



UNIVERZA V MARIBORU
FAKULTETA ZA KEMIJO IN
KEMIJSKO TEHNOLOGIJO

Simonič Marjana

TEHNOLOGIJA VOD

Laboratorijske vaje

Maribor, Februar 2004

DOLOČITEV OBARVANOSTI IN MOTNOSTI

1. Namen

Določimo obarvanost vzorca spektrofotometrično in motnost turbidimetrično.

2. Aparatura



Slika 1: Spektrofotometer

3. Teorija

Obarvanost

V vzorcih vode izmerimo absorbanco pri dveh valovnih dolžinah:

$\lambda = 254 \text{ nm}$ in $\lambda = 436 \text{ nm}$.

Za merjenje absorbance v vidnem delu spektra med 380 in 800 nm, uporabimo steklene kivete, v UV območju med 100 in 380 nm, uporabljamo kivete iz kvarčnega stekla. Pri 254 nm v glavnem absorbirajo organske substance, pri 436 nm pa anorganske.

Izračunamo spektralni absorpcijski koeficient SAK:

$$\text{SAK} = A/d \quad (1)$$

A = absorbanca

d = dolžina poti svetlobe, ki je enaka širini kivete

Rezultate podamo v $[\text{m}^{-1}]$.

Motnost

Motnost vode določimo s Hach-ovim laboratorijskim turbidimetrom. Motnost v vodi povzročajo anorganske in organske suspendirane snovi. Več kot je prisotnih suspendiranih delcev v raztopini tem večja je motnost vzorca in tem bolj se na delcih sipa svetloba. Intenziteta sipanja svetlobe je poleg koncentracije suspendiranih delcev funkcija velikosti in oblike delcev, valovne dolžine svetlobe in razlike lomnih količnikov delcev in vode.

4. Delo

Vzorec nalijemo v kiveto, vstavimo, pritisnemo tipko READ in počakamo, da instrument opravi meritev. Motnost podajamo v NTU enotah.



Slika 2: Turbidimeter

Motnost podamo v [NTU] (NTU= nefelometrične enote, angl. Nephelometric Turbidity Units).

Rezultate ovrednotimo s podatki iz »Pravilnika o zdravstveni ustreznosti pitne vode (UL RS 46/97, tabela na str. 4130)«.

DOLOČANJE TRDOT VODE

1. Namen

Določimo karbonatno, nekarbonatno, celokupno, kalcijevo in magnezijevo trdoto vode. Rezultate podamo v °d in v mmol/L Ca-ionov.

2. Aparatura

bireta

3. Teorija

Kalcijevi in magnezijevi ioni se v vodi nahajajo v obliki raztopljenih hidrogenkarbonatov, sulfatov, kloridov,... Celokupna trdota je celotna množina kalcijevih in magnezijevih ionov, ki so raztopljeni v vodi. Karbonatna trdota je množina kalcijevega in magnezijevega hidrogenkarbonata, ki je raztopljen v vodi. Kalcijevo trdoto tvorijo vse kalcijeve soli, magnezijevo pa vse magnezijeve soli.

Ca in Mg določamo s kompleksometrično titracijo z EDTA, tako da se tvori kompleks med kovinskim ionom in kelatom ali ligandom. Nastali kompleksi so vodotopni in stabilni. Za indikatorje uporabljamo organske spojine, ki se s kationi intenzivno obarvajo. Stehiometrijsko razmerje med kovinskimi ioni in EDTA je neodvisno od naboja in je vedno 1:1.

4. Delo

1) Določanje karbonatne trdote KT

Odpipetiramo 50 ml vzorca, dodamo destilirano vodo, indikator metiloranž in titriramo z raztopino HCl 0,1 mol/l do preskoka iz rumene v čebulno barvo.

2) Določanje celokupne trdote CT

Odpipetiramo 50 ml vzorca, dodamo destilirano vodo in toliko raztopine HCl 0,1 mol/l, kolikor smo je porabili za določanje karbonatne trdote. Dodamo še 5 ml puferne raztopine ($\text{NH}_4\text{Cl}/\text{NH}_3$) in za noževno konico indikatorja eriokrom črno T. Titriramo z raztopino kompleksona III do preskoka iz močno roza v modro barvo.

3) Določanje kalcijeve trdote CaT

50 ml vzorca dodamo destilirano vodo in toliko raztopine HCl 0,1 mol/l, kot smo je porabili pri določanju karbonatne trdote.

Dodamo še 5 ml raztopine NaOH 5 mol/l, za noževno konico indikatorja mureksid in takoj titriramo z raztopino kompleksona III do preskoka iz rdeče v vijolično barvo.

4) Določanje nekarbonatne trdote NKT

$$\text{NKT} = \text{CT} - \text{KT} \quad (2)$$

5) Določanje magnezijeve trdote MgT

$$\text{MgT} = \text{CT} - \text{CaT} \quad (3)$$

Računi:

$$\text{KT} = V(\text{HCl}) \cdot c(\text{HCl}) \cdot M(\text{CaO})$$

$$\text{CT} = 2 \cdot V(\text{CT})$$

$$\text{CaT} = 2 \cdot V(\text{CaT})$$

kjer je:

| | |
|--------|--|
| °d | nemška stopinja, |
| KT | karbonatna trdota [°d], |
| V(KT) | volumen porabljene HCl pri določanju karbonatne trdote [mL] |
| CT | celokupna trdota [°d], |
| V(CT) | volumen porabljenega kompleksona III pri določanju celokupne trdote [1 ml = °d], |
| CaT | kalcijeva trdota [°d], |
| V(CaT) | volumen porabljenega kompleksona III pri določanju kalcijeve trdote [1 ml = °d], |
| MgT | magnezijeve trdota [°d], |
| M(CaO) | molska masa CaO (56 g/mol). |

Upoštevajte definicijo, da je **1 °d enaka 10 mg/L CaO** in podajte rezultate v mmol/L Ca^{2+} . Rezultate podajte v tabeli.

DOLOČANJE PH-VREDNOSTI IN ELEKTROPREVODNOSTI

1. Namen

Določimo T, pH-vrednost in elektroprevodnost vzorcem vode. Rezultate podamo v $\mu\text{S}/\text{cm}$ za elektroprevodnost.

2. Aparatura



Slika 3: Mikroprocesorski laboratorijski pH-meter



Slika 4: WTW konduktometer

3. Teorija

pH vrednost je merilo za kislost oz. bazičnost vzorca ali prisotnost vodikovih oz. hidroksilnih ionov. Definiran je kot negativni dekadični logaritem koncentracije H_3O^+ ionov:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \quad (4)$$

pH je izredno pomemben za organizme v vodah. Človek vnaša več kislih kot bazičnih snovi v naravne vode. Kot primer navajamo vpliv pH na ravnotežje ionov (Na, K, Ca, Cl) v ribah: v kislih vodah le-te ne dobijo dovolj natrija in ob zmanjšanju koncentracije Na pod določeno mejo, ribe poginejo.

pH merimo običajno s kombinirano stekleno elektrodo. Sestavljena je iz Ag/AgCl žičke potopljene v 0,1 M HCl v tanki, okrogli stekleni membrani. Srebrova elektroda je referenčna elektroda, ki je v stiku s merilno stekleno elektrodo. Elektrometrično merjenje pH vrednosti deluje na principu merjenja razlike potencialov med tema dvema elektrodama. Ko stekleno elektrodo potopimo v kisel vzorec, potujejo protoni v vzorcu k elektrodi, medtem ko protoni v referenčni raztopini znotraj steklene membrane potujejo proti notranjosti membrane, stran od stene, posledica je sprememba električnega potenciala znotraj elektrode, kar odčitamo kot pH vrednost raztopine.

Električna prevodnost je posledica gibanja elektronov v raztopini. Odvisna je od koncentracije elektrolitov v vodi, od temperature vode in naboja ionov. Je recipročna vrednost upora v vodi. Sorazmerna je s specifično prevodnostjo κ in jo izražamo v $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4. Delo

Za določanje pH vrednosti uporabimo mikroprocesorski laboratorijski pH/mV-meter, kombinirano elektrodo in magnetno mešalo. Običajno je primerjalna (referenčna) elektroda srebrna ali kalomelova elektroda, merilna pa steklena elektroda.

Aparat umerimo najprej s pufrom pH = 7,00, nato pa s pufrom pH = 4,00. Elektrodo potopimo v vzorec, vklopimo mešalo in izmerimo pH.

Za določanje elektroprevodnosti uporabimo konduktometer in konduktometrično celico ter magnetno mešalo. Vzorec nalijemo v čašo, vstavimo konduktometrično celico, premešamo in odčitamo rezultat. Rezultat podamo pri določeni temperaturi v $\mu\text{S}/\text{cm}$.

DOLOČANJE PROSTE OGLJIKOVE KISLINE

1. Namen

Določimo proste ogljikove kisline v vzorcih vode.

2. Aparatura

bireta

3. Teorija

Celotni anorganski ogljik Q_c je vsota koncentracij proste ogljikove kisline, hidrogenkarbonata in karbonata, kar podamo z enačbo (4):

$$Q_c = c(\text{CO}_2) + c(\text{HCO}_3^-) + c(\text{CO}_3^{2-}) \quad (4)$$

oziroma, Q_c je razlika med vrednostima m in p, kar podamo z enačbo (5):

$$Q_c = m\text{-vrednost} - p\text{ vrednost} \quad (5)$$

V enačbi (5) gre za razliko med porabo HCl pri titraciji vzorca vode z indikatorjem metilorange (m-vrednost) in porabo NaOH pri titraciji z indikatorjem fenolftaleinom (- p-vrednost).

Potrebujemo še podatke za temperaturo vode, pH-vrednost in prevodnost, da lahko izračunamo delež CO_2 v vodi (glej priloženo tabelo 2.7.2).

4. Delo

V erlenmajer-bučko odpipetiramo 100 ml vode (vzorca), dodamo indikator fenolftalein in titriramo z 0,1 M NaOH do preskoka v rahlo rožnato obarvanje. Določimo 3 paralelke.

Račun:

$$-p\text{-vrednost} = 1000 * c(\text{NaOH}) * V_{\text{NaOH}} / V_{\text{vzorca}} \quad (6)$$

-p-vrednost [mmol/L]

c (NaOH) [M]

Vvzorca [mL]

Sedaj zberemo naslednje eksperimentalne podatke:

za temperaturo vode,

pH-vrednost

prevodnost
m-vrednost
-p-vrednost.

Z uporabo enačbe (5), priložene Tabele 2.7.2 (odčitamo ω (% delež) CO_2) in enačbe (7):

$$\gamma(\text{CO}_2) = Q_c * \omega(\text{CO}_2) * M(\text{CO}_2) \quad (7)$$

$\gamma(\text{CO}_2)$ [mg/L]
 $\omega(\text{CO}_2)$ [%]
 $M(\text{CO}_2)$ [g/mol]

izračunamo masno koncentracijo proste ogljikove kisline v vzorcu vode (mg/L).

Tabela 2.7.2: Podatki za izračun ω (% delež) CO₂

1.

Aus diesen Werten errechnet sich $\epsilon(\text{CO}_2)$ wie folgt:
 Man entnimmt der Tabelle für die nächstgelegene Temperatur (15 °C), Leitfähigkeit (500 $\mu\text{S/cm}$) und den betreffenden pH-Wert (7,4) den %-Anteil der freien Kohlensäure am gesamten anorganisch gebundenen Kohlenstoff zu 7,93%, dann ist:

$$\epsilon(\text{CO}_2) = Q_e \cdot 7,93\% = \frac{6,35 \cdot 7,93}{100} = 0,504 \text{ mmol/l (22,16 mg/l)}$$

Tab.2.7.2. %-Anteil der freien Kohlensäure (CO₂) am gesamten anorganisch gebundenen Kohlenstoff (TTC; Q_e-Wert) in Abhängigkeit von Temperatur t, elektrischer Leitfähigkeit κ (nS/cm bei 20 °C) und pH-Wert, berechnet nach DEU, D 8 (Verfahren 2) von BAUER (1981) [304].

| pH | 10 °C | | | | | | 15 °C | | | | | |
|-----|----------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|
| | κ | 100 | 300 | 500 | 700 | 900 | κ | 100 | 300 | 500 | 700 | 900 |
| 6,0 | 77,3 | 76,4 | 75,4 | 74,4 | 73,4 | 72,4 | 75,4 | 74,4 | 73,4 | 72,4 | 71,3 | 70,3 |
| 6,1 | 73,0 | 71,9 | 70,9 | 69,8 | 68,7 | 67,6 | 70,9 | 69,8 | 68,7 | 67,6 | 66,4 | 65,3 |
| 6,2 | 68,2 | 67,1 | 65,9 | 64,7 | 63,5 | 62,3 | 65,9 | 64,7 | 63,5 | 62,3 | 61,1 | 60,0 |
| 6,3 | 63,0 | 61,8 | 60,5 | 59,3 | 58,0 | 56,8 | 60,5 | 59,3 | 58,0 | 56,8 | 55,5 | 54,3 |
| 6,4 | 57,5 | 56,2 | 54,9 | 53,7 | 52,4 | 51,1 | 54,9 | 53,7 | 52,4 | 51,1 | 49,8 | 48,5 |
| 6,5 | 51,8 | 50,5 | 49,2 | 47,9 | 46,6 | 45,3 | 49,2 | 47,9 | 46,6 | 45,3 | 44,0 | 42,7 |
| 6,6 | 46,0 | 44,8 | 43,5 | 42,2 | 40,9 | 39,6 | 43,5 | 42,2 | 40,9 | 39,6 | 38,3 | 37,0 |
| 6,7 | 40,4 | 39,2 | 37,9 | 36,7 | 35,5 | 34,3 | 37,9 | 36,7 | 35,5 | 34,3 | 33,2 | 32,0 |
| 6,8 | 35,0 | 33,8 | 32,7 | 31,6 | 30,4 | 29,4 | 32,7 | 31,6 | 30,4 | 29,4 | 28,3 | 27,2 |
| 6,9 | 29,9 | 28,9 | 27,8 | 26,8 | 25,8 | 24,8 | 27,8 | 26,8 | 25,8 | 24,8 | 23,9 | 22,9 |
| 7,0 | 25,3 | 24,4 | 23,4 | 22,5 | 21,6 | 20,8 | 23,4 | 22,5 | 21,6 | 20,8 | 19,9 | 19,0 |
| 7,1 | 21,2 | 20,4 | 19,6 | 18,8 | 18,0 | 17,2 | 19,6 | 18,8 | 18,0 | 17,2 | 16,5 | 15,7 |
| 7,2 | 17,7 | 16,9 | 16,2 | 15,5 | 14,8 | 14,2 | 16,2 | 15,5 | 14,8 | 14,2 | 13,6 | 13,0 |
| 7,3 | 14,5 | 13,9 | 13,3 | 12,7 | 12,1 | 11,6 | 13,3 | 12,7 | 12,1 | 11,6 | 11,1 | 10,6 |
| 7,4 | 11,9 | 11,4 | 10,9 | 10,4 | 9,89 | 9,45 | 10,9 | 10,4 | 9,89 | 9,45 | 9,00 | 8,55 |
| 7,5 | 9,69 | 9,25 | 8,82 | 8,42 | 8,02 | 7,65 | 8,82 | 8,42 | 8,02 | 7,65 | 7,29 | 6,93 |
| 7,6 | 7,85 | 7,49 | 7,13 | 6,80 | 6,47 | 6,17 | 7,13 | 6,80 | 6,47 | 6,17 | 5,87 | 5,57 |
| 7,7 | 6,34 | 6,04 | 5,73 | 5,48 | 5,21 | 4,96 | 5,73 | 5,48 | 5,21 | 4,96 | 4,72 | 4,48 |
| 7,8 | 5,10 | 4,86 | 4,62 | 4,40 | 4,18 | 3,98 | 4,62 | 4,40 | 4,18 | 3,98 | 3,78 | 3,58 |
| 7,9 | 4,09 | 3,90 | 3,70 | 3,52 | 3,35 | 3,19 | 3,70 | 3,52 | 3,35 | 3,19 | 3,03 | 2,87 |
| 8,0 | 3,28 | 3,12 | 2,96 | 2,82 | 2,67 | 2,55 | 2,96 | 2,82 | 2,68 | 2,55 | 2,42 | 2,29 |
| 8,1 | 2,62 | 2,49 | 2,36 | 2,25 | 2,13 | 2,03 | 2,36 | 2,25 | 2,14 | 2,03 | 1,93 | 1,83 |
| 8,2 | 2,09 | 1,99 | 1,88 | 1,79 | 1,70 | 1,62 | 1,88 | 1,79 | 1,70 | 1,62 | 1,53 | 1,44 |
| 8,3 | 1,66 | 1,58 | 1,50 | 1,43 | 1,35 | 1,29 | 1,50 | 1,43 | 1,35 | 1,29 | 1,22 | 1,15 |
| 8,4 | 1,32 | 1,26 | 1,19 | 1,13 | 1,07 | 1,02 | 1,19 | 1,14 | 1,08 | 1,02 | 0,97 | 0,91 |

| pH | 20 °C | | | | | | 25 °C | | | | | |
|-----|----------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|
| | κ | 100 | 300 | 500 | 700 | 900 | κ | 100 | 300 | 500 | 700 | 900 |
| 6,5 | 45,7 | 44,5 | 43,2 | 41,9 | 40,7 | 39,4 | 43,2 | 41,9 | 40,7 | 39,4 | 38,1 | 36,8 |
| 6,6 | 40,1 | 38,9 | 37,6 | 36,5 | 35,2 | 34,0 | 37,6 | 36,5 | 35,2 | 34,0 | 32,9 | 31,7 |
| 6,7 | 34,7 | 33,6 | 32,4 | 31,3 | 30,2 | 29,1 | 32,4 | 31,3 | 30,2 | 29,1 | 28,0 | 26,9 |
| 6,8 | 29,7 | 28,7 | 27,6 | 26,6 | 25,6 | 24,6 | 27,6 | 26,6 | 25,6 | 24,6 | 23,6 | 22,6 |
| 6,9 | 25,1 | 24,2 | 23,2 | 22,3 | 21,4 | 20,6 | 23,2 | 22,3 | 21,4 | 20,6 | 19,7 | 18,8 |
| 7,0 | 21,0 | 20,2 | 19,4 | 18,6 | 17,8 | 17,1 | 19,4 | 18,6 | 17,8 | 17,1 | 16,3 | 15,5 |
| 7,1 | 17,5 | 16,8 | 16,0 | 15,4 | 14,7 | 14,1 | 16,0 | 15,4 | 14,7 | 14,1 | 13,4 | 12,7 |
| 7,2 | 14,4 | 13,8 | 13,2 | 12,6 | 12,0 | 11,5 | 13,2 | 12,6 | 12,0 | 11,5 | 11,0 | 10,5 |
| 7,3 | 11,8 | 11,3 | 10,7 | 10,3 | 9,9 | 9,5 | 10,7 | 10,3 | 9,9 | 9,5 | 9,1 | 8,7 |
| 7,4 | 9,59 | 9,16 | 8,73 | 8,33 | 7,93 | 7,57 | 9,16 | 8,73 | 8,33 | 7,93 | 7,57 | 7,21 |
| 7,5 | 7,77 | 7,41 | 7,06 | 6,73 | 6,40 | 6,11 | 7,41 | 7,06 | 6,73 | 6,40 | 6,11 | 5,81 |
| 7,6 | 6,27 | 5,98 | 5,69 | 5,42 | 5,15 | 4,91 | 5,98 | 5,69 | 5,42 | 5,15 | 4,91 | 4,67 |
| 7,7 | 5,04 | 4,80 | 4,57 | 4,35 | 4,13 | 3,94 | 4,57 | 4,35 | 4,13 | 3,94 | 3,74 | 3,54 |
| 7,8 | 4,05 | 3,85 | 3,66 | 3,48 | 3,31 | 3,15 | 3,66 | 3,49 | 3,31 | 3,15 | 2,99 | 2,83 |
| 7,9 | 3,24 | 3,08 | 2,93 | 2,79 | 2,64 | 2,52 | 2,93 | 2,79 | 2,64 | 2,52 | 2,39 | 2,26 |
| 8,0 | 2,59 | 2,46 | 2,34 | 2,22 | 2,11 | 2,01 | 2,34 | 2,22 | 2,11 | 2,01 | 1,90 | 1,80 |
| 8,1 | 2,06 | 1,96 | 1,86 | 1,77 | 1,68 | 1,60 | 1,86 | 1,77 | 1,68 | 1,60 | 1,52 | 1,44 |
| 8,2 | 1,64 | 1,56 | 1,48 | 1,41 | 1,34 | 1,27 | 1,48 | 1,41 | 1,34 | 1,27 | 1,20 | 1,13 |
| 8,3 | 1,31 | 1,24 | 1,18 | 1,12 | 1,06 | 1,01 | 1,18 | 1,12 | 1,06 | 1,01 | 0,96 | 0,91 |
| 8,4 | 1,04 | 0,99 | 0,94 | 0,89 | 0,84 | 0,80 | 0,93 | 0,89 | 0,84 | 0,80 | 0,76 | 0,72 |

RAČUNSKO IN EKSPERIMENTALNO PREVERJANJE KARBONATNEGA RAVNOTEŽJA

1. Namen

Določimo karbonatno ravnotežje v vzorcih vode računsko po Axtu iz eksperimentalnih podatkov s pomočjo priloženih tabel (glej prilogo 1) in eksperimentalno z določanjem pH-vrednosti vod, nasičenih s CaCO_3 . Primerjaj rezultate.

2. Aparatura

Bireta, Tehnica, pH-meter,



Slika 5: Trovrata bučka

3. Teorija

V vodi so vedno prisotne določene količine proste in vezane ogljikove kisline. Govorimo o karbonatnem ravnotežju vode, ki ga podaja naslednja enačba:



CO_2 , ki je potreben, daje vzpostavljeno karbonatno ravnotežje, imenujemo ravnotežni CO_2 . Možne so tri variante: voda je v karbonatnem ravnotežju, ko je ravno dovolj in nič preveč v vodi prisotnega CO_2 glede na ravnotežnega, v drugi varianti gre za agresivni CO_2 (če je CO_2 več, kot ga je potrebno za ravnotežje) in tretja varianta pomeni primankljaj CO_2 (v vodi je manj CO_2 , kot ga je potrebno za ravnotežje).

4. Delo

Trovrato bučko napolnimo z vzorcem vode. Skozi sredinski vrat merimo pH, skozi stranski vrat merimo temperaturo, drugi stranski vrat zamašimo. Po 2 minutah odčitamo pH. Odmašimo drugi stranski vrat, dodamo 3 g CaCO₃ in po 2 minutah odčitamo pH.

Možne so tri variante:

1. voda je v karbonatnem ravnotežju, pH vrednost se ne spremeni za več kot 0,04 pH-ene.
2. voda vsebuje agresivni CO₂:



tvorijo se HCO₃⁻ ioni, koncentracija H₃O⁺ ionov pada in pH narašča.

3. voda ne vsebuje dovolj CO₂ (v vodi je manj CO₂, kot ga je potrebno za ravnotežje): tvorijo se CO₃²⁻ ioni, koncentracija H₃O⁺ ionov narašča in pH pada.

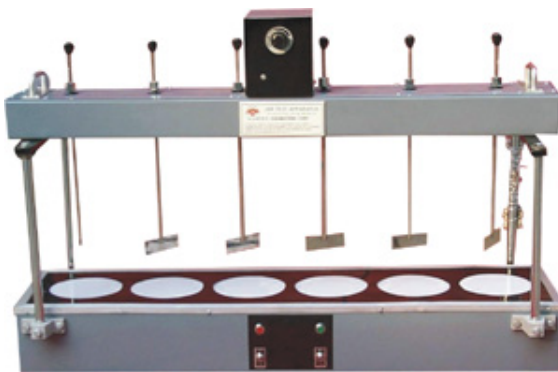
Primerjajte, ali se eksperimentalo in računsko ugotovljene vrednosti ujemajo.

JAR – TEST

1. Namen

S pomočjo »JAR-testa« ugotovite optimalno množino flokulanta in optimalno pH-vrdnost za flokulacijo. Podamo masno koncentracijo flokulanta podmo v [mg/L].

2. Aparatura



Slika 6: Laboratorijski flokulator
pH meter (glej Sliko 3)

3. Teoretske osnove

Flokulacija

To je proces združevanja koloidnih delcev v kosme - flokule, ki jih je iz vode mogoče odstraniti s filtracijo. Flokulacija ima kot osnovo proces nevtralizacije oziroma spremembo naboja delca ali/in spremembo topnosti molekul. Poteka v dveh stopnjah:

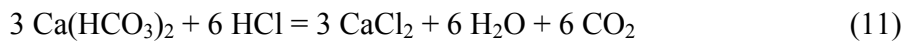
- perikinetični efekt = razelektritev (tudi koagulacija)
- ortokinetični efekt = adsorpcija razelektrenih koloidov na hidratiziranem $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (tudi flokulacija).

Za hitrejše posedanje flokul dodamo še polielektrolite, ki zamrežijo flokulo, da postane težja in se zato hitreje posede.

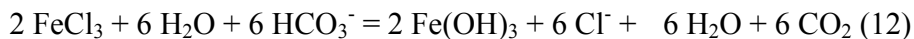
Najpogosteje uporabljeni flokulanti oz. koagulanti so: aluminijeve soli ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , železove soli (FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 , FeClSO_4), mešani produkti aluminijevih in železovih soli, aluminosilikati, bentonit, kaolin, diatomejske zemlje. Polieketroliti so

organske spojine, najpogosteje aluminijevi polimeri splošne formule $Al_p(OH)_q(Cl)_r(SO_4)_s$ in druge vrste polimeri, naravni ali umetni.

Mehanizem flokulacije s $FeCl_3$ je naslednji:



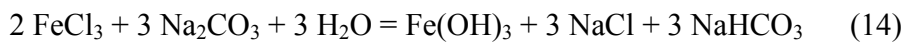
Skupna reakcija je naslednja:



Flokulacija poteka samo, če je v vodi dovolj hidrogenkarbonatnih ionov. Tako lahko zapišemo reakcije pri flokulaciji tudi v naslednji obliki:



Če je KT premala, dodajamo k vodi sodo, v razmerju 3 moli sode in 1 mol $FeCl_3$:



JAR-TEST

Jar test simuliramo koagulacijo/flokulacijo v laboratoriju. Namen testa je oceniti minimalno potrebno dozo flokulanta, da dosežemo določeno kvaliteto vode. Vzorce vode nalijemo v 4 (ali več) posode in dodajamo različne koncentracije flokulanta.

Jar test poteka v več stopnjah:

- priprava in doziranje flokulanta,
- hitro mešanje vzorcev 2 min z 100 obrati/min, da se ustvari potrebni stik med delci (nevtralizacija)
- počasno mešanje vzorcev 20 min z 20 obrati/min, da se tvorijo flokule,
- dodajanje polielektrolita, da zamrežimo flokule.

Po končanem mešanju opazujemo posedalno hitrost, saj je optimalna množina flokulanta tista, ki ima največjo hitrost, kar pomeni, da se najhitreje zbistri.

Ko določimo optimalno dozo flokulanta, ponovimo Jar test pri 4 različnih pH vrednostih vzorca. Po končanem posedanju flokul zapišemo optimalno pH vrednost za flokulacijo.

4. Delo

V 4 čaše nalijemo 500 mL vzorca in dodamo flokulacijsko sredstvo (okoli 10 mg/L).

Na flokulatorju nastavimo hitro mešanje vzorcev 100 obratov/min in mešamo 2 min, da se ustvari potrebni stik med delci (nevtralizacija).

Nato 20 min mešamo počasi z 20 obrati/min, da se tvorijo flokule. Nato dodamo polielektrolit, da zamrežimo flokule. Mešamo 2 min pri 20 obr/min. Ustavimo mešalo in opazujemo posedanje flokul.

Optimalna množina flokulanta je tista, ki ima največjo hitrost posedanja in se najhitreje zbistri.

Nato določimo še optimalno vrednost pH pri flokulaciji. V 4 čaše nalijemo 500 mL vzorca. V vsaki od 4 čaš naravnamo pH vode na 5, 6, 7 in 8. Nato dodamo optimalne količine flokulanta.

Ponovimo JAR-test kot je opisan v zgornjem odstavku.

REVERZNA OSMOZA

1. Namen

Izmerili bomo temperature, trdote, koncentracijo kalcija in magnezija ter prevodnost v pitni vodi in v permeatu po RO. Po enačbi (15) izračunamo, koliko ionov je membrana zadržala.

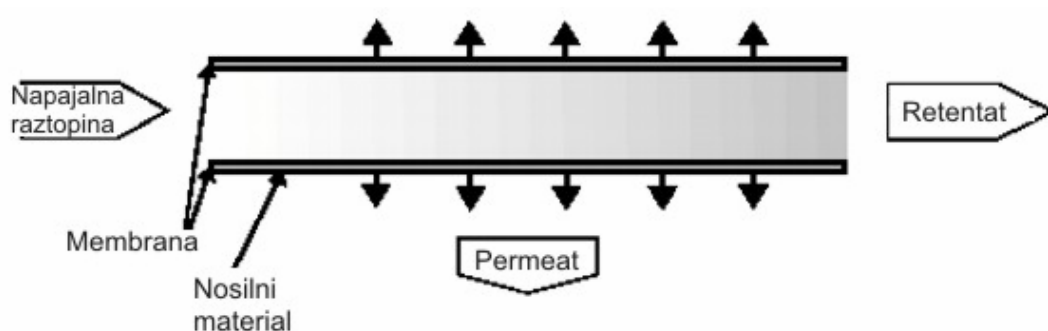
2. Aparatura



Slika 7: Reverzna osmoza

3. Teoretske osnove

Napajalna raztopina, ki jo vodimo v membranski modul, se loči v permeat, ki prehaja skozi membrano in predstavlja očiščeno vodo ter retentat (tudi koncentrat), ki ga membrana zavrne, se ne prečisti in predstavlja odpadno vodo. Permeat lahko recikliramo in ponovno uporabimo.



Slika 8: Princip pretočne tehnike (cross flow)

Pri procesu reverzne osmoze prevladuje mehanizem difuzije. Semipermeabilno membrano uporabljamo za ločitev ionov in molekul iz raztopin pri obratovnem tlaku, ki je vedno večji od osmotskega tlaka vhodne raztopine. Če ločimo raztopino od topila s polpropustno membrano, ki prepušča samo topilo in ne topljenca, potem teče topilo skozi membrano v raztopino, kjer je kemijski potencial topila nižji. Ta proces imenujemo osmoza.

Pretok topila lahko preprečimo, če dovolj povečamo tlak nad raztopino. Osmotski tlak p je padec tlaka skozi membrano, ki je potreben, da preprečimo spontan pretok v katerokoli smer skozi membrano. Osmotski tlak je koligativna lastnost, to je lastnost, ki zavisi od števila molekul topljenca in ne od narave in vrste teh delcev. Predstavljamo si lahko, da ima raztopina težnjo po razredčenju. Ker prehaja topilo v raztopino, se prostornina raztopine povečuje. Nivo raztopine se dviga, pri tem pa narašča hidrostatski tlak (ρgh) v raztopini. Ko je dovolj velik, zaustavi prodiranje molekul topila skozi membrano. Težnjo molekul topila po prehajanju skozi polpropustno membrano definiramo kot osmotski tlak, ki ga lahko uravnoteži hidrostatski tlak. Pri zelo nizkih koncentracijah velja enačba: $pV = RT$ za 1 mol topljenca. V ravnotežju je kemijski potencial čistega topila pri eni atmosferi (m_1^0) enak kemijskemu potencialu topila v raztopini po določenim tlakom (m_1'). Kemijski potencial je za topilo v idealni raztopini

podan z: $m_1 = m_1^0 + RT \ln(1-x_2)$. Enačba, ki jo je podal Van't Hoff na empirični osnovi se glasi: $p = (n/V)RT = cRT$ in velja natančno le za raztopine, ki vsebujejo kot molekule topljenca samo neelektrolite v nedisociirani obliki. Za raztopine elektrolitov je Van't Hoff vpeljal korekcijski faktor i : $p = icRT$.

S povečanjem tlaka nad koncentrirano raztopino lahko proces osmoze obrnemo - iz koncentriranih raztopin "iztisnemo" vodo. Ta proces reverzne osmoze se uporablja za pridobivanje pitne vode.

V Tabeli 1 so prikazani različni membranski procesi, velikosti delceev, ki jih membrana zadrži in obratovalni tlaki.

Tabela 1: Vrste membranskih procesov

| Vrsta procesa | Velikost delcev | Tlak (bar) | Vrsta delcev |
|-----------------|-----------------------|------------|---|
| Mikrofiltracija | 0,1 – 5 μm | 0,1-2,0 | bakterije, suspendirani delci, kvasovke |
| Ultrafiltracija | 10 – 100 nm | 1,0-5,0 | proteini, polimeri |
| Nanofiltracija | 1 – 10 nm | 5,0-20 | amino kisline, oligosaharidi |
| Reverzna osmoza | < 1 nm | 10-100 | sladkorji, soli |

Pomemben podatek za membrano je, koliko se zadrži snovi na membrani in koliko je gre skozi membrano. Imenuje se rejekcija (rejection) R in je izražena z enačbo:

$$R = 1 - c_p/c_o \quad (15)$$

c_p = koncentracija snovi v permeatu (mol/L)

c_o = koncentracija snovi v začetni raztopini (mol/L)

4. Delo

Priključimo napravo in jo vklopimo po navodilih. Beležimo tlak in čas obratovanja.

V vzorcu pitne vode in vzorcu po RO izmerimo temperature, trdote in prevodnost.

Po enačbi (15) izračunamo, koliko Ca- in Mg-ionov je membrana zadržala.

V obliki tabele podamo vse izmerjene in izračunane vrednosti. Napišemo diskusijo.

LITERATURA

1. Pravilnik o zdravstveni ustreznosti pitne vode, Uradni list RS, št. 46, Ljubljana, 1997.
2. Hütter L.A., Wasser and Wasseruntersuchung, 2.izdaja, Diesterweg Salle Sauerländer, Germany, 1984
3. Pontius F.W., Water Quality and Treatment, AWWA, 4th Edition, McGraw-Hill Inc., USA, 1990
4. Kegley S.E., Andrews J., The Chemistry of Water, University Science Book, USA, 1997
5. Hancke K., Wasseraufbereitung, 3.izdaja., VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, Germany, 1994
6. Roš M., Biološko čiščenje odpadne vode, GV Založba Ljubljana, 2001
7. Tchobanoglous G., Burton F.L., Stensel H.D., Wasterwater Engineering, Treatment and Reuse, 4th Edition, McGraw-Hill, USA, 2003

RAČUNSKO PREVERJANJE KARBONATNEGA RAVNOTEŽJA Z LANGELIERJEVIM INDEKSOM NASIČENJA (LSI)

1. Namen

Določimo karbonatno ravnotežje v vzorcih vode računsko z Langelierjevim indeksom nasičenja LSI iz eksperimentalnih podatkov s pomočjo podanih enačb in tabel.

2. Računi

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pHs} \quad (15)$$

pH – eksperimentalno izmerjen

pHs – pri nasičenju

$$\text{pHs} = -\log(K_{a2} \cdot \gamma(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{Ca}^{2+}) \cdot \gamma(\text{HCO}_3^-) \cdot c(\text{HCO}_3^-) / K_p) \quad (16)$$

oziroma

$$\text{pHs} = \text{p}K_{a2} - \text{p}K_p - \gamma(\text{Ca}^{2+}) + \text{pc}(\text{Ca}^{2+}) - \gamma(\text{HCO}_3^-) + \text{pc}(\text{HCO}_3^-) \quad (16.1)$$

s »p« je označena logaritemska vrednost naslednjih parametrov:

K_{a2} , konstanta ravnotežja (Tabela 1)

$\gamma(\text{Ca}^{2+})$, aktivnostni koeficient za kalcijeve ione

$c(\text{Ca}^{2+})$: koncentracija za kalcijeve ione, mol/L

$\gamma(\text{HCO}_3^-)$: aktivnostni koeficient za hidrogenkarbonatne ione

$c(\text{HCO}_3^-)$: koncentracija za hidrogenkarbonatne ione, mol/L

K_p : topnostni produkt za CaCO_3 (Tabela 1)

Pri tem se aktivnostni koeficienti računajo po enačbi (17):

$$\text{Log } \gamma = (0,5 \cdot (z_i)^2 \cdot \sqrt{I}) / (1 + \sqrt{I}) \quad (17)$$

z_i : naboj i-tega iona

I: ionska moč

$$I = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot \text{TDS} \quad (18)$$

TDS: raztopljene snovi, ki jih izračunamo s pretvorbo prevodnosti χ .

Velja zveza (19):

$$\text{TDS} = 0,4216 \cdot \chi - 1,9946 \quad (19)$$

χ : prevodnost, $\mu\text{Si/cm}$

Možne so variante:

LSI > 0 izpada vodni kamen

LSI ~ 0 voda je v ravnotežju

LSI < 0 v vodi je prisoten agresivni ogljikov dioksid

Tabela 1: Konstante karbonatnega ravnotežja v odvisnosti od temperature

| Temperatura (°C) | Konstanta K_{a1} | Konstanta K_{a2} | Konstanta K_p |
|------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 5 | $3,020 \cdot 10^{-7}$ | $2,754 \cdot 10^{-11}$ | $8,128 \cdot 10^{-9}$ |
| 10 | $3,467 \cdot 10^{-7}$ | $3,236 \cdot 10^{-11}$ | $7,080 \cdot 10^{-9}$ |
| 15 | $3,802 \cdot 10^{-7}$ | $3,715 \cdot 10^{-11}$ | $6,020 \cdot 10^{-9}$ |
| 20 | $4,169 \cdot 10^{-7}$ | $4,169 \cdot 10^{-11}$ | $5,248 \cdot 10^{-9}$ |
| 25 | $4,467 \cdot 10^{-7}$ | $4,477 \cdot 10^{-11}$ | $4,571 \cdot 10^{-9}$ |
| 40 | $5,012 \cdot 10^{-7}$ | $6,026 \cdot 10^{-11}$ | $3,090 \cdot 10^{-9}$ |

Po Ryznerju primerjamo izmerjen pH z izračunanim pHs, po naslednji enačbi (20):

$$\text{RI} = 2 \text{ pHs} - \text{pH} \quad (20)$$

V tem primeru je možnosti pet:

RI < 5,5 močno izpada vodni kamen

5,5 < RI < 6,2 izpada vodni kamen

6,2 < RI < 6,8 ravnotežje

6,8 < RI < 8,5 v vodi je prisoten agresivni ogljikov dioksid

RI > 8,5 v vodi je prisotno veliko agresivnega ogljikovega dioksida

PRILOGA

Postopek za izračun ravnotežnega (zuehörige Kohlensäure) in agresivnega ogljikovega dioksida (überschüssige Kohlensäure) v vodi

| | | |
|---|---|---|
| 1. Allgemeines | | |
| Die Berechnung der überschüssigen Kohlensäure nach Tillmans (Ges.Ing. 35 [1912], 669, GWF 74 [1931], 1) ergibt für den Praktiker zwar gewisse Hinweise (vgl. Wasseraufbereitungstafel nach Dr. Reif, Vom Wasser XIX [1952], 312, AKDOLIT-Arbeitsblatt 6409), ist jedoch zu ungenau. Eine genaue Methode wurde von Hässelbarth (GWF 104, [1963], 89 ff., 157 ff., AKDOLIT-Arbeitsblatt 6704) angegeben. Nach Axt (Vom Wasser | 28 [1961], 208) ergibt sich eine Vereinfachung der Hässelbarth'schen Methode, wenn bei der Berechnung der Ionenstärke die Gesamthärte als 2,1-Elektrolyt eingesetzt wird. Das hat allerdings zur Voraussetzung, daß nur 1-fach und 2-fach geladene Ionen vorhanden sind und die Gesamtkonzentration der ersteren die Konzentration der letzteren nicht übersteigt. Diese Voraussetzungen sind fast immer gegeben. | |
| 2. Bestimmungen und Berechnungen | | |
| 2.1 Wasseruntersuchungsbefund | | Beispiel |
| Bestimmung von: | | |
| Temperatur °C | | 11 °C |
| m-Wert mval/l | | 1,4 mval/l |
| freie Kohlensäure mg/l | | 27,3 mg/l |
| Gesamthärte °d | | 6,0 °d |
| Karbonathärte (KH) °d | | 3,8 °d |
| Calcium (CaO) °d | | 3,0 °d |
| 2.2 Ermittlung der Ionenstärke μ und des Korrekturfaktors f | | |
| Ionenstärke μ durch Einsetzen der Gesamthärte in Tabelle 1 ablesen | | $\mu = 3,210 \cdot 10^{-3}$ |
| Korrekturfaktor f durch Einsetzen von μ in Tabelle 2 ablesen | | f = 1,358 |
| 2.3 Ermittlung der Konstanten K | | |
| Konstante K durch Einsetzen der in 2,1 angegebenen Temperatur in Tabelle 3 ermitteln | | K für 11 °C = 0,1091 |
| 2.4 Berechnung der zuehörigen Kohlensäure (CO₂ zug.) | | |
| $\text{mg/l CO}_2 \text{ zug.} = \frac{K}{f} \cdot \text{CaO} \cdot m^2$ | | $\text{CO}_2 \text{ zug.} = \frac{0,1091}{1,358} \cdot 3,0 \cdot 1,4^2$ |
| in diese Formel einsetzen | | = 0,47 mg/l |
| m-Wert nach 2.1 | K nach 2.3 | |
| CaO nach 2.1 | f nach 2.2 | |
| 2.5 Berechnung der überschüssigen Kohlensäure (CO₂ üb.) | | |
| $\text{mg/l CO}_2 \text{ üb.} = \text{mg/l CO}_2 \text{ frei} - \text{mg/l CO}_2 \text{ zug.}$ | | $\text{CO}_2 \text{ üb.} = 27,3 - 0,47$ |
| In diese Formel einsetzen | | = 26,8 mg/l |
| mg/l CO ₂ frei nach 2.1, mg/l CO ₂ zug. nach 2.4 | | |

Tabellen 1, 2, 3



Tabele 1, 2, 3: Podatki za izračun konstant f in K

Tabelle 1

| d | μ (1,2) |
|------|------------------------|
| 0,5 | $0,2675 \cdot 10^{-3}$ |
| 1,0 | 0,5349 |
| 1,5 | 0,8022 |
| 2,0 | $1,0698 \cdot 10^{-3}$ |
| 2,5 | 1,337 |
| 3,0 | 1,605 |
| 3,5 | 1,872 |
| 4,0 | 2,139 |
| 4,5 | 2,407 |
| 5,0 | 2,675 |
| 5,5 | 2,942 |
| 6,0 | 3,210 |
| 6,5 | 3,477 |
| 7,0 | 3,744 |
| 7,5 | 4,110 |
| 8,0 | 4,278 |
| 8,5 | 4,545 |
| 9,0 | 4,815 |
| 9,5 | 5,082 |
| 10,0 | 5,349 |
| 10,5 | 5,616 |
| 11,0 | 5,883 |
| 11,5 | 6,150 |
| 12,0 | 6,417 |
| 12,5 | 6,687 |
| 13,0 | 6,954 |
| 13,5 | 7,221 |
| 14,0 | 7,488 |
| 14,5 | 7,755 |
| 15,0 | 8,025 |
| 15,5 | 8,292 |
| 16,0 | 8,559 |
| 16,5 | 8,826 |
| 17,0 | $9,093 \cdot 10^{-3}$ |
| 17,5 | 9,360 |
| 18,0 | 9,627 |
| 18,5 | 9,897 |
| 19,0 | $1,0164 \cdot 10^{-2}$ |
| 19,5 | 1,0431 |
| 20,0 | 1,0696 |
| 20,5 | 1,0965 |
| 21,0 | 1,1232 |
| 21,5 | 1,1502 |
| 22,0 | 1,1769 |
| 22,5 | 1,2036 |
| 23,0 | 1,2303 |
| 23,5 | 1,2570 |
| 24,0 | 1,2837 |
| 24,5 | 1,3104 |
| 25,0 | 1,3374 |
| 25,5 | $1,3641 \cdot 10^{-2}$ |
| 26,0 | 1,3909 |
| 26,5 | 1,4175 |
| 27,0 | 1,4442 |
| 27,5 | 1,4712 |
| 28,0 | 1,4979 |
| 28,5 | 1,5246 |
| 29,0 | 1,5513 |
| 29,5 | 1,5780 |
| 30,0 | 1,6047 |

Tabelle 2

| μ (gesamt) | f (Tillmans) | μ (gesamt) | f (Tillmans) |
|----------------------|--------------|----------------------|--------------|
| $0,27 \cdot 10^{-3}$ | 1,101 | 19,2 | 1,752 |
| 0,53 | 1,124 | 19,6 | 1,758 |
| 0,8 | 1,187 | 19,8 | 1,761 |
| 1,2 | 1,228 | 20,0 | 1,764 |
| 1,6 | 1,260 | 20,4 | 1,769 |
| 1,8 | 1,281 | 20,8 | 1,774 |
| 2,0 | 1,289 | 21,0 | 1,777 |
| 2,4 | 1,314 | 21,2 | 1,780 |
| 2,8 | 1,337 | 21,6 | 1,785 |
| 3,0 | 1,348 | 22,0 | 1,791 |
| 3,2 | 1,358 | 22,2 | 1,793 |
| 3,6 | 1,377 | 22,4 | 1,795 |
| 4,0 | 1,396 | 22,8 | 1,800 |
| 4,2 | 1,404 | 23,2 | 1,805 |
| 4,4 | 1,413 | 23,4 | 1,808 |
| 4,8 | 1,429 | 23,6 | 1,810 |
| 5,2 | 1,444 | 24,0 | 1,815 |
| 5,4 | 1,451 | 24,4 | 1,820 |
| 5,6 | 1,459 | 24,6 | 1,822 |
| 6,0 | 1,472 | 24,8 | 1,824 |
| 6,4 | 1,485 | 25,2 | 1,829 |
| 6,6 | 1,492 | 25,6 | 1,833 |
| 6,8 | 1,498 | 25,8 | 1,835 |
| 7,2 | 1,511 | 26,0 | 1,838 |
| 7,6 | 1,522 | 26,4 | 1,842 |
| 7,8 | 1,528 | 26,8 | 1,846 |
| 8,0 | 1,534 | 27,0 | 1,849 |
| 8,4 | 1,544 | 27,2 | 1,851 |
| 8,8 | 1,555 | 27,6 | 1,855 |
| 9,0 | 1,560 | 28,0 | 1,859 |
| 9,2 | 1,565 | 28,2 | 1,861 |
| 9,6 | 1,575 | 28,4 | 1,863 |
| $10,0 \cdot 10^{-3}$ | 1,585 | $28,8 \cdot 10^{-3}$ | 1,867 |
| 10,2 | 1,590 | 29,2 | 1,871 |
| 10,4 | 1,594 | 29,4 | 1,873 |
| 10,8 | 1,603 | 29,6 | 1,875 |
| 11,2 | 1,612 | 30,0 | 1,879 |
| 11,4 | 1,616 | 30,4 | 1,883 |
| 11,6 | 1,621 | 30,8 | 1,887 |
| 12,0 | 1,629 | 31,2 | 1,890 |
| 12,4 | 1,637 | 31,6 | 1,894 |
| 12,6 | 1,641 | 32,0 | 1,898 |
| 12,8 | 1,645 | 32,4 | 1,901 |
| 13,2 | 1,653 | 32,8 | 1,905 |
| 13,6 | 1,661 | 33,2 | 1,909 |
| 13,8 | 1,664 | 33,6 | 1,912 |
| 14,0 | 1,668 | 34,0 | 1,915 |
| 14,4 | 1,675 | 34,4 | 1,919 |
| 14,8 | 1,683 | 34,8 | 1,922 |
| 15,0 | 1,686 | 35,2 | 1,926 |
| 15,2 | 1,690 | 35,6 | 1,929 |
| 15,6 | 1,696 | 36,0 | 1,932 |
| 16,0 | 1,703 | 36,4 | 1,936 |
| 16,2 | 1,706 | 36,8 | 1,939 |
| 16,4 | 1,710 | 37,2 | 1,942 |
| 17,8 | 1,716 | 37,6 | 1,945 |
| 17,2 | 1,723 | 38,0 | 1,948 |
| 17,4 | 1,726 | 38,4 | 1,951 |
| 17,6 | 1,729 | 38,8 | 1,954 |
| 18,0 | 1,735 | 39,2 | 1,957 |
| 18,4 | 1,741 | 39,6 | 1,960 |
| 18,6 | 1,744 | 40,0 | 1,963 |
| 18,8 | 1,747 | | |

Tabelle 3

| t (°C) | K | t (°C) | K | t (°C) | K | t (°C) | K | t (°C) | K |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 0,0736 | 11 | 0,1091 | 22 | 0,1629 | 33 | 0,2366 | 44 | 0,3524 |
| 1 | 0,0762 | 12 | 0,1132 | 23 | 0,1686 | 34 | 0,2449 | 45 | 0,3648 |
| 2 | 0,0789 | 13 | 0,1172 | 24 | 0,1749 | 35 | 0,2541 | 46 | 0,3776 |
| 3 | 0,0816 | 14 | 0,1216 | 25 | 0,1815 | 36 | 0,2636 | 47 | 0,3918 |
| 4 | 0,0845 | 15 | 0,1261 | 26 | 0,1875 | 37 | 0,2736 | 48 | 0,4055 |
| 5 | 0,0875 | 16 | 0,1309 | 27 | 0,1932 | 38 | 0,2838 | 49 | 0,4208 |
| 6 | 0,0908 | 17 | 0,1358 | 28 | 0,1995 | 39 | 0,2944 | 50 | 0,4355 |
| 7 | 0,0942 | 18 | 0,1406 | 29 | 0,2056 | 40 | 0,3055 | | |
| 8 | 0,0978 | 19 | 0,1458 | 30 | 0,2123 | 41 | 0,3163 | | |
| 9 | 0,1014 | 20 | 0,1513 | 31 | 0,2203 | 42 | 0,3281 | | |
| 10 | 0,1052 | 21 | 0,1570 | 32 | 0,2281 | 43 | 0,3396 | | |

Die Angaben in unserem Arbeitsblatt entsprechen dem derzeitigen Stand der Technik und sollen nach bestem Wissen beraten. Ihr Inhalt ist jedoch ohne Rechtsverbindlichkeit.