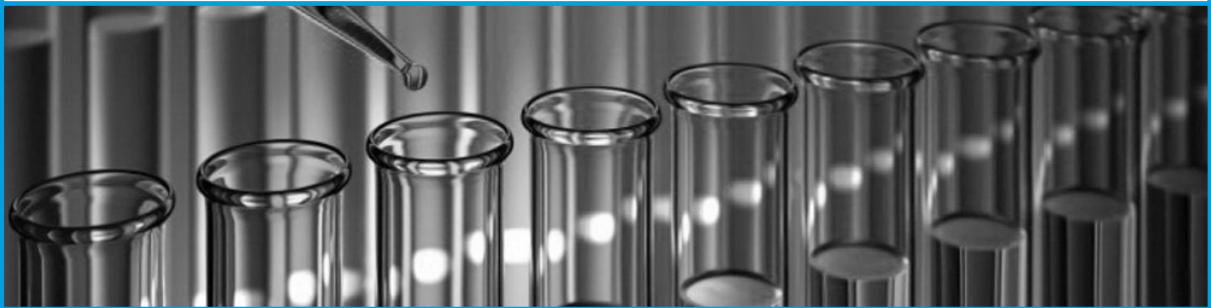


# ZUSAMMENFASSUNG



# CHEMIE ALLGEMEIN

by Marcel Laube

<b>EINLEITUNG:</b> .....	<b>4</b>
KREISLAUFSYSTEME: .....	4
<i>Sauerstoffkreislauf:</i> .....	4
<i>Phosphorkreislauf:</i> .....	4
<i>Wasserkreislauf:</i> .....	4
<i>Stickstoffkreislauf:</i> .....	5
<i>Kohlenstoffkreislauf:</i> .....	5
REINE STOFFE UND GEMISCHE: .....	5
UNTERSCHIED CHEMIE / PHYSIK: .....	6
EXOTHERME- UND ENOTHERME VORGÄNGE: .....	6
<b>ATOME:</b> .....	<b>6</b>
ATOMMASSE: .....	6
ATOMVOLUMEN: .....	6
ATOM-LADUNG: .....	7
MASSENZAHL: .....	7
VALENZELEKTRONEN: .....	7
ATOMARTEN: .....	7
GRAMMATOM: .....	7
PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE: .....	7
<b>VERBINDUNGEN:</b> .....	<b>8</b>
BILDUNG VON ATOMVERBÄNDEN: .....	8
<i>Ionenbindung (Salze):</i> .....	8
<i>Atombindung (Molekülbildung):</i> .....	9
<i>Metallbindung (Gitterbildung):</i> .....	9
MOLMASSE: .....	9
<i>Molvolumen:</i> .....	9
<b>SÄUREN, BASEN, SALZE, PH-WERT, NEUTRALISATION:</b> .....	<b>10</b>
SÄUREN: .....	10
BASEN, LAUGEN: .....	10
PH-WERT: .....	10
<i>pOH-Wert:</i> .....	10
<i>Zusammenhang pH- und pOH-Wert:</i> .....	10
MOLAR: .....	11
NEUTRALISATION: .....	11
SALZE: .....	11
DIE PH-MESSUNG: .....	11
<b>RADIOAKTIVITÄT:</b> .....	<b>12</b>
RADIOAKTIVE STRAHLUNG: .....	12
<i><math>\alpha</math>-Strahlung:</i> .....	12
<i><math>\beta</math>-Strahlung:</i> .....	12
<i><math>\chi</math>-Strahlung:</i> .....	12
URSACHE DER RADIOAKTIVITÄT: .....	12
HALBWERTSZEIT: .....	12
AKTIVITÄT: .....	12
ISOTOPE: .....	13
KETTENREAKTION: .....	13
RADON: .....	13

<b>LUFT:</b> .....	<b>13</b>
WAS IST LUFT: .....	13
KLIMAEINFLÜSSE: .....	14
<i>Störung der Ozonschicht (Ozonloch):</i> .....	14
<i>Treibhauseffekt:</i> .....	14
<i>Saurer Regen:</i> .....	14
<i>Smog:</i> .....	14
<b>VERBRENNUNG:</b> .....	<b>15</b>
VERBRENNUNGSDREIECK: .....	15
BRENNSTOFFE: .....	15
<i>Aufbau der Brennstoffe:</i> .....	15
<i>Die verschiedenen Brennstoffe:</i> .....	15
LUFTÜBERSCHUSS: .....	16
SCHADSTOFFE BEI DER VERBRENNUNG:.....	16
<i>Russ, Kohlenwasserstoffe, Geruchstoffe, Teer, Dioxin:</i> .....	16
<i>Kohlenmonoxid:</i> .....	16
<i>Ozon:</i> .....	16
<i>Schwefeldioxid:</i> .....	16
<i>Stickoxide (No<sub>x</sub>):</i> .....	16
<b>WASSER:</b> .....	<b>17</b>
ANOMALIE DES WASSERS: .....	17
DAS WASSERMOLEKÜL: .....	17
EIGENSCHAFTEN VON WASSER: .....	17
<i>Wasserstoffbrücke:</i> .....	17
<i>Wasser als Lösungsmittel:</i> .....	17
WASSERHÄRTE:.....	18
<i>Carbonathärte:</i> .....	18
<i>Nichtcarbonathärte:</i> .....	19
<i>Gesamthärte:</i> .....	19
KOHLENSÄURE / KOHLENDIOXID: .....	19
DAS KALK-KOHLENSÄURE-GLEICHGEWICHT: .....	19
MESSUNG DER WASSERHÄRTE: .....	20
VERUNREINIGUNGEN: .....	20
<i>Grobdisperse Stoffe:</i> .....	20
<i>Kolloiddisperse Stoffe:</i> .....	20
<i>Molekulardisperse Stoffe:</i> .....	20
<i>Schutz-Kolloide:</i> .....	20
WASSERHYGIENE: .....	20
<i>Keime, Bakterien:</i> .....	20
<i>Viren:</i> .....	20
<i>Legionellen:</i> .....	21
<b>KORROSION:</b> .....	<b>21</b>
DIE ELEKTROLYTISCHE SPANNUNG .....	21
DIE ELEKTROLYTISCHE KORROSION.....	22
SAUERSTOFFKORROSION .....	23
SÄURENKORROSIONEN .....	23
ABLAGERUNGSKORROSIONEN, MULDENKORROSION .....	24
SPANNUNGSRISSKORROSIONEN .....	24

<i>Nichtrostende Stähle:</i> .....	24
<i>Messing:</i> .....	25
<i>Hartkupferrohre:</i> .....	25
<i>Abhilfe:</i> .....	25
SPALTKORROSIONEN .....	25
LOCHFRASS .....	26
<i>Schlecht durchströmte Leitungen (mit Sauerstoff):</i> .....	26
<i>Kohlenstoff-Filme auf Kupferrohren:</i> .....	26
<i>Lötfettablagerungen auf Kupfer:</i> .....	26
<i>Anionenverhältnis:</i> .....	26
<i>Abhilfe:</i> .....	26
BLASENKORROSION UND ZINKGERIESEL .....	26
EROSION .....	27
KAVITATION .....	27
AUSSENKORROSIONEN .....	28
MASSNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR KORROSIONEN .....	28
<i>Materialwahl</i> .....	28
<i>Inhibitoren</i> .....	29
<i>Kathodenschutz</i> .....	29
<i>Physikalische Wassernachbehandler</i> .....	29
<i>Nachträgliche Innebeschichtung</i> .....	30
BEHEBUNG VON SCHÄDEN .....	30
BEURTEILUNG VON KORROSIONSGEFAHREN .....	30
<i>Stahl</i> .....	30
<i>Kupfer</i> .....	31
<i>Chromstahl, Chromnickelstahl</i> .....	31
<b>WASSERAUFBEREITUNG / WASSERNACHBEHANDLUNG .....</b>	<b>31</b>
WASSERBESCHAFFENHEIT BEI LUFTBEFEUCHTERN .....	32
GESCHLOSSENE SYSTEME: .....	32
OFFENE SYSTEME: .....	33
<i>Eindickungszahl EZ:</i> .....	33
<i>Abschlammwasser-Volumenstrom:</i> .....	33
<i>Speiswasser-Volumenstrom:</i> .....	33
WICHTIGE VERFAHREN DER WASSERTECHNIK .....	33
<i>Wasseraufbereitung:</i> .....	33
<i>Wasserbehandlung:</i> .....	33
ENTHÄRTUNG .....	34
BERECHNUNG VON ENTHÄRTUNGSANLAGEN .....	35

## **Einleitung:**

### **Kreislaufsysteme:**

#### **Sauerstoffkreislauf:**

Verbraucher:

- ↳ Mensch
- ↳ Tier
- ↳ Verbrennung
- ↳ (Pflanzen nachts)

Erzeuger:

- ↳ Pflanzen (tags)
- ↳ Algen
- ↳ Ozonschicht

#### **Phosphorkreislauf:**

Verbraucher:

- ↳ Fische
- ↳ Sedimentschicht

Erzeuger:

- ↳ Industrie
- ↳ Waschmittel
- ↳ Tiere
- ↳ Bergbau

#### **Wasserkreislauf:**

Verbraucher:

- ↳ Grundwasser
- ↳ Mensch
- ↳ Pflanzen
- ↳ Verdunstung

Erzeuger:

- ↳ Niederschlag

## Stickstoffkreislauf:

Verbraucher:

- Tiere
- Grund

Erzeuger:

- Pflanzen
- Industrie
- Verbrennung
- Tiere
- Düngemittel
- Humus

## Kohlenstoffkreislauf:

Verbraucher:

- Industrie

Erzeuger:

- Pflanzen
- Tiere
- Plankton

## Reine Stoffe und Gemische:

Reine Stoffe: Können durch physikalische Trennverfahren (Destillation, Sieben etc.) nicht in andere Stoffe zerlegt werden.  
Beispiele: Salz, Kalk, Eisen, Gold, Salpeter

Gemische: Können durch physikalische Methoden in ihre Komponenten aufgetrennt werden.

Homogene Gemische: Die einzelnen Komponenten sind nicht erkennbar.

Heterogene Gemische: Die einzelnen Komponenten sind sichtbar.

	Phasen	Bezeichnung	Beispiel
Heterogen	Flüssig/flüssig	Emulsion	Mayonnaise
	Flüssig/fest	Suspension	Farben, Abwasser
	Flüssig/gasförmig	Schaum/Nebel	Bierschaum
	Fest/fest		Abfall, Messing

Homogen	Flüssig	Lösung	Meerwasser
	Fest	Legierung	Goldlegierung
	Gasförmig	Gasgemisch	Luft

### Unterschied Chemie / Physik:

Chemie: Vorgänge, bei denen Stoffe in andere Stoffe umgewandelt werden.

Physik: Vorgänge, bei denen der Zustand eines Stoffes verändert wird; die wesentlichen Eigenschaften des Stoffes bleiben unverändert.

### Exotherme- und Enotherme Vorgänge:

Beim **exothermen Vorgang** wird Energie frei.

Beispiele: Verbrennung  
Batterie-Entladung

Beim **enothermen Vorgang** muss ständig Energie zugeführt werden, damit der Vorgang abläuft.

Beispiele: Elektrolyse  
Batterie-Ladung

---

### Atome:

- Ein **chemisches Element** ist ein Stoff, der durch chemische Methoden nicht mehr in weitere Stoffe zerlegt werden kann.
- Die Atome verschiedener Elemente besitzen verschiedene Eigenschaften und Massen; **alle Atome eines Elementes sind jedoch unter sich gleich.**

### Atommasse:

<u>Elementarteilchen</u>	<u>Masse</u>	<u>Ladung</u>
Protonen	$1.67 \cdot 10^{-24}$ gr	+
Neutronen	$1.67 \cdot 10^{-24}$ gr	neutral
Elektronen	$0.91 \cdot 10^{-27}$ gr	-

- Protonen und Neutronen zusammen bilden den **Atomkern**.
- Die **Masse** eines Atoms wird von der Masse aller **Neutronen und Protonen** bestimmt. (die Elektronen werden vernachlässigt)

### Atomvolumen:

Das **Volumen** eines Atoms wird durch die **Elektronenhülle** bestimmt.

## Atom-Ladung:

Da ein Atom aus der gleichen Anzahl Elektronen und Protonen besteht ist die Ladung eines Atoms immer 0, das heisst, **ein Atom ist elektrisch neutral**.

## Massenzahl:

Die Massenzahl eines Atoms wird in [u] angegeben. 1 [u] beträgt  $1.67 \cdot 10^{-27}$  kg.

## Valenzelektronen:

Das sind die Elektronen, die sich auf der **äussersten Elektronenschale** eines Atoms bewegen.

Die **Gruppenzahl** in Periodensystem entspricht der Anzahl Valenzelektronen. Die Anzahl Valenzelektronen entscheidet darüber, wie gut ein Element Verbindungen mit anderen Elementen eingeht.

## Atomarten:

Die Atome unterscheiden sich in der unterschiedlichen Anzahl Protonen bzw. Elektronen.

In der **ersten Schale** können **maximal 2 Atome** aufgenommen werden.

Auf der **äussersten Schale** können **maximal 2 oder 8 Elektronen** aufgenommen werden.

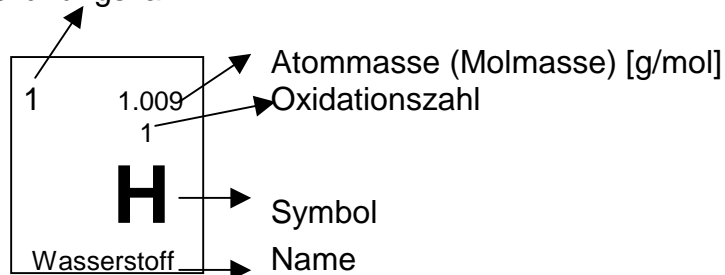
**Atome mit einer maximalen Anzahl Valenzelektronen sind besonders stabil** (Edlegase).

## Grammatom:

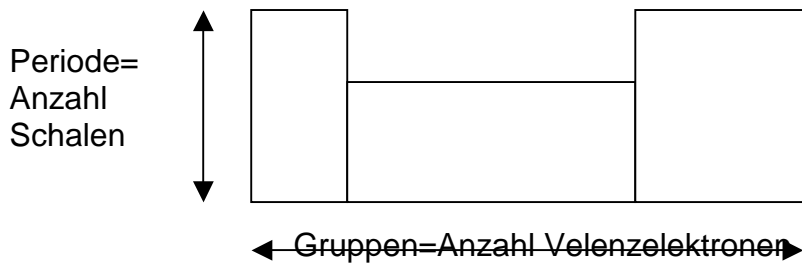
In einem Grammatom eines Elementes sind immer  $6.023 \cdot 10^{23}$  Atome enthalten.

## Periodensystem der Elemente:

Ordnungszahl







Links Mitte Rechts  
 im Periodensystem  
 Metalle  Nichtmetalle

## Die Hauptgruppen:

Gruppe	Benennung der Gruppe	Chemische Eigenschaften der Gruppen
IA	Alkalimetalle	Sehr heftig reagierende Elemente (als reine Elemente in Natur nicht vorhanden)
IIA	Erdalkalimetalle	Heftig reagierende Elemente (als reine Stoffe in Natur nicht vorhanden)
IIIB	Erdmetalle	Nur in Form von Verbindungen in Natur vorhanden
IVB	Kohlenstoff-Silizium-Gruppe	Reine Stoffe in Natur vorhanden
VB	Stickstoff-Phosphor-Gruppe	Nur in Form von Verbindungen in Natur vorhanden
VIB	Sauerstoffgruppe (Chalkogene)	Heftig reagierende Elemente (als reine Stoffe in Natur nicht vorhanden)
VIIB	Halogene	Sehr heftig reagierende Elemente (als reine Elemente in Natur nicht vorhanden)
VIII	Edelgase	Reagieren im Normalfall nicht

---

## Verbindungen:

### Bildung von Atomverbänden:

#### Ionenbindung (Salze):

- ☛ Verbindungen zwischen Metallen und Nichtmetallen.
- ☛ Das Nichtmetallatom zieht die locker gebundenen Metallelektronen vollständig zu sich herüber. **Es findet ein Übergang von Elektronen statt.**
- ☛ Metalle bilden Kationen (positiv geladene Ionen); Nichtmetalle bilden Anionen (negativ geladene Ionen)

### Atombindung (Molekülbildung):

- ↳ Nichtmetallverbindungen
- ↳ Die Nichtmetallatome wirken **gegenseitig schwach anziehend**, weil sie das Bestreben haben, eine vollständige äussere Schale zu erreichen.
- ↳ Moleküle sind **in sich abgeschlossen** und haben eine **geringe Tendenz andere Moleküle anzuziehen**.
- ↳ Elektrisch neutral
- ↳ Molekülbildungen sind immer Gase

### Metallbindung (Gitterbildung):

- ↳ Da Metalle wenige Aussenelektronen besitzen, sind diese Elektronen im Gitter fast frei beweglich.
- ↳ Auch im festen Zustand elektrisch leitend (wegen den beweglichen Elektronen)

### Molmasse:

Die **relative Atommasse** gibt an, wie viel mal schwerer ein Atom ist, als 1/12 der Masse des Kohlenstoffisotops  $^{12}\text{C}$ .

Die **relative Molmasse** gibt an, wie viel mal schwerer ein Molekül ist, als 1/12 der Masse des Kohlenstoffisotops  $^{12}\text{C}$ .

Oder auch:

**Die Summe aller relativen Atommassen der in der Verbindung enthaltenen Atome.**

### Molvolumen:

Alle Gase haben bei gleichem Druck und gleicher Temperatur das gleiche Volumen. Bei Normbedingungen (**0°C und 1013.25hPa**) beträgt das Volumen für ein Mol:

**22.4 Litter / mol oder 22.4 m<sup>3</sup> / kmol**

---

+

## Säuren, Basen, Salze, pH-Wert, Neutralisation:

### Säuren:

- ☒ Säuren entstehen durch die **Verbindung von Nichtmetalloxid und Wasser**.
- ☒ Eine Säure ist ein Stoff, der **Protonen abgeben** kann (Protonendonator)
- ☒ Die **Wasserstoffionen wirken sauer**.
- ☒ Säuren haben eine Konzentration an Wasserstoffionen zwischen  **$10^{-0}$  und  $>10^{-7} \text{ molH}_3\text{O}^+/\text{l}$**

### Basen, Laugen:

- ☒ Basen entstehen durch die **Verbindung von Metalloxiden und Wasser**.
- ☒ Eine Base ist ein Stoff, der **Hydroxidionen abgeben** kann (Protonenempfänger)
- ☒ Basen haben eine Konzentration an Wasserstoffionen zwischen  **$<10^{-7}$  und  $10^{-14} \text{ molH}_3\text{O}^+/\text{l}$**

Wässrige Lösungen von Säuren und Laugen leiten den elektrischen Strom.

### pH-Wert:

- ☒ Der pH-Wert stellt ein Mass für die **Konzentration c der Wasserstoffionen** ( $\text{H}_3\text{O}^+$  Ionen) in wässrigen Lösungen dar.
- ☒ ACHTUNG: Da der pH-Wert eine **logarithmische** Funktion ist, entspricht einer **pH-Wert-Änderung um den Wert 1, eine 10fache Änderung der Konzentration!!!**

### pOH-Wert:

- ☒ Konzentration der Hydroxide in wässrigen Lösungen

### Zusammenhang pH- und pOH-Wert:

**pH + pOH = 14**, weil:  $c \text{ H}_3\text{O}^+$  multipliziert mit  $c \text{ OH}^-$  immer  $10^{-14}$  ergibt.

	Säure										Lauge				
pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
pOH	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
mol $\text{H}_3\text{O}^+/\text{l}$	$10^0$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$	$10^{-12}$	$10^{-13}$	$10^{-14}$
mol $\text{H}_3\text{O}^+/\text{l}$	1	0.1	0.01	0.001	0.0001										
mol $\text{OH}^-/\text{l}$	$10^{-14}$	$10^{-13}$	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	$10^0$
mol $\text{OH}^-/\text{l}$											0.0001	0.001	0.01	0.1	1

### Molar:

- ☞ Eine Lösung, die **1 Mol einer Verbindung in einem Liter enthält**, wird als **1 molar** bezeichnet.

Beispiel:      9.8g  $\text{H}_2\text{SO}_4$  /l = 0.1 molar      16g NaOH /l = 0.4 molar

### Neutralisation:

- ☞ Neutralisier heisst: **Eine Lösung auf pH 7 einstellen.**
- ☞ Ein  $\text{H}_3\text{O}^+$ (Säure)-Überschuss wird durch Zugabe von  $\text{OH}^-$ (Lauge) egalisiert bis  $c \text{H}_3\text{O}^+ = c \text{OH}^-$  (und umgekehrt)
- ☞ Gleiche Volumen gleicher Konzentration von Säure und Lauge ergibt immer eine neutrale Lösung.
- ☞ Bei der Neutralisation entsteht immer Wasser und Salz (aus den Säure- und Basenresten)

### Salze:

- ☞ Bei der Neutralisation entsteht immer Wasser und Salz (aus den Säure- und Basenresten)

### Die pH-Messung:

- ☞ Meist mit Indikatoren (schwache, gefärbte organische Säuren) gemessen

## Radioaktivität:

### Radioaktive Strahlung:

#### $\alpha$ -Strahlung:

- ↳ relativ Grosse Massenteile
- ↳ durch Papier völlig abschirmbar
- ↳ Reichweite: einige Zentimeter

#### $\beta$ -Strahlung:

- ↳ zur Abschirmung sind einige mm dicke Aluminium- oder Plexiglasplatten notwendig
- ↳ Reichweite: ca. ein Meter

#### $\gamma$ -Strahlung:

- ↳ rein energetische Strahlungen
- ↳ auch durch dicke Blei- oder Betonplatten nur abschwächbar
- ↳ Reichweite: einige Meter

### Ursache der Radioaktivität:

Radioaktivität rührt vom **Zerfall von instabilen Atomen** her. Dies könne Atome mit grossen Massenzahlen (z. Bsp. Künstlich hergestellte) oder Isotope sein.

### Halbwertszeit:

= Diejenige Zeit, in der die Hälfte aller ursprünglichen Atome zerfällt.

Sie ist weder durch Temperatur noch durch Drücke oder chemische Reaktionen beeinflussbar!

### Aktivität:

Zerfällt in einer Substanz ein Kern **in einer Sekunde**, so beträgt die Aktivität ein Becquerel (Bq) (=SI-Einheit)

Zerfallen in einer Substanz **37 Milliarden Kerne pro Sekunde**, so beträgt die **Aktivität ein Curie (Ci)**.

### Isotope:

Bei vielen Elementen weicht die Atommassenzahl ziemlich stark von ganzzahligen Werten ab. Diese Elemente sind **Mischungen von verschiedenen Atomsorten mit gleicher Protonen- und Elektronenzahl, aber verschiedenen Neutronenzahl**. Da vor allem die Elektronen eines Atoms sein chemisches Verhalten bestimmen, besitzen solche Atome **weitgehend die gleichen chemischen Eigenschaften**. Weil sie im Periodensystem am gleichen Platz stehen, nennt man diese Atome **Isotope**.

### Kettenreaktion:

Damit eine Kettenreaktion eintreten kann, benötigt es eine bestimmte Menge radioaktiven Materials. Diese benötigte Menge nennt man **kritische Masse**.

### Radon:

- Vor allem im Gebirge vorkommend
- Tritt als radioaktives Gas aus dem Erdinnern aus
- In Regionen mit Grundwasser tritt kaum Radon auf
- Damit kein Radon im Keller auftritt: Kellerversiegelung (Beton-Boden)

---

### Luft:

OHNE NAHRUNG 30 TAGE, OHNE WASSER 3 TAGE, **OHNE LUFT 3 MINUTEN**.

### Was ist Luft:

- Gasgemisch aus 78% Stickstoff; 21% Sauerstoff; 1% Edelgase
- Mit zunehmendem Abstand von der Erde nimmt die Dichte der Luft ab

### Klimaeinflüsse:

#### Störung der Ozonschicht (Ozonloch):

- Die Ozonschicht ist verantwortlich für die **Filterierung der UV-Strahlen**, damit ein Leben auf der Erde möglich wird
- Die Ozonschicht wird durch **Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW)** angegriffen und zerstört -> **Ozonloch**

#### Treibhauseffekt:

- Kurzwellige Strahlen von der Sonne (sichtbare und infrarote Strahle) werden „durchlassen“, langwellige Strahlen, die von der Erdoberfläche reflektiert werden, werden jedoch nicht zurückgelassen.
- Der natürliche Treibhauseffekt wird durch die Belastung der Atmosphäre durch Kohlendioxid, Methan und anderen Spurengasen entscheidend verstärkt.
- > Globale Erwärmung

#### Saurer Regen:

- Durch **Schwefeldioxid- und Stickstoffoxid-Emissionen entstehen** durch **Oxidation** in der Atmosphäre **Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) und Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>)**, welche als saure Niederschläge niederregnen können.
- pH-Wert des sauren Regens: ca. 5,6
- Saurer Regen führt zu: Schäden an Bauwerken und Denkmälern; beeinträchtigung der Flora und Fauna...

#### Smog:

- Das Wort Smog: smoke „Rauch“ und fog „Nebel“
- Entsteht vor allem in **Ballungsgebieten**
- Entsteht im **Winter** durch **Schwefeldioxid, Staub, Stickstoffoxiden, Kohlenmonoxiden und Kohlenwasserstoffen**
- Entsteht im **Sommer** durch **Stickstoffoxiden und Kohlenwasserstoffen** (Auto-Abgase)
- Wirkung:** Verminderung der Sichtweite, Reizungen der Schleimhäute der Augen und Atemwegsorgane, erhebliche Atemwegsbeeinträchtigungen, Verminderung der körpereigenen Abwehr gegen Krankheitserreger.

**Verbrennung:**

**Verbrennungsdreieck:**

Damit eine Verbrennung (Oxidation) zustande kommt, braucht es :

- ↳ Brennstoff
- ↳ Luft
- ↳ Temperatur

Ist eine der obigen Grundlagen zu wenig oder gar nicht vorhanden, so gibt es eine schlechte bzw. gar keine Verbrennung.

**Brennstoffe:**

**Aufbau der Brennstoffe:**

Die beiden Hauptelemente der Brennstoffe sind:

- ↳ Kohlenstoff C
- ↳ Wasserstoff H

**Die verschiedenen Brennstoffe:**

Brennstoff	Zustand	Molekül-Grösse	H-Anteil (Wasserstoff)	C-Anteil (Kohlenstoff)	N-Anteil (Stickstoff)	S-Anteil (Schwefel)
Methan	Gasförmig	Klein	Gross	Klein	Klein	Klein
Aethan	Gasförmig	Klein	Gross	Klein	Klein	Klein
Propan	Gasförmig					
Butan	Gasförmig					
Benzin	Flüssig					
Kerosin	Flüssig	5 - 15	Gross	Gross	Gross	Gross
Heizöl el	Flüssig					
Heizöl m	Flüssig					
Heizöl s	Flüssig	Gross	Klein	Gross	Gering	Null
Steinkohle	Fest					
Braunkohle	Fest					
Holz	Fest					



### **Luftüberschuss:**

Kann angegeben werden als:

- ↳ Luftüberschuss  $Lü$  = Luftüberschussmenge in % des theoretischen Luftbedarfs
- ↳ Luftüberschusszahl  $\lambda$  (Lambda) = Faktor des theoretischen Luftbedarfs

### **Schadstoffe bei der Verbrennung:**

#### **Russ, Kohlenwasserstoffe, Geruchstoffe, Teer, Dioxin:**

- ↳ Entstehen durch unvollständige und schlechte Verbrennung
- ↳ Ist eine Kohlenwasserstoffverbindung

#### **Kohlenmonoxid:**

- ↳ Entsteht bei jeder schlecht verlaufenden Verbrennung
- ↳ CO-Emissionen gelten als Leitparameter für schlecht funktionierende Motoren, Öl- oder Gasfeuerungen Kehrlichtverbrennungsanlagen etc....
- ↳ Kohlenmonoxid ist giftig
- ↳ CO kann nachverbrannt werden

#### **Ozon:**

- ↳ Entsteht an jeder oberfläche, die oxidierbar ist
- ↳ Führt zu Sommersmog

#### **Schwefeldioxid:**

- ↳ Entsteht durch Oxidation von schwefelhaltigen Brennstoffen
- ↳ Führt zu saurem Regen

#### **Stickoxide ( $No_x$ ):**

- ↳ Reaktion zwischen Stickstoff und Sauerstoff

## Wasser:

### Anomalie des Wassers:

- Die Dichte von Wasser ist bei +4°C am grössten
- Siedepunkt bei 100°C (statt rechnerisch –100°C)
- Weil sich die Dichte wie oben beschrieben verhält, schwimmt das Eis auf dem Wasser (Die Dichte von Eis ist deutlich tiefer als die von Wasser)

### Das Wassermolekül:

- Das Wassermolekül besteht aus **1 Sauerstoffatom und 2 Wasserstoffatomen**
- Es ist eine Elektronenpaarbindung
- Weil die Atome asymmetrisch angeordnet sind, wird das Molekül Polar (die Ladung ist verschoben) = **Dipol**

### Eigenschaften von Wasser:

#### Wasserstoffbrücke:

Durch die Dipolkraft der Wassermoleküle haften mehrere Wassermoleküle aneinander und bilden eine Kette (=Wasserstoffbrücke).

Im Innern eines Wasservolumens wirken diese Kräfte allseitig. An der Oberfläche können sie sich jedoch nur noch horizontal auswirken. Dadurch entsteht eine Spannkraft, die **Oberflächenspannung**.

Durch Seife oder Waschmittel wird die Oberflächenspannung zerstört.

#### Wasser als Lösungsmittel:

Wasser ist ein ausgezeichnetes Lösungsmittel. Es kann andere Stoffe auf zwei Arten lösen:

- Wasser kann zu anderen Stoffen Wasserstoffbrücken bilden
- Wassermoleküle können sich durch ihre Dipolkraft um die entgegengesetzt geladenen Salz-Ionen lagern

**Wasserhärte:**

Unter der **Wasserhärte** versteht man den **Gehalt an Calcium- und Magnesiumverbindungen** (Mineralien oder Erdalkalien) **im Wasser**.

Oberflächenwasser hat eine geringere Härte als Quell- und Grundwasser, da im planktonreichen See eine biologische Entkalkung stattfindet.

Umrechnungstabelle für Härteangaben:

	mval/l	SI mmol/l	franzö- sische °f	deutsche °d	englische °e	amerika- nische ppm CaCO <sub>3</sub>
1 mval/l	1.0	0.5	5.0	2.8	3.5	50
1 mmol/l	2.0	1.0	10.0	5.6	7.02	100
1 °f	0.2	0.1	1.0	0.56	0.7	10
1 °d	0.375	0.18	1.78	1.0	1.25	17.8
1 °e	0.286	0.14	1.43	0.8	1.0	14.3
1ppmCaCO <sub>3</sub>	0.02	0.01	0.1	0.056	0.07	1.0

Man unterscheidet zwischen Carbonhärte , Nichtcarbonhärte und Gesamthärte.

**Carbonathärte:**

= Derjenige **Anteil an Calcium und Magnesium**, welcher **an Hydrogencarbonat** (auch Bicarbonat genannt) (**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**) **und Carbonat (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)** gebunden sind.

Folgende Carbonathärteverbindungen sind möglich:

Kationen	Anionen	Hydrogen-Carbonate	Carbonate
Calcium		Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub>
Magnesium		Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	MgCO <sub>3</sub>

**Carbonathärte entsteht** dadurch, dass die Mineralien **Calcium und Magnesium durch Kohlensäure (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) gelöst** werden. Es muss aber zusätzlich noch freie Kohlensäure vorhanden sein.

Bei der **Erwärmung** von Wasser entweicht freie Kohlensäure. Als Folge werden **Carbonathärte-Verbindungen zerfallen**.

Carbonathärte, die **ausgeschieden** wird (Kalk) nennt man **Wasserstein**. (Harte Wassertemperaturen ergeben harte bis sehr harte Ablagerungen.)

### Nichtcarbonathärte:

= Alle Calcium- und Magnesiumverbindungen ohne die Calciumcarbonate und die Magnesiumcarbonate. Daran sind die Mineralien an den Säureresten von Salzsäure, Schwefelsäure usw. gebunden.

Folgende Nichtcarbonathärte-Verbindungen sind möglich:

Anionen Kationen	Sulfate	Chloride	Nitrate	weitere
Calcium	CaSO <sub>4</sub>	CaCl <sub>2</sub>	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	....
Magnesium	MgSO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	....

**Nichtcarbonathärte entsteht** dadurch, dass die Mineralien **Calcium und Magnesium durch Salzsäure, Schwefelsäure usw. gelöst** werden.

Bei der Erwärmung des Wassers bleiben die Nichtcarbonate im Wasser gelöst. **Es findet durch Erwärmung keine Ausscheidung statt.**

Eine Ausscheidung der Nichtcarbonathärte entsteht durch **Eindickung** (durch das laufende Verdunsten). Es entsteht eine **Schlammartige Ausscheidung (Kesselstein)**. Hohe Temperaturen ergeben harte bis sehr harte Ablagerungen.

### Gesamthärte:

↳ **Gesamthärte = Carbonathärte + Nichtcarbonathärte**

Oder

↳ **Gesamthärte = Calciumhärte + Magnesiumhärte**

### Kohlensäure / Kohlendioxid:

Natürliches Wasser enthält freies Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in gasförmig gelöster oder ungelöster Form. Zudem enthält Wasser Kohlensäure (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), die durch Verbindung von Kohlendioxid und Wasser entstanden ist.

Aggressiv wirkt im Wasser nur das überschüssige Kohlendioxid, das nicht zu einer Carbonat- oder Hydrogencarbonat-Verbindung gehört.

### Das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht:

Das Verhältnis von Carbonathärte und notwendigem Gehalt an freiem Kohlendioxid ist bei natürlichem Wasser normalerweise im „Gleichgewicht“.

Dieses Verhältnis ändert sich aber, wenn Wasser zum Beispiel erwärmt wird (Tillmans'sche Gleichgewichtskurve).

↳ Zu wenig freies Kohlendioxid führt zu Kalkausscheidung

↳ Zu viel freies Kohlendioxid führt zu Kalkaggressivität

### **Messung der Wasserhärte:**

Die Messung der Wasserhärte ist am einfachsten mit einem Indikator-Test-Set. Diese Messung ist relativ genau. (Achtung: Es ist auf das Ablaufdatum auf der Packung zu achten)

### **Verunreinigungen:**

#### **Grobdisperse Stoffe:**

Größenordnung  $>10^{-3}$ mm  
Mit den Augen wahrnehmbar

#### **Kolloiddisperse Stoffe:**

- ✚ Größenordnung  $10^{-3}$  bis  $10^{-6}$ mm
- ✚ Mit Augen nicht wahrnehmbar
- ✚ Mit herkömmlichen Filtern oft nicht abscheidbar

#### **Molekulardisperse Stoffe:**

- ✚ Größenordnung  $<10^{-6}$ mm
- ✚ Darunter fallen auch Ionen und Moleküle
- ✚ Wasser bleibt trotz Verunreinigungen klar

#### **Schutz-Kolloide:**

- ✚ Stoffe, die andere Stoffteilchen im Wasser umhüllen

### **Wasserhygiene:**

#### **Keime, Bakterien:**

- ✚ Mikroorganismen
- ✚ Auf Nährböden züchtbar
- ✚ Können lebenswichtig und schädlich sein

#### **Viren:**

- ✚ Parasiten
- ✚ Können Krankheiten hervorrufen
- ✚ Haben keinen eigenen Stoffwechsel, können sich aber vermehren
- ✚ Sind sehr wirtsspezifisch
- ✚ Viren sind deutlich kleiner als Bakterien

### Legionellen:

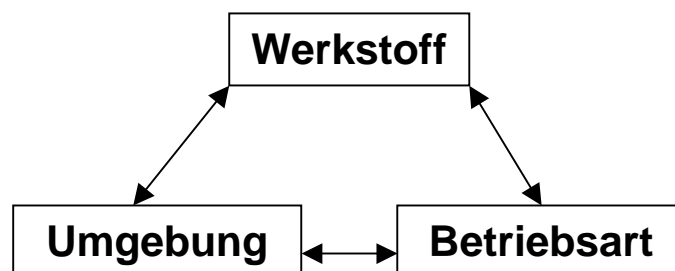
- ↳ Ist für die Legionärskrankheit verantwortlich
- ↳ Infektion durch Einatmen von legionellenhaltigen Aerosolen (kleinste Wassertröpfchen)
- ↳ Sind fast überall im Wasser anzutreffen
- ↳ Wichtig: keine stagnierende Wasserleitungen

---

### Korrosion:

Alle von der Oberfläche eines Metalls ausgehenden unfreiwilligen, durch chemische, elektrochemische, mechanische oder thermische Ursachen hervorgerufenen Veränderungen des metallischen, ursprünglichen Zustandes bezeichnet man als Korrosion.

Bei der Bewertung/Analyse von Korrosionen müssen immer folgende Einflüsse beachtet werden.



### Die elektrolytische Spannung

Alle Werkstoffe haben die Tendenz, Energie abzugeben. Wenn ein Metall in einen Elektrolyten (leitende Flüssigkeit) getaucht wird, so hat es die Tendenz, in Lösung zu gehen. Das bedeutet, dass Metalle Ionen abspalten und an den Elektrolyten abgeben.

Als Einheit für den „Lösungsdruck“ der verschiedenen Metalle wurde die elektrolytische Spannungsreihe aufgestellt. (in Volt)

Dabei wurde Wasserstoff mit einer Spannung von 0 Volt angenommen, und alle anderen Stoffe werden mit dem Wasserstoff „verglichen“.

Werkstoff	Volt
Lithium	-2.96
Kalium	-2.92
Calcium	-2.87
Natrium	-2.71
Magnesium	-2.40
Aluminium	-1.70
Mangan	-1.10
Zink	-0.76
Chrom	-0.56
Eisen	-0.44
Cadmium	-0.40
Kobalt	-0.29
Nickel	-0.22
Zinn	-0.14
Blei	-0.12
Wasserstoff	0
Antimon	+0.20
Wismut	+0.20
Arsen	+0.30
Kupfer	+0.35
Sauerstoff	+0.39
Silber	+0.80
CrNiMo-Stahl	+0.80
Quecksilber	+0.85
Platin	+1.07
Gold	+1.30

unedler



edler

Wenn nun verschiedene Stoffe im Elektrolyt in Berührung kommen, so wird immer **der unedlere durch den edleren Stoff zerstört**.

Beispiel: Eisen kann im Elektrolyt durch Kupfer zerstört werden.

### Die elektrolytische Korrosion

Bedingung für eine elektrolytische Korrosion ist:

- Die Stoffe müssen mit einem **Elektrolyten** in Berührung sein
- Die Stoffe müssen eine **elektrolytische Spannungsdifferenz** aufweisen
- Die Stoffe müssen **elektrisch verbunden** sein (Stromkreis geschlossen)

Es kann jedoch auch eine Materialzerstörung vorkommen, wenn zwei gleiche Stoffe vorliegen. In diesem Fall muss von aussen eine Elektrische Spannung zugeführt werden.

Man nennt dies **vagabundierender Strom**. Er kommt vor allem bei grösseren Gleichstromanlagen vor.

Zum Beispiel: Privatbahnen  
Bergbahnen  
Tram  
Gleichrichteranlagen

Die **Schadenstelle** ist in solchen Fällen **immer an einem Ort, wo der Strom austreten kann**. Zum Beispiel: Rohrschellen ohne Gummieinlage, die mit der Armierung verbunden ist.

Eine Gleichstromquelle kann aber auch eingesetzt werden, um Material zu schützen. Hier wird eine **Anode absichtlich geopfert** (Opferanode), um die Kathode (das Werkstück) zu schützen.

### Sauerstoffkorrosion

Dies ist eine Korrosion zwischen Eisenwerkstoffen und Sauerstoff. Das Prinzip ist das selbe wie bei der elektrolytischen Korrosion (Spannungsdifferenz). Wenn Sauerstoff im Elektrolyten das Werkstück berührt, ist die elektrische Verbindung hergestellt und der Strom (Elektronen) kann fließen.

Deshalb:

**In Heizungsanlagen sollte der Sauerstoff einige Wochen nach der Füllung aufgebraucht sein. Dann ist kaum noch Sauerstoff nachzuweisen. Das Füllwasser sollte möglichst nicht ausgewechselt werden, da sonst neuer Sauerstoff zugeführt wird.**

### Säurenkorrosionen

- ☒ Einfach zu erkennen
- ☒ Säurenkorrosion = **Flächenkorrosion** (greift die gesamte Metalloberfläche an)
- ☒ Bsp: Wasser in Leitungen wird braun (nach Ferien)
- ☒ Meistens ist **Kohlensäure** der Grund für die Korrosion (Bsp: nach Enthärter)

Bei Säurekorrosionen mit **Kohlensäure** entsteht **Wasserstoff**. Dieser kann in geschlossenen Systemen (Heizung) an der Entlüftungsstelle nachgewiesen werden (die entweichende „Luft“ ist **brennbar**)

Abhilfe: Ist nicht immer notwendig. Wenn jedoch das rostbraune Wasser stört, kann mit einer Schutzmitteldosierung (z.B. Silikat) entgegengewirkt werden. Wichtig ist jedoch eine vorgängig gründliche Spülung.



### Ablagerungskorrosionen, Muldenkorrosion

- ↳ Häufige Erscheinungsform bei Sanitär- und Heizungsinstallationen
- ↳ Vorwiegend bei ungenügend durchflossenen Leitungen (Überdimensionierung)

In schlecht durchflossenen Heizungssystemen kann sich der **Rost** (Eisenhydroxid), welcher durch Sauerstoffkorrosion entstanden ist **ansammeln**. Die Korrosion beschränkt sich dann auf **einzelne Stellen**. Es entstehen **Rostpusteln**. Wenn man diese wegwischt, erscheint **darunter** eine **Korrosionsmulde**. Weiter wird unter den Ablagerungen **kein Sauerstoff nachgeführt**, was zu **Potentialdifferenzen** und zu **lokalen Anoden** führt.

Abhilfe bei Saniärinstallationen:

- ↳ **Systemspülung** und anschliessende Verbesserung der Zirkulation
- ↳ Andere Materialien
- ↳ Entleerung im Stillstand
- ↳ Schmutzfilter (ca. 50µm)
- ↳ **Wasserbehandlung** (z.B. mit Silikat) allein **bringt nichts**, da die Wirkung nur in den durchströmten Leitungen gewährleistet ist.

Abhilfe bei Heizungsinstallationen:

- ↳ **Systemspülung** und Einbau einer **Opferanode** (ökologische Lösung)
- ↳ Zugabe von **Korrosionsschutzmittel** (Einsatz von Chemie)

### Spannungsrissskorrosionen

Können an nicht rostenden Stählen, Messing oder harten Kupferrohren entstehen.

#### Nichtrostende Stähle:

„Nichtrostende“ und „rostfreie“ Stähle gibt es nicht. Die Stähle sind nur mehr oder weniger beständig gegen gewisse Stoffe.

Die Anwesenheit von Chlorid-Ionen kann für „nichtrostende Stähle“ sehr gefährlich sein. **Chloride zerstören** die schützende **Passivitätsschicht**. Es bilden sich **kleine Löcher**, von denen aus sich **Spannungsrisse** bilden. Durch **Zugspannung** wird die Bildung von Spannungsrisen noch zusätzlich **begünstigt**. Zugspannung **allein** (ohne Chlorid-Ionen) kann bei richtiger Dimensionierung **nie** zu Spannungsrisen führen.

**Chlorid-Ionen kommen auch bei unzureichend funktionierenden Entsalzungs- und Enthärtungsanlagen ins Wasser.**

**Bei einem Chloridgehalt von über 50mg/l ist die Beständigkeit von „rostfreien Stählen“ mit dem Lieferanten zu klären!!!**

### Messing:

Messing ist stark **ammoniakempfindlich**. Ammoniak kann von ammoniakhaltigen Dämmstoffen, von Silikonen und Harnstoffen stammen.

An Armaturen aus Messing und zum Teil auch aus Buntmetallen können, durch Ammoniak, feine Risse entstehen, welche über die ganze Armatur führen.

### Hartkupferrohre:

Stickstoffverbindungen (also auch Ammoniak) könne Hartkupferrohre angreifen (kommt eher selten vor). Hartkupferrohre haben zudem innere Spannungen. Sie sind deshalb leicht anfällig auf Spannungsrisskorrosion.

### Abhilfe:

- ↳ Vermeidung von Kontakt der vorgenannten Werkstoffe mit den verantwortlichen Stoffen.
- ↳ Möglichst **spannungsfreie Apparateherstellung** und Montage von spannungsrissgefährdeten Werkstoffen
- ↳ Einwandfreier Unterhalt an den **Wasserenthärtungsanlagen**
- ↳ Eventuell regelmässige Wasserkontrolle

### Spaltkorrosionen

Bei sauerstoffhaltigen Systemen könne **Spaltstellen** (z.B. **schlechte Verhanfung**) zu **Potentialdifferenzen** führen, die zu Korrosionen führen (vergleich Lochfrass).

Bei der **Schweissnahtkorrosion** sind die Korrosionsstellen auf einer Linie. Sie entsteht durch ungenügende Schweissnähte, die teilweise inne einen scharfkantigen **Schweissgrat** und einen **Spalt** aufweisen. An diesen Stellen ist die **Zinkschicht** sehr dünn oder gar nicht vorhanden, und es kann keine schützende Schutzschicht gebildet werden.

Abhilfe:

- ↳ Nur **gütegesicherte** Rohre mit glatter inneren Verzinkung verwenden
- ↳ **Vermeidung von Spalten, Poren, Ritzen, Rissen** usw., die in Wasserkontakt stehen.

### Lochfrass

#### **Schlecht durchströmte Leitungen (mit Sauerstoff):**

Bei unterschiedlicher Sauerstoffverteilung läuft der Kathodenvorgang dort ab, wo die grösste Sauerstoffkonzentration ist, während sich der anodische Vorgang auf Stellen mit kleinerer Sauerstoffkonzentration beschränkt (schlecht durchströmte Stellen; **unbenützte Leitungen**).

#### **Kohlenstoff-Filme auf Kupferrohren:**

Fabrikationsbedingte **Kohlenstoff-Filme** (schwarze, verkohlte Ziehmittelreste an der Innenwand) oder Kohlenstoff-Filme, die beim Hartlöten entstanden sind, **verhindern einen lückenlosen Aufbau der schützenden Deckschicht**.

Bei Kupferrohren der neueren Generation sollten diese Kohlenstoff-Filme nicht mehr vorhanden sein (matte rötliche Innenwand).

#### **Lötfettablagerungen auf Kupfer:**

Unter diesen Ablagerungen kann sich die Schutzschicht ebenfalls nicht einwandfrei ausbilden.

#### **Anionenverhältnis:**

Je nach Verhältnis der Konzentration von Chlorid-, Sulfat- und Nitrat-Ionen zur Carbonathärte kann Lochfrass auftreten.

#### **Abhilfe:**

- ↳ Einwandfreie Materialien verwenden
- ↳ Bei der Planung darauf achten, dass keine stillstehenden Leitungen entstehen
- ↳ Saubere Verarbeitung und Montage, so dass keine Lötfettablagerungen entstehen und die Rohre nicht zu stark erwärmt werden.

### **Blasenkorrosion und Zinkgeriesel**

Blasenbildung und Zinkgeriesel sind von Auge meist nicht voneinander zu unterscheiden.

Blasenbildung in verzinkten Stahlrohren tritt nur bei Warmwassersystemen auf. Grund: zu hohe Wassertemperaturen.

Zinkgeriesel kommt bei minderwertig verzinkten Stahlrohren vor. Dabei wird der innere Zinküberzug abgelöst

Zinkgeriesel kann aber auch bei entsprechender Wasserqualität entstehen (z.B. hoher Nitratgehalt). Festzustellen sind die Partikel als braune bis graue Körner (wie Sand).

Abhilfe:

- ↳ Nur gütegesicherte Rohre mit normgerechter Verzinkung verwenden
- ↳ Warmwassertemperaturen nicht über 60°C
- ↳ Wasserzusammensetzung beachten

### Erosion

- ↳ Vor allem in Warmwasserleitungen aus Kupfer
- ↳ Keine „Korrosionsprodukte“ feststellbar
- ↳ Grund: immer eine hohe Fließgeschwindigkeit
- ↳ Vorwiegend bei Querschnittsänderungen, Bögen, etc.
- ↳ Führt zu Materialabbau
- ↳ Auch bei anderen Materialien möglich (z.B. Schieber, Pumpenlaufrädern)

Abhilfe: Fließgeschwindigkeit begrenzen. Bei Kupferleitungen max. 1.8m/s

### Kavitation

- ↳ Bei grossen Strömungsgeschwindigkeiten im Unterdruck-Bereich
- ↳ Ergibt zernarbte, zerklüftete oder sogar schwammartige Struktur
- ↳ Ergibt ein Geräusch wie wenn Sand im Wasser mitgeführt würde

Kavitation entsteht, wenn der örtliche statische Druck kleiner wird, als der Sättigungsdruck des Wassers. So entstehen kurzzeitig Dampfblasen, die sich sofort wieder verflüssigen, wenn der Druck steigt. Aus Werkstücken werden einzelne Stücke gerissen (Kristalle und Kristallgruppen).

Kavitation tritt bei Pumpen auf, wenn die kritische Geschwindigkeit erreicht wird:

$$p_{sta} \leq p_s$$
$$w_{kritisch} = \sqrt{\frac{(p_a - p_s) \cdot 2}{\rho}}$$

$p_{sta}$	=	absoluter statischer Druck	[Pa]
$p_s$	=	statischer Druck	[Pa]
$p_a$	=	absoluter Gesamtdruck	[Pa]
$\rho$	=	Dichte	[kg/m <sup>3</sup> ]

### Aussenkorrosionen

= äussere Korrosionen an erdverlegten Leitungen und Armaturen.

Unterschied von Innen- und Aussenkorrosion:

Innenkorrosion: Zutritt von Sauerstoff an die Metalloberfläche

Aussenkorrosion: Zutritt von Feuchtigkeit an die Metalloberfläche

Abhilfe gegen Aussenkorrosion:

- ✚ Einwandfreier Korrosionsschutz und korrekte Verlegung bei erdverlegten Leitungen
- ✚ Geeignete Dämmung mit Feuchtigkeitsschutz für Kaltwasser- und Kühlwasserleitungen verwenden

### Massnahmen zum Schutz vor Korrosionen

#### Materialwahl

Die Eigenschaften der Werkstoffe sind bei der Beurteilung von Korrosionsfragen von entscheidender Bedeutung.

Unlegierte und niedriglegierte Eisenwerkstoffe (Stahl, Guss):

- ✚ Werden in Sauerstoffhaltigem Wasser unter Bildung einer **nicht schützenden Rostschicht** angegriffen
- ✚ In Sauerstofffreiem Wasser ist die Korrosion gering
- ✚ Bei Abwesenheit von Sauerstoff sind solche Werkstoffe besonders gefährdet durch Säuren
- ✚ In alkalischer Umgebung weitgehend korrosionsbeständig

*Als Korrosionsschutz kommen folgende Systeme zum Einsatz:*

- ✚ Emailierung
- ✚ Verzinkung (für Wassertemperaturen über 55°C nicht geeignet)
- ✚ Beschichtung (mit organischen Stoffen)

Hochlegierte Eisenwerkstoffe („nichtrostende Stähle“):

- ✚ In sauerstoffhaltigem Wasser, verdünnten Säuren und Alkalien korrosionsbeständig
- ✚ Bilden eine Passivschicht
- ✚ Besonders anfällig bei Anwesenheit von Chlorid-Ionen (siehe Spannungsrisskorrosionen)

### Kupfer und Kupferlegierungen:

- ✚ In sauerstoffhaltigem Wasser, schwachen Säuren und Laugen gutes Korrosionsverhalten
- ✚ Anfällig auf Lochfrass
- ✚ Anfällig auf Erosion
- ✚ Nicht geeignet bei erhöhtem Nitratgehalt
- ✚ Messing ist nicht geeignet im Ammoniak-Milieu

### Aluminium:

- ✚ Nur für geschlossene Kreisläufe mit neutralem Wasser geeignet
- ✚ Anfällig im Kontakt mit Alkalien (zerstören die Oxidschicht)
- ✚ Chlorid-Ionen führen zu Lochfrass
- ✚ Aluminium reagiert in sauerstoffarmen Wasser unter Bildung von Wasserstoff

### Inhibitoren

Inhibitoren oder Schutzmittel werden zur Korrosionsverhinderung eingesetzt. Dabei ist zu beachten, dass Vorschriften und Richtlinien für deren Einsatz einzuhalten sind.

Grundsätzlich gilt:

- ✚ Inhibitoren, Schutzmittel usw. sind immer Chemikalie
- ✚ Jede Neuanlage soll so ausgelegt werden, dass auf den Einsatz von Chemikalien verzichtet werden kann.
- ✚ Für Heizungs-, Klima und Kälteanlagen ist die SWKI-Richtlinie zu beachten

### Kathodenschutz

- ✚ Es wird eine Opferanode eingesetzt (meist Magnesium-Anode)
- ✚ Anode muss mit dem zu schützenden Material verbunden sein, da sonst der Stromkreislauf unterbrochen ist
- ✚ Muss ca. innerhalb 5 – 10 Jahren gewechselt werden
- ✚ Kann mit eingebautem Voltmeter kontrolliert werden

### Physikalische Wassernachbehandler

- ✚ Basieren vor allem auf der erwarteten Wirkung von Magnetfeldern oder Frequenzen
- ✚ Enthalten meist Permanentmagnete, Elektromagnete, Spulen, etc.
- ✚ Das Gütesiegel des SVGW sagt nicht über die Wirkung der Geräte aus

## Nachträgliche Innebeschichtung

- Alternative zu den anderen Massnahmen
- Einwandfreie Ausführung sehr wichtig
- Zuerst muss das System innen mit Druckluft und geeigneten Körnern „sandgestrahlt“ werden

## Behebung von Schäden

- Ermitteln der ursprünglichen Korrosionsursache
- Bei Korrosionsmaterial in den Leitungen -> gründliche Spülung mit geeigneten Spülgeräten

## Beurteilung von Korrosionsgefahren

Bevor die Beurteilung vorgenommen werden kann, müssen folgende Daten vorliegen:

PH-Wert			
Carbonathärte		in	mmol/l
Calcium	Ca <sup>2+</sup>	in	mmol/l (mg/l: 40.1 mmol/mg)
Chloride	Cl <sup>-</sup>	in	mmol/l (mg/l: 35.5 mmol/mg)
Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	in	mmol/l (mg/l: 96 mmol/mg)
Nitrate	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	in	mmol/l (mg/l: 62 mmol/mg)

## Stahl

*Schutzbeschichtung möglich:*

- Bei pH-Wert grösser 7.1 und
- Carbonathärte grösser 1.0 mmol/l und
- Calcium grösser 0.5 mmol/l

**Es müssen alle Werte erfüllt werden**

*Schutzbeschichtung wahrscheinlich:*

- Bei pH-Wert grösser 7.5 und
- Carbonathärte grösser 2.0 mmol/l und
- (Chloride+Sulfate):Carbonathärte kleiner 1.0 mmol/l

**Es müssen alle Werte erfüllt werden**

*Säurekorrosion wahrscheinlich:*

- Bei pH-Wert kleiner 7.1

*Muldenkorrosion wahrscheinlich:*

- Bei (Chloride+Sulfate):Carbonathärte grösser 3.0

*Zinkgeriesel wahrscheinlich:*

- Bei (Chloride+Sulfate):Nitrate kleiner 2.0

### **Kupfer**

*Lochkorrosion möglich:*

- Bei (Chlorid+Sulfate+Nitrate):Carbonathärte bei 0.15 ... 2.0

*Lochkorrosion wahrscheinlich:*

- Bei (Chlorid+Sulfate+Nitrate):Carbonathärte bei 0.5 ... 1.0

Die übrigen Korrosionsarten, wie vor beschrieben, sind mit den geeigneten Mitteln zu verhindern.

### **Chromstahl, Chromnickelstahl**

*Spannungsrissskorrosion möglich:*

- Bei Chloriden grösser 50 mg/l

---

## **Wasseraufbereitung / Wassernachbehandlung**

- Als Grundlage der Wasseraufbereitung gilt die **SWKI-Richtlinie 97-1** (ersetzt 88-4).
- Vor der Inbetriebsetzung einer Wasseraufbereitungsanlage muss das System **gründlich gereinigt und gespült** werden. (Effiziente Spülung heisst: **Wassergeschwindigkeit > 0.5 m/s** und Spülung mit **pulsierendem Luft-Wasser-Gemisch**)
- Geschlossene Systeme müssen gründlich **entlüftet** werden.
- Damit ein **natürlicher Abbau der Carbonathärte**, nicht nur auf der Wärmetauscherfläche, erfolgen kann, muss **das System in den ersten zwei Wochen, ohne zu beheizen, umgewälzt werden**.



### Wasserbeschaffenheit bei Luftbefeuchtern

Gemäss SUVA Merkblatt „Luftbefeuchter (SUVA Form. 444021)  
(KBE = koloniebildende Einheiten)

- ↳ Liegt die Keimzahl **unter 1'000 KBE/ml**, sind **keine weiteren Massnahmen** nötig
- ↳ Liegt die Keimzahl **zwischen 1'000 und 10'000 KBE/ml**, sind **weitere Abklärungen**, insbesondere **Keimzahlbestimmungen in der Luft** und die Überprüfung der gesamten Lüftungsanlage, allenfalls ergänzt durch Befragungen der Beschäftigten, zur definitiven Beurteilung nötig. Ausserdem ist bei solchen Anlagen eine **regelmässige Überwachung der Keimzahl des Wassers nötig**.
- ↳ Liegt die Keimzahl **über 10'000 KBE/ml**, muss die **Befeuchtungsanlage saniert werden**.
- ↳ **Es dürfen im Normalbetrieb keine Desinfektionsmittel zum Niedrighalten der Keimzahl zugesetzt werden.**

Nach der mechanischen Reinigung können die Anlagen mit geeigneten Mitteln desinfiziert werden. Nach der Desinfektion sind die Anlagen gründlich auszuspülen.

### Geschlossene Systeme:

Unter geschlossenen Systemen versteht man Anlagen mit Wasserkreisläufen. Dabei ist ein Druckexpansionsgefäss oder ein offenes Expansionsgefäss ohne Zirkulation möglich. **Das Anlagewasser steht nicht in direktem Kontakt zur Umgebungsluft.**

Geschlossene Systeme müssen normalerweise **nicht nachgespiesen** werden. Das **Kreislaufwasser wird nicht verbraucht**.

#### Heizkreisläufe:

Bei der Härtereduktion, welche sich nach dem Füllen mit Rohwasser spontan einstellt, sinkt der pH-Wert. Andererseits steigt der pH-Wert anlässlich der Korrosionsbildung (z.B. Sauerstoffkorrosion).

#### Kühlkreisläufe:

In geschlossenen Kühlsystemen könne pH-Wert und der Härtegehalt über viele Jahre konstant bleiben.

## Offene Systeme:

Unter offenen Systemen werden Anlagen **mit und ohne Wasserkreisläufen** verstanden, die in **direktem Kontakt zur Umgebungsluft** stehen.

Offene Systeme **müssen normalerweise nachgespeist werden**. Das Kreislaufwasser wird **durch Verdunstung und Absalzung verbraucht**. Dabei muss soviel Wasser nachgespiesen werden, **dass der maximale Salzgehalt im Kreislaufwasser nicht überschritten wird**.

## Eindickungszahl EZ:

Die Eindickungszahl ergibt sich aus dem Verhältnis vom Salzgehalt im Kreislaufwasser zum Salzgehalt im Speiswasser:

$$EZ = \frac{C_A}{C_{Sp}}$$

## Abschlammwasser-Volumenstrom:

$$V'_A = \frac{V'_V * C_{Sp}}{C_A - C_{Sp}}$$

## Speiswasser-Volumenstrom:

$$V'_{Sp} = V'_V + V'_A$$

$C_A$	=	Salzkonzentration im Abschlammwasser *
$C_{Sp}$	=	Salzkonzentration im Speiswasser *
$V'_V$	=	Verdunstungswasser
* = Anstelle des Salzgehaltes kann auch der Leitwert als Konzentrationsparameter eingesetzt werden		

Bemerkungen:

- ☛ Dem hygienischen Zustand von offenen Systemen ist besondere Beachtung zu schenken
- ☛ Die Spritz- und Kreislaufverlust werden einfachheitshalber vernachlässigt

## Wichtige Verfahren der Wassertechnik

### Wasseraufbereitung:

Verfahren, die auf die Änderung der natürlichen Zusammensetzung von Wasser zielen, vor dessen Eintritt in die Anlage (Enthärter, Entsalzer, Gegenosmose usw.)

### Wasserbehandlung:

Methoden, die innerhalb der Anlage wirksam sind und die Optimierung von Eigenschaften des Anlagewassers zum Zweck haben. Hierzu gehört die Dosierung von speziellen Chemikalien, Opferanoden-Schutzverfahren und physikalische Behandlungsgeräte.

**Enthärtung**

Bei der Enthärtung werden dem Wasser die Calcium- und Magnesiumionen entzogen und durch Natriumionen ersetzt. Dabei bleibt der **Gesamtsalzgehalt gleich** gross. Die Regeneration des Ionentauschers erfolgt mit einer Kochsalzlösung.

Carbonate $\text{CO}_3^{2-}$ Hydrogencarbonate $\text{HCO}_3^-$	Sulfate $\text{SO}_4^{2-}$ Chloride $\text{Cl}^-$ Nitrate $\text{NO}_3^-$	Salze vor der Enthärtung
Calcium $\text{Ca}^{2+}$ Magnesium $\text{Mg}^{2+}$	Natrium $\text{Na}^+$	
$\leftarrow$ CH $\rightleftarrows$ NCH $\rightarrow$ GH $\rightleftarrows$		

Carbonate $\text{CO}_3^{2-}$ Hydrogencarbonate $\text{HCO}_3^-$	Sulfate $\text{SO}_4^{2-}$ Chloride $\text{Cl}^-$ Nitrate $\text{NO}_3^-$	Salze nach der Enthärtung
Natrium $\text{Na}^+$		

**Nach der Enthärtungsanlage enthält das Wasser keine Wasserhärte mehr.** Um eine gewünschte Resthärte zu erhalten, muss dem enthärteten Wasser **Rohwasser beigemischt** werden.

**Berechnung von Enthärtungsanlagen**

**a) Volumenstrom Enthärter:**

$$V'_E = \frac{V'_{\max} * (H_R - H_W)}{H_R}$$

$V'_E$	=	Volumenstrom Enthärter	l/sec
$V'_{\max}$	=	Spitzenvolumenstrom	l/sec
$H_R$	=	Rohwasserhärte	mmol/l
$H_W$	=	Weichwasserhärte	mmol/l

**b) Enthärter-Kapazität:**

$$C = \frac{V' * t_1 * (H_R - H_W)}{1000}$$

$C$	=	Enthärterkapazität	mol
$V'$	=	Wasserbedarf pro Tag	l/d
$t_1$	=	Regenerationsperiode (klein wählen!)	d

*Je kleiner die Regenerationsperiode gewählt wird, desto kleiner wird der Enthärter, und umso weniger Salz wird (ohne Nutzen) vergeudet.*

**c) Salzverbrauch:**

$$m = \frac{m_s * C * t_2}{t_1}$$

$m$	=	Salzverbrauch	kg
$m_s$	=	spezifischer Salzverbrauch (ca. 0.2)	kg/mol
$t_1$	=	Regenerationsperiode	d
$t_2$	=	Verbrauchsperiode	d

Hinweis:

Auf dem Markt sind Harze mit sehr verschiedenen Qualitäten erhältlich. Es ist daher ratsam, die spezifischen Werte genau abzuklären. Es kann etwa mit folgenden Werten gerechnet werden:

Billiges Harz:

- ↳ Unterschiedliche Korngrösse
- ↳ spezifischer Salzverbrauch 0.24 bis 0.3 kg/mol
- ↳ spezifische Harzkapazität 0.45 mol/l

Gutes monodisperses Harz:

- ↳ Gleichmässige Korngrösse
- ↳ spezifischer Salzverbrauch 0.18 bis 0.2 kg/mol
- ↳ spezifische Harzkapazität 0.5 mol/l