größten Anteil des Süßwassers dar. Denn die größten Süßwasservorkommen der Erde befinden sich zu Eis gefroren in den Gletschern der beiden Polarregionen. Daneben gibt es natürlich auch Süßwasser in Form der Bäche, Flüsse, und Seen der Erde, sowie - wiederum in Eisform - in den Gletschern und schneebedeckten Höhen der Gebirge. Auch Wolken und Regen sind Süßwasser.

In der Seefahrt wird das gebunkerte Süßwasser als Frischwasser bezeichnet.

Brackwasser

Unter "'Brackwasser'" versteht man Fluss- oder Meerwasser mit einem Salzgehalt von 0,1 % bis 1 % (1 ‰ bis 10 ‰). Im angelsächsischen Raum wird ein Salzgehalt zwischen 0,05% und 1,8%, teilweise auch 3% angesetzt. Wasser mit geringerem Salzgehalt heißt Süßwasser, Wasser mit höherem Salzgehalt Salzwasser. Durch das Brackwasser entsteht in Flussmündungen und Meeren ökologisch die so genannte Brackwasserzone. Hier treffen sich - je nach Salzgehalt - süßwassertolerante Arten aus dem Meer und salzwassertolerante Arten aus dem Süßwasser.

Salzwasser

Als "Salzwasser" bezeichnet man

1. generell eine Lösung von Salzen in Wasser
2. in der Biologie, Ökologie, Ozeanographie und Limnologie ein Fluss-, See- oder Meerwasser mit einem Kochsalzgehalt über 1 Prozent (10 Promille). Im angelsächsischen Raum wird ein Salzgehalt oberhalb von 1,8%, teilweise auch 3% angesetzt. Zusammen knapp 1 Promille entfallen auf Magnesiumchlorid, Magnesiumsulfat, Kalziumsulfat, Kaliumchlorid und Kalziumkarbonat. Wasser mit geringerem Salzgehalt heißt Brackwasser, Wasser unterhalb von 0,1% Salzgehalt Süßwasser.

Lebensräume, die durch Salzwasser bestimmt sind, nennt man auch "'saline'" (von lat. "sal", Salz) oder "'haline'" (von altgriech. "háls", Salz) Biotope.

Trinkwasser

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Unter "Trinkwasser" versteht man Süßwasser mit einem hohen Maß an Reinheit, das für den menschlichen Gebrauch geeignet ist. Zudem müssen technische Anforderungen (Agressivität gegen Rohrleitungen, Vermeidung von Ablagerungen) gewährleistet sein. Die Grenzwerte, die es erlauben, ein Wasser als Trinkwasser freizugeben, sind gesetzlich vorgegeben und am Gedanken der Gesundheitsvorsorge orientiert. In Deutschland wird die Beschaffenheit des Trinkwassers durch die Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) geregelt. Die am 1. Januar 2003 in Kraft getretene novellierte Fassung stellt die Umsetzung der EG-Richtlinie "über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch" (98/83/EG) in nationales Recht dar.

Im Trinkwasser dürfen keine krankmachenden (pathogenen) Keime enthalten sein. Das Wasser muss geruch- und farblos sowie appetitlich sein und von seiner Natur her zum Genuss anregen. Die Grenzwerte für Nitrate und Nitrite sind sehr niedrig. Verunreinigungen infolge von Überdüngung auf landwirtschaftlichen Flächen in den letzten Jahrzehnten führen in vielen Gegenden, deren Trinkwasserversorgung auf der Entnahme von Grundwasser beruht, zu Problemen.

Ebenso muss ein Mindestmaß an Mineralien vorhanden sein. Die häufigsten Mineralien sind Calcium- und Magnesiumcarbonate beziehungsweise Phosphate. Deren Konzentrationen werden als "Härte" (deutsche Härte) des Wassers angegeben. Trinkwasser muss mindesten 5° und soll höchstens 25° deutscher Gesamthärte (dH) haben. Auch der pH-Wert soll zwischen 6,5 und 8,5 liegen.

Eine hygienische und sichere Trinkwasserversorgung ist vermutlich der entscheidende Beitrag zur Gesundheit und Seuchenvermeidung. Der Mensch benötigt ca. 2 bis 3 Liter Wasser pro Tag um zu überleben. In Mitteleuropa muss jedoch mit einem Gesamtwasserbedarf von ungefähr 150 bis 200 l/Einwohner und Tag (Waschen, Toiletten, Reinigung etc.) gerechnet werden. Zumeist wird aus technischen Gründen dazu auch Trinkwasser verwendet, da es auch wirtschaftlich kaum realisierbar ist, getrennte Leitungen für Trink- und Nutzwasser zu errichten und zu betreiben. Zudem sind die technischen Anforderungen heute an das Nutzwasser ähnlich hoch wie jene an Trinkwasser.

Wenn das Wasser in den Leitungen steht oder nicht entnommen wird, besteht immer akute Verkeimungsgefahr.

Trinkwasser wird meistens aus Brunnen Quellen gewonnen, aber auch Seewasser (etwa aus dem Bodensee) oder Flusswasser (direkt aus dem Gewässer entnommen oder als Uferfiltrat) wird zu Trinkwasser aufbereitet. Der Transport zum Verbraucher erfolgt zumeist durch ein Wasserverteilungssystem, bestehend aus Behältern, Pumpen und Leitungen und in seltenen Fällen (zumeist in Notsituationen) durch Tankwagen oder mobile Gebinde (Flaschen, Fässer, Kunststoffsäcke).

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

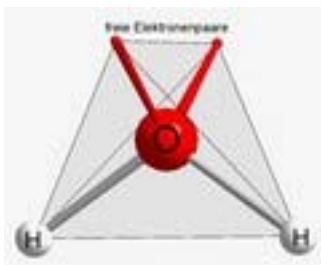
In wasserarmen Küstenländern kommen auch Meerwasserentsalzungsanlagen zur Trinkwassergewinnung zum Einsatz.

Quellen: Text basiert auf der freien Enzyklopädie Wikipedia

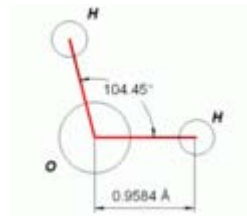
1.4) Aufbau und Eigenschaften des Wassermoleküls

1.4.1) Aufbau

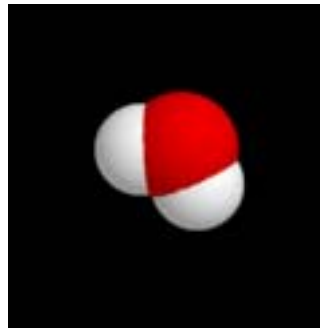
Molekül-Geometrie



Räumlicher Aufbau
des Wassermoleküls



Geometrie
des Wassermoleküls

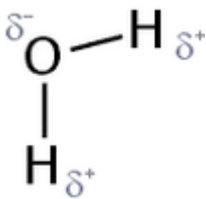


Raumfüllendes Modell
des Wassermoleküls

Das Wassermolekül besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Geometrisch entspricht das Wassermolekül eigentlich einem Tetraeder mit dem Sauerstoffatom im Zentrum. Zwei der vier Ecken des Tetraeders werden von den Wasserstoffatomen besetzt, in den übrigen zwei Ecken befinden sich die freien, nicht-bindenden Elektronenpaare des Sauerstoffatoms. Da die freien Elektronenpaare jedoch bei der Darstellung des Moleküls vernachlässigt werden (es handelt sich hierbei nicht um Bindungen bzw. diese Ecken des Tetraeders werden nicht von Atomen besetzt), wird das Wassermolekül gewinkelt dargestellt. Der Winkel, den die beiden O-H-Bindungen einschließen beträgt $104,45^\circ$. Er weicht aufgrund des erhöhten Platzbedarfs der freien Elektronenpaare (VSEPR-Theorie) vom idealen Tetraederwinkel ab. Die Bindungslänge der O-H-Bindungen beträgt jeweils $95,84$ Picometer.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

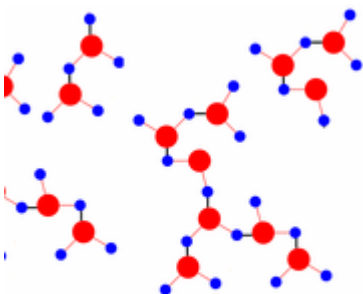
Dipolmoment



Wassermolekül Dipolmoment

Sauerstoff hat eine höhere Elektronegativität als der Wasserstoff. Durch die dreieckige Geometrie des Moleküls und die unterschiedlichen Partialladungen der Atome hat es auf der Seite des Sauerstoffs negative und auf der Seite der beiden Wasserstoffatome positive Polarität. Diese bewirkt das Dipolmoment, das in der Gasphase 1,84 Debye beträgt. Eine Erklärung für die winklige Anordnung der beiden Wasserstoffmoleküle, wegen der es erst zur Dipolbildung, und damit zu den besonderen Eigenschaften des Wassers kommt, liefert die VSEPR-Theorie anhand der beiden einsamen Elektronenpaare auf dem Sauerstoffatom. Durch die unterschiedlichen Partialladungen kann das Molekül von bestimmten elektromagnetischen Wellen, den Mikrowellen, in Schwingungen versetzt werden, welche zur Erwärmung des Wassers führen.

Wasserstoffbrückenbindung



Bildliche Darstellung der Verkettung der Wassermoleküle über Wasserstoffbrückenbindungen

Wassermoleküle wechselwirken miteinander über Wasserstoffbrückenbindungen und besitzen dadurch ausgeprägte zwischenmolekulare Anziehungskräfte. Es handelt sich dabei um keine beständige, feste Verkettung. Der Verbund der Wassermoleküle, die über Wasserstoffbrückenbindungen verkettet sind, besteht nur Bruchteile von Sekunden, dann lösen sich die einzelnen Wassermoleküle wieder aus dem Verbund und verketteten sich mit anderen Wassermolekülen. Dieser Vorgang wiederholt sich ständig.

Für die Ausbildung der Wasserstoffbrückenbindungen ist unter anderem der kleine Durchmesser des Wasserstoffatoms von Bedeutung, da es sich nur so in

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

ausreichendem Maße dem Sauerstoffatom nähern kann. Die höheren Homologen des Wasser, zum Beispiel Schwefelwasserstoff H_2S , bilden derartige Bindungen aufgrund der geringeren Elektronegativitätsdifferenz zwischen den Bindungspartnern nicht aus.

Die Verkettung der Wassermoleküle durch Wasserstoffbrückenbindungen ist die Ursache für viele besondere Eigenschaften, zum Beispiel dafür, dass Wasser trotz des geringen Molekulargewichts flüssig ist. H_2S liegt im Gegensatz dazu gasförmig vor. Auch dass Wasser seine größte Dichte bei 4 Grad Celsius hat, ist auf die Wasserstoffbrückenbindungen zurückzuführen.

Schweres, halbschweres und überschweres Wasser

Neben dem "normalen" Wasser gibt es noch das sogenannte "schwere Wasser" (Deuteriumoxid), das "halbschwere Wasser" und das "überschwere Wasser" (Tritiumoxid). Bei diesen chemisch nicht von herkömmlichen Wasser (H_2O) unterscheidbaren schweren Wassern, sind die normalen Wasserstoffatome (Protium, Symbol H) durch ihre schweren Isotope Deuterium oder Tritium ersetzt. Schwere Wasser unterscheiden sich bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften (höherer Schmelzpunkt, höherer Siedepunkt, größere Dichte) von herkömmlichem Wasser.

1.4.2) Eigenschaften des Wassers

Die Eigenschaften des Wassers beruhen hauptsächlich auf dem Aufbau des Wassermoleküls und der daraus resultierenden Verkettung der Wassermoleküle über Wasserstoffbrückenbindungen. Die Eigenschaften des Wassers sind so besonders, dass sie Wasser zu dem bedeutendsten Stoff der Erde machen. Die hier angegebenen Eigenschaften beziehen sich auf Wasser ohne gelöste Stoffe. Sie dienen nur zu Grundlage, um die nachfolgenden Abschnitte zu verstehen, denn ein solch reines Wasser lässt sich höchstens in einem Labor erzeugen. Wie bereits im Vorwort erwähnt, birgt das Wasser auch heute noch einige Geheimnisse, die bislang nicht geklärt werden konnten und das obwohl die Eigenschaften des Wassers seit jeher Gegenstand der Forschung sind. Auch wenn man einige Eigenschaften des Wasser nicht kannte oder nicht erklären konnte, wurden sie dennoch immer ausgenutzt.

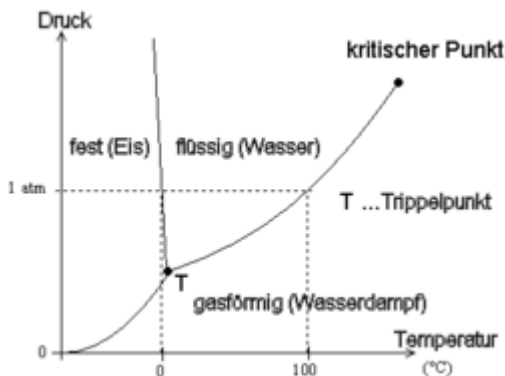
Physikalische Eigenschaften

Die physikalischen Eigenschaften des Wassers sind stark von der Temperatur und dem Druck abhängig. Große Veränderungen der physikalischen Eigenschaften des Wassers treten auch ein, wenn im Wasser Stoffe gelöst sind. Allgemein kann gesagt werden, dass zum Beispiel die Oberflächenspannung und Viskosität des Wassers mit zunehmender Temperatur abnehmen. Mehrere Eigenschaften des Wassers sind besonders auf die Verkettung der Wassermoleküle über Wasserstoffbrückenbindungen zurückzuführen und wegen dieser Verkettung anders als erwartet. Zu den Eigenschaften, die aus

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

der Verkettung der Wassermoleküle über Wasserstoffbrückenbindungen resultieren, zählen unter anderem der hohe Schmelz- und Siedepunkt des Wasser sowie die Dichteanomalie.

Aggregatzustände



Phasendiagramm des Wassers

Unter Normalbedingungen ist Wasser eine Flüssigkeit. Wasser ist der einzige uns bekannte Stoff, der in der Natur in allen drei Aggregatzuständen existiert. Das folgende Phasendiagramm zeigt, wie der Aggregatzustand des Wassers von der Temperatur und vom Druck abhängig ist. Die kritische Temperatur (höchste Temperatur, bei der dieser Stoff verflüssigt werden kann) des Wassers liegt bei 947 °C, der kritische Druck bei $2,21 \times 10^7$ Pa und der Tripelpunkt bei 611,73 Pa und 0,01 °C.

Schmelz- und Siedepunkt

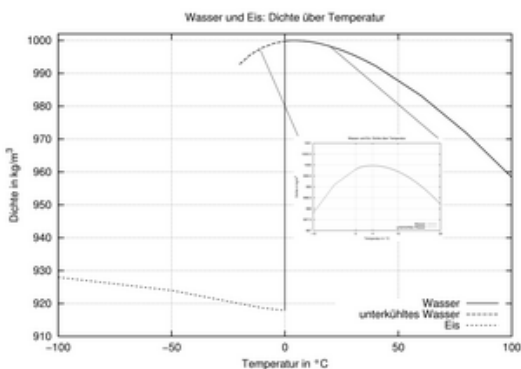
Der Schmelz- und der Siedepunkt des Wassers haben für die Menschheit eine so große Bedeutung, dass diese als Fixpunkte der Celsiusskala festgelegt wurden.

Wasser siedet unter Normalbedingungen bei 100 °C und erstarrt bei 0 °C, kann allerdings auch bei Normalbedingungen unter 0 °C als Flüssigkeit vorliegen, es handelt sich in dem Fall um unterkühltes Wasser. Der Siedepunkt des Wasser ist allerdings stark vom Dampfdruck abhängig. Wasser lässt sich auch unter Normaldruck etwas über seinen Siedepunkt hinaus erhitzen (Siedeverzug).

Wasser hat einen relativ hohen Siedepunkt. Zum Vergleich: Methan hat dieselbe Molmasse und siedet unter Normaldruck bereits bei -164 °C. Falls Wasser den aus der Molmasse abzuleitenden Gesetzmäßigkeiten entspräche, müsste es demnach bei Raumtemperatur unter Normaldruck als Gas vorliegen. Dass dies nicht so ist, lässt sich dadurch erklären, dass zusätzlich zu den intramolekularen Kräften auch die Wasserstoffbrückenbindungen überwunden werden müssen.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Dichteanomalie



Dichte des Wasser in Abhängigkeit zur Temperatur

Wasser hat seine größte Dichte bei 3,98 °C (bei Normaldruck), bei dieser Temperatur hat es eine Dichte von 1 g/cm³. Das bedeutet, dass festes Wasser (Eis) eine geringere Dichte besitzt als flüssiges Wasser. Die Dichteanomalie des Wassers besteht darin, dass es sich trotz weiterer Temperaturverringerung wieder ausdehnt, was man von anderen Stoffen nicht kennt.

Im festen Aggregatzustand - hier Eis - wird normalerweise eine hohe Fernordnung durch Ausbildung eines Kristallgitters erreicht. Im flüssigen Zustand herrscht eine Mischung aus Ordnung und Chaos und die Moleküle brauchen durch ihre höhere Geschwindigkeit mehr Platz. Darum erhöht sich das Volumen und die Dichte wird geringer. Im gasförmigen Zustand ist die maximale Unordnung erreicht und die Atome brauchen maximalen Raum für die Bewegung.

Der Grund der Anomalie des Wassers ist die Verkettung der Wassermoleküle über Wasserstoffbrückenbindungen. Dadurch ist die resultierende Struktur im festen Zustand größer als bei beweglichen Molekülen. Dies ist ein fortschreitender Vorgang, d. h., dass schon im flüssigen Zustand so genannte Cluster aus Wassermolekülen vorhanden sind. Bei 3,98 °C ist der Zustand erreicht, bei dem die einzelnen Cluster das geringste Volumen einnehmen und damit die größte Dichte haben. Wenn die Temperatur weiter sinkt, wird durch die weiteren Kristallstrukturen mehr Volumen benötigt. Wenn die Temperatur steigt, benötigen die Moleküle wieder mehr Bewegungsfreiraum und das Volumen steigt.

Die sprunghafte Volumenzunahme des Wassers um ca. 9 % beim Gefrieren (im Diagramm entsprechend bei abnehmender Dichte) und die dabei auftretenden großen Kräfte bewirken ein Bersten von Rohren, Mauerwerken, Straßenbelägen und Aufschüttungen.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

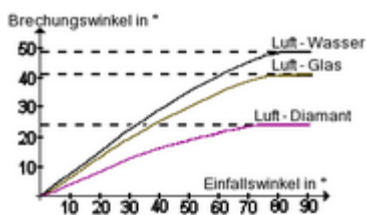
Löslichkeit

Wasser ist ein hervorragendes Lösungsmittel für viele Stoffe, es ist polares Lösungsmittel mit einer hohen Dielektrizitätskonstante.

Die Löslichkeit in Wasser ist oft stark von der Temperatur abhängig; dabei verhalten sich Feststoffe und Gase unterschiedlich. Gase lösen sich bei zunehmender Temperatur schlechter in Wasser, während sich Feststoffe bei zunehmender Temperatur meist besser in Wasser lösen lassen (Ausnahmen gibt es mehrere, wie z. B. Lithiumsulfat). Normalerweise gilt, dass ein Stoff sich umso besser in Wasser lösen lässt, je mehr polare Gruppen in diesem Stoff vorhanden sind. Überkritisches Wasser zeigt jedoch ähnliche Löslichkeitseigenschaften wie unpolare organische Lösungsmittel.

Bei der Auflösung von Stoffen in Wasser laufen der endotherme Gitterabbau und die exotherme Hydratation ab, was Wärmemischungen (Schwefelsäure in Wasser) und Kältemischungen (Salze in Wasser) hervorrufen kann, hierbei entscheidet die Differenz zwischen der exothermen Hydratation und dem endothermen Gitterabbau, ob eine Erwärmung oder eine Abkühlung eintritt.

Optische Eigenschaften



Lichtbrechung des Wassers im Vergleich zu anderen Stoffen

Tritt Licht von der Luft ins Wasser ein, so wird es deutlich schwächer gebrochen als zum Beispiel bei Glas oder Diamanten. Der Grenzwinkel des Wassers liegt hier bei 49° .

Diese Lichtbrechung führt beim Menschen zu optischen Täuschungen, da man ein Objekt unter Wasser nun an einem anderen Ort sieht, als an dem es tatsächlich ist. Wasser hat einen Brechungsindex von 1,33. Das Reflektionsvermögen liegt bei 2 %.

Da Wasser viel sichtbares Licht durchlässt und bricht, ermöglicht dies auch die Existenz von Lebewesen im Wasser, die Licht zum Leben benötigen wie zum Beispiel Algen.

Elektrische Leitfähigkeit

Chemisch reines Wasser ist, anders als oft angenommen, ein Nichtleiter, allerdings nur solange im Wasser keinerlei Stoffe gelöst sind. Es ist mit ca. 5,5

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

MW*m jedoch ein eher schlechter elektrischer Isolator, da durch Eigendissoziation eine geringe Menge der Wassermoleküle (etwa jedes 10Millionste) als Ionen vorliegen. Häufig wird die Leitfähigkeit in uS/cm angegeben, für höchstreines Wasser (Deionat) liegt der Grenzwert bei 0,05483 uS/cm (25 °C). Dies gilt nicht für Leitungswasser, da dabei viele Stoffe dissoziieren, und Ladungsträger entstehen. Normales Wasser leitet den elektrischen Strom, das heißt insbesondere, dass Wasser nicht mit elektrischen Bauteilen in Berührung kommen darf! Ein Beispiel für die Verunreinigung von Wasser: Natriumchlorid dissoziiert in Wasser zu positiv geladenen Natriumionen und negativ geladenen Chloridionen, im Wasser sind jetzt jede Menge Ladungsträger vorhanden und es leitet den Strom gut.

Oberflächenspannung

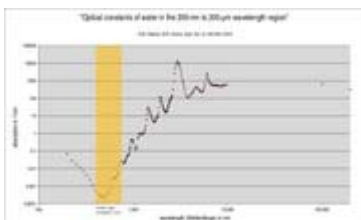
Wasser weist eine Oberflächenspannung auf, die Wassermoleküle ziehen sich an der Oberfläche stark an. Die Oberflächenspannung beträgt etwa 73 mN/m bei 20 °C und nimmt bei zunehmender Temperatur ab.

Oberflächenspannung und Viskosität		
Temperatur in °C	Oberflächenspannung in mN/m	Viskosität in mPa s
0	75,6	1,78
10	74,2	1,31
20	72,8	1,00
30	71,2	0,80
50	67,9	0,55
100	58,9	0,28

Viskosität

Die Viskosität des Wassers beträgt bei 20 °C 1,0 mPa s; Wasser hat eine höhere Viskosität als Petroleum (0,65 mPa s bei 20 °C) aber eine niedrigere als zum Beispiel Quecksilber (1,5 mPa s bei 20 °C). Die Viskosität des Wassers nimmt mit zunehmender Temperatur ab. Werte zur Viskosität des Wassers kann man aus der obigen Tabelle entnehmen.

Geruch, Farbe und Geschmack



Absorptionsspektrum des Wasser im Bereich von 200 nm bis 0,1 mm

Wasser ist im reinen Zustand geschmack- und geruchlos. Aufgrund selektiver Absorption im roten sichtbaren und im nahen Infrarotbereich erscheint Wasser

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

blau. Bei im Wasser gelösten Stoffen kann es zu einer deutlichen Veränderung dieser Eigenschaften kommen.

Spezifische Wärmekapazität

Wasser hat mit 4167 J/(kg K) eine sehr hohe spezifische Wärmekapazität. Das bedeutet, dass Wasser vergleichsweise viel Energie aufnimmt und sich die Temperatur dabei wenig erhöht und dass es beim Abkühlen ebensoviel Energie wieder abgibt.

Im gasförmigen Aggregatzustand (Dampf) hat Wasser eine spezifische Wärmekapazität von 1870 J/(kg K) und als Feststoff (Eis) 2060 J/(kg K). Feste Stoffe haben eine deutlich niedrigere spezifische Wärmekapazität. So hat etwa Blei eine Wärmekapazität von 129 J/(kg K), Kupfer eine von 380 J/(kg K). Auch wegen seiner hohen Wärmekapazität hat Wasser eine große Bedeutung für das Klima.

Schmelz- und Verdampfungswärme

Für die Wandlung von 0 °C kaltem Eis in 0 °C kaltes Wasser muss eine Energie von 335 kJ/kg aufgebracht werden.

Will man 100 °C warmes Wasser in 100 °C warmen Dampf ändern, werden dafür 2.256 kJ/kg benötigt. Eine Zustandsänderung von 25 °C warmem Wasser in 100 °C warmen Dampf erfordert 2.460 kJ/kg. Um 0 °C kaltes Wasser in 100 °C warmen Dampf zu ändern, benötigt man 2.500 kJ/kg.

Die Verdampfungswärme des Wassers liegt wesentlich höher als die Verdampfungswärme von anderen Flüssigkeiten, Methanol hat im Vergleich nur eine Verdampfungswärme von 845 kJ/kg und Quecksilber sogar nur eine von 285 kJ/kg.

Thermodynamische Eigenschaften

Die thermodynamischen Eigenschaften des Wasser kann man nebenstehender Tabelle entnehmen. Wird Wasser aus den Elementen Wasserstoff und Sauerstoff gebildet, so wird relativ viel Energie freigesetzt.

Thermodynamik	
$D_fH_g^0$	-241,83 kJ/mol
$D_fH_l^0$	-285,83 kJ/mol
$D_fH_s^0$	-291,8 kJ/mol
$S_{g, 1 \text{ bar}}^0$	188,84 J/(mol · K)
$S_{l, 1 \text{ bar}}^0$	69,95 J/(mol · K)
S_s^0	41 J/(mol · K)

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Wärmeleitfähigkeit

Wasser hat im Vergleich zu anderen Flüssigkeiten eine hohe Wärmeleitfähigkeit, aber im Vergleich mit einigen Metallen eine sehr geringe. Die Wärmeleitfähigkeit des Wassers nimmt mit steigender Temperatur zu, Eis leitet Wärme jedoch wesentlich besser als flüssiges Wasser.

Bei 20 °C weist Wasser eine Wärmeleitfähigkeit 0,62 W/mK, Kupfer im Vergleich 394 W/mK und Silber sogar eine von 429 W/mK auf.

Wärmeleitfähigkeit	
Temperatur in °C	Wärmeleitfähigkeit in W/mK
-20	w:0,523 e:2,43
0	w:0,564 e:2,22
10	0,584
20	0,597
30	0,618
50	0,645
80	0,670
100	0,682

Chemische Eigenschaften

Die chemischen Eigenschaften des Wassers sind nicht so außergewöhnlich wie die physikalischen Eigenschaften.

Wasser hat eine Molmasse von 18,01528 g/Mol und dasselbe relative Atomgewicht. Wasser ist bei vielen Reaktionen ein Katalysator, das heißt, ohne die Anwesenheit von Wasser würde eine Reaktion wesentlich langsamer und mit höherer Aktivierungsbarriere ablaufen.

Reaktivität

Wasser ist amphoter, ist also ein Stoff, der - je nach Milieu - sowohl als Säure als auch als Base wirken kann.

Wasser reagiert mit Anhydriden zu Säuren oder Basen. Beispiele:

- Schwefeltrioxid (Säureanhydrid) reagiert mit Wasser zu Schwefelsäure(Säure):
$$\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$$
- Natriumoxid (Basenanhydrid) reagiert mit Wasser zu Natriumhydroxid (Base):
$$\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH}$$

Wasser reagiert mit unedlen Metallen unter Wasserstoffbildung zu Metalloxiden, diese Metalloxide sind aber Basenanhydride und lösen sich meist gleich wieder in Wasser zu Basen, wie eben beschrieben wurde. Ein Beispiel:

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

- Natrium reagiert mit Wasser zu Natriumoxid und Wasserstoff:
 $2\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2$

Die wohl wichtigste Reaktion des Wassers ist die Photosynthese, welche für Pflanzen und andere Lebewesen sehr wichtig ist. Sie liefert die für Pflanzen wichtige Stärke und für den Menschen Sauerstoff.

pH-Wert

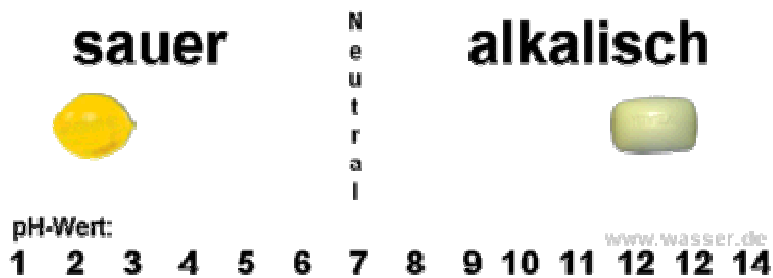
Destilliertes Wasser hat einen pH-Wert von 7, ist also neutral. In der Praxis hat Wasser aber einen pH-Wert zwischen 5 und 7, da reines Wasser ohne gelöste Stoffe in der Praxis nicht vorkommt. Lässt man Wasser sogar nur an der Luft stehen, lösen sich sofort Gase im Wasser.

Der pH-Wert sagt aus, ob eine wässrige Lösung sauer, neutral oder alkalisch ist.

Ist der pH-Wert **kleiner als 7**, so ist die Lösung **sauer**.

Ist der pH-Wert **genau 7**, so ist die Lösung **neutral**.

Ist der pH-Wert **größer als 7**, so ist die Lösung **alkalisch** (basisch).



Der pH-Wert gibt den negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration (H_3O^+) an, daher ist auch die Angabe des pH-Wertes dimensionslos.

$\text{pH} = -\lg(c[\text{H}_3\text{O}^+])$

Da reines destilliertes Wasser bei 22 °C 10^{-7} Mol/l H_3O^+ enthält, wurde der negative Logarithmus dieser Konzentration (7,0) als Neutralpunkt festgelegt. pH ist die Abkürzung für **potentia hydrogenii** = Stärke (Konzentration) des Wasserstoffs.

Zum Vergleich:

Flüssigkeit	pH-Wert
Magensaft	0,9-1,5
Zitronensaft	2,3
Sauermilch	4,4
Harn	4,8-7,4
Regenwasser (durch gelöste Kohlensäure)	5,5-5,8

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Milch	6,4-6,7
menschliches Blut	7,38
Meerwasser	7,8-8,2
Darmsaft	8,3

Quelle: <http://www.wasser.de/haupt.pl?url=http://www.wasser.de/verbraucher/ph-wert/>

Andere Eigenschaften

Nach einer sehr umstrittenen These, die von einigen Forschern aus Amerika entwickelt wurde, senden die Wasserstoffbrückenbindungen des Wassers Energiesignale aus, welche von der Eigenbewegung der einzelnen Moleküle abhängig sind. Diese Energiesignale können aufgefangen werden. Die Wasserstoffbrückenbindungen bilden kristallähnliche Strukturen.

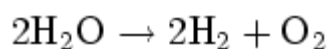
Aufgrund dieser Grundlagen entwickelte sich die These, dass das Wasser Informationen in Form dieser Energiesignale speichern und diese an andere Organismen durch Abgeben dieser Energiesignale übertragen könnte. Die *gespeicherten Informationen* sollen durch Zerwirbeln oder Erhitzen des Wassers *löschar* sein.

Als Beweis für diese These wird angegeben, dass homöopathische Stoffe sehr stark verdünnt werden und das Wasser nach der Verdünnung noch immer die gleichen Eigenschaften wie vor der Verdünnung besäße. Die These wird von einigen als bekräftigt, von anderen als entkräftigt gesehen; eine Unterscheidung zwischen Forschung und Kommerzialisierung ist hier nur schwer möglich.

1.4.3) Synthese, Elektrolyse und Nachweis

Wasser wurde zum ersten Mal synthetisiert, als Henry Cavendish ein Gemisch aus Wasserstoff und Luft zum Explodieren brachte.

Da Wasserstoff in der Zukunft Energieträger werden soll, ist geplant, durch die Elektrolyse des Wassers diesen Wasserstoff zu gewinnen. Allerdings ist ein hoher Energieaufwand für die Elektrolyse nötig. Mittlerweile ist es Forschern gelungen, Wasser durch Anwesenheit eines Katalysators nur mittels Sonnenlicht in Sauerstoff und Wasserstoff aufzuspalten:



Wasser färbt weißes Kupfersulfat hellblau und blaues Kobalt(2)-Nitratpapier wird durch Wasser rot gefärbt.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

1.5) Bedeutungen des Wassers

Bedeutung des Wassers für das Klima

Wasser beeinflusst entscheidend unser Klima und ist für die Entstehung von Wetter verantwortlich, vor allem durch seine Kapazität als Wärme(Energie-)speicher. In den Ozeanen wird die einstrahlende Sonnenenergie gespeichert. Diese regional unterschiedliche Erwärmung führt wegen Verdunstung zu Konzentrationsunterschieden (vor allem Salinität (Salzgehalt)). Dieses Konzentrationsgefälle erzeugt globale Meeresströmungen, die sehr große Energiemengen (Wärme) transportieren (z. B. Golfstrom, Humboldtstrom, äquatorialer Strom, mitsamt ihren Gegenströmungen). Ohne den Golfstrom würde in Mitteleuropa arktisches Klima herrschen.

Im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt stellen Ozeane die wirksamste CO₂-Senke dar, da Gase wie Kohlendioxid in Wasser gelöst werden (siehe Kohlenstoffzyklus). Die mit der globalen Erwärmung einhergehende Temperaturerhöhung der Weltmeere führt zu einem geringeren Haltevermögen an Gasen und damit zu einem Anstieg des CO₂ in der Atmosphäre. Wasserdampf stellt in der Atmosphäre ein wirksames Treibhausgas dar. (siehe Treibhauseffekt)

Bei der Erwärmung verdunstet Wasser, es entsteht Verdunstungskälte. Als "trockener" Dampf (nicht kondensierend) und als "nasser" Dampf (kondensierend: Wolken, Nebel) enthält und transportiert es latente Wärme, die für sämtliche Wetterphänomene entscheidend verantwortlich ist. Die Wärmekapazität des Wassers und die Phänomene der Verdunstungskälte und latenten Wärme sorgen in der Nähe von großen Gewässern für gemäßigte Klimate mit geringen Temperaturschwankungen im Jahres- und Tagesgang. Wolken verringern zudem die Einstrahlung durch die Sonne und die Erwärmung der Erdoberfläche durch Reflexion.

Der aus Wolken fallende Niederschlag und der Wasserdampf (Auskämmung und Photosynthese bzw. Atmung) bewässern die terrestrischen Ökotope. Auf den Landmassen können so Gewässer oder Eismassen entstehen, die auch meso- und mikroklimatische Wirkungen haben. Das Verhältnis von Evapotranspiration (Gesamtverdunstung eines Gebietes) zu Niederschlag entscheidet, ob sich trockene (*aride*, Steppen, Wüsten) oder feuchte (*humide*, Wälder, Waldsteppen), Klimate bilden. Auf den Landmassen ist außerdem die Vegetation eine klimatische Größe.

Bedeutung des Wassers für die Biosphäre

Grundbaustein des Lebens

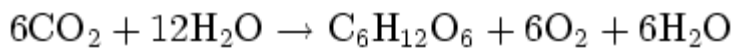
Das Leben ist nach dem heutigen Erkenntnisstand im Wasser entstanden. Autotrophe Schwefelbakterien (Prokaryoten) produzieren aus

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

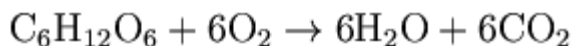
Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid unter Zufuhr von Lichtenergie organische Kohlenstoffverbindungen und Wasser:



Als Nachfolger nutzten Blaubakterien (Cyanobakterien) und alle späteren autotrophen Eukaryonten das größere Redoxpotential des Wassers: Unter Zufuhr von Licht produzieren sie aus Wasser und Kohlendioxid Traubenzucker und Sauerstoff:



Durch diesen Prozess reicherte sich im Wasser und in der Atmosphäre immer mehr Sauerstoff an. Damit wurde die Gewinnung von Energie durch Zellatmung (Dissimilation) möglich:



Voraussetzung für die Fähigkeit, mit dem giftigen Sauerstoff (Oxidation der empfindlichen Biomoleküle) umzugehen, waren Enzyme wie die Katalase, die eine strukturelle Ähnlichkeit mit dem Sauerstoff transportierenden Hämoglobin aufweist. Aerobe Purpurbakterien nutzten vielleicht als erstes den giftigen Sauerstoff zum energieliefernden Abbau organischer Stoffe. Nach der Endosymbiontentheorie nahmen anerobe Prokaryoten die aeroben (wahrscheinlich Purpurbakterien) auf: Die Eukaryoten-Zelle entstand, aus denen sich heute höhere Pflanzen und Tiere bilden.

Die erfolgreiche Existenz dieser höheren Lebewesen ist nur möglich, da der freigesetzte Sauerstoff O_2 , unter ultravioletter Einstrahlung zu $\text{O} + \text{O}$ dissoziiert, an Schwebeteilchen zu Ozon O_3 reagiert und in der Stratosphäre die Ozonschicht bildet.

Wasser wurde damit zum wichtigen Bestandteil der Zelle und Medium grundlegender biochemischer Vorgänge (Stoffwechsel) zur Energiegewinnung und -speicherung:

- Photosynthese, Dissimilation
- Glykolyse
- Zitronensäurezyklus
- Fettabbau
- Eiweißabbau
- Harnstoffzyklus

Auf Grund des Dipolmomentes und wegen der Viskosität eignet sich Wasser als Lösungs- und Transportmittel. Wasser transportiert Nährstoffe, Abbauprodukte, Botenstoffe und Wärme innerhalb von Organismen (zum Beispiel Blut, Lymphe, Xylem) und Zellen. Die Eigenschaften des Wassers

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

werden bei Pflanzen und Tieren (inklusive Mensch) mannigfaltig, z. B. für die Temperaturregulierung benutzt, in Form von Guttation, Schwitzen, etc., oder z. B. als Basis für antibakterielle Schutzfilme bei Kröten und Fischen.

Pflanzen und Tieren ohne Skelett verleiht der Turgordruck (osmotischer Druck) des Wassers Form und Festigkeit. Durch Turgoränderungen können sie sich auch bewegen (z.Bsp. Blattbewegung bei Pflanzen, Fortbewegung des Seesterns).

Wasser und Ökosysteme

In terrestrischen Ökosystemen ist Wasser begrenzender Faktor der Produktivität. Es ist essentiell für den Stoffwechsel von Lebewesen (Biosphäre), sowie für die Herausbildung und Prägung ihrer Standorte (Pedosphäre, Atmosphäre/Klima). Niederschläge speisen Gewässer und Grundwasser als Ressource für das Pflanzenwachstum. Die mit weitem Abstand größte Biomasse und größte Produktivität stellen die aquatischen Ökosysteme, vor allem die Ozeane bereit, in denen der begrenzende Produktionsfaktor die Menge des im Wasser gelösten CO₂ (Kohlendioxid) ist. Die Eigenschaften des Wassers werden mit hoher Effizienz genutzt, z. B. bei der Oberflächenspannung von Insekten, Spinnen, der Dichte und den optischen Eigenschaften von Plankton etc.

Die Dichteanomalie führt in Gewässern zu einer Temperaturschichtung, zu Sprungschichten und Ausgleichsströmungen, die vor allem in limnischen (Süßwasser-) Biotopen charakteristisch sind, aber auch in marinen Ökosystemen anzutreffen sind und genutzt werden (Wale z. B. nutzen die Schallreflexionen an Sprungschichten zur Verbesserung ihrer Kommunikation). Die Dichteanomalie ermöglicht auch das Überleben von Lebewesen bei Frost, da stehende Gewässer nicht bis zum Grund erstarren (Ausnahme flache Gewässer und "Frosttrocknis"). Auch wenn aquatische Ökosysteme durch die Wärmekapazität des Wassers sehr stabile Lebensräume darstellen, haben auch geringere Temperaturschwankungen deutliche Folgen. So wird die Temperaturerhöhung der Ozeane Veränderungen in marinen Ökosystemen zur Folge haben.

Bedeutung des Wassers für die menschliche Gesundheit

Ein Mangel an Wasser oder eine schlechte Wasserqualität führen beim Menschen und anderen Lebewesen zu gravierenden gesundheitlichen Problemen, da in diesem Fall die Funktionen des Körpers, die auf das Wasser angewiesen sind, eingeschränkt werden. Ein Mensch sollte (nach einer Faustregel) pro Kilogramm Körpergewicht 30 ml Wasser am Tag trinken. Bei sportlichen Betätigungen oder besonders warmen Tagen ist das regelmäßige Trinken von Wasser besonders wichtig, hier greift die Faustregel selbstverständlich nicht. Neben der Wassermenge sollte beim Trinken auch auf die Wasserqualität geachtet werden. Trinkwasser sollte frei von Giftstoffen und

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

gefährlichen Keimen sein. Da diese Überprüfung für einen "Normalmenschen" nicht ohne weiteres möglich ist, sollten Veränderungen des Wassergeschmacks, -geruchs oder der Farbe als Warnhinweis genommen werden. Es sollte versucht werden, Wasser nicht in die Lungen gelangen zu lassen. Eine dauerhafte Nässe auf der Haut kann zu Hautpilzen führen. In der Medizin wird Wasser unter anderem bei der Inhalation zur Heilung, etwa von Husten, benutzt. Die Anwesenheit von Wasser kann sich auch negativ auf die Gesundheit auswirken, da Wasser bei der Verbreitung von Krankheitserregern beschleunigend wirkt.

Technische Bedeutung des Wassers

In vielen Maschinen und Kraftwerken wird Wasser seit jeher genutzt um Energie zu gewinnen oder mechanische Arbeit zu verrichten. Auch wird Wasser in Kraftwerken aufgrund der hohen Verdampfungswärme zur Kühlung benutzt, was zu einem hohen Wasserverbrauch führt: 1991 wurden in Deutschland allein 29 Milliarden m³ Wasser als Kühlwasser in Kraftwerken verbraucht. Ein altes Beispiel, bei dem Wasser benutzt wurde, um mechanische Arbeit zu verrichten, ist die Wassermühle. Auch in Wasserkraftwerken wird fließendes Wasser benutzt, um in Turbinen Arbeit zu verrichten. Wasserdampf wird in der Technik zum Antrieb von Dampfmaschinen und Dampfturbinen benutzt.

Bedeutung des Wassers für Wirtschaft und Entwicklung

Wasser ist ein sehr wichtiger Faktor für Entwicklung und Wirtschaft. Es wird nicht nur zur Trinkwasserversorgung der Menschen benötigt. Wichtig für die Wirtschaft sind vor allem folgende Formen des Wassers: Flüsse, da auf ihnen leicht Güter transportiert werden können; Badegewässer als wichtiger Faktor für den Tourismus; Gewässer mit Fischen zum Verzehr. Regen ist sehr wichtig für die landwirtschaftliche Nutzung von Land.

Die Wichtigkeit des Wassers für die Wirtschaft zeigt sich auch in diesen Fällen:

- In vielen Entwicklungsländern ist zu wenig oder nur verschmutztes Wasser vorhanden; alle Industrienationen zeichnen sich aber durch genügend Wasser von guter Qualität aus.
- Die meisten Großstädte grenzen an Flüsse, Seen oder Meere.

Die Anwesenheit von Wasser kann sich aber auch negativ auf Wirtschaft und Entwicklung auswirken: So kann Wasser durch seine geologische Zerstörungswut große wirtschaftliche Schäden verursachen und unmittelbar nach solchen Katastrophen sich beschleunigend auf die Verbreitung von Krankheitserregern auswirken.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Bedeutung für die Brandbekämpfung

Wasser ist das wichtigste Löschmittel bei den meisten Bränden. Beim Verdampfen des Wassers wird Hitze abgeführt und die brennenden Stoffe werden unter ihre Zündtemperatur gekühlt. Wasser ist hierzu aufgrund seiner hohen molaren Wärmekapazität besonders gut geeignet; es kann sehr viel Wärmeenergie aufnehmen bis es verdampft. Außerdem wird durch das Wasser verhindert, dass Sauerstoff an die brennenden Stoffe gelangt und mit diesen reagiert. Weiterhin ist Wasser sehr gut verfügbar und für die Umwelt nicht schädlich.

Es eignet sich jedoch nicht immer als Löschmittel, da es selbst mit Stoffen reagieren und so den Brand unterstützen kann, z. B. bei Metall- oder Fettbränden. Wenn Wasser auf brennendes Fett gegossen wird, reißt das verdampfende Wasser kleine Fettkügelchen mit sich, die sich explosionsartig entzünden. Ein weiterer Nachteil ist seine zum Großteil durch Verunreinigungen hervorgerufene elektrische Leitfähigkeit, z. B. bei Bränden von elektrischen Einrichtungen.

1.6) Wasser in den Wissenschaften

Wasserchemie

Die Chemie beschäftigt sich unter anderem mit der Analyse von im Wasser gelösten Stoffen, den Eigenschaften des Wassers, dessen Nutzung, dessen Verhaltensweise in verschiedenen Zusammenhängen. Wasser ist ein Lösungsmittel für viele Stoffe, für Ionenverbindungen, aber auch für hydrophile Gase und hydrophile organische Verbindungen. Sogar gemeinhin als in Wasser unlöslich geltende Verbindungen können in Spuren im Wasser enthalten sein. Daher liegt Wasser auf der Erde nirgends in reinem Zustand vor. Es hat je nach Herkunft die unterschiedlichsten Stoffe in mehr oder weniger großen Konzentrationen in sich gelöst. In der Analytik unterscheidet man unter anderem folgende Wassertypen:

Reinstwasser, Grundwasser, Rohwasser, Trinkwasser, Oberflächengewässer (Fließ- und Stehgewässer), Meerwasser, Abwasser.

Wasser in den Geowissenschaften

In den Geowissenschaften hat sich eine Wissenschaft herausgebildet, die sich besonders mit dem Wasser beschäftigt: die Hydrologie.

Besonders interessant für die Geowissenschaften ist wie Wasser das Landschaftsbild verändert (von kleinen Veränderungen über einen großen Zeitraum bis hin zu Katastrophen, bei denen Wasser innerhalb weniger Stunden ganze Landstriche zerstört), dies geschieht zum Beispiel auf folgende Weisen:

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

- Flüsse oder Meere reißen Erdmassen mit sich und geben sie an anderer Stelle wieder ab.
- Durch sich bewegende Gletscher werden ganze Landschaften eliminiert.
- Wasser wird von Steinen gespeichert, gefriert in diesen und sprengt die Steine auseinander, weil es sich beim Gefrieren ausdehnt.
- Durch Dürren werden ganze Vegetationen ausgelöscht.

Auch interessiert Geowissenschaftlern die Vorhersage des Wetters und besonders von Regen (Meteorologie)

1.7) Kulturelle Bedeutung des Wassers

Aufgrund der großen Bedeutung des Wassers wurde es nicht zufällig bereits bei den frühesten Philosophen zu den vier Urelementen gezählt. Thales von Milet sah im Wasser sogar den Urstoff allen Seins.

Wasser in der Mythologie



Wasser ist in der Vier-Elemente-Lehre neben Feuer, Luft und Erde ein Element.

Element	regelmäßiger Körper (Platon)	Eigenschaft (Aristoteles)	Tierkreiszeichen (Astrologie)	Elementarwesen	Himmelsrichtung
Feuer	Tetraeder	warm + trocken	Widder, Löwe, Schütze	Salamander	Süden
Wasser	Ikosaeder	kalt + feucht	Krebs, Skorpion, Fische	Undinen	Westen
Luft	Oktaeder	warm + feucht	Zwillinge, Waage, Wassermann	Sylphen	Osten
Erde	Würfel	kalt + trocken	Stier, Jungfrau, Steinbock	Gnome	Norden

Im antiken Griechenland wurde dem Element Wasser der Ikosaeder als einer der fünf Platonischen Körper zugeordnet.

Wasser in der Religion

In den Religionen hat Wasser häufig einen hohen Stellenwert. Oft wird die reinigende Kraft des Wassers beschworen, zum Beispiel bei den Moslems in Form der rituellen Fußwaschung vor dem Betreten einer Moschee, oder im

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Hindu-Glauben beim rituellen Bad im Ganges. In der christlichen Kirche spielt das Weihwasser eine besondere Rolle. Die Taufe führt, ursprünglich durch das Untertauchen, heutzutage in den meisten Konfessionen nur noch durch Besprengen mit Weihwasser, zur Aufnahme in die Kirche. Vor allem seine reinigende Kraft gab immer wieder Anlass, über die Bedeutung des Wassers für das Leben und auch für ein Leben nach dem Tod nachzudenken (siehe Taufe; Weihwasser).

Wasser in der Esoterik

In der Esoterik heißt es, Wasser übertrage Informationen durch die so genannte HADO-Energie:

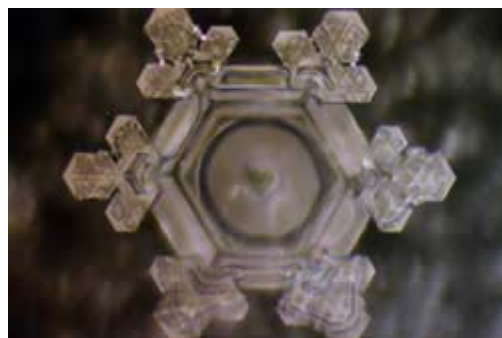
*" Hado creates words words are the vibrations of nature
Therefore beautiful words create beautiful nature
Ugly words create ugly nature This is the root of the universe "*

by Masaru Emoto

The Japanese researcher in question is Dr. Masaru Emoto, chief of the Hado institute in Tokyo. He is the author of many books concerning the phenomenon of ' Hado'. The two ideograms comprising this expression Hado (pronounced hadou to rhyme with shadow) literally mean "wave" and "move". This following definition is how Dr. Emoto himself describes the phenomenon, which led him to a series of remarkable discoveries pertaining to the nature of water.

Hado: The intrinsic vibrational pattern at the atomic level in all matter. The smallest unit of energy. Its basis is the energy of human consciousness.

A rapid understanding of Hado quickly spread throughout Japan as Dr. Emoto's theory gained ground. The word subsequently became part of daily language. "The Hado of this place is really low. Let's leave." "That person has a really powerful Hado." "Let's change the Hado of this environment." Conversational pieces such as this now abound in Japan and it is largely due to his revolutionary photographs of water crystals under high magnification. Frozen crystals of water? Yes, like this..



"Arigatou" -Thank you in Japanese

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

This is not just any crystallised molecule of water however. What has put Dr. Emoto at the forefront of the Hado phenomenon is his proof that thoughts and feelings affect PHYSICAL reality. By producing different Hado through written and spoken words, as well as music and literally presenting it to the SAME water samples, the water appears to "change its expression". The exquisite beauty of the above crystal of frozen tap water is clearly the result of Hado being projected at it. The expression of human gratitude (arigatou) is thus immediately reflected in water.

Quelle: Auszug von <http://www.hado.net/>

Auch der Begriff des *Polymer-Wassers* scheint sich hier noch immer zu halten. Der wissenschaftliche Hintergrund: in den 1960er Jahren haben russische Forscher hochreines Wasser mehrfach destilliert. Sie konnten eine winzige Spur einer zähflüssigen Substanz extrahieren. Wiederholungen an anderen Forschungsinstituten ergaben, dass die Quelle für das Polymer-Wasser nicht etwa Wasser war, sondern minimale menschliche Schweißabsonderungen waren - Forscherschweiß.

1.8) Wasser als Trinkwasser und Produkt

Die zur Trinkwasserversorgung nutzbaren Wasservorkommen werden unterschieden in Niederschlagswasser, Oberflächenwasser in Flüssen, Seen, Talsperren, Grundwasser und Quellwasser. Die Nutzung der Gewässer wird im Wasserhaushaltsgesetz (in Deutschland, Österreich und der Schweiz(?)) geregelt. In Mitteleuropa gibt es eine zuverlässige, weitgehend kostendeckende und hochwertige Wasserversorgung, meist noch durch öffentliche Anbieter. Meist kommt Leitungswasser aus der näheren Region, für die der kommunale Versorger auch ökologisch Verantwortung übernimmt. Der weltweite Wassermarkt hat ein Wachstum wie kaum eine andere Branche. Deshalb haben private Anbieter großes Interesse, Wasser als Handelsware zu definieren, um diesen Markt zu übernehmen.

Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch ist das für den menschlichen Verbrauch benötigte Wasser. Dieses umfasst den unmittelbaren menschlichen Genuss (Trinkwasser) ebenso wie den zum alltägliche Leben (Waschen, Kochen etc.) sowie für die Landwirtschaft, das Gewerbe und die Industrie (Nutzwasser) gegebenen Bedarf. Wie der Wortsinn *-verbrauch* darlegt, wird hierbei das Wasser im Hinblick auf seine Menge und Qualität geändert. Der Wasserverbrauch ist daher nicht nur eine Kenngröße für die nachgefragte Wassermenge, sondern zumeist auch für die Entsorgung (Kanalisation, Kläranlage).

Der Wasserbedarf in Deutschland betrug 1991 47,9 Milliarden m³, wovon allein 29 Milliarden m³ als Kühlwasser in Kraftwerken dienten. Rund 11 Milliarden m³ wurden direkt von der Industrie genutzt, 1,6 Milliarden m³ von der

- alle Quellenangaben beziehen sich auf Zugriffszeitpunkte im 4. Quartal des Jahres 2004 -

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Landwirtschaft. Nur 6,5 Milliarden m³ dienen der Trinkwasserversorgung. Der durchschnittliche Wasserverbrauch beträgt rund 130 Liter pro Einwohner und Tag (davon etwa 1 Liter zum Trinken, neben Cola, Bier oder anderen Getränken welche ebenfalls Wasser enthalten).

Das für Wasserkraftwerke notwendige Wasser wird nicht zum Wasserverbrauch gerechnet.

Der Wasserverbrauch pro Kopf ist in Deutschland in den 90er Jahren deutlich gesunken. Betrug er 1990 noch 145 l täglich, so lag er 1997 schon unter 130 l täglich und stagniert seitdem auf diesem Niveau. Durch steigende Wasserpreise entsteht ein Anreiz zum Wassersparen, damit einher geht die Verfügbarkeit wassersparender Technik (wassereffiziente Wasch- und Spülmaschinen, wassersparende Toilettenspülungen und Armaturen). Parallel achten auch Industrie und Gewerbe zunehmend auf effizientere Produktionsmethoden und etablieren teilweise geschlossene Wasserkreisläufe.

Aus ökologischer Sicht wird diese Entwicklung begrüßt. Zwar leidet Deutschland insgesamt nicht unter Wassermangel, doch machen Düngemittel und Schadstoffe viele Oberflächengewässer für die Trinkwasserversorgung unbrauchbar oder teuer, sodass vielfach Grundwasser angezapft wird. Im Umland großer Städte kann dies zum Problem werden.

Noch 1993 prognostizierte das Umweltbundesamt einen steigenden Wasserverbrauch, was Kritiker mit dem Einfluss von Lobbygruppen auf die CDU-geführte Bundesregierung erklären. In der Folge wurden vor allem in Ostdeutschland aus heutiger Sicht überdimensionierte Wasserwerke, Rohrleitungsnetze und Entsorgungsanlagen gebaut. Deren hohe Fixkosten bei mangelnder Auslastung führen heute zu überhöhten Wasser- und Abwasserpreisen. Verschärfend kommt die Abwanderung aus vielen Regionen im Osten hinzu, was den Verbrauch weiter senkt. Für die Trinkwasserversorgung ist diese Entwicklung problematisch, denn mit geringerer Fließgeschwindigkeit steigt die Verweildauer des Wassers in der Leitung, was die Qualität massiv beeinträchtigt. In manchen Fällen bleibt nur der - teure - Rückbau.

Wasserversorgung

Die Versorgung der Menschheit mit gesundheitlich unbedenklichem Wasser stellt Menschen nicht nur in den Entwicklungsländern vor ein großes logistisches Problem. Nur 0,3 % der weltweiten Wasservorräte (3,6 Millionen km³ von insgesamt ca. 1,38 Milliarden km³, siehe Absatz Entstehung und Vorkommen) sind als Trinkwasser verfügbar. Besonders in niederschlagsarmen Ländern ist dieser Prozentsatz noch geringer, und reicht hier das Wasser gerade noch zur Trinkwasserversorgung, dann findet sich oft nicht mehr genügend Wasser zur landwirtschaftlichen Nutzung, was zu einem gleichgroßen Dilemma führt. Um dieses Problem zu lösen, wurden schon verrückt

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

erscheinende Ideen erwägt: so wurde vorgeschlagen, mit Schleppern einen riesigen Eisberg über das Meer zu schleppen, der nur zum Teil schmelzen würde, und von dem auftauenden Eisberg Trinkwasser aufzufangen.

Quellen:

Der vollständige Text basiert hauptsächlich auf den, in nachfolgend angegebener Online-Datenquelle Wikipedia

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wasser>" sowie Unterverlinkungen zu den einzelnen Begriffen.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

2.) Wasserbelastung

Definition:

Die **Wasserbelastung** ist die mittelbare oder unmittelbare Beeinträchtigung der Güte von Wasservorkommen. Hierzu gehört die Einleitung ungenügend gereinigter, kommunaler und industrieller Abwässer einschließlich Sickerwasser z. B. aus Altlasten, landwirtschaftlicher Bodennutzung oder Deponien, das Einbringen von Abfällen oder die unsachgemäße Lagerung und der Transport wassergefährdender Stoffe, Kühlwasser z. B. aus Kraftwerken wie auch die Belastung durch Luftschadstoffe.

Quelle: <http://umweltdatenbank.de/lexikon>

2.1) Schwermetalle

Definition Stoffgruppe:

Als Schwermetalle werden Metalle mit einer höheren Dichte als $3,8\text{g/cm}^3$ bezeichnet. Einige von ihnen sind in ganz geringen Mengen für den Menschen lebensnotwendig. Zu diesen zählen die sogenannten lebensnotwendigen Spurenelemente Eisen, Kupfer, Mangan, Molybdän und Zink. Andere Schwermetalle hingegen haben bei Stoffwechselprozessen keine erkennbare Funktion und sind bereits in geringen Mengen giftig. Dazu gehören beispielsweise Chrom, Cadmium, Blei, Quecksilber und Arsen.

Entstehung:

Schwermetalle gehören zu den natürlichen Bestandteilen der Erdkruste. Erst mit dem Beginn der Förderung von Bodenschätzen und den damit zahlreich verbundenen industriellen Prozessen wie Erzaufbereitung, Metallverhüttung, Metallbe- und -verarbeitung, Zementherstellung, Energiegewinnung und Chemieindustrie (Farbpigmente, Katalysatoren) gelangten sie mit dem Abfall, dem Abwasser, in Form von Stäuben mit der Abluft oder mit Agrochemikalien in die Umwelt. Für die alltägliche Belastung sind u.a. aus dem Straßenverkehr die Autoabgase und der Abrieb von Reifenmaterialien sowie von Brems- und Straßenbelägen relevant. Im Tabakrauch entstehen ebenfalls gefährliche Konzentrationen von Cadmium.

Ausbreitung:

Schwermetalle gelangen mit dem Abfall, dem Abwasser und den Agrochemikalien teilweise direkt in den Boden und die Gewässer oder sie können, überwiegend an kleinere Staubfraktionen gebunden, mit der Luftströmung weit transportiert werden, bevor sie auf die Erdoberfläche

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

niedergehen. In Böden und Gewässern werden die Schwermetalle nicht abgebaut, sondern reichern sich an oder gelangen bis ins Grundwasser. Sie werden von Pflanzen und Tieren aufgenommen und werden so über die Nahrungskette bis zum Menschen weitergereicht. Einige Schwermetalle können sich in Fischen sogar in größeren Konzentrationen anreichern, sodass vom häufigen Verzehr dieser Arten abzuraten ist (Süßwasser-Friedfische sind am geringsten belastet). Ebenso gelten Innereien von Schlachttieren, Beeren sowie Blatt- und Wurzelgemüse als auch Trinkwasser aus bleihaltigen Wasserrohren als relativ hoch belastet.

Wirkungen:

Die giftigen Schwermetalle werden überwiegend mit der Nahrung und dem Trinkwasser in den menschlichen Organismus aufgenommen oder sie gelangen mit der Atemluft in unseren Körper. In Abhängigkeit vom Aufnahmeort erfolgt die Resorption der Schadstoffe bevorzugt über den Magen-Darm-Trakt oder die Lunge. Von dort werden sie mit den Körperflüssigkeiten in bestimmte Gewebe wie Leber, Nieren, Muskeln, Skelett, Zähne oder Fettgewebe transportiert und, da sie z.T. nur sehr langsam wieder ausgeschieden werden, gespeichert. Sowohl in den Speicherorganen als auch im blutbildenden und Nervensystem können sie ihre spezifischen organbezogenen Wirkungen entfalten. Wegen ihrer unterschiedlichen biochemischen Eigenschaften verursachen sie ein breites Spektrum verschiedenartiger Vergiftungssymptome.

Definitionen zu den entsprechenden Schwermetallen (inkl. Spurenelemente):

ARSEN

Folgen einer akuten Vergiftung können Magen- und Darmbeschwerden, Erbrechen, Durchfall und Schluckbeschwerden sein. Bei einer chronischen Aufnahme kommt es zu Nervenschäden, Leberveränderungen, Nierenschäden und Pigmentflecken auf der Haut sowie Atemlähmung bis hin zur Krebsbildung.

BLEI

Während Verdauungsstörungen, Koliken, Hirnschäden und Nierenversagen die Folgen akuter Belastungen sind, treten Störungen des Nervensystems, Bleisaum an den Zähnen und Blässe infolge Blutarmut bei chronischen Vergiftungen auf.

Wahrscheinlich gibt es Zusammenhänge zwischen vorgeburtlicher und/oder frühkindlicher Bleibelastung und Intelligenzminderung, Minderung der Lernleistung, Störungen der Bewegungsabläufe und Verhaltensstörungen (Hyperaktivität).

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

CADMIUM

Einerseits wird Cadmium in der Leber und in den Nieren gespeichert und teilweise mit dem Urin ausgeschieden, wobei dies u.U. zu schweren Störungen der Nierenfunktion führen kann. Andererseits kann Cadmium in den Knochen z.T. Calcium ersetzen, was zur Skelettschrumpfung führt.

Die inhalative Aufnahme von Cadmium mit dem Tabakrauch ist außerdem mit einem erhöhten Lungenkrebsrisiko verbunden; langjähriges, starkes Rauchen führt zu einer erheblichen Zunahme des Cadmiumdepots in der Niere und den damit o.g. Störungen.

CHROM

Da die Halbwertszeit von Chrom im Körper relativ gering ist, werden nur dann Vergiftungen verursacht, wenn die toxisch wirkende Dosis auf einmal aufgenommen wird. Es kann dann zu schweren Leber- und Nierenschäden, Durchfällen, Magen- und Darmblutungen sowie Krämpfen kommen bzw. zur Bildung von Ekzemen und asthmatischen Reaktionen. Es besteht ein deutlich erhöhtes Lungenkrebsrisiko.

QUECKSILBER

Folgen einer Vergiftung können Erbrechen, Kolik oder Nierenschäden sein sowie schwere Nervenschädigungen wie Lähmungen, Einschränkung der Sinneswahrnehmungen, und geistige Störungen durch Hirnschäden. Es kann zu Blutarmut kommen und zur Schwächung des Immunsystems. Inhalierter Quecksilberdampf führt hauptsächlich zu Schäden am Nervensystem, Zittern und Verhaltensstörungen.

SELEN

Selen ist ein lebensnotwendiges (essentielles) Spurenelement, das häufig geogen im Trinkwasser vorhanden ist. Selenmangel kann zu einer schweren Selenmangelkrankheit führen. Chronische Selenvergiftungen durch Trinkwasser sind selten und zeigen keine typischen Symptome. Bei Trinkwasser mit hoher Selenbelastung wurden Verdauungsstörungen, Blässe, Hautausschläge, Haarausfall und ähnliches beschrieben. Auch Leber- und Nervenschäden mit Todesfolge wurden bei der Aufnahme höherer Selenmengen (5mg/Tag) beschrieben.

ANTIMON

Kommt geogen als Antimonblau (Stibnit) und in Mischmineralen (mit Blei-Kupfer-, Quecksilbersulfiden) vor. Es wird als Legierungszusatz (Antimonblei), in der Elektroindustrie, in der Keramik- und Glasproduktion, in Pigmenten, als Kunststoff- und Kautschukadditive und in Medikamenten verwendet. Es ist in der dreiwertigen Form giftiger als in der fünfwertigen. Sb^{3+} ist in seiner akuten Toxizität mit dem Arsen vergleichbar. Während die Aufnahme über die

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Atemwege und über die Haut zu starken Reizungen, Dermatitis, Atemwegs- und Lungenschäden und sogar Krebs führen kann, werden keine vergleichbaren Vergiftungen bei peroraler Aufnahme über das Trinkwasser beschrieben.

NICKEL

Nickel wird vor allem in der Metallindustrie (Vernickelung) verwendet. Eine weitere wichtige Quelle ist die Verbrennung von Erdöl. Eisen enthält geogen bis 10% Nickel als Begleitmetall. Im sauerstoffreichen Wasser (oxischen Milieu) ist Eisen in der 3-wertigen Form immobil (unlöslich), während Ni^{2+} gut löslich ist. Gelöstes Nickel ist in den im Trinkwasser üblichen Konzentrationen ungiftig. Erst in sehr hohen Konzentrationen treten Darmbeschwerden und ev. Hirnschäden auf. Die allergische Wirkung von Nickel (Hautkontakt) hat im Trinkwasser offenbar keine Bedeutung.

SILBER

Silber wird in der Fotografie, Elektronik, für Katalysatoren, in Batterien, für Legierungen, Schmuck und in der Medizin (Silbernitrat) verwendet. Außerdem dient es als Desinfektionsmittel für Wasser (Katadyn). Für den Menschen sind relativ hohe Konzentrationen toxisch (Graufärbung der Haut: Argyrie). Silberionen haben jedoch ein hohes ökotoxikologisches Potential, da sie in vielen Wasserlebewesen angereichert werden und z.B. gegen Kleinkrebse (Daphnien) sehr toxisch wirken. Silber (Anl 4 der TrinkwV) kommt in Spuren in Lebensmitteln und auch im Wasser vor, der natürliche Anteil lässt sich vom anthropogenen (menschengemachten) kaum trennen.

TENDENZEN:

Durch technische Maßnahmen wie den Einbau von hochwirksamen Entstaubungsanlagen in Industrie und Energiewirtschaft oder den Einsatz des Drei-Wege-Katalysators sind die Immissionskonzentrationen o.g. Schwermetalle drastisch zurückgegangen. Problematisch bleiben trotzdem die Anreicherungen in den Organismen, den Sedimenten der Gewässer und in den gärtnerisch und landwirtschaftlich genutzten Böden.

Quellen:

<http://www.umad.de/infos/wirkungen/schwermetalle.htm>;

<http://www.med.uni-marburg.de/stpg/ukm/lt/umwelthyg/kapb321.htm>

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

2.2) Biozide

Definition:

Biozide sind Stoffe, die schädliche oder lästige Tiere, Pflanzen oder Mikroorganismen töten bzw. in ihrer Wirkung beeinträchtigen (Fungizide, Herbizide, Insektizide, Pestizide).

Quelle : <http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/biozide.htm>

FUNGIZIDE

Ein Fungizid ist eine Substanz, die zur Abtötung von Pilzen verwendet wird. Fungizide werden in der Medizin, Textilien, der Landwirtschaft, zum Vorrats- und Materialschutz, sowie im Hygienebereich angewendet. Fungizide sind unterschiedlich aufgebaut und auch unterschiedlich giftig. Durch das Zusetzen von Schwermetallen wird die toxische Wirkung erhöht. In Deutschland sind bestimmte Fungizide (z.B. Hexachlorbenzol, PCP, Quecksilber- und Zinnorganika) inzwischen verboten. Die meisten zugelassenen Fungizide besitzen für den Menschen nur eine geringe Toxizität.

Quellen:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Fungizid>;

<http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBlandwirtsrohstoffe/Fungizide.php>

INSEKTIZIDE

Ein **Insektizid** ist eine Substanz, die zur Abtötung von Insekten und deren Entwicklungsstadien verwendet wird. Insektizide werden in der Landwirtschaft, zum Vorrats- und Materialschutz, sowie im Hygienebereich angewendet. Insektizide wirken in der Regel als Nervengift auf das Nervensystem der Insekten ein.

Wirkstoffe

Die Aufnahme der Wirkstoffe kann als Atemgift über die Atemwege, als Fraßgift über den Verdauungstrakt oder als Kontaktgift nach Berührung erfolgen. Wirkstoffgruppen sind

- Naturstoffe wie Pyrethrum, Quassin und Rotenon
- Pyrethroide
- Carbamate wie Triazamat

- alle Quellenangaben beziehen sich auf Zugriffszeitpunkte im 4. Quartal des Jahres 2004 -

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

- Alkenylester
- organische Phosphorsäureester, wie Parathion
- Pyridylmethyamine
- Chlorkohlenwasserstoffe

Außerdem gibt es Insektizide auf Basis von Pilzen (*Paecilomyces fumosoroseus*), Fadenwürmer (Nematoda), Bakterien (Bacteria) und Viren.

Quelle: <http://www.medizinerboard.de/lexikon/Insektizid,erklaerung.htm>

PESTIZIDE

Pestizide, Schädlingsbekämpfungsmittel, sind Substanzen, die Schädlinge töten sollen. Schädlinge können dabei z.B. sein Insekten, Gräser, Vögel, Nagetiere, Fische, Pilze. Da sie nicht zielartspezifisch wirken, belasten sie die Natur durch Reduktion der Artenvielfalt und den Menschen durch Schädigung des Immunsystems. Akute Wirkungen auf Organismen sind gut untersucht, große Wissensdefizite existieren bei den chronischen Wirkungen. So wird über die Rolle von Pestiziden beim Anstieg der Allergierate, bei Krebs und bei anderen Störungen des Immunsystems diskutiert. Die Bundesregierung will den Pestizideinsatz über die Agrarreform reduzieren.

Einteilung der Pestizide:

- Akarizide gegen Milben
- Algizide gegen Algen
- Bakterizide gegen Bakterien
- Fungizide gegen Pilze, bzw. Pilzkrankheiten
- Herbizide gegen krautige Pflanzen
- Insektizide gegen Insekten
- Molluskizide gegen Schnecken
- Nematozide gegen Nematoden
- Rodentizide gegen Nagetiere
- Virizide gegen Viren
- Wachststoffe wie Entlaubungsmittel und Halmverkürzungsmittel

Quelle: <http://www.matheboard.de/lexikon/Pestizid,definition.htm>

HERBIZIDE

Sammelbezeichnung für die meistverwandten chemischen Pflanzenbehandlungsmittel, die der Bekämpfung unerwünschter Pflanzen (Unkraut) besonders in der Landwirtschaft dienen. Zusammen mit anderen tiefgreifenden Einflussnahmen des Menschen auf Natur und Landschaft haben **Herbizide** dazu beigetragen, dass die Artenvielfalt der Pflanzen großen

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Schaden genommen hat und damit die Nahrungsgrundlage von Wildtieren beeinträchtigt wurde. Durch übertriebene Vorstellungen von »Rasenpflege« wurden mit Herbiziden auch im privaten Bereich viele Kleinstlebensräume zerstört.

Quelle: <http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/herbizide.htm>

Die Gesamtheit der Biozide gelangt durch ihren Einsatz in Landwirtschaft, Industrie dergl. ins Grundwasser, kann sich dort ansammeln und somit auch das Trinkwasser belasten.

Zwar wird deklariert, dass z.B. Herbizide „...nach derzeitigem Wissensstand, soweit die geltenden Höchstmengen und Grenzwerte eingehalten werden, kein nennenswertes Gefährdungspotential.“ darstellen

[<http://enius.de/schadstoffe/herbizide.html>], jedoch ist fraglich inwiefern sich die Langzeitwirkungen dieser Mittel auf den menschlichen Organismus auswirken.

2.3) Nitrat und Nitrit

Was ist Nitrat?

Nitrat ist eine Verbindung, die aus den Elementen Stickstoff (N) und Sauerstoff (O) besteht. Die chemische Formel für Nitrat lautet NO_3 . Nitrat ist ein Stoff, der im Boden natürlicherweise vorkommt. Pflanzen benötigen den Stickstoff des Nitrates zum Aufbau von Eiweiß. Nitrat wird mit Kunstdünger und tierischem Dünger in großen Mengen durch die Intensivlandwirtschaft auf die Felder ausgebracht und gelangt durch Versickerung ins Grund- und damit ins Trinkwasser. Nitrat ist der minder giftige Vorläufer des Nitrit und kann, je nach Region, in erheblichen Mengen im Trinkwasser auftreten. Nitrat kann durch Bodenbakterien in das erheblich giftigere Nitrit umgewandelt werden.

Nitrat hat mit Jod im Organismus kompetitive Wirkung und kann daher sekundär zu einem Jodmangelkropf führen, trotz ausreichender Jodversorgung. Im Tierversuch konnten bereits Frühformen der Struma ab $40\mu\text{g/Liter}$ Nitrat bei Ratten nachgewiesen werden. Ähnliche Wirkungen hat auch Huminsäure, wenn sie im Wasser enthalten ist. Diese bindet dann Spurenelemente wie Jod an sich, wodurch sie für den Körper dann nicht mehr zur Verfügung stehen.

Was ist Nitrit?

Chemisch ist die Umwandlung von Nitrat zu Nitrit eine Reduktion, die von der Nitratreduktase, ein in vielen Bakterien und Pilzen vorkommendes Enzym, durchgeführt wird.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Nitrit kommt im Leitungswasser meist nur in Spuren vor. Bei neu verlegten, verzinkten Eisenrohren kann jedoch das Zink Nitrat in Nitrit umwandeln. Dasselbe kann auch passieren, wenn das Wasser länger in der Leitung steht. Nitrat kann auch im Körper kursieren, mit dem Speichel an die Mundhöhle abgegeben und dann von den Bakterien in der Mundflora zu Nitrit umgewandelt werden. Nitrit kann bei Säuglingen bis zum 6. Lebensmonat zur Blausucht (Methhämoglobinämie) führen und Nitrit kann sich im Körper mit Aminen zu krebserregenden Nitrosaminen verbinden.

Was sind Nitrosamine?

Nitrosamine entstehen aus Nitrit und Aminen (Stickstoffverbindungen, die auch im Körper gebildet werden können). Die Bildung kann nur unter bestimmten Voraussetzungen erfolgen. Eine dieser Bedingungen ist ein saures Milieu. Dieses findet sich z.B. im menschlichen Magen. Nitrit bildet im sauren Milieu HNO_2 . Dieses spaltet sich in Nitrosyl (NO^+) und Hydroxyl (OH^-) auf. Das Nitrosyl kann mit einem Amin zum Nitrosamin weiterreagieren. Gegen eine solche Bildung im Magen spricht allerdings, dass für die Entstehung der Nitrosamine das Amin "nicht protoniert" vorliegen muss. Im sauren (Magen-)Milieu liegen die Amine allerdings im protonierten Zustand vor.

Nitrosamine sind in hohem Maße krebserregend.

Das gesundheitliche Risiko betrifft alle Altersgruppen gleichermaßen. Nitrosamine kommen in einigen Lebensmitteln, wie z.B. in Bier, Fischen, Fischprodukten, in gepökelten Fleischerzeugnissen und im Käse direkt vor, sie können aber auch bei der Zubereitung von Lebensmitteln und (unter einigen Voraussetzungen) durch kontaminiertes Trinkwasser unter Umständen auch im menschlichen Körper entstehen. Als wahrscheinlichster Entstehungsort für Nitrosamine gilt der Magen, da hier die chemischen Bedingungen am geeignetsten sind.

Quellen: <http://www.inform24.de/nitro.html>; <http://www.ano.de/wasser/tbj-h2o.htm>

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

2.4) Hormone & Medikamente

Hormone

Hormone sind chemische Moleküle, die geschlechtsspezifisch im Körper produziert werden. Für Frauen und Männer ist ein ausgewogenes Hormonverhältnis gesundheitlich notwendig. Für die Entwicklung von Säuglingen und Kindern sind viele Hormone gefährlich. Hormone gelangen über Medikamente wie z.B. die Antibaby-Pille ins Wasser. Sie können Unfruchtbarkeit, Herzschäden und bei nicht ausgewachsenen Menschen Entwicklungsschäden hervorrufen. Körperfremde Hormone können über die Nahrungskette in die Muttermilch gelangen.

Quelle:

<http://www.babynet.de/load.html?/wasser/navi/02lexikon.html&/wasser/02lexikon.html>

Interessanter Artikel zur Thematik:

Trinkwasser verkommt immer mehr zum Medikamenten-Cocktail. Forscher finden darin die Reste einer kompletten Hausapotheke: Von Hormonen bis zu Antibiotika lassen sich viele Präparate nachweisen.

Die Reste von Millionen von Medikamenten landen im Abwasser. Eine neue Studie in einem Klärwerk in Deutschland hat erneut bestätigt: Herkömmliche Methoden sind nicht geeignet, die zahlreichen Arzneimittel aus dem Wasser zu bringen. Vielfach gelangen daher synthetische Hormone wie Estradiol aus Anti-Baby-Pillen wieder in Flüsse, Bäche, Seen, ins Grund- und leider auch ins Trinkwasser.

Die Analysen von Forschern im Grundwasser erinnern an eine kleine Hausapotheke: Blutfettsenker (Clofibrinsäure), Schmerzmittel, Antirheumatika (Ibuprofen, Diclofenac) und verschiedene Analgetika, aber auch Röntgenkontrastmittel. "Diese Stoffe finden sich überall in Deutschland", erklärt Markus Lehmann, Geoökologe bei der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. Die Statistik gibt dem Forscher allerdings Recht, denn jährlich wandern etwa 100 Tonnen Schmerzmittel über den Umweg Mensch durch die Toiletten wieder in die Natur. Zusätzlich dazu werden immer noch tonnenweise unverbrauchte Arzneimittel über die Toiletten entsorgt.

Nach einem zufälligen Fund der Substanzen in den 90-er Jahren durch Berliner Forscher wurden in Deutschland zum einen die Analyseverfahren verbessert, zum anderen die Gewässer genauer untersucht. Interessantes Detail am Rande: Die eben ausgeschiedenen Stoffe kommen nach Wochen oder Monaten wieder zurück. Die Berliner Experten konnten etwa 16 Verbindungen im Trinkwasser und mehr als 100 im Abwasser entdecken. Zu den

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Hauptverursachern der Verunreinigungen zählen aber nach Angaben des Lebensmittelchemikers Thomas Heberer von der Technischen Universität Berlin nicht Krankenhäuser, sondern zu 80 Prozent private Haushalte.

"Es ist noch völlig ungeklärt, ob und in welchem Maße diese Stoffe ein Risiko für Mensch und Natur darstellen", meint Bodo Weigert vom Kompetenzzentrum Wasser Berlin. Beweise für eine humantoxikologische Wirkung gebe es nicht, so der Forscher. Umgekehrt liegt eine Studie der Bochumer Ruhr-Universität vor, wonach ein Zusammenhang zwischen der seit Jahren sinkenden Spermienzahl bei Männern und einer steigenden Rate an Hodenkrebs-Erkrankungen und Genitalfehlbildungen durch Östrogene im Trinkwasser und in Lebensmitteln vermutet wird.

"Aus der heutigen wissenschaftlichen Sicht bestehen keine Risiken für die menschliche Gesundheit. Es wäre jedoch unseriös, eine völlige Unbedenklichkeit zu attestieren", räumt Heberer ein. "Allein in Deutschland sind rund 3.000 verschiedene Arzneimittelwirkstoffe auf dem Markt, von denen einzelne in Mengen bis zu mehreren hundert Tonnen pro Jahr verabreicht werden", erklärt Lehmann einen weiteren Unsicherheitsfaktor. Zusätzlich gibt der Forscher zu bedenken, sei nichts über die Langzeitwirkung niedriger Konzentrationen bekannt.

Neue Verfahren der Gas- und Flüssigchromatographie gekoppelt mit der Massenspektrometrie können nach Angaben von Heberer auch kleinste Dosen von Chemikalien entdecken. Darüber hinaus sind neue Techniken in Erprobung, mit denen auch herkömmliche Kläranlagen organische Spurenstoffe beseitigen können. Die Kosten sind aber vielfach zu hoch.

WANC 30.08.04/pte

Quelle :

<http://www.wasser.de/aktuell/forum/index.pl?job=thema&tnr=10000000001756&seite=12>

2.5) Tenside

Tenside sind waschaktive Substanzen. Sie werden zwar regelmäßig auf ihr Vorkommen im Trinkwasser kontrolliert, nicht jedoch ihre z.T. erheblich giftigeren Abbauprodukte. Die gesundheitlichen Wirkungen von Tensiden sind bislang nur wenig erforscht.

Shampoos, Pflegespülungen, Waschlotionen und Reinigungsmittel ist eines gemeinsam. Ohne Tenside kommen sie nicht aus. Tenside können vielfältige Aufgaben übernehmen. Sie sind für die Reinigungswirkung verantwortlich, können als Lösungsmittel eingesetzt werden oder als Emulgatoren. Emulgatoren haben die Aufgabe, zwei verschiedene Lösungen miteinander zu

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

verbinden. Tenside können aber auch die Schaumbildung stabilisieren oder reduzieren. Je nachdem, welche Form der Tenside eingesetzt wird. Tenside sind Stoffe, die einen hydrophilen und ein lipophilen Anteil haben.

Durch diesen Aufbau sind Tenside in der Lage, die Oberflächenspannung des Wassers herabzusetzen. Sie machen das Wasser "weicher". Dieser Vorgang kann auch genutzt werden, wenn ölige und wässrige Flüssigkeiten miteinander verbunden werden sollen. Durch den Zusatz von Tensiden wird daraus eine Lösung, weil der hydrophile und der lipophile Anteil der Tenside die beiden Flüssigkeiten miteinander verbindet. Solche Lösungen nennt man Emulsionen und das Tensid wird als Emulgator eingesetzt. Dieser Vorgang kann auch genutzt werden, wenn ölige und wässrige Flüssigkeiten miteinander verbunden werden sollen. Durch den Zusatz von Tensiden wird daraus eine Lösung, weil der hydrophile und der lipophile Anteil der Tenside die beiden Flüssigkeiten miteinander verbindet. Solche Lösungen nennt man Emulsionen und das Tensid wird als Emulgator eingesetzt.

Quelle: <http://www.medizinfo.de/hautundhaar/haar/tenside.htm>

2.6) Trihalogenmethane (THM) und Chlor, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

TRIHALOGENMETHANE(THM)

Chlor wird dem Wasser zur Desinfektion zugesetzt. In Verbindung mit den organischen Substanzen im Wasser bilden sich krebserregende Trihalogenmethane.

Ein Nachteil bei der Desinfektion mit Mitteln auf Chlorbasis besteht darin, dass durch Reaktionen mit Wasserinhaltsstoffen unerwünschte Nebenprodukte gebildet werden können. Desinfektionsnebenprodukte im Trinkwasser haben weltweit aufgrund von Grenzwertvorgaben neben den seuchenhygienischen Aspekten besondere Bedeutung erlangt. Als Leitparameter für halogenierte Desinfektionsnebenprodukte gelten die Trihalogenmethane (THM, Haloforme), die charakteristische Nebenprodukte bei der Desinfektion mit Chlor oder Hypochloriten sind.

Die neue Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) legt einen Grenzwert für Trihalogenmethane von 0,05 mg/l fest, der am Zapfhahn des Verbrauchers einzuhalten ist. Eine Untersuchung auf Trihalogenmethane im Versorgungsnetz ist allerdings nicht erforderlich, wenn am Ausgang des Wasserwerks der Wert von 0,01 mg/l nicht überschritten wird. Ein entsprechender Nachweis ist vom Wasserversorgungsunternehmen zu erbringen, wenn auf Untersuchungen im Netz verzichtet werden soll. Ein spezieller Grenzwert für den Fall von erhöhten Chlordosierungen ist nicht mehr angegeben.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Die Abgabe von Trinkwasser, bei dem der Grenzwert überschritten wird, ist nach der neuen Verordnung strafbar. Allerdings entfällt die Strafbarkeit bei unverzüglicher Anzeige der Grenzwertüberschreitung an das Gesundheitsamt bis zu dessen Entscheidung über zu treffende Maßnahmen. Es wird empfohlen, mit dem Gesundheitsamt Absprachen zu treffen, welche Trihalogenmethankonzentrationen im Fall von verstärkten Desinfektionsmaßnahmen bei mikrobiellen Kontaminationen zur Abwehr seuchenhygienischer Gefahren toleriert werden können.

Quelle: Rainer Ließfeld

POLYZYKLISCHE AROMATISCHE KOHLENWASSERSTOFFE(PAK)

Stoffgruppe

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PAK sind ringförmige Kohlenwasserstoff-Verbindungen, deren Molekülgerüst aus mehreren miteinander verbundenen Benzolringen besteht.

Leitsubstanz ist das bisher am besten untersuchte **Benzo-a-pyren**, welches als Maßstab für die carcinogene Umweltbelastung durch die gesamte PAK-Gruppe angesehen wird.

Eigenschaften

Als Dauergift weit verbreitet, hohe Stabilität, schwer abbaubar, kaum in Wasser löslich, hoher Siedepunkt, Geruchsbelästigung (dumpf-muffig), zahlreiche Verbindungen sind krebserzeugend, PAK gehören neben Benzol, Arsen- und Cadmiumverbindungen sowie Dioxine und Furane zu den wichtigsten Umweltkanzerogenen.

Entstehung

Sie sind Bestandteil von Erdöl, Kohle und Teer; PAK entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von organischen Materialien ebenso bei der Abfallverbrennung. Sie sind zu finden in Teer, Teerdämpfen, Tabakteer und Tabakrauch ebenso in Autoabgasen (insbesondere Dieselruß), Kokereirohgasen, Räucher- und Grillrauch, den Abgasen von Kaminfeuern sowie in Schwelstoffen von Räucherkerzen oder Weihrauch. Je weniger Sauerstoff bei der Verbrennung vorhanden ist, umso mehr Schadstoffe entstehen.

Ausbreitung

PAK werden hauptsächlich mit der Luft verbreitet. Aufgrund ihrer außerordentlich geringen Flüchtigkeit ist ihre Verbreitung an das Vorkommen von Partikeln wie Staub, Ruß und Pollen gebunden. Sie sind in der Umwelt weit

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

verbreitet. Sie wurden in der Luft von Städten und Industriegebieten, im Abwasser, Klärschlamm und Kompost sowie in Oberflächengewässern, Bodenproben, Sedimenten und verschiedenen Nahrungsmitteln nachgewiesen.

Wirkungen

Die Aufnahme der Stoffe erfolgt durch die Atmung der belasteten Luft über die Lunge, wobei hierbei Autoabgase und Tabakrauch für die allgemeine Bevölkerung am bedeutendsten sind, durch die Nahrung und das Trinkwasser sowie durch die Haut.

Die den kleinsten Rußteilchen in der Luft anhaftenden PAK können bis in die Alveolen der Lunge vordringen, können dort abgelöst und chemisch verändert, d.h. metabolisiert werden. Die Partikel können dort auch von Makrophagen aufgenommen, über die Lymphwege weitertransportiert und in anderen Organen metabolisiert werden. Erst durch diese Metabolisierung entstehen aus dem PAK die eigentlichen krebserzeugenden Stoffe. Bei einer durchschnittlichen inhalativen Aufnahme des Benzo-a-pyren von 9 ng bzw. 37 ng eines Nichtrauchers im Nichtraucherhaushalt im ländlichen bzw. Ballungsgebiet ergibt sich ein Risiko von 1:25.000 bzw. 1:6.000 an Bronchialkrebs oder Lungenkrebs zu erkranken. Bei einem Raucher, der 20 Zigaretten pro Tag verbraucht und somit etwa 400 ng des Schadstoffs zusätzlich aufnimmt, steigt das Krebsrisiko dramatisch an.

Über die Luft und den Boden gelangen die Schadstoffe auf zahlreiche Lebensmittel, insbesondere auf Blattgemüse und Obst sowie ins Trinkwasser. Die höchsten PAK-Gehalte befinden sich jedoch in Räucherwaren und ggf. auf Grillgut. Da man gewöhnlich mehr Gemüse als geräucherte Lebensmittel zu sich nimmt, kann die PAK-Aufnahme über Gemüse die größere Rolle spielen. Bei kontinuierlicher Aufnahme kann Benzo-a-pyren in bestimmter Dosis zu Magen- und Darmkrebs bzw. Blasenkrebs führen.

Auch nach intensivem Hautkontakt mit PAK-Gemischen wurden beim Menschen kanzerogene Wirkungen beobachtet. So wird das stark krebserregende Benzo-a-pyren für verschiedene Berufskrankheiten wie den Hautkrebs bei Schornsteinfegern verantwortlich gemacht.

Grenzwerte

UMAD-Dokumentation Immissionsgrenz-, -richt- und -leitwerte für Ruß, Schadstoff-Höchstmengenverordnung für Lebensmittel:

1µg/kg für Fleischprodukte,

Trinkwasserverordnung-TrinkV:

0,0002 mg/l für Trinkwasser

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

2.7) Keime

Wichtige, im Trinkwasser vorkommende Keime sind in nachstehender Tabelle aufgelistet:

Erregerart	Hervorgerufene Erkrankung
Viren: Polioviren Coxsackieviren A und B ECHOviren Rotaviren A und B Adenoviren Hepatitisviren A und E Astroviren Coronaviren Caliciviren wie Norwalk-Virus u.a. kleine Rundviren	Kinderlähmung, Meningitiden Herpangina, Meningitiden, Ekzeme, Perikarditiden Meningitiden, Enteritiden, respiratorische Erkrankungen Enteritiden, Erbrechen respiratorische Erkrankungen, Enteritiden, Augeninfektionen Brechdurchfall, epidemische Hepatitis Enteritiden respiratorische Erkrankungen Enteritiden, Erbrechen
Bakterien: Salmonella Typhi Salmonella Paratyphi A, B, C Enteritis-Salmonellen Shigella spp. pathogene Escherichia coli (EPEC, EIEC, ETEC, EHEC) Yersinia enterocolitica Brucella spp. Francisella tularensis Pseudomonas aeruginosa Vibrio cholerae und Biotyp El Tor NAG-Vibrionen Campylobacter jejuni Helicobacter pylori Leptospira spp. Listeria monocytogenes Bacillus anthracis Clostridium botulinum Clostridium perfringens Mycobacterium spp. Mycoplasma species Chlamydia trachomatis Staphylococcus aureus Legionella spp.	Typhus Paratyphus Enteritiden Ruhr Enteritiden, Enterotoxämien, HUS Enteritiden Bang'sche Erkrankung Tularämie Otitiden, Dermatitis Cholera Enteritiden Enteritiden Magenulzerationen Weil'sche Krankheit, Kanikolafieber Listeriose Milzbrand Botulismus Lebensmittelintoxikationen, Gasbrand Hautulzerationen, Tuberkulose respiratorische Erkrankungen Konjunktivitis Lebensmittelintoxikationen Lungenentzündung, Pontiac-Fieber
Protozoen: Giardia lamblia Cryptosporidium parvum Entamoeba histolytica Naegleria fowleri	Lamblienruhr Cryptosporidiose Amöbenruhr Meningoenzephalitis
Helminthen: Ascaris lumbricoides Taenia species Trichuris trichuria Enterobius vermicularis	Ascariasis Bandwurmbefall Trichuriasis Oxyuriasis

Definitionen ausgewählter pathogener Keime

Escherichia coli

Darmpathogene bzw. invasive und toxinbildende E.coli-Stämme führen zu Durchfallerkrankungen. Nicht nur bei Säuglingen und Kleinkindern verursachen sie Durchfälle, sondern auch bei Erwachsenen: besonders bei allgemein abgeschwächten Personen, bei Immunsupprimierten bei kortisonpflichtigen Patienten, Diabetikern, M.Crohn und Colitis ulcerosa-Patienten, Colon irritable, Divertikulitis und Reise-Diarrhoe.

Darmenteropathogene E.coli-Stämme werden heute entsprechend ihrer antigenen Eigenschaften und den, durch sie verursachten Krankheitsbildern, in

- alle Quellenangaben beziehen sich auf Zugriffszeitpunkte im 4. Quartal des Jahres 2004 -

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

verschiedene Klassen eingeteilt:

EHEC: Entero-hämorrhagische E.coli wurden erstmals Anfang der 80er Jahre in den USA isoliert. Befallen werden Ileum und Kolon.

Die Infektion äußert sich durch häufiges Absetzen blutiger Stühle.

EHEC-Stämme sind auch für die Entstehung des hämolytisch-urämischen Syndroms, sowie der thrombotisch-thrombozytopenischen Purpura verantwortlich und kommen bei einem Teil der Patienten mit Colitis ulcerosa vor.

Typisch für diese Keimgruppe ist die Fähigkeit zur Bildung von Zytotoxinen (Verotoxin I, Verotoxin II = Shigalike-Toxin). (*Toxin = Gift*)

EPEC: Entero-pathogene E.coli-Stämme ("Dyspepsie coli"), die besonders bei Säuglingen (und Kleinkindern) durch ihre Verotoxine I und II (= Zytotoxine = Shigalike-Toxin) schwere Krankheitsbilder verursachen können (3-6 Monate andauernde krampfartige und schmerzhaft Blähungen).

ETEC: Enterotoxinbildende E.coli-Stämme sind die dominierenden Durchfallerreger in den Entwicklungsländern und Hauptverursacher der Reise-Diarrhoe.

EIEC: Enteroinvasive E.coli-Stämme führen zu ruhr-ähnlichen, blutig-schleimigen Durchfällen. Diese Coli-Gruppe besitzt die Fähigkeit zur Invasion der Kolonepithelzellen, d.h. sie haben invasive Eigenschaften wie Salmonellen und Shigellen.

EAEC: Enteroaggregative E.Coli

Quelle: <http://www.laborgrauer.de/ehec.shtml#ehec>

Enterokokken

Enterokokken sind gram-positve, aerobe Kokken, die sich durch ihre Kettenform, unter einem Mikroskop sichtbar, von Staphylokokken unterscheiden. Sie können ein Hinweis für mögliche Verunreinigungen von Wasser sein und werden in der Trinkwasserverordnung als Untersuchungsparameter vorgegeben. In hundert Milliliter Probe dürfen keine Enterokokken gefunden werden.

Enterokokken werden zu den Milchsäurebakterien gerechnet und kommen in vielen Varianten in der Umwelt, beim Tier und beim Menschen sowie in Lebensmitteln vor. 20 verschiedene Enterokokken-Spezies sind bisher bekannt, die bedeutendsten sind E. faecium und E. faecalis.

Bei Lebensmitteln spielen Enterokokken in bestimmten Fermentations- und Reifungsprozessen eine wichtige Rolle. So werden sie als Starterkulturen bei

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

der Herstellung von Camembert und dem echten Büffel-Mozzarella eingesetzt. Im Reifungsprozess bestimmter Wurstwaren (Rohwürste) sind sie von Bedeutung und tragen zur Geschmacksbildung bei.

In der neuen Klasse der probiotischen Lebensmittel nehmen Enterokokken eine bedeutende Stellung ein. Hier wird ihnen insbesondere eine unterstützende Funktion bei der Verdauung zugeschrieben, da sie die Mikroflora des Verdauungstraktes positiv beeinflussen sollen. In der Tierernährung werden sie bereits seit Jahrzehnten in der Form von Probiotika als Ersatz für Antibiotika eingesetzt. Auch in der Humanmedizin gibt es seit Jahren probiotische Produkte mit definierten Enterokokkenstämmen.

Auf der anderen Seite gelten Enterokokken auch als sogenannte Indikatoren für hygienische Mängel bei der Lebensmittelverarbeitung und -zubereitung. Sie werden als Zeichen für eine Kontamination von Lebensmitteln mit Fäkalien gewertet. Da einige Enterokokken-Spezies bzw. -Stämme sehr hitzebeständig sind, werden sie auch als Ursache für das vorzeitige Verderben von hitzebehandelten Fleischwaren betrachtet.

Bestimmte Stämme von *Enterococcus faecalis* und im geringeren Umfang auch von *Enterococcus faecium* lösen Infektionen, wie z.B. Endokarditis, aus, die vor allem in Krankenhäusern verstärkt beobachtet werden. Betroffen von diesen nosokomialen Infektionen (Krankenhausinfektionen) sind in der Regel Patienten mit geschwächtem Immunsystem.

Als besonderes Problem ist zu erwähnen, dass vermehrt Stämme gefunden werden, die gegen bestimmte Antibiotika (Glykopeptide wie Vancomycin und Teicoplanin) resistent sind. Es zeigte sich, dass diese Antibiotikaresistenz übertragbar ist. Die vancomycinresistenten Enterokokkenstämme werden deshalb als ein ernsthaftes Risiko betrachtet.

Quellen: <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/e/enterokokken.htm>;
<http://www.bgvv.de/cms5w/sixcms/detail.php/1456>

Giardia lamblia

Giardia lamblia (Stiles 1915), *Lambliia intestinalis* (Blanchard 1888)D: Erreger der Giardiose oder LamblienruhrE: Giardiasis

Bei *Giardia lamblia* handelt es sich um einen parasitischen Flagellaten mit einem direkten Lebenszyklus. Die Infektion erfolgt durch die per orale Aufnahme von Zysten. Angeheftet an das Dünndarmepithel des Menschen vermehren sie sich. Häufig bleibt die Infektion symptomlos. Wird der Erreger nicht eliminiert, kann es zu Darmbeschwerden und Durchfall kommen. Ob die

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Giardiose eine Zoonose darstellt, ob also Reservoirtiere (Haus- und Wildtiere) epidemiologisch eine Rolle spielen, wird diskutiert.

Die Übertragung erfolgt über kontaminiertes Oberflächenwasser, in dem Zysten je nach Temperatur bis zu 4 Monate überleben können. Die Giardiose ist weltweit (in über 140 Ländern) verbreitet. In endemischen Gebieten liegt die Prävalenz bei über 5%. Epidemien können durch Trinkwasser oder kontaminierte Lebensmittel ausgelöst werden. Solche Fälle wurden vor allem in Nordamerika und in England beschrieben.

Quelle: <http://www.infektionsbiologie.ch/parasitologie/seiten/ausdruck/giardia.pdf>

Mycobakterium

Zu der Gattung *Mycobacterium* gehören wichtige humanpathogene Organismen wie z.B. *Mycobacterium tuberculosis* (Verursacher der Tuberkulose) und *Mycobacterium leprae* (Verursacher der Lepra). Weltweit ist jeder dritte Mensch mit *M. tuberculosis* infiziert. Zwei bis drei Millionen Menschen sterben jährlich an Tuberkulose. Lepra belastet einige zehn Millionen Menschen (Young, 1990). Mycobakterielle Infektionen sind nicht problemlos zu behandeln, da Mycobakterien aufgrund ihres Zellwandaufbaus natürlicherweise resistent für eine große Zahl von Antibiotika sind. Damit steht nur eine geringe Auswahl antimikrobieller Agentien zur Behandlung mycobakterieller Erkrankungen zur Verfügung. Infektionen mit multiresistenten *M. tuberculosis* Stämmen können derzeit nicht effektiv therapiert werden (Trias and Benz, 1994).

Mycobakterien gehören zur Gruppe der nocardioformen Bakterien, einer Unterfamilie der Actinomyceten. Es handelt sich um schlanke, stäbchenförmige Bakterien. Sie wachsen aerob und leben frei oder als Krankheitserreger in Vertebraten. Ihre wachsartige Zellwand macht sie säurebeständig (Holt et al., 1994).

Quelle: <http://www.kloecker-online.de/uta/>

Clostridium

Clostridien sind grampositive Bakterien der Gattung *Clostridium*, welche streng anaerob (unter Sauerstoffabschluß) wachsen und hitzefeste Sporen bilden können. Die Bakterien kommen beinahe überall vor, vor allem in Böden. Einige der 61 bekannten Clostridien-Arten sind gefährliche Krankheitserreger, vor allem aufgrund der von ihnen produzierten Toxine:

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Clostridium tetani

ist der Erreger des Wundstarrkrampf (Tetanus). Dieses Bakterium bildet vor allem die Toxine Tetanospasmin und Tetanolysin, nach Botulinotoxin das zweitstärkste bekannte Bakteriengift. *C. tetani* ist in Böden, auf der Haut und im Körper sehr häufig, offene Wunden können bei fehlendem Impfschutz schnell zur Infektion und zu Tetanus führen.

Clostridium perfringens

bildet mit verschiedenen weiteren Clostridien die Gruppe der Gasbrandbazillen und ist der Erreger für die Gasödemerkrankung, die Gaspneumonie und des malignen Ödems. Gasbrandbazillen bilden mindestens 12 verschiedene Toxine, die als Enzyme (Proteasen, Kollagenasen, Desoxyribonukleasen und Phospholipasen) wirken. Die Enzyme bauen entsprechend Gewebe ab und führen zu Nekrosen im betroffenen Muskelgewebe.

Clostridium botulinum

ist der Erreger des Botulismus. Dieses Bakterium produziert sieben verschiedene Toxine, wovon 5 humantoxisch sind. Botulinustoxine sind die wirksamsten bekannte Bakteriengifte, oral wirken bereits 0,1 Mikrogramm tödlich.

Clostridium difficile

ist der Erreger der durch Antibiotika induzierten Darmentzündung (Kolitis). Bei den Patienten sind die beiden Toxine Enterotoxin und Zytotoxin nachweisbar.

Darüber hinaus gehören zur Gattung *Clostridium* viele apathogene Vertreter, die zum Teil von biotechnologischem Nutzen sind.

Clostridium acetobutylicum

ist in der Lage, Zucker zu Aceton, Butanol und Ethanol zu vergären. Das Bakterium wurde bis Mitte des 20. Jahrhunderts zur biologischen Produktion von organischen Lösungsmitteln im industriellen Maßstab genutzt. Das erste Mal beschrieben wurde es von Chaim Weizmann, dem ersten Präsidenten des Staates Israel.

Außerdem:

Die Aufnahme eines Grenzwertes für *Clostridium*, eines weiteren Anzeigers fäkaler und nichtfäkaler Verunreinigungen, entspricht der Trinkwasserrichtlinie. Die Sporen von Clostridien sind ausgesprochen widerstandsfähig gegenüber Inaktivierungsverfahren, einschließlich der bei der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch verwendeten. Sie werden daher, wenn auch mit gewissen Einschränkungen, als brauchbarer Indikatorparameter für

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

gleichermaßen resistente Parasiten wie z. B. Cryptosporidien betrachtet, deren unmittelbarer Nachweis erheblich aufwendiger ist. Da Belastungen von Grundwasser mit *Clostridium perfringens* bisher nicht bekannt geworden sind, braucht der Parameter nur dann bestimmt zu werden, wenn das für die Aufbereitung verwendete Rohwasser aus Oberflächenwasser stammt oder von Oberflächenwasser beeinflusst wird.

Grenzwert: 0 in 100 ml

Quellen: <http://www.definition-info.de/Chlostridium.html>;
<http://www.hygieneinspektoren-nrw.de/notkasten-wasser/clostridien.pdf>

Campylobacter

Erreger

Die bakteriellen Erreger der Gattung *Campylobacter* (C.) sind gramnegative Stäbchen mit spiral- oder S-förmiger Gestalt. Bisher wurden 15 Spezies beschrieben, mit Erkrankungen des Menschen sind jedoch insbesondere *C. jejuni* (etwa 70% der gemeldeten Fälle) und *C. coli* assoziiert.

Vorkommen

Infektionen durch Bakterien der Gattung *Campylobacter* sind weltweit verbreitet. In der warmen Jahreszeit treten diese Erkrankungen in Europa vermehrt auf. Sie spielen eine bedeutende Rolle bei der Reisediarrhoe. Wie bei vielen Enteritiden anderer Genese sind auch bei *Campylobacter*-Infektionen Kinder unter 6 Jahren besonders häufig von der Erkrankung betroffen. Als Besonderheit findet man aber bei Infektionen durch *C. jejuni* und *C. coli* eine weitere Häufung bei jungen Erwachsenen zwischen 18 und 35 Jahren.

Wie in anderen Ländern mit *Campylobacter*-Surveillance zeigt sich auch in Deutschland, dass *Campylobacter* nach Salmonellen und vor Yersinien die zweithäufigsten bakteriellen Enteritiserreger sind. Die jährliche Inzidenzrate weist jahreszeitlich und regional bedingte Unterschiede auf und liegt im Bundesdurchschnitt bei derzeit etwa 16 Fällen pro 100.000 Einwohnern. *Campylobacter*-Infektionen haben eine offensichtlich zunehmende Tendenz; in einigen Bundesländern ist ihre Inzidenz inzwischen höher als bei den Salmonella-Infektionen.

Reservoir

Die hauptsächlichen Erregerreservoirs sind warmblütige Wild- Nutz- und Heimtiere (Vögel und Säugetiere), Der Erreger kann als Kommensale des Geflügeldarmtrakts angesehen werden. Er kommt auch im Darmtrakt anderer warmblütiger Tiere vor, ohne dass diese klinische Symptome einer Erkrankung zeigen. Die Kolonisationsrate kann sehr hoch sein und über 10^6 KBE/g Kot (KBE = Kolonie bildende Einheit) betragen.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Infektionsweg

Die Campylobacteriose des Menschen ist vorzugsweise eine nahrungsmittelbedingte Infektion. Nach Fall-Kontroll-Studien in Norwegen, Schweden, den Niederlanden, den USA und Dänemark bilden unzureichend erhitztes oder rekontaminiertes Geflügelfleisch und -produkte (nicht aber Eier) die häufigste Ursache, gefolgt von kontaminiertem, nicht gechlortem Trinkwasser und Heimtieren (besonders durchfallkranke Welpen und Katzen) sowie rohes Hackfleisch.

Eine direkte Übertragung von Mensch zu Mensch ist wegen der geringen krankheitsauslösenden Infektionsdosis von 500 Keimen bei Kindern möglich. Auch Infektionen beim Baden in kontaminierten Oberflächengewässern kommen vor. Krankheitsübertragende Lebensmittel und Wasser sind primär von ausscheidenden Tieren kontaminiert. Die Erreger vermögen einige Zeit in der Umwelt oder in Lebensmitteln zu überleben, können sich aber nicht außerhalb des Wirtsorganismus vermehren. Darin unterscheiden sie sich z. B. von Salmonellen und pathogenen *E. coli*.

Quelle:

http://www.rki.de/INFEKT/INF_A-Z/RAT_MBL/RAT-MBL.HTM?/INFEKT/RATGEBER/RAT7.HTM&1

Pseudomonas aeruginosa

Pseudomonaden sind stabförmige gramnegative Bakterien. Sie brauchen Sauerstoff, um zu wachsen und kommen ubiquitär in der Umwelt vor ("Pfützenkeim"). Sie sind deswegen klinisch besonders wichtig, weil die Mehrheit ihrer Mitglieder Resistenz zu Antibiotika aufweisen. Außerdem sind sie fähig, bei höherer Zelldichte Biofilme (siehe weiter unten) zu bilden, die sie gegen Fresszellen und Antibiotika schützen. Obwohl Bakterien der Gattung *Pseudomonas* bei Menschen mit intaktem Immunsystem selten Krankheiten verursachen, können sie bei Patienten deren Immunsystem bereits geschwächt ist (z.B. in Krankenhäusern), die Infektion von Wunden, Atem- und Harnwegen Lungenentzündung, sowie Sepsis und Herzerkrankungen verursachen. Wundinfektionen durch *P. aeruginosa* zeichnen sich durch ihre grüne Färbung und ihren besonderen Gestank aus. Besonders gefährdet sind Patienten mit der Erbkrankheit Cystische Fibrose (Mukoviszidose), bei denen Lungenentzündungen durch *Pseudomonas* die häufigste Todesursache ist.

Quelle: <http://www.definition-info.de/Pseudomonas.html>

Legionella pneumophila

Die Bakteriengattung Legionella wurde 1976 erst nachgewiesen, als in einem Hotel in Philadelphia/USA eine Epidemie ausbrach, an der mehr als 200 Menschen erkrankten und ca. 30 verstarben.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Allerdings konnten bereits früher z.B. 1947 (1968, Pontiac etc.) schon Legionellen als verantwortliche Keime für Epidemien identifiziert werden. Seit Mitte der achtziger Jahre werden die Probleme der Seuchenhygiene durch Legionellen-Besiedlung von Warmwasserverteilungssystemen in Deutschland diskutiert.

Mit *Legionella pneumophila* als epidemiologisch wichtigster Art sind derzeit 48 Legionellenspezies bekannt, die 70 verschiedenen Serogruppen umfassen. Für *Legionella pneumophila* sind 15 Serogruppen bekannt (Fields 2002). Generell sind alle Legionellen als potenziell humanpathogen anzusehen, Legionella-Infektionen können sich als relativ harmloses Pontiac-Fieber oder als meist schwere mit Lungenentzündung verlaufende Legionellose (Legionärskrankheit, Legionella-Pneumonie) manifestieren.

Eigenschaften und Vorkommen

Legionellen sind weltweit in der Natur als Bestandteil der Mikroflora des Wassers vorkommende aerobe Bakterien, die in geringer Zahl in allen Oberflächengewässern und im Grundwasser vorhanden sind (und sich auch nachweislich in salzhaltigen Gewässern halten und vermehren).

Von dort aus können sie (trotz technisch üblicher Wasseraufbereitung) mit dem Rohwasser in Trinkwassersysteme und sonstige wasserführende Systeme gelangen. Legionellen leben in einer Art Mikrokosmos, z.B. in Protozoen des Biofilms und können sich in Wirtszellen, z.B. Amöben intrazellulär vermehren. Ihre Konzentration im Wasser hängt ab von längeren Verweilzeiten (Stagnation), geeigneten Nahrungsgrundlagen (z.B. Sedimente in Behältern), dem Säuregrad und vor allem von der Temperatur. Laut Fields (2002) findet die Vermehrung in einem Temperaturbereich zwischen 25 bis 45 Grad statt, das optimale Wachstum liegt bei 35 Grad. Andere Quellen benennen eine Spannweite von 25 bzw 30 Grad bis 45 bzw. 50 Grad und ein Optimum bei 37 Grad. Erst ab 50 Grad wird das Wachstum gehemmt, ab 55 Grad kommt es langsam zum Absterben, während Temperaturen über 60 Grad in der Regel nicht überlebt werden. In den Zysten (widerstandsfähige Dauerformen) von Amöben können die Legionellen großen Schwankungen der Temperatur, des Säuregrads, bioziden Substanzen ebenso wie den üblichen Trinkwasseraufbereitungsmaßnahmen widerstehen.

Übertragung und Infektion

Eine Infektion durch Legionellen geschieht am häufigsten durch Einatmen (Inhalation) der Erreger, im Besonderen von infizierten Amöben/Amöbenpartikeln in entsprechend hoher Konzentration über ein aerosolhaltiges Luft-Wasser-Gemisch (Tropfendurchmesser 2-5 µm) aus der Umwelt, z.B. beim Duschen. Durch Aspiration kann es auch über erregerhaltiges Becken- und Leitungswasser zu Erkrankungen kommen. Laut Association of Water Technologies ist eine Infektion auch beim Trinken bzw. Schlucken erregerhaltigen Wassers nicht auszuschließen, da insbesondere bei Lungenkranken oder Rauchern der Schluckreflex nicht vollständig funktioniert

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

und somit Flüssigkeit in den Atemtrakt und damit in die Lunge gelangen könnte. Eine Übertragung durch infizierte Personen ist nicht möglich, Wundinfektionen sind äußerst selten.

Krankheitsverlauf

Erkrankungen beim Menschen sind trotz der weiten Verbreitung der Keime selten. Z.T. widersprüchlich sind Untersuchungsergebnisse zur Infektionsdosis (fehlende Infektion trotz hoch kontaminierter Wassersysteme bzw. Infektion trotz minimaler Kontamination), was sich aus der Tatsache erklärt, dass Legionellen ihre Virulenzgene intrazellulär aktivieren, somit also infizierte Amöben(partikel) für die Übertragung bedeutsam sind. Die pathogene Wirkung hängt u. a. von der bakteriellen Belastung des Wassers, der Art des Aerosols, der Wirksamkeit der Verbreitung aus einem Reservoir, der Virulenz des Stammes und den natürlichen Abwehrkräften des Betroffenen ab (BAG 1999). Generell sind Personen mit einem immunschwachen Gesundheitszustand, die auf eine entsprechend hohe Konzentration von Erregern in Aerosolen anfällig reagieren, als gefährdeter Kreis anzusehen. Dazu gehören vor allem ältere Menschen, Raucher, chronisch Kranke und durch akute Behandlungen Geschwächte. Männer erkranken etwa doppelt so häufig wie Frauen, Extremsportler (nach Hochleistung wie z.B. Triathlon) scheinen ebenso einem verstärkten Risiko ausgesetzt. Eine Häufung der Erkrankungen zeigt sich über den Sommer und Herbst. Ausführliche Darstellungen zu Risikogruppen, Krankheitsverlauf, Diagnostik, Nachweis und Therapie finden sich in RKI 2001, BAG 1999, Pleischl 2001, Fields 2002.

Eine Legionelleninfektion kann sich als Pontiacfieber oder Legionellen-Pneumonie manifestieren

Gefahrenherde und mögliche Quellen der Exposition

Zu einer hohen Anreicherung von Legionellenkeimen kommt es typischerweise in Heißwassertanks sowie in Bereichen des Wasserleitungssystems, in denen gelegentlich oder regelmäßig eine Stagnation des Wassers eintritt, vor allem über Wochen stagnierende/tote Wasserleitungen, vorübergehend nicht genutzte Wohnungen, Neubauten, Sanierungen und Umbauten, saisonal betriebene Anlagen (z.B. Campingplätze, Freibäder), Sportanlagen, hydrotherapeutische Einrichtungen (Sauna, Whirlpool, Fontänen, Rutschen etc.), Hallenbäder, Springbrunnen etc.. Besonders sensibel sind die zentralen Wasserversorgungen in Krankenhäusern, Sanatorien, Altenheimen, Hotels und Zahnarztpraxen (Mundspüleinrichtungen), auch wegen des stärker „gefährdeten“ Nutzerkreises. Des Weiteren stehen auch technische Anlagen wie z.B. die Wasserstrahltechnik in Produktionsstätten (Reinigung, Autowaschanlagen), Kühltürme oder auch Lüftungsanlagen mit Aerosolbildung in der Diskussion, wenn nicht durch regelmäßige Wartung und Reinigung, gegebenenfalls Biozideinsatz, Verdampfung statt mechanischer Luftbefeuchtung oder Sterilwasser eine mögliche Legionellenübertragung verhindert wird.

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Quelle: FLUGS-Fachinformationdienst für Lebenswissenschaften Umwelt und Gesundheit
„**Legionellenproblematik im Trinkwasser - Vorkommen, Infektion, Gefahrenpotenzial, Prävention und Sanierung**“

2.8) Biofilm und EPS

In Trinkwassersystemen sind Biofilme seit langem als "Aufwuchs", "Belag" oder "Schleim" bekannt. Sie bestehen aus einer stark wasserhaltigen Matrix, die von extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) gebildet wird. Dabei handelt es sich um Polysaccharide, Proteine, Glycoproteine und andere Polymere. Eingebettet in diese Matrix sind die Mikroorganismen und stellen eine höchst heterogene Mikrostruktur aus Zellclustern verschiedener Arten dar (Costerton et al., 1987). Biofilme werden als praktisch ubiquitär angesehen und kommen auch unter extremen Bedingungen von Temperatur, pH-Wert, Druck, Redoxpotential oder Strahlung vor (Überblick bei Flemming, 1991). In allen nicht-sterilen Wassersystemen ist mit Biofilmen zu rechnen. Sie werden in der Wasseraufbereitung sogar gezielt eingesetzt, um als biologische Filter biologisch abbaubare Stoffe aus dem Wasser zu entfernen.

Nachfolgend werden jedoch Biofilme behandelt, die unkontrolliert entstehen, etwa auf Rohr- und Behälterwänden sowie auf anderen Oberflächen, die im Kontakt mit Trinkwasser stehen. Sie kommen dort meist in unregelmäßiger Verteilung vor. Bereits nach wenigen Tagen des Kontaktes zwischen Trinkwasser und Werkstoffen, die beim Transport oder bei der Lagerung verwendet werden, bilden sich Biofilme. Auf und in Ablagerungen können komplexe mikrobielle Gemeinschaften entstehen.

In der Trinkwasseraufbereitung wurden lange Zeit Biofilme in ihrer Bedeutung für die Wasserqualität eher gering bewertet. Man geht davon aus, daß eine nennenswerte Vermehrung von Mikroorganismen auf Oberflächen nur dann auftritt, wenn das Aufwuchsmaterial Nährstoffe abgibt (DVGW, 1990). Auskleidungsmaterialien und Anstriche, die mikrobiell abbaubare Stoffe abgaben, haben zur Entwicklung von Biofilmen geführt, wodurch es zur bakteriellen Kontamination von Trinkwasser kam (Schoenen, 1990). Die Prüfung nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 270 dient dem Zweck, den Einsatz von Materialien zu verhindern, die das Biofilm-Wachstum begünstigen.

Zwischenzeitlich wurde jedoch festgestellt, dass Biofilme beteiligt sind, wenn es in Trinkwassersystemen zu mikrobiellen Problemen kommt (Obst, pers. Mitt.). Im Verteilungsnetz können sie zur Kontamination von Trinkwasser führen, auch wenn dieses das Wasserwerk in einwandfreier Qualität verlassen hat (Nagy u. Olson, 1985; v.d. Wende et al., 1988; v.d. Wende u. Characklis, 1990; LeChevallier, 1991; Block, 1992; Camper, 1994).

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Ernährungsgrundlage für Biofilm-Wachstum

Trinkwassersysteme sind oligotrophe Habitate. Die Mikroorganismen reagieren dort bevorzugt mit der Bildung von Biofilmen, denn dies gehört zu ihren Überlebensmechanismen unter solchen Bedingungen (Marshall, 1985). Auf diese Weise entsteht die ubiquitäre "Besiedlung". Sie ist meist höchstens einlagig und nicht flächendeckend (Ridgway et al., 1981). In ihr warten die Organismen sozusagen auf Nährstoffe. Sobald sie damit versorgt werden, entsteht ein "Bewuchs". Die wichtigsten Quellen für Nährstoffe sind zu Beginn der Besiedlung abbaubare Stoffe im Wasser sowie biologisch verwertbare Materialien, die von der Aufwuchsfläche abgegeben werden; wenn der Biofilm sich einmal entwickelt hat, kommen noch Zerfallsprodukte der Mikroorganismen und von Amöben als weitere Nährstoffquelle hinzu. Dies ist besonders für Kunststoffe vielfach nachgewiesen worden. Aber auch mineralische Materialien, die organisches Material enthalten, können davon betroffen sein. Auf Zement-Oberflächen haben Reste von biologisch abbaubaren Schal-Ölen zu verstärktem Biofilm-Wachstum geführt (Herb et al., 1997 a). Organische Zement-Inhaltsstoffe können unter Umständen verwertet werden, selbst wenn sie primär in die hochalkalische Matrix eingebunden sind und dort nur in geringen Konzentrationen (0,2-0,5 %) vorkommen. Sobald sie durch abiotische Korrosionsprozesse freigesetzt werden, unterstützen sie die mikrobiellen Bewuchs (Herb et al., 1997 b).

Die Konzentration des assimilierbaren organischen Kohlenstoffs (AOC) im Wasser ist ebenfalls ein entscheidender Faktor für die Vermehrung. Auch organische Partikel können als Nährstoffe genutzt werden. Dieser Parameter ist als entscheidend für die biologische Stabilität von Trinkwasser erkannt worden und unterstützt das Biofilm-Wachstum bereits ab Konzentrationen von 10 µg L⁻¹ (van der Kooij et al., 1995). Phosphat könnte ebenfalls zu den limitierenden Faktoren gehören; hier liegen widersprüchliche Ergebnisse vor. Eigene Arbeiten zeigen, dass reines Ortho-Phosphat nur im Biofilm, nicht aber im Wasser zu einem gesteigerten Wachstum führten. Auch durch die Luft können Nährstoffe eingetragen werden. Trinkwassersysteme stehen zwar nur in geringem Kontakt mit der Außenluft, jedoch können durch die Belüftungseinrichtungen bei Behältern flüchtige abbaubare Stoffe eindringen. Weitere mögliche Kontaminationsquellen sind unzureichend desinfizierte Einbauten, Lecks und auch das Personal. Die Limitierung des Biofilm-Wachstums durch Nährstoff-Elimination stellt eine der wichtigsten Strategien zur Vermeidung von Biofilm-Problemen dar. Interessanterweise spielen auch Protozoen eine bedeutsame Rolle bei der Kontrolle von Biofilmen, wenn sie Biofilm-Bakterien abweiden. In manchen Systemen scheint dieser Effekt entscheidend zu sein (Pedersen, 1990; Foissner, 1996; Griebe, unpubl. Beob.). Eine Chlorung kann in solchen Fällen die Biofilm-abweidenden Protozoen stärker betreffen als die Biofilm-Bakterien und auf diese Weise zu erhöhtem Biofilm-Wachstum führen.

Quellen: <http://www.theochem.uni-duisburg.de/AMB/kont.html>

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

3.) Verfahren der Wasserdesinfektion im Überblick

Nachfolgend werden die derzeit gängigen Verfahren zur Wasserdesinfektion betrachtet. Abstand genommen wird jedoch von den Verfahren zur Herstellung von sog. „belebten“ Trinkwasser, deren Wirkung bislang nicht nachweisbar ist.

Definition

Unter *Desinfektion* versteht man das gezielte Abtöten von Krankheits- bzw. Fäulnisregenern an einem Gegenstand, einer Oberfläche oder einem lebenden Gewebe mit Hilfe chemischer oder physikalischer Methoden. Ziel der Desinfektion ist, das Risiko einer Infektion an Mensch und Tier zu minimieren.

Quelle:

FLUGS-Fachinformationdienst für Lebenswissenschaften Umwelt und Gesundheit; **Hygiene und Desinfektion in Klinik und Haushalt - eine Einführung**

3.1) Chlor/Chlorung

Chlor wird in die Wassergefährdungsklasse 2 eingestuft. Beim Eindringen größerer Mengen in den Untergrund und Gewässer ist eine Gefährdung des Trinkwassers möglich. Chlor besitzt eine Wirkung als Gift auf Fische (Letale Konzentration $LC_{50} = 293 \text{ vpm}$). Zudem ist eine Umweltgefährdung beim Freiwerden größerer Mengen in die Atmosphäre möglich.

Chlor bildet mit Feuchtigkeit der Schleimhäute aktiven Sauerstoff und Salzsäure, die beide das Gewebe stark angreifen. Inhalation von etwa 3-6 ppm führt zur Reizung aller Schleimhäute mit Husten und Tränenfluss, bei längerer Einwirkung auch zu Bluthusten und Atemnot bzw. Erstickungserscheinungen. Flüssiges Chlor wirkt stark ätzend auf die Haut.

Die schnelle und sichere Wirkung liegt beim Chlor darin, dass sich bei der Vermischung des Chlors mit Wasser mit HOCl ein sehr starkes Oxidationsmittel bildet, welches die Bakterien in kürzester Zeit irreparabel zerstört.

$Cl_2 + H_2O = HCl + HOCl$ (Hydrolyse)

Chlor + Wasser = Salzsäure + unterchlorige Säure

Hierbei verbraucht sich das Chlor aber relativ schnell. Das Trinkwasser ist dann zwar desinfiziert, aber nicht gegen Wiederverkeimung geschützt. Um die Lagerfähigkeit des Trinkwassers sicherzustellen, ist es deshalb erforderlich, zusätzlich Silberionen zur Konservierung zu verwenden.

Nicht verschwiegen werden soll, dass Chlor in der Lage ist, Nebenprodukte (sog. Haloforme, dazu gehört Chloroform) zu bilden. Dies setzt voraus, dass sich eine entsprechend große Menge organischer Verunreinigungen

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

(Huminsäuren) im Wasser befindet und Chlor in viel höheren Dosen zugegeben wird, als in der Trinkwasserverordnung erlaubt. Die Wahrscheinlichkeit, durch gechlortes Trinkwasser an Magen oder Darmkrebs zu erkranken, liegt nach einer Studie aus den USA bei ca. 1:60 Mio. Das ist geringer, als das Risiko vom Blitz getroffen zu werden.

Chlor steht auch in dem Ruf, dem Trinkwasser einen schlechten Geschmack beizugeben. Das ist richtig, wenn sehr viel Chlor verwendet wird, oder bestimmte Chlorsubstanzen wie Natriumdichlorisocyanurat (Bundeswehrtabletten) verwendet werden. Bei sachgerechter Dosierung ist ein Chlorgeschmack im Trinkwasser praktisch kaum feststellbar.

Die Verwendung von Chlor ist vor allem dann angezeigt, wenn zu erwarten ist, dass Krankheitserreger und eine erhöhte Anzahl von Bakterienkolonien im Trinkwasser vorhanden sind. In diesem Fall kommt für eine Desinfektion nur Chlor in Frage, wie es die Trinkwasserverordnung u.a. vorschreibt.

Quellen: www.wasser-wissen.de;
<http://www.hanke-seidel.com/database/wasserlexikon/unten.html>

Nachteile der Chlorung:

- Entstehung von Haloformen
- Nach den Vorgaben der TWVO 2001 nicht potent genug um gefährliche Keime wie Legionella pneumophila in der Leitung ausreichend abzutöten bzw. die Lebensgrundlage (Biofilm) zu beseitigen

3.2) Chlordioxid

Chlordioxid (ClO_2) wird seit den 40er Jahren in der Wasseraufbereitung verwendet. Es zeichnet sich durch eine hohe bakterizide, virizide und algizide Wirkung aus, die über einen breiten pH-Bereich konstant bleibt. Im Gegensatz zur Chlorung werden bei der Trinkwasserbehandlung mit Chlordioxid keine Trihalogenmethane, die im Verdacht stehen krebserregend zu sein, gebildet. Auch Chlorphenole, die den unangenehmen „Apothekengeruch“ bei der Chlorung erzeugen, werden mit Chlordioxid nicht gebildet.

Der Vorteil des *Chlordioxidverfahrens* liegt darin, dass eben keine Haloforme und auch kaum Chlorphenole entstehen (s.o.). Ferner reagiert Chlordioxid nur sehr gering mit organischen Stoffen, und es kommt auch nicht zur Bildung von Chloraminen. Der Zusatz wird aber begrenzt durch die Bildung von Chlorit. Diese Verbindung wird als toxisch angesehen. In Einzelfällen können aber auch bei der Desinfektion mit Chlordioxid Geruchsbelästigungen auftreten.

Ein weiterer Vorteil des Chlordioxids soll sein, dass sein Desinfektionsvermögen

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

vom pH-Wert weitgehend unabhängig ist und damit im alkalischen Bereich eingesetzt werden kann. Weiche Trinkwässer reagieren durch die Entsäuerung bekanntlich häufig alkalisch. Die bakterizide Wirkung behält Chlordioxid im Trinkwasser auch über eine längere Zeit, bis sie durch organische Substanzen reduziert wird. Ein Nachteil des Chlordioxidverfahrens ist, dass es unter bestimmten Umständen zu einer Rückbildung von Chlorit infolge von einer Reduktion des Chlordioxids kommen kann. Ferner kann durch Disproportionierung des Chlordioxids u. U. Chlorat entstehen. Durch die lang anhaltende bakterizide Wirkung können in alten Netzen abgelagerte Eisen- und Manganmassen zunächst durch Abtötung der Eisen- und Manganbakterien remobilisiert werden, was zu vorübergehenden Trübungen des Wassers führen kann.

Das Chlordioxid ist in wässriger Lösung nicht beständig und das Gas ist bei erhöhter Temperatur explosiv. Deshalb muss die Herstellung am Ort des Einsatzes erfolgen. Die Chlordioxidlösung ist nicht lagerbeständig und muss sofort verbraucht werden.

Quellen: <http://www.bgfw.net/informationen/bs/0001HTM/000118.pdf>;
<http://www.der-brunnen.de/wasser/desinfektion/desinfektionneu.htm>

Nachteile der Chlordioxid-Behandlung

- Biofilm verbleibt im System
- Entstehung von Chlorit
- Ausgasung des Chlordioxid bei Erwärmung des Wassers; gesundheitliche Risiken der Ausgasung (z.B. Warmwasserdusche); über die konkrete Gefährdung liegen jedoch bislang noch keine wissenschaftlichen Untersuchungen vor

3.3) UV-Bestrahlung

Hygienisierungsverfahren für Abwässer mit UV-Strahlen und Desinfektionsverfahren u.a. für Trinkwasser.

Quecksilberdampfstrahler unterschiedlicher Dampfdrücke senden UV-Strahlen in verschiedenen Längen aus. Die Strahlen von 253,7 nm haben eine inaktivierende Wirkung. Die Primärschädigung der Mikroorganismen bei der UV-Bestrahlung beruht auf einer fotochemischen Veränderung der Nukleinsäuren, die eine Zellteilung verhindert. Dadurch werden Stoffwechselforgänge sowie eine Replikation unterbunden. Der Mikroorganismus stirbt innerhalb kurzer Zeit.

Voraussetzungen für eine wirksame UV-Anlage ist, neben klarem Wasser mit geringer Absorption im UV-Bereich, eine definierte Bestrahlungsdosis von mind. 25 mJ cm^{-2} , die sich errechnet aus der Bestrahlungsstärke als Funktion

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

der Schichtdicke und der Trübung des Wassers, und der Bestrahlungsdauer, (Verweilzeit der Zelle im UV-Licht) die aus der Durchflussgeschwindigkeit resultiert. Die Bestrahlungsstärke wird beeinflusst durch die unvermeidliche Verschmutzung des Quarzschutzrohres und der Lampenalterung, die mit jedem Einschalten fortschreitet. Der Verschmutzungsgrad wird teilweise durch mechanische Maßnahmen vermindert (Scheibenwischerprinzip), der Lampenalterung wird durch regelmäßiges auswechseln begegnet. UV-Wasserdesinfektion gilt als wirksam und sicher und verändert weder den Geschmack, die Farbe noch den Geruch des Wassers. Das so behandelte Wasser gilt als bedenkenlos trink- oder gewerblich nutzbar.

Quellen: <http://wasser-wissen.de>; <http://www.wat-nord.de/uwd/wasserbuch/whb34.htm>

Nachteile der UV-Bestrahlung

- Legionellen in Biofilm-Partikeln und Einzellern werden ungenügend abgetötet
- Keine Depotwirkung
- Biofilm verbleibt im System

3.4) Elektrolytische Desinfektion

(*electrolytical disinfection*) Das Verfahren der elektrolytischen Wasserdesinfektion nutzt elektrischen Strom, um ein Mittel zur Desinfektion direkt im Wasser (In-situ-Produktion) durch elektrochemische Umwandlung ausgewählter Wasserinhaltsstoffe zu erzeugen. Teilweise ist das Grundprinzip auch unter den Verfahrensbezeichnungen "Anodische Oxidation", "Elektrochemische Desinfektion" oder "Chlorelektrolyse" bekannt, bei denen es sich ebenfalls um elektrolytische Verfahren handelt. Elektrolytische Desinfektion allgemein weist i.d.R. durch die Bildung von Desinfektionsmittel auf Basis von Chlor eine anhaltende Wirkung (Depotwirkung) auf.

3.4.1) Elektrolyse

Die elektrolytische Herstellung von Desinfektionsmittel erfolgt in einer Elektrolysezelle, die aus mindestens einer Anode und einer Kathode besteht, die in Wasser (als Elektrolyt) eingetaucht sind. Unter Einwirkung des elektrischen Stroms laufen elektrochemische Vorgänge im Wasser ab, wodurch Desinfektionsmittel auf Sauerstoff- und Chlorbasis gebildet werden, vorausgesetzt es befinden sich ausreichend Mineralsalze im Wasser.

Die Prozessführung kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen: Beim ex-situ-Betrieb werden Desinfektionsmittel in hohen Konzentrationen in einer separaten Elektrolysezelle erzeugt. Das auf diese Weise hergestellte

WASSER & WASSERAUFBEREITUNG

Konzentrat wird anschließend dem zu behandelnden Wasser zudosiert. Diese Betriebsart wird z.B. bei der Chlorelektrolyse verwendet.

Beim in-situ-Betrieb wird das zu behandelnde Wasser direkt durch die Elektrolysezelle geleitet. Die aus dem Wasser gebildeten Desinfektionsmittel mit niedriger Konzentration gehen unmittelbar in das zu behandelnde Wasser über. Hier kann auf eine Dosiertechnik verzichtet werden. Ferner werden Gefahren durch den Umgang mit konzentrierten Desinfektionsmitteln vermieden. Durch die synergistische Wirkung von Chlor und Sauerstoff wird die Bildung von Desinfektionsnebenprodukten wie Chloramin und Trihalogenmethan (THM) unterdrückt.

Die Art und Menge der desinfizierend wirkenden Substanzen ist u.a. von dem verwendeten Anodenmaterial und den Wasserinhaltsstoffen abhängig.

Die elektrolytische Desinfektion findet in vielen Bereichen der Wasserdesinfektion Verwendung. Einsatzbeispiele sind die Behandlung von Prozesswasser, Trinkwasser und Schwimmbeckenwasser sowie der Einsatz in Sanitärsystemen zur Vorbeugung vor Legionellen.

Quelle: www.wasser-wissen.de

Nachteil:

- beim in-situ-Betrieb wird auf Grund der unterschiedlichen Wasserqualitäten ein nicht gleich bleibendes Desinfektionsmittel hergestellt wie das z.B. beim ex-situ-Betrieb gewährleistet ist; beim ex-situ-Betrieb kann durch Verwendung von entionisiertem Wasser und reinstem Kochsalz ein qualitativ gleich bleibendes Elektrolyseergebnis erzielt werden
- in §11 der TWVO wird ausdrücklich auf ein Verfahren hingewiesen dass ein Desinfektionsmittel, wie z.B. Natriumhyperchlorit in den Wasserkreislauf injiziert werden muss