

## 2. Wasserinhaltsstoffe, ihre Herkunft und ihre Bedeutung für die hygienische, aufbereitungstechnische und genetische Bewertung eines Wassers

### 2.1. Vorbemerkungen

Wasser ist die chemische Verbindung, die auf der Erde in der größten Menge vorkommt. Natürlich vorkommendes Wasser ist niemals chemisch rein, sondern enthält viele anorganische und organische Stoffe in Lösung oder in Suspension.

Als "sauberes" oder "reines" Wasser im wasserwirtschaftlichen Sinne bezeichnet man ein solches Wasser, das durch menschliche Eingriffe nicht nachteilig beeinflusst wurde.

Aber auch als chemische Verbindung ist Wasser strengbetrachtet kein einheitlicher Stoff. Wir kennen drei stabile Sauerstoffisotope  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{17}_8\text{O}$ ,  $^{18}_8\text{O}$  sowie zwei stabile und ein instabiles (radioaktiv zerfallendes) Wasserstoffisotop  $^1_1\text{H}$ ,  $^2_1\text{H}$  (Deuterium, D) und  $^3_1\text{H}$  (Tritium, T). Aus diesen sechs Isotopen lassen sich 18 verschiedene "Wasserarten" kombinieren, von denen allerdings auf Grund des mengenmäßigen Anteils der einzelnen Isotope nur Wassermoleküle mit den  $^1_1\text{H}$  und  $^{16}_8\text{O}$  (normales Wasser,  $\text{H}_2\text{O}$ ) und  $\text{D}_2\text{O}$  ( $^2_1\text{H}$  und  $^{16}_8\text{O}$ , schweres Wasser) chemische, physikalische und technische Bedeutung haben. In jüngster Zeit gewinnt mit Nutzung und Anwendung radiochemischer Kenntnisse tritiumhaltiges ( $^3_1\text{H}$ ) Wasser speziell auch in der Grundwasserforschung und -erkundung Bedeutung. Gebildet wird das Tritium ständig in den oberen Schichten der Atmosphäre.

Da dieses Isotop radioaktiv ist, kann sein Gehalt im Wasser zur Grundwasseraltersbestimmung herangezogen werden. Da man den natürlichen, durch Bildung und Zerfall im Gleichgewicht befindlichen Tritiumgehalt des Niederschlagswassers kennt, kann man je nach dem Tritiumgehalt des Grundwassers auf dessen Alter schließen; denn im Grundwasser geht nur der Zerfallsprozeß vor sich, eine Neubildung von Tritium ist hier ausgeschlossen. Je weniger Tritium also im Grundwasser ist, um so älter ist das Wasser. Hier ist zu bemerken, daß die Altersdatierung von Grundwässern mittels der Tritiummethode bis zu einem Alter von  $\approx 50$  Jahren anwendbar ist.

Der größte Teil des Wassers der Erde befindet sich in einem Kreislauf. Die Gesamtwassermenge kann dabei für überblickbare Zeiträume als im Mittel konstant angesehen werden, allerdings mit zeitlichen und räumlichen Schwankungen. Die einzelnen Elemente des Wasserkreislaufs (Bild 1) sind zugleich in unterschiedlichem Maße Lieferanten der Wasserinhaltsstoffe.

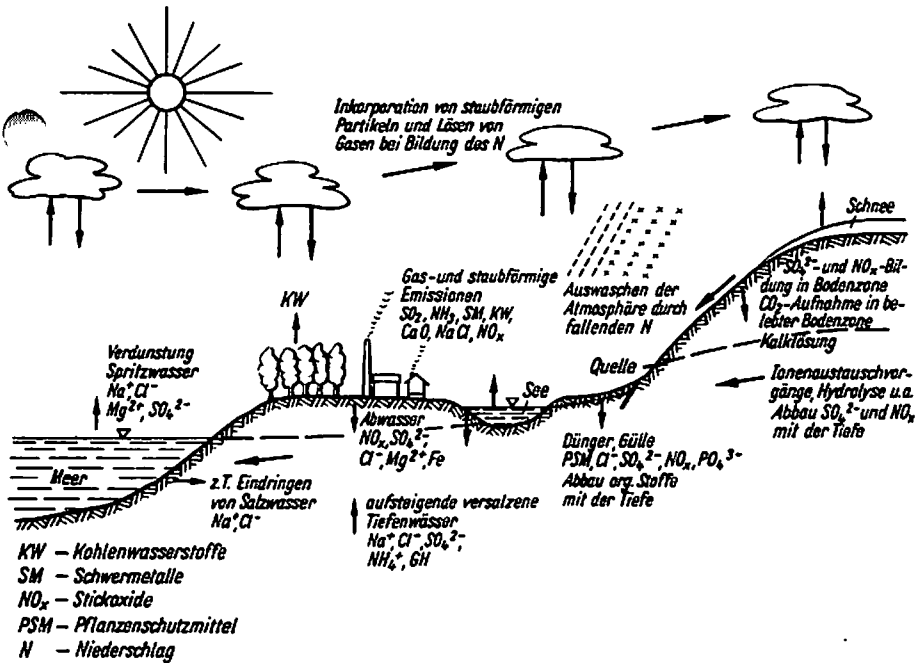


Bild 1. Hydrochemische Prozesse innerhalb des Wasserkreislaufes

Obwohl es einen natürlichen Destillationsprozeß erfahren hat, enthält auch das Niederschlagswasser teilweise beträchtliche Mengen gelöster Stoffe, die aus dem Meer (Spritzwasser - "zyklische" Salze) bzw. dem Festland (vom Wind aufgewirbelte Verwitterungsprodukte, Industrieemissionen) stammen. Bei der Versickerung des Niederschlagswassers im Boden und Untergrund bis hin zur Grundwasseroberfläche werden weitere lösliche

Stoffe aufgenommen, wobei sich der für ein Gebiet typische Grundwasserchemismus herausbildet. Versickernde Abwässer aus Industrie, Wohnsiedlungen und Landwirtschaft (Gülle, Silosäfte) haben weiterhin Einfluß auf den Grundwasserchemismus begrenzter Gebiete.

## 2.2. Wasserinhaltsstoffe

Von den 92 natürlichen Elementen konnten nach /1/ im Wasser bisher 45 nachgewiesen werden. Mit Sicherheit sind es heute mehr, und es ist allgemein eine Frage der Empfindlichkeit der zur Anwendung kommenden Analysetechnik, ob und inwieweit sich bestimmte seltene Elemente im Wasser gelöst nachweisen lassen

Es ist unmöglich, alle im Wasser enthaltenen Stoffe qualitativ und quantitativ zu erfassen. Für eine ökonomische Analyse muß eine sinnvolle Auswahl der zu bestimmenden Stoffe getroffen werden, die sich nach Ziel und jeweiliger Aufgabenstellung richtet.

Die Inhaltsstoffe des Wassers lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten einteilen:

- nach ihrem mengemäßigen Anteil in
  - Hauptinhaltsstoffe  $> 1,0 \text{ mg l}^{-1}$
  - Begleitstoffe  $0,1 \dots 1 \text{ mg l}^{-1}$
  - Spurenstoffe  $< 0,1 \text{ mg l}^{-1}$
- nach der Art der Verteilung im Wasser in
  - echt gelöste
  - kolloidal gelöste
  - suspendierte Stoffe
- nach ihrer chemischen Konstitution in
  - gelöste Gase
  - in Ionenform gelöste Stoffe (Salze)
  - gelöste organische Moleküle (molekulardispers verteilt)

Folgende Wasserinhaltsstoffe sind bei der Erkundung und Erschließung sowie Aufbereitung und schließlich Verwendung von Grundwasser als Trink- und Brauchwasser von Bedeutung und ihre analytische Kontrolle daher notwendig:

- gelöste Gase

O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S

In besonderen Fällen (Prospektionen, Verschmutzungen) können N<sub>2</sub>, He und CH<sub>4</sub> von Bedeutung sein.

- gelöste Salze

Kationen:

Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, (Fe), (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (Hauptbestandteile)

Fe, Mn, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Cr, As, Hg

(Neben- bzw. Spurenbestandteile)

Anionen:

Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), (Kieselsäure), (Hauptbestandteile)  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Kieselsäure, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, F<sup>-</sup> (Neben- bzw. Spurenbestandteile)

- Summenbestimmung gelöster organischer Stoffe

kupplungsfähige Substanzen ("Phenole")

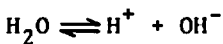
chemischer Sauerstoffverbrauch auf Basis KMnO<sub>4</sub> (CSV-Mn)

chemischer Sauerstoffverbrauch auf Basis K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (CSV-Cr)

### 2.3. Charakterisierung der Wasserinhaltsstoffe

#### H<sup>+</sup>-Ionen (pH-Wert)

Nicht nur Salze dissoziieren im Wasser in positive und negative Ionen, auch das Wasser selbst ist zu einem geringen Teil dissoziiert:



Der Ausdruck für den Gehalt des Wassers an Wasserstoffionen

ist der pH-Wert. Er bewegt sich in den Grenzen von 0 bis 14 (7 ist der Neutralpunkt, < 7 sauer, > 7 basisch) und ist definiert als "der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration (genauer: Wasserstoffionenaktivität)":

$$\text{pH} = -\lg C_{\text{H}^+};$$

C<sub>H<sup>+</sup></sub> ≙ Wasserstoffionenkonzentration in Mol l<sup>-1</sup>

Das heißt, ein Wasser mit dem pH-Wert von 6 hat eine H<sup>+</sup>-Ionenkonzentration von 10<sup>-6</sup> Mol l<sup>-1</sup>.

In den meisten natürlichen Wässern liegt der pH-Wert im Bereich von 6 bis 8 und wird im wesentlichen vom Gehalt an gelöstem  $\text{CO}_2$  und gelöstem  $\text{CaCO}_3$  bestimmt (Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht). Manche Mineralwässer enthalten sehr viel gelöstes  $\text{CO}_2$  (Säuerling) und haben daher niedrige pH-Werte; ebenso Niederschlagswässer, die auf Grund des  $\text{SO}_2$ -Gehaltes der Luft einen niedrigen pH-Wert besitzen. Wässer mit niedrigem pH-Wert sind aggressiv, d. h., sie wirken angreifend auf Kalk, Mauerwerk, Beton, Stahl u. a.

Bei der Wasseraufbereitung besteht die Forderung, den pH-Wert in den Bereich 6,8 bis 8,6 einzupegeln, wobei der sogenannte Gleichgewichts-pH-Wert einzustellen ist (Wasser befindet sich im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht), damit ein Angriff auf das Rohrleitungsnetz ausgeschlossen wird und sich die sogenannte Kalk-Rost-Schutzschicht ausbilden kann.

### Natrium

Natrium ist mit  $28,3 \text{ kg t}^{-1}$  am Aufbau der 17 km mächtigen Erdkruste beteiligt und zählt somit zu den häufigsten Elementen. Die hohe Löslichkeit der Natriumsalze und die geringe sorptive Bindung des Natriumions führten zur beträchtlichen Anreicherung im Meerwasser (mit durchschnittlich  $10,8 \text{ g l}^{-1}$  ist Natrium das wichtigste Kation).

In Tonmineralen sorptiv gebundenes Natrium kann durch Ionenaustausch gegen Calcium freigesetzt werden. Von solchen Prozessen zeugen die zahlreichen  $\text{Na HCO}_3$ - und  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -Wässer.

Das Natriumion wird als zyklisches Salz oder als Teil des terrestrischen Staubes in Niederschlagsgewässern gefunden (Größenordnung: Spuren bis einige Milligramm/Liter, in Meeresnähe mehr).

Neben Calcium und Magnesium ist das Natriumion das dominierende Kation im Grundwasser. Der Natriumgehalt liegt in humiden Gebieten, abgesehen von salzführenden Schichten, im Bereich von  $1$  bis  $50 \text{ mg l}^{-1}$  (MATTHESS /10/  $1$  bis  $20 \text{ mg l}^{-1}$ ).

Der Trinkwassergrenzwert wird in der TGL 22 433 mit  $150 \text{ mg l}^{-1}$  festgelegt.

Natriumionen lassen sich bei der Wasseraufbereitung nur mit speziellen Verfahren entfernen:

- Ionenaustausch
- Destillation
- umgekehrte Osmose

Zu den genannten Verfahren ist zu sagen, daß sie nur in Spezialfällen angewendet werden und im allgemeinen sehr große Wasserdurchsätze nicht gestatten (Kesselspeisewassergewinnung, Meerwasserentsalzung).

### Kalium

Mit  $25,9 \text{ kg t}^{-1}$  ist Kalium in der Erdkruste enthalten und somit ebenfalls häufig.

Der geringe Gehalt von Kaliumionen im Wasser (trotz der ebenfalls großen Löslichkeit der Kaliumsalze) ist durch das Adsorptionsvermögen der Böden und Gesteine gegenüber  $\text{K}^+$  bedingt.

Im allgemeinen beträgt die Kaliumionenkonzentration nur rund 10% der Natriumionenkonzentration der Wässer. Hinsichtlich Aufbereitbarkeit gilt für die Kaliumionen das gleiche wie für die Natriumionen. Der Trinkwassergrenzwert ist mit  $10 \text{ mg l}^{-1}$  festgelegt.

### Calcium

Der Gehalt des Calciums in der Erdkruste beträgt  $36,2 \text{ kg t}^{-1}$  und ist damit recht hoch.

Gemeinsam mit den Natriumionen sind die Calciumionen die häufigsten Kationen im Grundwasser. Der Calciumgehalt des Grundwassers wird in den meisten Fällen vom schon beschriebenen Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht bestimmt. Das Calciumion ist der wesentlichste Härtebildner im Wasser.

Calciumgehalte um  $100 \text{ mg l}^{-1}$  im Grundwasser sind normal; geietsweise treten auch wesentlich höhere Gehalte auf. Der Trinkwassergrenzwert ist mit  $280 \text{ mg l}^{-1}$  festgelegt.

### Magnesium

Magnesium ist mit  $20,9 \text{ kg t}^{-1}$  am Aufbau der Erdkruste beteiligt.

Die Löslichkeit der Magnesiumsalze ist im allgemeinen höher als die der Calciumsalze.

Daß Magnesiumionen trotzdem geringer im Grundwasser enthalten sind, ist eine Folge der geringeren geochemischen Häufigkeit.

Der Magnesiumgrenzwert liegt bei  $125 \text{ mg l}^{-1}$ . Neben Calcium ist Magnesium der wesentlichste Härtebildner.

Bei zu hoher Wasserhärte können verschiedene verfahrenstechnische Schritte zur Enthärtung angewendet werden. Vielfach muß auch bei der Trinkwasseraufbereitung (insbesondere von Oberflächenwässern) aufgehärtet werden, da eine gewisse Härte zur Ausbildung der sog. Kalk-Rost-Schutzschicht notwendig ist. Zu hohe Härte führt dagegen zu Kalkablagerungen (Kesselstein) und zu hohem Verbrauch von Waschmitteln.

### Eisen

Eisen ist mit  $\approx 50 \text{ kg t}^{-1}$  das zweithäufigste Metall (nach Aluminium) in der Erdkruste.

Das bei der Verwitterung frei werdende Eisen wird hauptsächlich in gering lösliche Oxide bzw. Oxidhydrate umgewandelt. Der Gehalt des Meerwassers mit nur  $0,0034 \text{ mg l}^{-1}$  Fe zeigt die sehr geringe geochemische Beweglichkeit des Eisens. Im Gegensatz zum Oberflächenwasser mit seinen ebenfalls sehr geringen Fe-Konzentrationen (Ausfällung durch  $\text{O}_2$ ) finden sich im Grundwasser meist höhere Konzentrationen (oft  $10 \text{ mg l}^{-1}$  und mehr).

Extrem hohe Eisenkonzentrationen finden sich in sauren Grubenwässern.

Häufig liegt Eisen als Humat gebunden vor. Eisenhaltiges Wasser ist nicht gesundheitsschädlich; aber wegen der Geschmacksbeeinträchtigung sollte der Fe-Gehalt von Trinkwasser  $0,1 \text{ mg l}^{-1}$  nicht überschreiten.

Bei der Wasseraufbereitung wird Eisen durch Belüftung oxidiert und fällt als schwerlösliches Hydroxyd bzw. Oxidhydrat aus.

### Mangan

Mangan ist mit  $1 \text{ kg t}^{-1}$  am Aufbau der Erdkruste beteiligt und damit ein relativ zurücktretender Bestandteil. Geochemisch ist Mangan ebenfalls gering beweglich, kann aber als Bestandteil des Grundwassers Nutzungsschwierigkeiten auslösen.

In den meisten Grundwässern ist Mangan allerdings nur in Spuren nachweisbar, wird allerdings bereits ab  $0,05 \text{ mg l}^{-1}$  als störend empfunden.

Im allgemeinen ist der Mangangehalt des Wassers geringer als der Eisengehalt; wahrscheinlich wegen der geringeren Häufigkeit.

Saure Grubenwässer können ebenfalls hohe Mangangehalte aufweisen. Der Trinkwassergrenzwert wird nach TGL 22 433 mit  $0,1 \text{ mg l}^{-1}$  angegeben; Eisen und Mangan gemeinsam dürfen  $0,3 \text{ mg l}^{-1}$  nicht überschreiten.

Mangan wird bei der Wasseraufbereitung durch eine autokatalytische Reaktion als  $\text{MnO}_2$  am Filterkieskorn ausgefällt.

### Kupfer

Am Aufbau der Erdkruste ist Kupfer mit durchschnittlich  $45 \text{ g t}^{-1}$  beteiligt.

Es wird als Spurenelement im pflanzlichen und tierischen Stoffwechsel benötigt und findet als Werkstoff und Wachstumsinhibitor Verwendung.

Der Kupfergehalt von Grundwässern ist im allgemeinen sehr niedrig (nur wenige Mikrogramm/Liter). Im Gebiet von Kupfererzvorkommen sind die Gehalte merklich erhöht.

Der Trinkwassergrenzwert beträgt  $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ ; ausschlaggebend für diese Festlegung war die Korrosionsgefahr durch Lokalelementbildung.

### Blei

Blei ist in der Erdkruste mit  $15 \text{ g t}^{-1}$  zu finden. Infolge der geringen Löslichkeit seiner Verbindungen und der geringen geochemischen Beweglichkeit finden sich im Grundwasser nur geringe Mengen an Blei (einige Mikrogramm/Liter). Höhere Werte können wiederum durch Erzlagerstätten bedingt sein. Da Blei aber auch eine vielfältige Verwendung findet (Werkstoff, Schädlingsbekämpfungsmittel, Kraftstoffadditiv), gelangt es durch anthropogene Einflüsse in den Untergrund, vor allem über den Weg der Luftverunreinigung.

Bleiverbindungen sind giftig und wirken vor allem kumulativ (Anreicherung über längeren Zeitraum). Der Trinkwassergehalt soll  $0,05 \text{ mg l}^{-1}$  nicht überschreiten.



### Cadmium

Cadmium ist mit  $0,2 \text{ g t}^{-1}$  am Aufbau der Erdkruste beteiligt und damit geochemisch recht selten.

Es tritt zusammen mit Blei- und Zinkerzen auf. Grundwässer im erzunbeeinflussten Bereich enthalten sehr geringe Cadmiummengen,  $< 1 \mu\text{g l}^{-1}$ .

Cadmium wird ebenfalls im Körper gespeichert und ruft bei höherer Aufnahme schwerwiegende Schädigungen hervor (Nierenschäden, sog. Itai-Itai-Krankheit - Skelettschrumpfung bis zu 30 cm)

Der von der WHO empfohlene Trinkwassergrenzwert beträgt  $0,01 \text{ mg l}^{-1}$ .

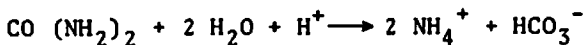
### Zink

Zink ist mit  $65 \text{ g t}^{-1}$  in der Erdkruste zu finden. Als verbreiteter Werkstoff tritt Zink in Abfallprodukten auf. Hohe Zinkgehalte finden sich in den Grundwässern aus erzführenden Schichten. Im Bereich von Buntmetallhütten und von Bergbau- und Abraumhalden findet es sich angereichert. Auch im unbeeinflussten Grundwasser schwanken die Zn-Werte in größeren Grenzen (wenige  $\mu\text{g l}^{-1}$  bis  $500$  und mehr  $\mu\text{g l}^{-1}$ ). Bei der Probenahme für Zn-Bestimmungen ist sehr sorgfältig zu verfahren, da die Probe leicht kontaminiert werden kann. Zum Beispiel ist eine Wasserprobe aus Pegelrohren selbst nach langer Abpumpzeit für die Zn-Bestimmung nicht geeignet, da das Pegelrohr aus verzinktem Eisen besteht.

Der Trinkwassergrenzwert ist mit  $5 \text{ mg l}^{-1}$  ( $5000 \mu\text{g l}^{-1}$ ) angegeben.

### Ammonium

Ammoniumionen  $\text{NH}_4^+$  oder Ammoniak  $\text{NH}_3$  sind primäre Abbauprodukte organischer Stickstoffverbindungen, z. B. des Harnstoffs, einem Endprodukt des tierischen und menschlichen Stoffwechsels.



Andere Ammoniumquellen sind Industrieabwässer und Düngemittel.  $\text{NH}_4^+$ -Ionen treten im Grundwasser im allgemeinen nur in kleinen Mengen auf.  $\text{NH}_4^+$  unterliegt entweder der Oxydation zu  $\text{NO}_3^-$  (oxydierende Bedingungen im GWL) oder der Sorption (reduzierende

Bedingungen). Höhere Ammoniumgehalte wurden bei anthropogenen Verunreinigungen und z. B. in Ölfeldwässern gefunden.

Gesundheitliche Schädigungen durch Ammoniumionen sind nicht bekannt, ihre Anwesenheit im Wasser ist jedoch hygienisch bedenklich, da sie fäkalen Ursprungs sein können.

$0,1 \text{ mg l}^{-1} \text{ NH}_4^+$  sollen nach TGL 22 433 nicht überschritten werden.

Ein zu hoher  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt kann die Trinkwasserentkeimung durch Chlor erschweren (Chloraminbildung).

### Chlorid

Mehr als zwei Drittel der bekannten Chlormenge der Erdkruste und als Chloridionen im Meer gelöst.  $200 \text{ g t}^{-1}$  beträgt der Anteil des Chlors am Aufbau der Erdkruste. Die Chloridionen befinden sich auf Grund ihrer Löslichkeit in nahezu allen Wässern, ihre Konzentrationen schwanken in weiten Grenzen. Durch häusliche und industrielle Abwässer sowie durch Düngemittel und Streusalze kann die Chloridkonzentration der Wasser erhöht werden. Im allgemeinen liegen die Chloridkonzentrationen im Grundwasser um  $30 \text{ mg l}^{-1}$ , höhere Werte deuten auf Einflüsse mineralisierterer Wasser (Tiefenwasser, salzführende Schichten) bzw. auf anthropogene Verunreinigungen hin. Bei der Wasseraufbereitung unterliegen Chloridionen keinerlei Veränderungen; hygienisch sind sie unbedenklich.  $350 \text{ mg l}^{-1}$  sollen nicht überschritten werden ( $250 \text{ mg l}$  Geschmacksgrenze).

### Fluorid

Der Fluoridgehalt von Grundwässern ist gewöhnlich sehr niedrig; in den meisten Fällen ist er in Süßwässern  $< 1 \text{ mg l}^{-1}$ . In Mineral- und Thermalquellen wurden höhere Werte gefunden.

Fluor ist als Bestandteil der Zähne und Knochen ein biologisch wichtiges Element. Fluoridiertes Trinkwasser vermindert die Kariesanfälligkeit der Bevölkerung. Erhöhte Fluoridgehalte wirken dagegen gesundheitsschädlich (Fluorose). Der Richtwert für Trinkwasser ist  $1 \text{ mg l}^{-1}$ , der Grenzwert  $1,3 \text{ mg l}^{-1}$ .

### Nitrit und Nitrat

Nitrit ist nur selten und in geringen Mengen ( $< 1 \text{ mg l}^{-1}$ ) im Grundwasser nachweisbar. Das Nitrition ist ein Zwischenprodukt beim Abbau stickstoffhaltiger organischer Substanz.

Die Nitratgehalte des Grundwassers liegen in der Regel unter  $20 \text{ mg l}^{-1}$ ; sehr oft ist auch kein Nitrat nachweisbar. Unter güllebeeinflussten und stark gedüngten Flächen können hohe Nitratgehalte auftreten.

Nitrationen geben, wenn geologische Herkunft ausgeschlossen werden kann, einen Hinweis auf Wasserverunreinigungen, da beim aeroben Abbau organischer Stickstoffverbindungen das Nitration als höchste Oxydationsstufe auftritt. Nitrationen sind an sich nicht gesundheitsschädlich. Die Festlegung hygienischer Grenzwerte beruht darauf, daß durch die Reduktion von Nitrat zu Nitrit bei Säuglingen eine lebensbedrohende Methämoglobinämie ausgelöst werden kann. Nach TGL 22 433 sind die Grenzwerte für Nitrit  $0,2 \text{ mg l}^{-1}$  und für Nitrat  $40 \text{ mg l}^{-1}$ .

### Sulfat

Sulfationen sind im Meerwasser und Gesteinen etwa zu gleichen Teilen enthalten, was auf ihre geochemische Beweglichkeit schließen läßt. Der größte Teil entstammt vermutlich der Entgasung des Magmas in früheren geologischen Zeiträumen.

Schwefelverbindungen werden vielfach durch den Menschen in den Stoffkreislauf gebracht (Verbrennung fossiler Energieträger, Düngemittelanwendung). Sulfationen sind ebenfalls Endprodukte des biochemischen Abbaus schwefelhaltiger organischer Verbindungen.

Die Sulfatgehalte von Grundwässern schwanken in weiten Grenzen.

Je nach Grundwasserleiter sind es weniger als  $30 \text{ mg l}^{-1}$ , aber auch  $\approx 1300 \text{ mg l}^{-1}$  in Gipsgesteinen sowie noch höhere Werte bei Natrium- und Magnesiumsulfatwässern. Im Trinkwasser sollen  $250 \text{ mg l}^{-1}$  nicht überschritten werden, da Magen- und Darmstörungen hervorgerufen werden können. Gehalte  $> 300 \text{ mg l}^{-1}$  können an Betonbauten Schäden verursachen.

## Phosphat

Bei der Verwitterung freigesetztes Phosphat wird durch Tonminerale weitgehend adsorbiert, was die Ursache für die geringen Phosphatgehalte des Grundwassers ist (zehntel bis hundertstel Milligramm/Liter).

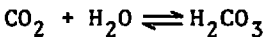
Phosphor spielt im biochemischen Stoffwechsel eine Rolle und findet sich daher in Ausscheidungen. Waschmittel in Kommunalabwässern können das Phosphorangebot in Wässern erhöhen.

Die Trinkwasser-TGL schreibt einen Grenzwert von  $0,1 \text{ mg l}^{-1}$  o-Phosphat vor; allerdings darf phosphatiertes Trinkwasser (Schutzschichtbildung) bzw. solches mit geogen bedingtem Phosphatgehalt bis  $7 \text{ mg l}^{-1}$  enthalten.

## Hydrogencarbonat und Carbonat

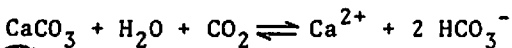
Die geochemische Bedeutung des Kohlenstoffs beruht auf seiner Eigenschaft als wichtigster Grundstoff aller organischen Verbindungen. Kohlenstoff kommt angereichert in den Kaustobiolithen und den Carbonatgesteinen, die vielfach ihre Entstehung biologischen Vorgängen verdanken, vor.

Für das Vorkommen im Wasser ist im wesentlichen das System

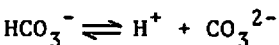


von Bedeutung.

In Wässern mit geringem Mineralsalzgehalt sind die Hydrogencarbonationen die wichtigsten Anionen. Sie entstehen durch Reaktion von Carbonatgesteinen mit der im Wasser gelösten Kohlensäure.



Abhängigkeit vom pH-Wert dissoziieren die Hydrocarbonationen unter Carbonatbildung



Entsprechend den Gleichgewichtsreaktionen kann es zu Kalkauflösungen bzw. Kalkabscheidungen, z. B. in Rohrleitungen, kommen.

Grenzwerte für Carbonat- und Hydrogencarbonationen gibt es nicht, da ihr Gehalt im wesentlichen von dem des Calciums bestimmt wird.

### Kieselsäure und Silikat

Silicium ist mit  $285 \text{ kg t}^{-1}$  nach Sauerstoff der zweitwichtigste Bestandteil der Erdkruste und geochemisch sehr gering beweglich.

Die Hauptmenge der im Grundwasser angetroffenen Kieselsäure stammt von der Verwitterung von Silikaten. Quarz ist dagegen kaum löslich.

Die Silikatkonzentrationen natürlicher Wässer liegen meist zwischen 1 bis  $30 \text{ mg l}^{-1}$ .

Sehr hohe Kieselsäuregehalte können Wässer mit pH-Werten über 9 haben, die natürlich aber nur selten vorkommen. Kieselsäure ist in Form von  $\text{SiO}_2$ , d. h. molekular bzw. kolloidal, gelöst.

### Organische Wasserinhaltsstoffe

Gelöste und suspendierte organische Stoffe können auf natürlichem Wege bei der Zersetzung (mikrobiellem Abbau) organischer Materie und auf künstlichem durch Abwässer, Öl- und Kraftstoffhavarien, Einsatz von Pflanzenschutzmitteln u. a. in den Boden und ins Grundwasser gelangen.

Von Havariefällen und langjährigen hohen Flächenbelastungen abgesehen, sind die Konzentrationen von organischen Stoffen im Grundwasser noch recht gering. Summativ werden organische Stoffe durch den zu ihrer Mineralisierung nötigen Verbrauch an Oxydationsmitteln (Kaliumpermanganat, Kaliumdichromat) bestimmt.

Einzelbestimmungsverfahren beginnen sich erst in größerem Umfang in den Wasserlaboratorien durchzusetzen, da erkannt wurde, daß viele organische Verbindungen gesundheitlich bedenklich sind.

Eine Grenzwertfestlegung ist bisher nur in wenigen Fällen erfolgt.

**Trinkwassergrenzwerte:**

<b>Kaliumpermanganatverbrauch</b>	<b>20 mg l<sup>-1</sup></b>
<b>wasserdampf-flüchtige Phenole (kupplungsfähige Substanzen)</b>	<b>0,003 mg l<sup>-1</sup></b>