

04.02.

04.00. Wasserbeschaffenheit

04.02. Eigenschaften des Wassers

Tabelle 04.02./1: Physikalische Konstanten des Wassers
(ALTOWSKI, 1962)

| Bezeichnung | Dimension | Zahlenwert |
|---|-------------------|------------|
| Molekulargewicht (H ₂ O) | | 18,016 |
| Gefriertemperatur (bei p = 1 atm) | °C | 0,00 |
| Siedetemperatur (bei p = 1 atm) | °C | 100,00 |
| Temperatur bei max. Dichte (bei p = 1 atm) | °C | 3,98 |
| Dichte des Wassers | g/cm ³ | |
| bei 0 °C | | 0,999841 |
| bei 3,98 °C | | 0,999973 |
| bei 20 °C | | 0,998203 |
| Dichte des Wassers bei einer Temperatur von 3,98 °C | g/ml | 1,000000 |
| Spezifisches Gewicht des Wassers | | |
| bei 0 °C | | 0,999868 |
| bei 4 °C | | 1,000000 |
| bei 20 °C | | 0,998230 |
| Spezifisches Gewicht des Eises | | 0,9168 |
| Spezifisches Gewicht des Wasserdampfes (Luft = 1) | | 0,624 |
| Gewicht von 1 l gesättigten Wasserdampf (bei t = 100 °C und p = 1 atm) | g | 0,5974 |
| Kritische Wassertemperatur | °C | 374,2 |
| Kritischer Wasserdruck | atm | 218,5 |
| Kritische Wasserdichte | kg/l | 0,324 |
| Spezifische Wärmekapazität cp (bei p = 1 atm) | cal/g·grd | |
| des Wassers (bei t = 15 °C) | | 1,00 |
| des Eises (bei t = 0 °C) | | 0,487 |
| des Wasserdampfes (bei t = 100 °C) | | 0,487 |
| Mol-Wärmekapazität Cp (bei p = 1 atm) | cal/mol·grd | |
| des Eises (bei t = 0 °C) | °C | 8,78 |
| des Wasserdampfes (bei t = 100 °C) | °C | 8,67 |
| des Wasserdampfes (bei t = 15 °C) | °C | 8,00 |
| Latente Schmelzwärme (bei t = 0 °C) | | |
| Latente Verdampfungswärme | cal/g | |
| bei 0 °C | °C | 597,3 |
| bei 100 °C | °C | 539,0 |

04.00. Wasserbeschaffenheit
04.02. Eigenschaften des Wassers

04.02.

Fortsetzung Tabelle 04.02./1

| Bezeichnung | Dimension | Zahlenwert |
|---|------------------|------------------------|
| Wärmeleitfähigkeit des Wassers | cal/cm·s ·grd | |
| bei 0 °C | °C | 0,00120 |
| bei 20 °C | °C | 0,00143 |
| bei 75 °C | °C | 0,00154 |
| Wärmeleitfähigkeit des Wasserdampfes | cal/cm·s ·grd | |
| bei 46 °C | °C | 0,0000458 |
| bei 100 °C | °C | 0,0000551 |
| Oberflächenspannung (bei t = 20 °C, Grenzschicht/feuchte Luft) | dyn/cm | 72,53 |
| Konstante der Gefrierpunktserniedrigung | grd/kg | 1,85 |
| Konstante der Siedepunkterhöhung | grd/kg | 0,516 |
| Ionenprodukt (bei t = 20 °C) | g·Ion/l | 0,86·10 ⁻¹⁴ |
| Konzentration der H-Ionen von reinem Wasser (bei t = 20 °C) | g·Ion/l | 0,927·10 ⁻⁷ |
| Bildungswärme aus Elementen | kcal/mol | |
| flüssiges Wasser | | 68,4 |
| gasförmiges Wasser | | 57,8 |
| Radius der OH-Ionen | Å | 1,53 |

Tabelle 04.02./2: Stoffeigenschaften von reinem Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur bei 1013 mbar = 101,3 kPa (PREISSLER/BOLLRICH, 1980; KITNER u.a., 1977)

| Temperatur T °C | Dichte ρ kg/m ³ | Rel. Raum- ausdehnung 100 β in % | Dynamische Viskosität 10 ³ η in Pa·s (bisher Zentipoise) | Kinematische Viskosität 10 ⁴ ν in m ² /s (bisher Zentistokes) | Dampfdruck p _t N/m ² | Ionenprodukt Mol/kg ² |
|--------------------|------------------------------------|--|--|---|--|-------------------------------------|
| Eis | 916,70 | 9,0 | | | | |
| 0 | 999,84 | 0,0132 | 1,78 | 1,78 | 628,22 | 10 ^{-14,97} |
| 2 | 999,94 | 0,0033 | 1,67 | 1,67 | | |
| 4 | 999,97 | 0 | 1,57 | 1,57 | | |
| 6 | 999,94 | 0,0032 | 1,47 | 1,47 | | |
| 8 | 999,85 | 0,0124 | 1,39 | 1,39 | 1266,56 | 10 ^{-14,52} |
| 10 | 999,70 | 0,0272 | 1,31 | 1,31 | | |
| 12 | 999,50 | 0,0475 | 1,24 | 1,24 | | |
| 14 | 999,24 | 0,0729 | 1,17 | 1,18 | | |
| 16 | 998,94 | 0,1030 | 1,12 | 1,12 | 2411,54 | 10 ^{-14,11} |
| 18 | 998,60 | 0,1378 | 1,06 | 1,06 | | |
| 20 | 998,21 | 0,1768 | 1,01 | 1,01 | | |
| 30 | 995,65 | | 0,80 | 0,80 | | |
| 40 | 992,2 | 0,777 | 0,65 | 0,66 | 7619,64 | 10 ^{-13,47} |
| 60 | 983,2 | 1,71 | 0,47 | 0,48 | 20579,11 | 10 ^{-12,90} |
| 80 | 971,8 | 2,90 | 0,36 | 0,37 | 48839,98 | 10 ^{-12,46} |
| 100 | 958,4 | 4,35 | 0,28 | 0,29 | 104669,83 | 10 ^{-12,23} |

04.02.

04.00. Wasserbeschaffenheit
04.02. Eigenschaften des Wassers

04.00. Wasserbeschaffenheit
04.02. Eigenschaften des Wassers

04.02.

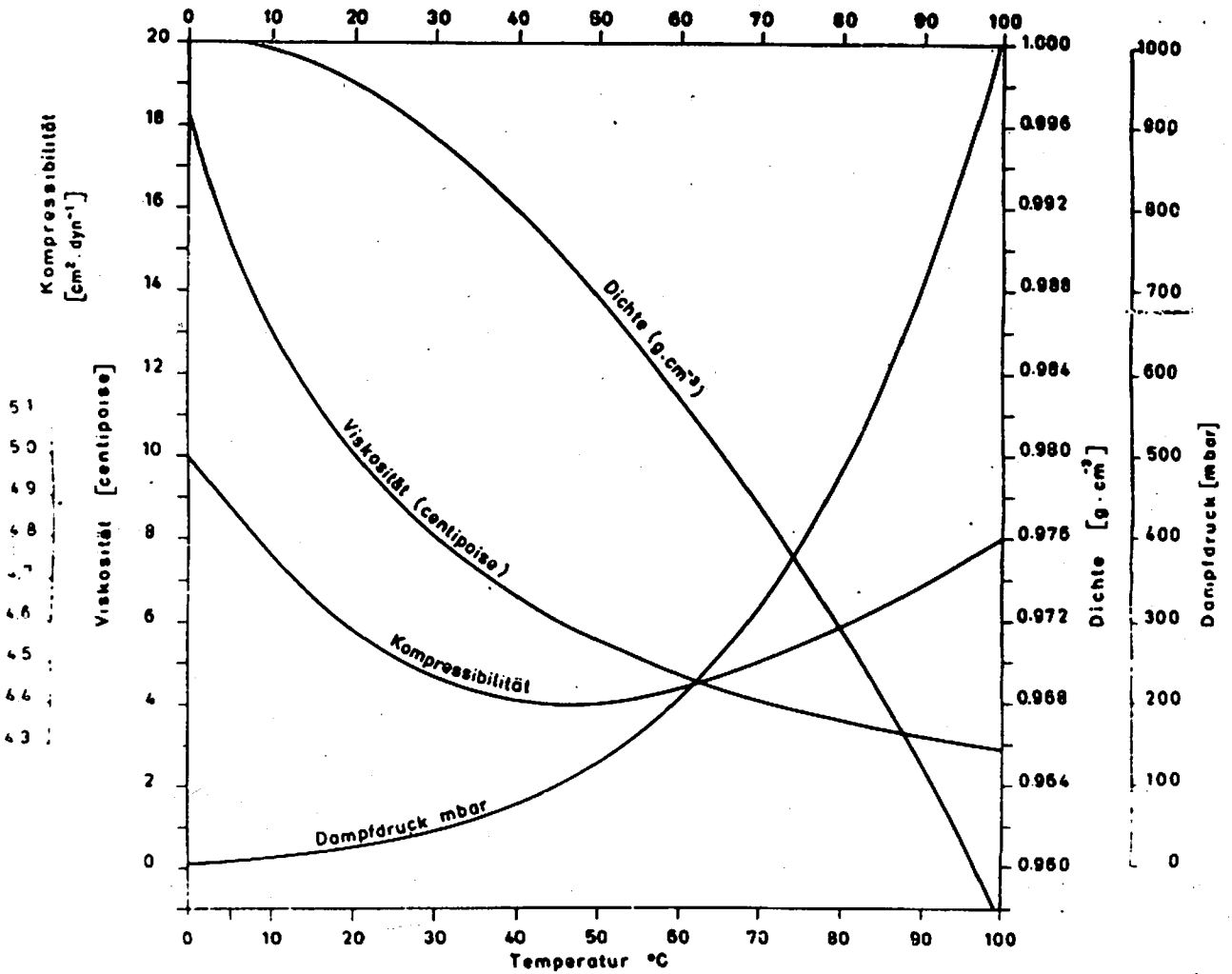


Bild 04.02./1: Temperaturabhängige physikalische Eigenschaften des Wassers (MATTHESS, 1973)

04.02.

04.00. Wasserbeschaffenheit
04.02. Eigenschaften des Wassers

Tabelle 04.02./3: Härtestufen des Wassers
(BUSCH/LUCKNER, 1972)

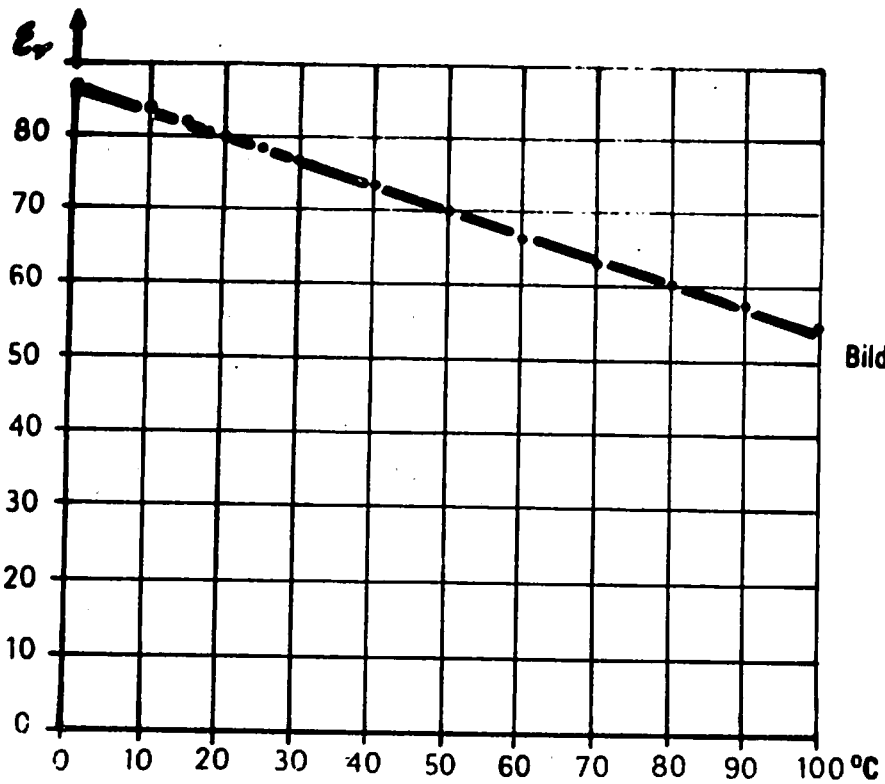
| Gesamthärte in °dH | Bezeichnung des Wassers | Grundwasserleiter, bestehend aus |
|-----------------------|----------------------------|---|
| 0 bis 4 | sehr weich | Granit, Porphyr |
| 4 bis 8 | weich | Gneis, kristalline Schiefer, Sandstein |
| 8 bis 12 | mittelhart | Basalt |
| 12 bis 18 | ziemlich hart | Hartes Kalkgestein |
| 18 bis 30 | hart | Weiches Kalkgestein |
| über 30 | sehr hart | Dolomite, Mergel, Gips |

Tabelle 04.02./4: Elastizitätsmodul E_w des Wassers
(PREISSLER/BOLLRICH, 1980)

| Druck p MPa | Temperatur T °C | E_w MPa |
|----------------|--------------------|--------------|
| 1...2,5 | 0 | 1968 |
| | 10 | 2066 |
| | 20 | 2105 |
| 2,5...5 | 0 | 2102 |
| | 10 | 2101 |
| | 20 | 2171 |
| 5...10 | 0 | 2101 |
| | 10 | 2241 |
| | 20 | 2337 |

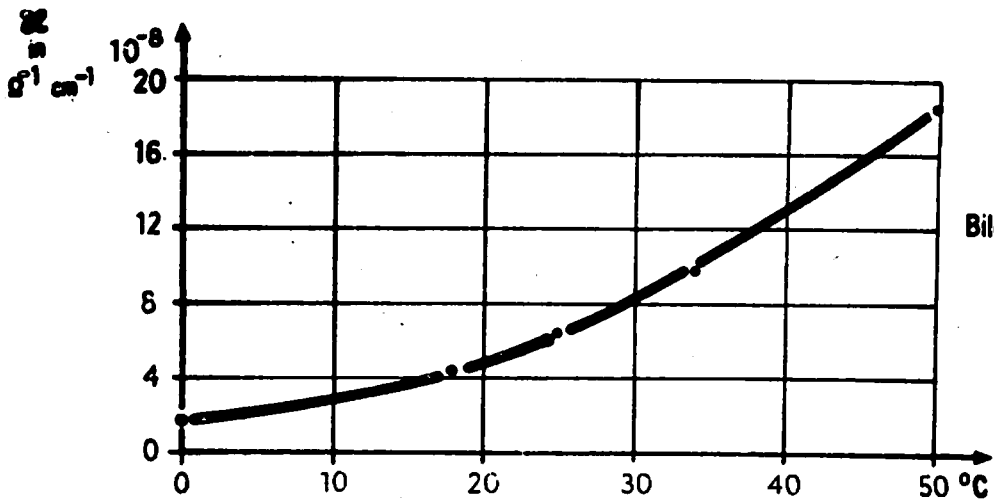
04.00. Wasserbeschaffenheit
04.02. Eigenschaften des Wassers

04.02.



Bild

Bild 04.02./2: Dielektrizitätszahl ϵ_r für Wasser
(nach Angaben von ALTOWSKI, 1962)



Bild

Bild 04.02./3: Spezifische elektrische Leitfähigkeit κ
des reinen Wassers
(nach Angaben von ALTOWSKI, 1962)

04.02.

04.00. Wasserbeschaffenheit
04.02. Eigenschaften des Wassers

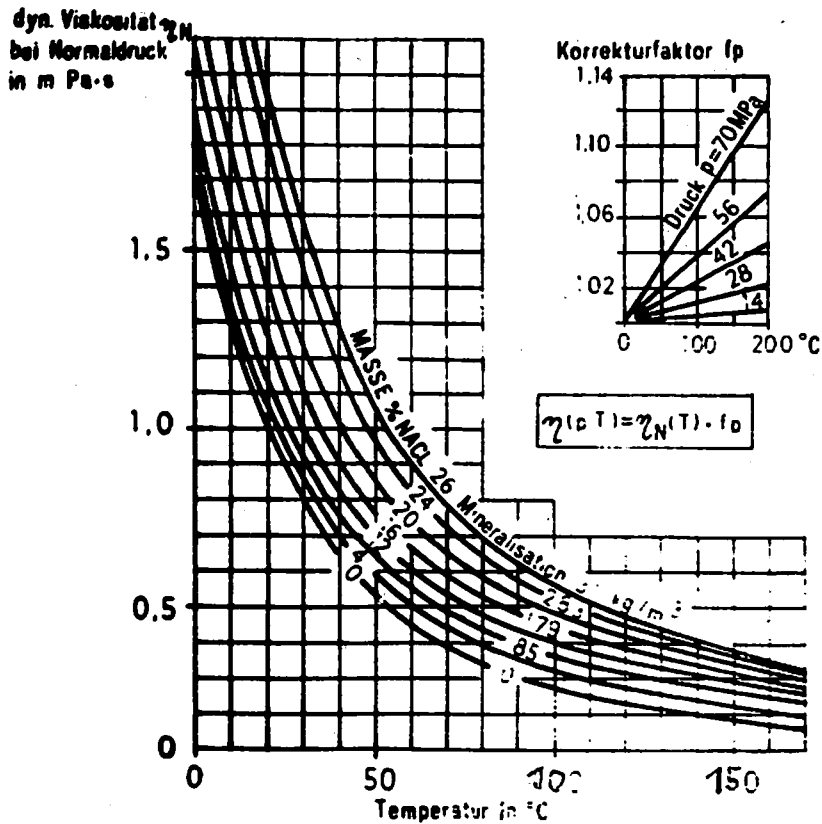


Bild 04.02./4: Dynamische Viskosität mineralisierter Wasser in Abhängigkeit von der Temperatur nach MATTHEWS/RUSSEL (HÄFNER u.a., 1981)

Tabelle 04.02./5: pH-Wertstufen des Wassers

| Reaktion | stark sauer | schwach sauer | neutral | schwach alkalisch | stark alkalisch |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| [H ⁺] | 10 ⁰ –10 ⁻³ | 10 ⁻⁴ –10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁸ –10 ⁻¹⁰ | 10 ⁻¹¹ –10 ⁻¹⁴ |
| pH-Wert . | 0–3 | 4–6 | 7 | 8–10 | 11–14 |

04.00. Wasserbeschaffenheit
04.02. Eigenschaften des Wassers

04.02.

Tabelle 04.02.6: pH-Werte in natürlichen Wässern und Sedimenten
(RÖSLER/LANGE, 1975)

pH-Wert Art der Wässer und Sedimente

| | | | | | |
|----|---|---|---|---|--|
| 0 | ↓ | Schwefelsäurewässer in Wüstenböden | | | |
| 1 | ↑ | Kraterseen | | ↑ | saure Thermalwässer |
| 2 | ↑ | Wässer in Alaunschiefertagebauen (in Trockenzeiten) | | ↑ | Weichbraunkohlen |
| 3 | ↓ | gleichfalls in Tagebauen von disseminated copper ores und in Steinbrüchen von schwefelkieshaltigen Sedimenten | | ↓ | Grubenwässer |
| 4 | ↑ | Moorwässer | | | |
| | ↓ | Torfwässer, Wässer in torfigen Wiesen | | | |
| 5 | ↑ | Wässer in Braunkohlentagebauen | ↑ | ↑ | Lößböden |
| | ↓ | Tertiärsande | ↓ | ↓ | Böden auf Gneis, Porphy, Granit, Sandstein |
| 6 | ↑ | Regenwässer | ↑ | ↑ | normale Ackerböden |
| | ↓ | Quellen in Kalkgebieten | ↓ | ↓ | Böden auf Basalt und Diabas |
| 7 | ↑ | See- und Flußwässer | | | |
| 8 | ↑ | Meerwasser vom Schwarzmeertyp (1000 m Tiefe) | | | |
| 9 | ↑ | See- und Flußwässer in Kalkgebieten | ↑ | ↑ | Geschichtsmergel |
| | ↓ | Meerwasser (Oberfläche) | ↓ | ↓ | Pleistozäner Bänderton |
| | ↑ | basisches Grundwasser | | | |
| 10 | ↓ | Wässer in ariden Alkaliböden | | | |

04.02.

04.00. Wasserbeschaffenheit

04.02. Eigenschaften des Wassers

Tabelle 04.02./7: Temperaturabhängigkeit des pH-Wertes des Neutralpunktes von reinem Wasser (MATTHESS, 1973)

| Temperatur °C | pH | Temperatur °C | pH | Temperatur °C | pH |
|------------------|------|------------------|------|------------------|------|
| 0 | 7,47 | 24 | 7,00 | 45 | 6,70 |
| 5 | 7,37 | 25 | 6,99 | 50 | 6,63 |
| 10 | 7,27 | 30 | 6,92 | 55 | 6,57 |
| 15 | 7,17 | 35 | 6,84 | 60 | 6,51 |
| 20 | 7,08 | 40 | 6,77 | | |

Tabelle 04.02./8: Angenäherter Gleichgewichts-pH-Wert für 10 °C (KITNER u.a., 1977)

| KH °dH | GH °dH | NKH °dH | pH Gleichgew. |
|-----------|-----------|------------|---------------|
| 0,5 | 1 | 0,5 | 10,1 |
| | 3 | 2,5 | 9,6 |
| | 10 | 9,5 | 9,1 |
| 2,0 | 3 | 1 | 9,0 |
| | 5 | 3 | 8,8 |
| | 10 | 8 | 8,5 |
| 5,0 | 6 | 1 | 8,3 |
| | 10 | 5 | 8,1 |
| | 15 | 10 | 8,0 |
| 8,0 | 10 | 2 | 7,8 |
| | 15 | 7 | 7,8 |
| | 20 | 10 | 7,7 |
| 15,0 | 20 | 5 | 7,4 |
| | 30 | 15 | 7,1 |
| | 50 | 35 | 7,0 |

Anmerkung: Der Gleichgewichts-pH-Wert ist der pH-Wert, der dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht entspricht. Bei natürlichen Wässern liegt er fast immer über 7,0.

04.00. Wasserbeschaffenheit

04.02. Eigenschaften des Wassers

04.02.

Tabelle 04.02./9: Löslichkeit von Gasen in Wasser
(Gasdruck + Dampfdruck des Wassers = 760 mg Hg)
(KLITZSCH/BALDEWEG, 1955)

| Temp. [°C] | Luft-O ₂ [mg/l] | N ₂ [mg/l] | H ₂ [mg/l] | CO ₂ [mg/l] | NH ₃ [g/l] | SO ₂ [g/l] | HCl [g/l] | Cl ₂ [g/l] |
|------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| 0 | 14,6 | 29 | 1,9 | 3340 | 875 | 228 | 825 | 14,6 |
| 10 | 11,3 | 23 | 1,7 | 2318 | 684 | 154 | 772 | 9,97 |
| 20 | 9,09 | 19 | 1,6 | 1688 | 518 | 106 | 673 | 7,29 |
| 30 | 7,49 | 16 | 1,5 | 1257 | 408 | 76 | 633 | 5,72 |
| 40 | 6,41 | 14 | 1,4 | 973 | 338 | 55 | 596 | 4,59 |
| 50 | 5,50 | 12 | 1,3 | 761 | 284 | 41 | 561 | 3,93 |
| 60 | 4,09 | 11 | 1,2 | 576 | 238 | 33 | — | 3,29 |
| 70 | 3,81 | 9 | 1,0 | — | 194 | 26 | — | 2,79 |
| 80 | 2,81 | 7 | 0,8 | — | 154 | 21 | — | 2,23 |
| 90 | 1,59 | 4 | 0,5 | — | 114 | 18 | — | 1,27 |
| 100 | 0 | 0 | 0 | — | 74 | 0 | — | 0 |

Tabelle 04.02./10: Löslichkeit von Gasen in Wasser bei erhöhtem Druck (KLITZSCH/BALDEWEG, 1955)

| Gas | at | 0°C | 20°C | 25°C | 50°C | 60°C | 75°C | 90°C | 100°C | 120°C | 140°C | 160°C |
|--------------------------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| O ₂ [mg/l] | 1 | 14,6 | 9,09 | 8,3 | 5,5 | 4,7 | 3,3 | 1,6 | 0 | 0 | — | — |
| | 1,4 | 34,7 | 21,7 | 19,7 | 11,4 | 8,4 | 4,8 | 2,2 | 1,4 | 0 | — | — |
| | 4,2 | 74,7 | 46,8 | 42,4 | 24,5 | 18,1 | 10,4 | 5,8 | 5,0 | 3,4 | — | — |
| | 5 | — | — | — | — | — | — | — | 6,1 | 4,9 | 2,3 | — |
| | 7 | 114,7 | 71,7 | 65,1 | 37,6 | 27,7 | 16,0 | — | 9,0 | 7,2 | 5,0 | 1,4 |
| N ₂ [mg/l] | 1 | 29 | 19 | 17 | 12 | 11 | — | 4 | 0 | — | — | — |
| | 3,5 | — | — | 435 | 341 | — | 318 | — | — | — | — | — |
| | 51 | — | — | 843 | 667 | — | 618 | — | — | — | — | — |

Tabelle 04.02./11: Löslichkeit von Salzen in Abhängigkeit von der Temperatur (KLITZSCH/BALDEWEG, 1955)

| Salz [g/l] | 0°C | 20°C | 40°C | 50°C | 60°C | 80°C | 100°C |
|---|------|------|------|------|------|------|-------|
| Na ₂ SO ₄ | 184 | 352 | 481 | 466 | 453 | 431 | 423 |
| NaCl | 356 | 359 | 363 | 367 | 371 | 381 | 392 |
| Na ₂ CO ₃ | 69 | 216 | 489 | 474 | 462 | 445 | 445 |
| NaOH..... | 432 | 1070 | 1260 | 1450 | 1780 | 3137 | 3410 |
| Na ₂ SO ₃ | 142 | 266 | 370 | — | 332 | 290 | 266 |
| CaCl ₂ | 603 | 745 | 1282 | 1323 | 1368 | 1470 | 1590 |
| MgCl ₂ | — | 543 | 575 | 587 | 607 | 659 | 727 |
| MgSO ₄ | 356 | 356 | 454 | — | 544 | — | 480 |
| FeCl ₃ | 745 | 919 | — | 3150 | 3730 | 5251 | 5370 |
| Al ₂ (SO ₄) ₃ ... | 312 | 363 | 456 | — | 580 | 730 | 890 |
| CuSO ₄ | 1,79 | 2,04 | 2,12 | 2,01 | — | — | 1,62 |
| Ca(OH) ₂ | 1,30 | 1,18 | 1,00 | 0,83 | — | 0,73 | 0,52 |
| CaCO ₃ mg/l. | 95 | 58 | 39 | — | 27 | 20 | 15 |
| Mg(OH) ₂ mg/l | 10 | 9,9 | 9,5 | — | 8,0 | 6,1 | 4,5 |

04.02.

04.00. Wasserbeschaffenheit

04.02. Eigenschaften des Wassers

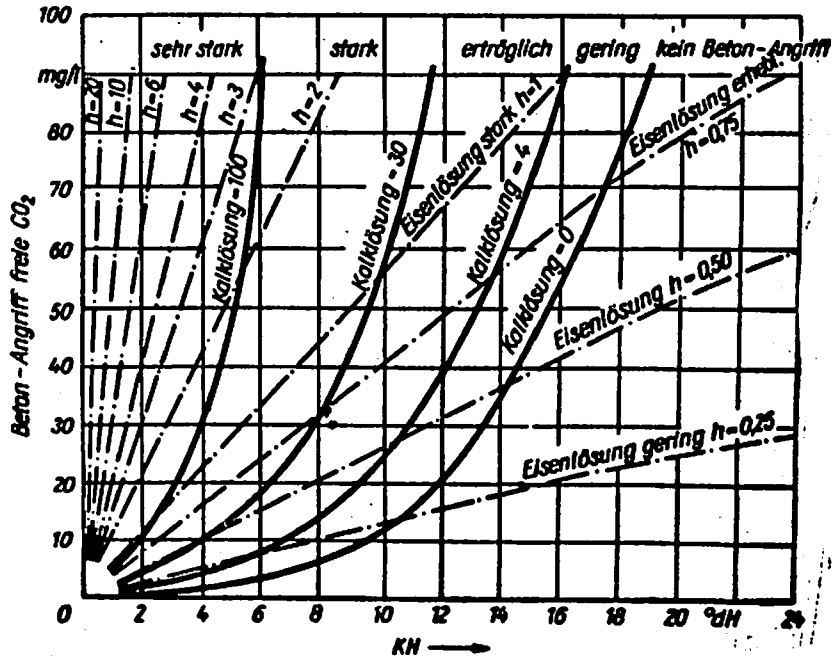


Bild 04.02./5: Grad des Eisen- und Kalklösungsvermögens (KITNER u. a., 1977)

Tabelle 04.02./12: Aggressivität des Wassers in Abhängigkeit von der Menge der Inhaltsstoffe (TGL 11357)

| Reaktionen | | A | | | | B | | | | | | | C | | |
|------------|--|---|---|------------------------|------------|--|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---|-------------|------------------------|---|--------------|-------------|
| | | Vorwiegend Auslaugungsprozesse einschließlich Hydrolyse an den Ca-Verbindungen des Betons | | | | Vorwiegend chemische Umsetzungen Begleiterscheinung: Auslaugung | | | | | | | Chemische Umsetzungen und Treiberrechnungen Begleiterscheinung: Auslaugung vorwiegend Bindung von | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | Aggressivität des Wassers ¹⁾ | fest filtrierten Nussers mg/l | Abdampfdruckstand bei gleichzeitiger Anwesenheit kalklösenden CO ₂ oder pH-Wert pH-Wert | Kalkgehalt CaO mg/l | pH-Wert | Kalklösende Kohlensäure kalklösendes bei CO ₂ mg/l | | Karbonathärte °dH | Magnesium Mg ⁺² | Ammonium NH ₄ ⁺ bei NO ₃ ⁻ ≤ 150 mg/l bei NO ₃ ⁻ > 150 mg/l mg/l | | Sulfid S ⁻² | Sulfat SO ₄ ⁻² bei gleichzeitiger Anwesenheit von Mg ⁺² 100 mg/l NH ₄ ⁺ 100 mg/l Cl ⁻ 1000 mg/l Mg ⁺² 2100 mg/l NH ₄ ⁺ 2100 mg/l mg/l | | |
| I | nicht beton-aggressiv | < 150 | - | > 6 | < 100 | > 6 | < 10 | < 2,0 | < 100 | < 100 | < 50 | < 1 | < 200 | 250 | 100 |
| II | schwach beton-aggressiv | 150 bis 50 | 0 bis 5 | > 6 | 100 bis 50 | 6,0 bis 5,5 | < 10 10 bis 40 | 0,2 bis 2,0 > 2,0 | 100 bis 150 | 100 bis 150 | 50 bis 100 | 1 bis 10 | 200 bis 350 | 250 bis 400 | 100 bis 200 |
| III | mittel beton-aggressiv | 150 bis 50 | 5 | < 6 | < 50 | 5,5 bis 5,0 | < 10 10 bis 40 40 bis 90 | < 0,2 0,2 bis 2,0 > 2,0 | 150 bis 250 | 150 bis 250 | 100 bis 150 | < 10 | 350 bis 600 | 450 bis 700 | 200 bis 350 |
| IV | stark beton-aggressiv | < 50 | 0 bis 5 | < 5,5 | - | 5,0 bis 4,0 | 10 bis 40 40 bis 90 90 | < 0,2 > 2,0 bei jeder Härte | 250 bis 500 | 250 bis 500 | 150 bis 250 | - | 600 bis 1200 | 700 bis 1500 | 350 bis 600 |
| V | sehr stark beton-aggressiv ²⁾ | < 50 | 5 | < 5,5 | - | 4,0 bis 3,0 | - | - | > 500 | > 500 | > 250 | - | > 1200 | 1500 | > 600 |

04.00. Wasserbeschaffenheit
04.02. Eigenschaften des Wassers

04.02.

04.02.

04.00. Wasserbeschaffenheit
04.02. Eigenschaften des Wassers

Tabelle 04.02./13: Löslichkeit der Sulfate in Wasser nach EMMONS (SMIRNOV, 1970)

| Sulfat | Löslichkeit in g/l | Temperatur in °C |
|---------------------------------|-----------------------|---------------------|
| ZnSO ₄ | 531,2 | 18 |
| MnSO ₄ | 393,0 | 25 |
| NiSO ₄ | 274,0 | 22,6 |
| CaSO ₄ | 265,8 | 20 |
| FeSO ₄ | 157,0 | 0 |
| CuSO ₄ | 172,0 | 20 |
| Ag ₂ SO ₄ | 7,7 | 17 |
| PbSO ₄ | 0,041 | 18 |

Tabelle 04.02./14: Luft- und Sauerstoffgehalt des Wassers unter Atmosphärendruck bei 100 %iger Sättigung (PREISSLER/BOLLRICH, 1980)

| Temperatur °C | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 50 | 80 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Luft ml/l | 28,6 | 25,2 | 22,4 | 20,1 | 18,3 | 15,4 | 11,4 | 6,0 |
| O ₂ ml/l | 10,2 | 8,9 | 7,9 | 7,0 | 6,4 | 5,2 | 3,8 | 2,0 |