



VDI 2047 Blatt 2

42. BImSchV

Der sichere Betrieb von Verdunstungskühlanlagen und Kühltürmen

- Hygienesicherheit im Betrieb –**
- Biozide und deren Einsatzgrenzen -**

MIKROBIOLOGISCHE BEEINTRÄCHTIGUNGEN

Wasser ist nicht steril!

„Es enthält zahlreiche Organismen, die sich in Trinkwasseranlagen selbst bei geringen Nährstoffgehalten vermehren können.“

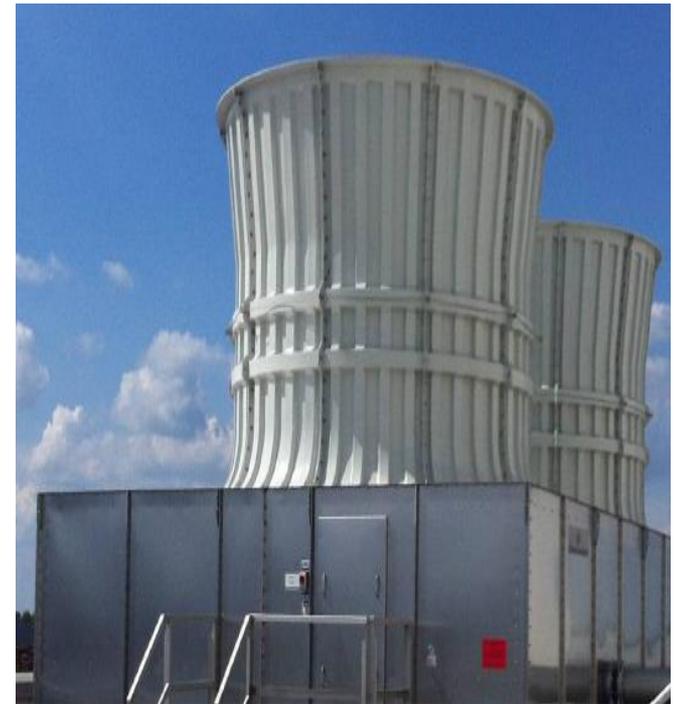


„Schlaraffenland“ für Mikroorganismen

Kühlwasser aus Verdunstungskühltürmen

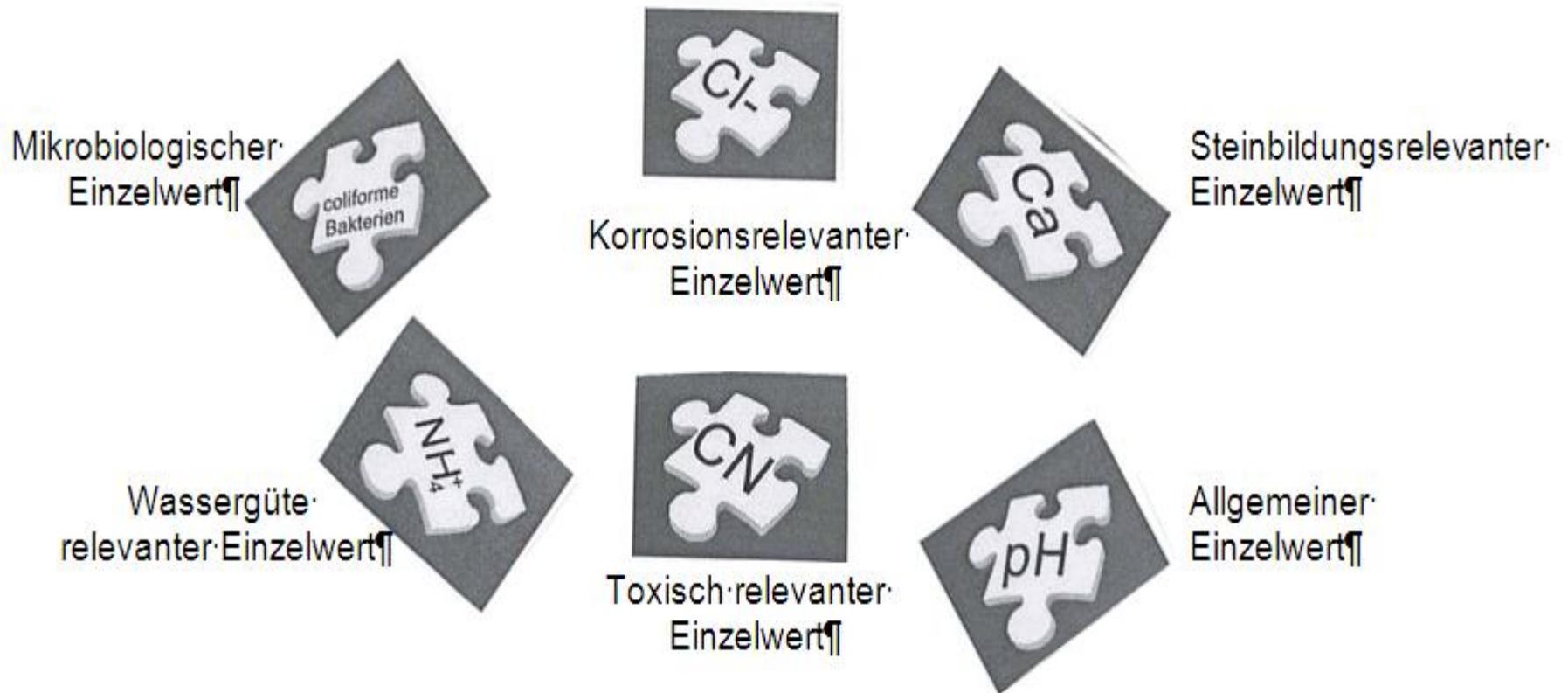
- Temperatur 30 - 36°C
- Nährstoffe aus dem Luftwäschereffekt

(Pollen, Staub, Keime, usw.)



Wasserinhaltsstoffe

Gelöste Gase		Sauerstoff	O_2
		Stickstoff	N_2
		Kohlendioxid	CO_2
Anorganische Salze (Mineralien)			
Kationen		Anionen	
Natrium	Na^+	Chlorid	Cl^-
Ammonium	NH_4^+	Nitrat	NO_3^-
Calcium	Ca^{2+}	Carbonat	CO_3^{2-}
Magnesium	Mg^{2+}	Sulfat	SO_4^{2-}
Zink	Zn^{2+}	Phosphat	PO_4^{3-}
		Hydrogencarbonat	HCO_3^-
Anorganische und organische Trübstoffe			
Gelöste organische Stoffe			
Mikroorganismen (Bakterien, Einzeller, Pilze)			



Mikrobiologischer Einzelwert



Korrosionsrelevanter Einzelwert



Steinbildungsrelevanter Einzelwert



Wassergüte-relevanter Einzelwert



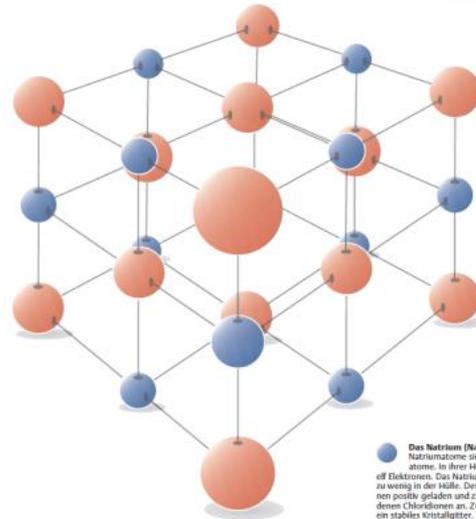
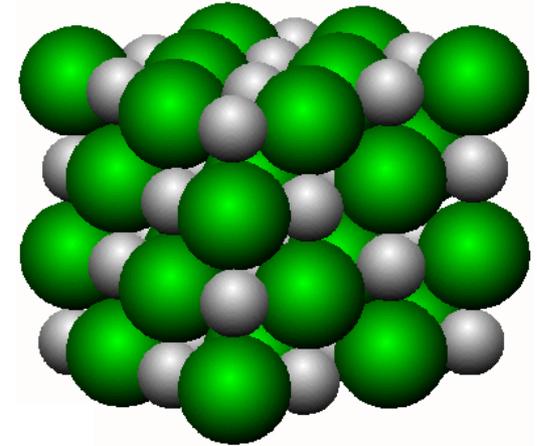
Toxisch-relevanter Einzelwert



Allgemeiner Einzelwert



Gelöste Mineralien

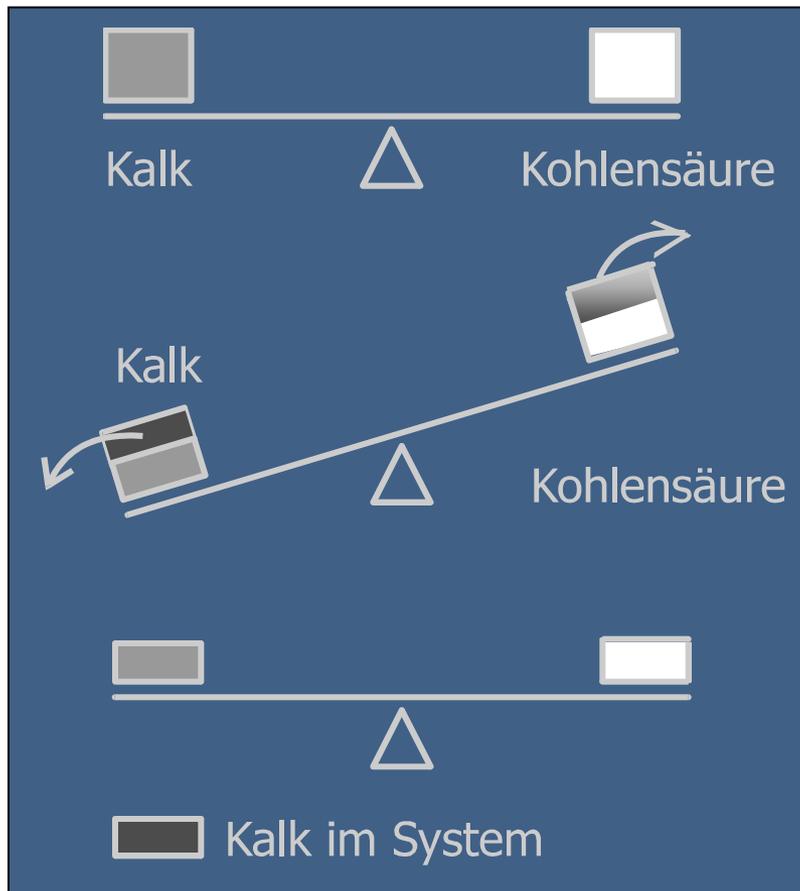


Das Natrium (Na)-Ion
Natriumatome sind kleiner als
atome. In ihrer Hülle befinden
sich 11 Elektronen. Das Natriumatom hat
zu wenig in der Hülle. Deshalb sind
sie positiv geladen und ziehen die
negativen Chloridionen an. Zusammen
bilden sie ein stabiles Kristallgitter.

Verkalkungsprobleme



Kalkabscheidung (Kalk- Kohlensäure- Gleichgewicht)



- Gleichgewicht bei 10°C
- Bei Erwärmung / Verdüsung entweicht Kohlensäure
- Das Gleichgewicht wird gestört
- Gleichgewicht wird eingestellt durch Ausscheidung von Kalk im System
- Ablagerungen entstehen somit unabhängig vom eingesetzten Werkstoff.

**„Dämmung“ der Wärmetauscherflächen durch Kalkbelag
hindert den schnellen und effektiven Wärmetransport**



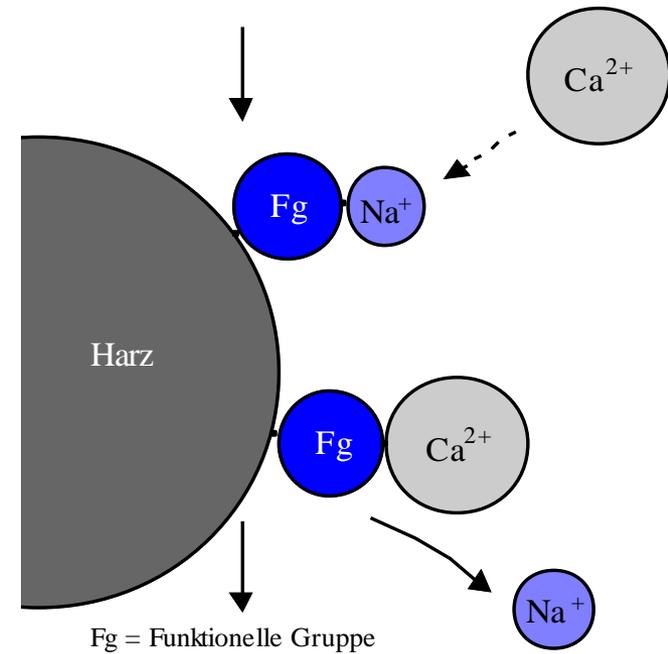
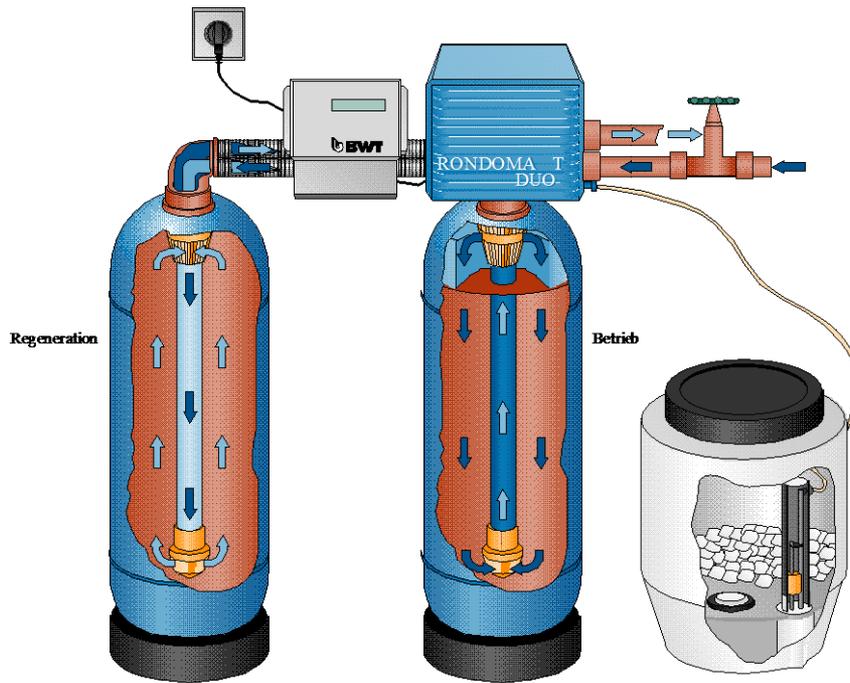
Abnahme des Wirkungsgrades



**nicht funktionsfähige und
effiziente Gesamtanlagen**

Beschaffenheit VDI 3803			Material wasserberührt		
			C-Stahl und Buntmetalle ^{a)}	C-Stahl und andere Metalle, alle beschichtet	Kunststoffe, Cr-Ni-Mo-Stahl
Aussehen		–	möglichst farblos, klar und ohne Bodensatz		
pH-Wert ^{b)}		–	7,5 bis 9,0		
Gesamtsalzgehalt	GSG	g/m ³	< 1900	< 2100	< 2500
Elektrische Leitfähigkeit (bei Bezugstemperatur 20 °C)		mS/m	< 220	< 250	< 300
		µS/cm	< 2200	< 2500	< 3000
Calcium	Ca ²⁺	mol/m ³	> 0,5		
		g/m ³	> 20		
Karbonathärte ^{c)}	KH	°dH	< 4		
Karbonathärte ^{c)} bei Härtestabilisierung ^{d)}	KH	°dH	< 20		
Chlorid ^{e)}	Cl ⁻	mol/m ³	< 4,2	< 7,0	< 5,6
		g/m ³	< 150	< 250	< 200
Sulfat	SO ₄ ²⁻	mol/m ³	< 3,4	< 4,2	< 6,3
		g/m ³	< 100	< 100	< 100
KMnO ₄ -Verbrauch		g/m ³	< 100		
Kalziumzahl ^{f)}		KBE/m ²	< 10000		
Legionellen		KBE/100ml	< 1000		

Enthärtung



Korrosion

3 Hauptverursacher

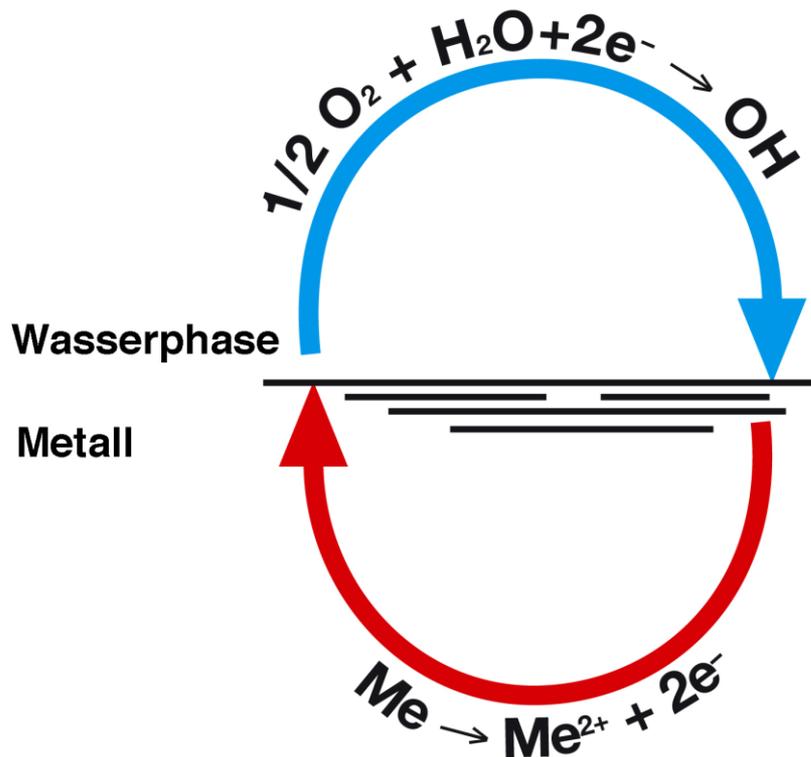
Salzgehalt (Leitfähigkeit)

Sauerstoffgehalt

pH -Wert



Stromkreislauf des Korrosionsvorganges



Kathodenreaktion:

Stromtransport im Wasser
(Abhängig vom Salzgehalt)

Anodenreaktion:

Stromtransport im Metall
(geht immer gut \Rightarrow guter Leiter)

Salzgehalt

Meerwasser

bis 70 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Trinkwasser

**bis 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$
(200 – 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$)**

Kühlturmwasser

bis 2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Heizungswasser (salzhaltig)

101 – 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Heizungswasser (salzarm)

10 – 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Reinwasser

1 – 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$

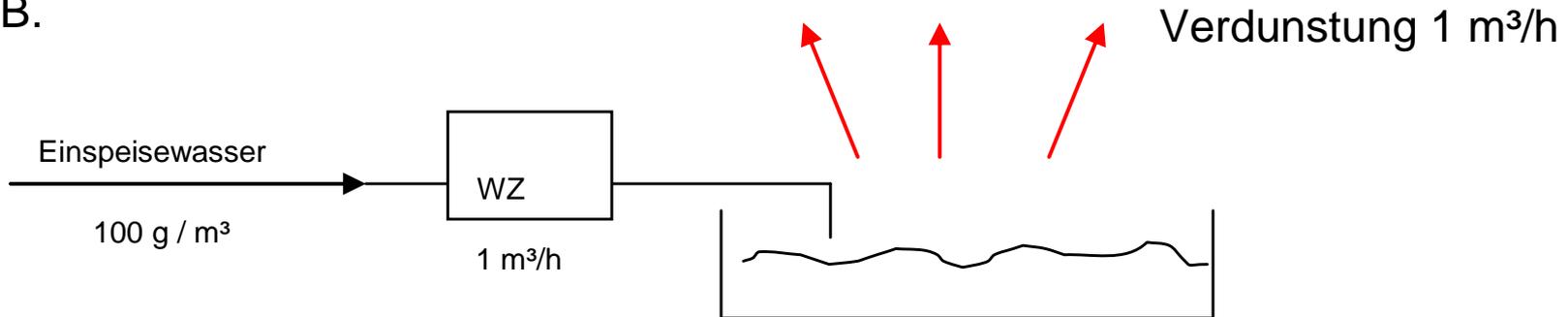
Reinstwasser (VE –Wasser)

kleiner 0,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Eindickung des Salzgehaltes im Kühlturmwasser

Durch den Verdunstungsvorgang wird dem Wasserkreislauf die Verdunstungsmenge an reinem Wasser entzogen, d.h. die mit dem Nachspeisewasser enthaltenen Mineralien werden eingedickt.

z.B.



	Salzgehalt: 200 g / m^3	nach 1 h	
Nachspeisung 1 m^3 :	Salzgehalt: 300 g / m^3	nach 2 h	
Nachspeisung 1 m^3 :	Salzgehalt: 400 g / m^3	nach 3 h	
Nachspeisung 1 m^3 :	Salzgehalt: 500 g / m^3	nach 4 h	usw.

Korrosion

Verantwortlich:

**Salzgehalt, Leitfähigkeit, Chlorid, Sulfat,
Nitrat, pH –Wert , Biofilm und Ablagerungen**

Eindickung

Beschaffenheit VDI 3803			Material wasserberührt		
			C-Stahl und Buntmetalle ^{a)}	C-Stahl und andere Metalle, alle beschichtet	Kunststoffe, Cr-Ni-Mo-Stahl
Aussehen		–	möglichst farblos, klar und ohne Bodensatz		
pH-Wert ^{b)}		–	7,5 bis 9,0		
Gesamtsalzgehalt	GSG	g/m ³	< 1900	< 2100	< 2500
Elektrische Leitfähigkeit (bei Bezugstemperatur 20 °C)		mS/m	< 220	< 250	< 300
		µS/cm	< 2200	< 2500	< 3000
Calcium	Ca ²⁺	mol/m ³	> 0,5		
		g/m ³	> 20		
Karbonathärte ^{c)}	KH	°dH	< 4		
Karbonathärte ^{c)} bei Härtestabilisierung ^{d)}	KH	°dH	< 20		
Chlorid ^{e)}	Cl ⁻	mol/m ³	< 4,2	< 7,0	< 5,6
		g/m ³	< 150	< 250	< 200
Sulfat	SO ₄ ²⁻	mol/m ³	< 3,4	< 4,2	< 6,3
		g/m ³	< 325	< 400	< 600
KMnO ₄ -Verbrauch		g/m ³	< 100		
Kalziumzahl ^{f)}		KBE/m ²	< 10000		
Legionellen		KBE/100m ²	< 1000		

Aufbereitungskonzept

(1) Verdunstungsmenge eines Kühlturms

pro 100 KW	143 l/h	⇔ Richtwerte
------------	---------	--------------

d. h.	bei z.B.	1 MW	= 1000 KW	= 10 x 143	= 1430 l/h <u>= 1,43 m³/h</u>
	bei z.B.	580 KW	= 600 KW	= 6 x 143	= 858 l/h <u>= 0,86 m³/h</u>

(2) Umwälzmenge eines Kühlturms

Pro 100 KW Kühlleistung werden bei einer max. Temperaturdifferenz (Eingangstemperatur – Ausgangstemperatur) von üblicherweise **6°C** 14,3 m³/h Kühlwasser umgewälzt.

pro 100 KW	14,3 m ³ /h
------------	------------------------

z.B.	580 KW	~ 600 KW	= 6 x 14,3	= <u>86 m³/h</u>
z.B.	1000 KW		= 10 x 14,3	= <u>143 m³/h</u>

Beschaffenheit VDI 3803			Material wasserberührt		
			C-Stahl und Buntmetalle ^{a)}	C-Stahl und andere Metalle, alle beschichtet	Kunststoffe, Cr-Ni-Mo-Stahl
Aussehen		–	möglichst farblos, klar und ohne Bodensatz		
pH-Wert ^{b)}		–	7,5 bis 9,0		
Gesamtsalzgehalt	GSG	g/m ³	< 1900	< 2100	< 2500
Elektrische Leitfähigkeit (bei Bezugstemperatur 20 °C)		mS/m	< 220	< 250	< 300
		µS/cm	< 2200	< 2500	< 3000
Calcium	Ca ²⁺	mol/m ³	> 0,5		
		g/m ³	> 20		
Karbonathärte ^{c)}	KH	°dH	< 4		
Karbonathärte ^{c)} bei Härtestabilisierung ^{d)}	KH	°dH	< 20		
Chlorid ^{e)}	Cl ⁻	mol/m ³	< 4,2	< 7,0	< 5,6
		g/m ³	< 150	< 250	< 200
Sulfat	SO ₄ ²⁻	mol/m ³	< 3,4	< 4,2	< 6,3
		g/m ³	< 325	< 400	< 600
KMnO ₄ -Verbrauch		g/m ³	< 100		
Kalziumzahl ^{f)}		KBE/m ²	< 10000		
Legionellen		KBE/100ml	< 1000		

Durch diese Vorgabe wird die Absalzmenge bei einer bestimmten Verdunstungsmenge vorgegeben, z.B.

<u>Rohwasser</u>	<u>VDI-Grenzwert</u>
600 $\mu\text{S}/\text{cm}$	2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$
800 $\mu\text{S}/\text{cm}$	2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$
1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$

EZ (Eindickungszahl)

$$\frac{2200}{600} = 3,67$$

$$\frac{2200}{800} = 2,75$$

$$\frac{2200}{1100} = 2,0$$

Die Absalzmenge

berechnet sich aus $Q_{\text{Absalz}} = \frac{\text{Verdunstungsmenge}}{\text{EZ} - 1}$

z.B. Rohwasser

Verdunstungsmenge z.B. 1 m³/h

		Absalzmenge
600 μS/cm	EZ = 3,67	$Q_{\text{Abs}} = \frac{1 \text{ m}^3/\text{h}}{3,67 - 1} = 0,375 \text{ m}^3/\text{h}$
800 μS/cm	EZ = 2,75	$Q_{\text{Abs}} = \frac{1 \text{ m}^3/\text{h}}{2,75 - 1} = 0,570 \text{ m}^3/\text{h}$
1100 μS/cm	EZ = 2	$Q_{\text{Abs}} = \frac{1 \text{ m}^3/\text{h}}{2 - 1} = 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$

Zusatzwassermenge

Die Zusatzwassermenge ergibt sich aus der Menge des

$$\begin{array}{r} \text{Verdunstungswassers} \\ + \text{ Absalzwasser} \\ + \text{ Sprühverlust} \\ \hline = \text{ Zusatzwasser} \end{array}$$

Der Sprühverlust beträgt i. d. Regel 0,1 – 0,2 % des Umwälzwassers eines Kühlturmes, z.B.

$$1 \text{ MW} = 1000 \text{ KW}$$

$$Q_{\text{Umwälzung}} = 143 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{Sprühverlust}} = 143 \times 0,001 = 0,143 \text{ m}^3/\text{h} \sim 0,1 \%$$

$$143 \times 0,002 = 0,286 \text{ m}^3/\text{h} \sim 0,2 \%$$

Da das Wasser des Sprühverlustes gleichzeitig auch Salze, Biozide, Keime usw., die in der Kühlturmtasse vorhanden sind, mit austrägt, muss dieses Wasser nicht mehr abgesalzt werden. Daher kann der Sprühverlust vernachlässigt werden.

! ACHTUNG

Korrosion

Der Korrosionsvorgang ist ein sehr komplexer Prozeß. Es kommt auf das Zusammenspiel mehrerer miteinander reagierender Einflussgrößen an. Dazu zählen:

-  der Werkstoff, aus dem die Komponenten hergestellt sind,
-  die Zusammensetzung des Wassers (Salzgehalt)
-  die Betriebsbedingungen, wie z.B. Wassertemperatur, Fließgeschwindigkeiten und Stagnation,
-  die Planung und Verarbeitung

Dossierchemikalien zum Schutz vor Korrosion, Kalkablagerungen, Schwebstoffen, Ablagerungen und mikrobiologische Vorgänge

Achtung: Gefahrstoffe



CURRENT LABELLING

CLP LABELLING

SYMBOLS AND INDICATIONS OF DANGER

TOXIC HAZARDS

- T+ - Très toxique
- T - Toxique
- Xn - Nocif
- Xi - Irritant
- C - Corrosif

PHYSICO-CHEMICAL HAZARDS

- F+ - Extrêmement inflammable
- F - Inflammable
- O - Combustible
- E - Explosif

ENVIRONMENT HAZARDS

- N - Dangereux pour l'environnement



HAZARD PICTOGRAMS

HEALTH HAZARDS

- Skull and crossbones (Toxic)
- Exclamation mark (Irritant)
- Health hazard symbol (Hazardous to the environment)

PHYSICAL HAZARDS

- Flame (Flammable)
- Explosion (Explosive)
- Gas cylinder (Gaseous under pressure)
- Corrosion (Corrosive)

ENVIRONMENT HAZARDS

- Environment (Hazardous to the environment)



Gefahrensymbole

Alt Neu



reizend



ätzend



giftig

Gebotshinweise



H-Sätze

H301

→ laufende Nummer

→ Gruppierung 2 = Physikalische Gefahren
 3 = Gesundheitsgefahren
 4 = Umweltgefahren

→ steht für Gefahrenhinweis (**H**azard **S**tatement)

R-Sätze

Hinweise auf besondere Gefahren

R34 verursacht Verätzungen
 R35 verursacht schwere Verätzungen
 R36 reizt die Augen
 R37 reizt die Atmungsorgane
 R38 reizt die Haut
 R39 ernste Gefahr irreversiblen Schadens
 R40 irreversibler Schaden möglich
 R41 Gefahr ernster Augenschäden
 R42 Sensibilisierung durch Einatmen möglich
 R43 Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich

Chemikalienvorschriften

Alt: REACH

erst ab **5 %** anzugeben

Neu: REACH

ab **0,1 -0,5 %** anzugeben



Gesetzliche Vorgaben

5.2 Arbeitsschutz

Der Anspruch des arbeitenden Menschen auf Schutz ist gesetzlich geregelt

Der Betreiber einer Verdunstungskühlanlage hat den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene gemäß § 4 ArbSchG wahrzunehmen und zu erfüllen. Der Arbeitgeber ist nach § 5 ArbSchG und § 3 BetrSichV verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung durchzuführen. Er hat dabei die mit den Tätigkeiten verbundenen Gefährdungen arbeitsplatzbezogen festzustellen und die daraus abzuleitenden Maßnahmen zur Verhütung von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren zu ermitteln. Hierbei sind beim möglichen Auftreten von biologischen Arbeitsstoffen (z.B. Legionellen, Pseudomonaden oder Schimmelpilzen) auch die Anforderungen der Biostoffverordnung (BioStoffV) sowie bei der Verwendung von Gefahrstoffen (z.B. Bioziden) die Anforderungen der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) zu berücksichtigen.

Bei der Verwendung von Bioziden ist ordnungsgemäß und nach guter fachlicher Praxis zu verfahren (GefStoffV, § 16 Absatz 3 in Verbindung mit TRGS 500, Punkt 5.1 (10)). Das setzt voraus, dass die Mitarbeiter im Umgang mit dem jeweiligen Biozid geschult und unterwiesen worden sind.

Zur ordnungsgemäßen Verwendung gehört nach § 16 Absatz 3 GefStoffV insbesondere, dass ein Biozidprodukt nur für die in der Kennzeichnung ausgewiesenen Verwendungszwecke eingesetzt wird. Des Weiteren sind die sich aus der Kennzeichnung und der Zulassung ergebenden Verwendungsbedingungen einzuhalten und der Einsatz von Bioziden durch eine sachgerechte Berücksichtigung physikalischer, biologischer, chemischer und sonstiger Alternativen auf das Minimum zu begrenzen. Zudem sind die rechtlichen Vorgaben aus den Anhängen der Abwasserverordnung (AbwV) (22, 31, 45 usw.), insbesondere im Hinblick auf die Parameter AOX und Zink einzuhalten.

Biozide dürfen nicht verwendet werden, soweit damit zu rechnen ist, dass ihre Anwendung im Einzelfall schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit von Menschen, andere als die Zielorganismen oder auf die Umwelt hat (GefStoffV, § 16 Absatz 3 und TRGS 500, Punkt 5.1 (10)).

5.3 Verwendung von Bioziden

Auf die Verwendung von Bioziden ist, wann immer möglich, zu verzichten.

Die Verwendung von Bioziden unterliegt der Verordnung (EU) Nr. 528/2012 (Biozidverordnung – BPR) und der GefStoffV.

Es dürfen nach BPR nur zugelassene Biozidprodukte der entsprechenden Produktart (PT 11 für Kühlwasser) verwendet werden. Die deutsche Zulassungsstelle für Biozide ist die Bundesstelle für Chemikalien der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA).

Die GefStoffV findet Anwendung, wenn den Bioziden gefährliche Eigenschaften (z.B. reizend, ätzend, gesundheitsschädlich zu sein) zugeschrieben werden. Die Anforderungen der GefStoffV sind einschließlich der Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung und der Aufnahmen in das Gefahrstoffverzeichnis einzuhalten. Des Weiteren ist durch den Arbeitgeber zu prüfen, ob ein Ersatz durch weniger gefährliche Stoffe oder Verfahren möglich ist. Ist dies nicht möglich, ist beim Festlegen der Schutzmaßnahmen die folgende Rangfolge einzuhalten:



- a) technische Minimierung der Belastungen
- b) organisatorische Maßnahmen
- c) personenbezogene Schutzmaßnahmen



Dokumentation

8.7.1.2.1 Einsatz von Bioziden

Die Zugabemenge von Bioziden ergibt sich aus dem Gesamtvolumen des Kreislaufwassers (Systemvolumen), der Zusatzwassermenge (siehe auch Abschnitt 8.1 und Abschnitt 8.7.1.1), der Zielkonzentration, der Verweilzeit und der Wasserbeschaffenheit. Dabei spielen insbesondere Art und Ausmaß der mikrobiellen Belastung der Verdunstungskühlanlage, die Konzentration organischer Substanzen, der pH-Wert, die Temperatur im Kreislaufwasser sowie die Jahreszeit und die baulichen Gegebenheiten (insbesondere Fließgeschwindigkeiten und verbaute Werkstoffe) eine wichtige Rolle.

Beim Einsatz von Bioziden zur Beherrschung von Mikroorganismen im Kreislaufwasser sind die Einhaltung der Einsatzkonzentrationen und Kontaktzeiten essenziell. Durch zu geringe Konzentration oder Einwirkzeit kann es zur Ausbildung von Resistenzen und Adaptation kommen.

Um die Wirkung von Bioziden zu unterstützen, können oberflächenaktive Substanzen zum Einsatz kommen.

8.7.1.2 Behandlung des Kreislaufwassers

Zur Behandlung des Kreislaufwassers kommen entsprechend den Anforderungen verschiedene Verfahren, auch in Kombination, zum Einsatz, z.B.:

- Entfernung von Feststoffen
 - Filtration
- Dosierung von Stoffen
 - Härtestabilisatoren
 - Korrosionsinhibitoren
 - Dispergiermittel

Wichtiger Hinweis

Zusatzstoffe können die Vermehrung von Mikroorganismen fördern. Dies gilt insbesondere für biologisch verwertbare Substanzen, z.B. anorganische Phosphate.

- Begrenzung mikrobiologischer Belastungen
 - Biozide
 - UV-Bestrahlung

Begründung:

Endlich wird auch in Deutschland ein Nachweis nach DIN EN 13623 (Wirksamkeit des eingesetzten Wirkstoffes gegen Legionellen) gefordert. Bei Einsatz von Bioziden zur Beherrschung pathogener Mikroorganismen im Kühlkreislaufwasser sind die Einhaltung der Einsatzkonzentrationen und Kontaktzeiten essenziell. Durch zu geringe Konzentration oder Einwirkzeit kann es zur Ausbildung von Resistenzen und Adaptionen kommen.

Biozide haben höchst unterschiedliche Mindestkonzentrationen und Mindesteinwirkzeiten, z.B.

- Biozid A 5 log Stufen bei 200 ml/m³,
Kontaktzeit 15 Stunden
- Biozid B 5 log Stufen bei 100 ml/m³
Kontaktzeit 15 Stunden
- Biozid C 5 log Stufen bei 80 ml/m³
Kontaktzeit 15 Minuten

Da während dieser Kontaktzeit die Absalzung gesperrt sein muss (Vermeidung von Verdünnung und zur Einhaltung WHG, Anhang 31) kann es je nach Wasserinhalt eines Systems zu großen Problemen (Auskristallisationen, Korrosionen, Ausfällung usw.) kommen.

Wäre ein „Aufbereitungskonzept“ Pflicht, könnten für den „Sachverständigen“ und für den Betreiber der Anlage sehr einfach Schwach- und Risikopunkte erkannt werden.

Der Einsatz von „nicht wirksamen“ Biozidkonzepten wäre wirkungsvoll für Neu- und Bestandsanlagen ausgeschlossen.

Oxidative Biozide

Chlor

Natriumhypochlorit

Calciumhypochlorit

Trichlorisocyanursäure

Ammoniumbromid/Natriumbromid

Natriumhypobromit

1-Brom-3-Chlor-5,5-dimethylhydantoin

Wasserstoffperoxid

Ozon

Kaliummonopersulfat

Peroxyessigsäure

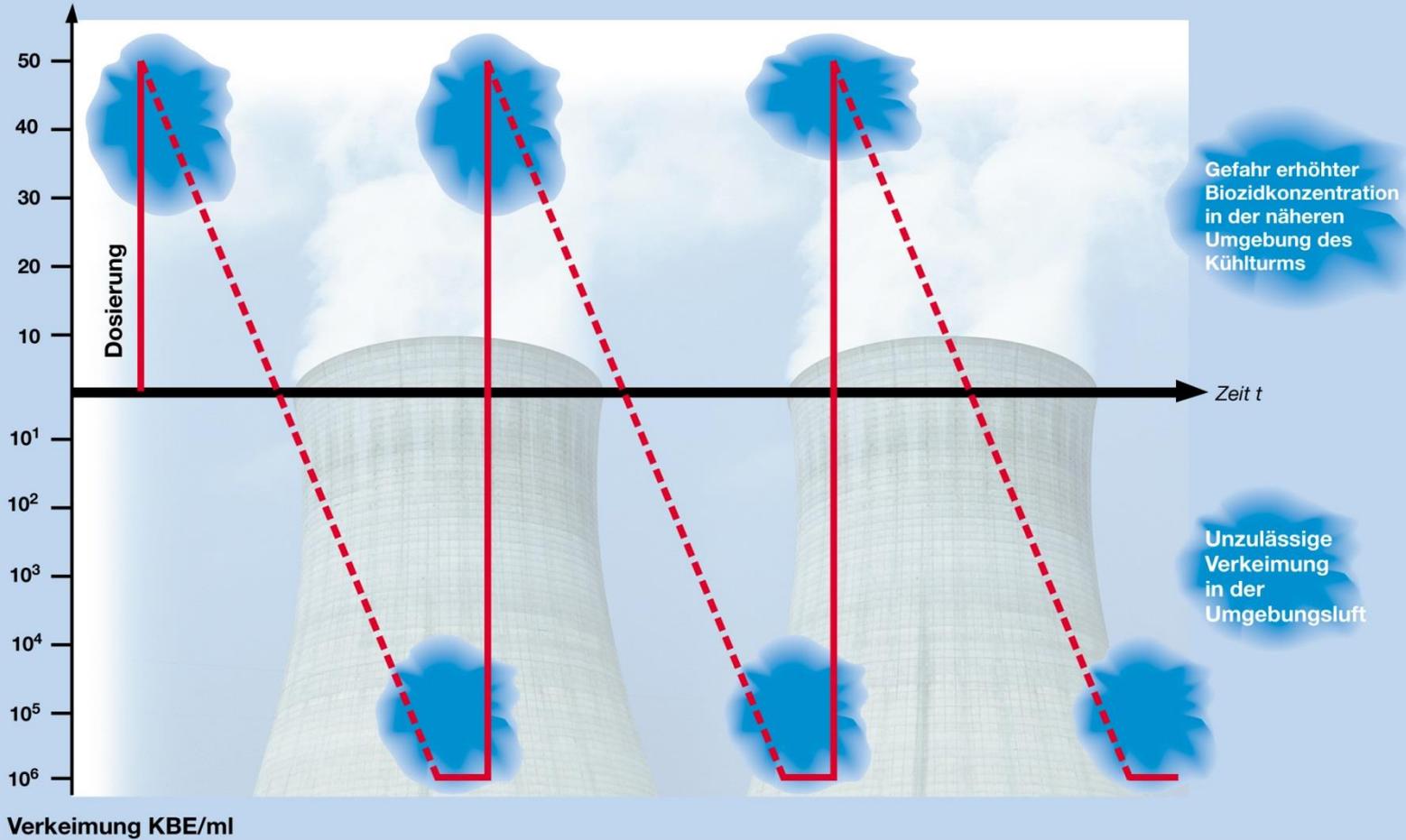
Chlordioxid

Nicht oxidative Biozide

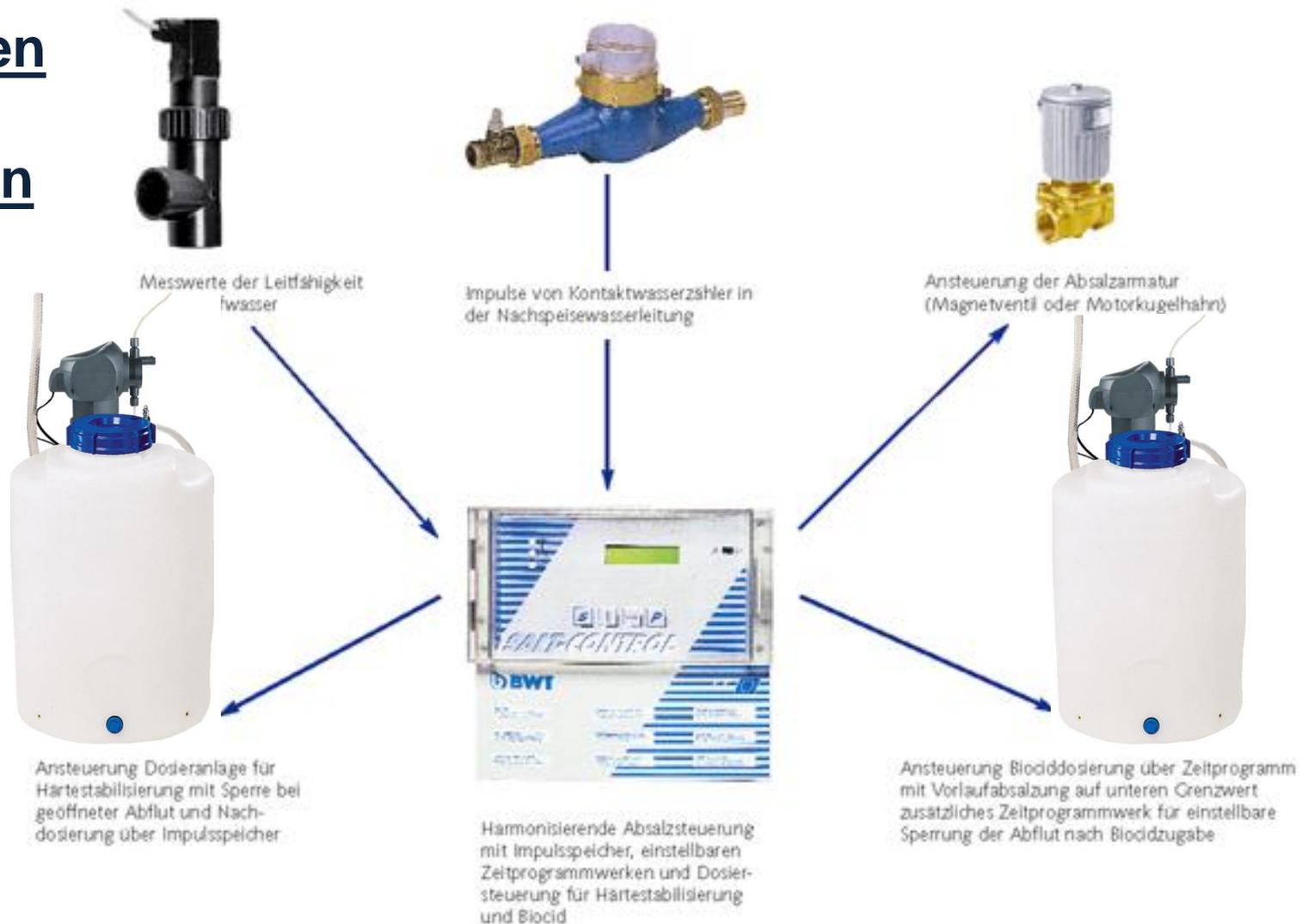
- 2,2-Dibrom-3-nitropropionamid
- 2-Brom-2-nitropropan-1,3-diol
- Isothiazolone
- S-Triazine
- Dodecylguanidinhydrochlorid (DGH)
- Methylen-bis-thiocyanat
- Quarternäre Ammoniumverbindungen

Verlauf der möglichen Umgebungskontamination

Konzentration Biozid ppm



Absalzen und dosieren



Umweltgerechte, Harmonisierende Absalz- und Dosierregelung



Untersuchungsbefund Nr.: 4003

BWT Wassertechnik, Postfach 1161, D-69191 Schriesheim

Altmühltaler Mineralbrunnen GmbH

Bahnhofstr. 48

D-91757 Treuchtlingen

Kommission: D-91757 Treuchtlingen

Altmühltaler

Zuständig: VTP, Haas, Jürgen

Eingang: 13.10.06

Probenahme: 11.10.06

Untersuchung: 13.10.06

Art der Probe: Mineralwasser

Probenahmestelle: Auslauf Kiesfilter

Dosiermittel:

Aussehen: klar

Rohrmaterial:

Parameter	berechnet als	Einheit	Meßwert	Grenzwert Trinkw V	berechnet als	Einheit	Meßwert	Grenzwert Trinkw V
pH-Wert bei 20°C	-		7,10	6,5 - 9,5	-		7,10	6,5 - 9,5
Leitfähigkeit bei 25 °C	-	mS/m	105,30	250	-	µS/cm	1.053,0	2500
Summe Erdalkalien	-	mol/m³	4,22		-			
Gesamthärte	-				-	°dH	23,6	
Säurekapazität bis pH 4,3	-	mol/m³	6,77		-			
Karbonathärte	-				-	°dH	18,1	
Säurekapazität bis pH 8,2	-	mol/m³			-			
Basenkapazität bis pH 8,2	-	mol/m³	0,72		CO ₂	mg/l	31,7	
Chlorid	Cl ⁻	mol/m³	2,58	7	Cl ⁻	mg/l	91,5	250
Sulfat	SO ₄ ²⁻	mol/m³	0,47	2,5 / 5,2	SO ₄ ²⁻	mg/l	44,9	240 / 500
Nitrat	NO ₃ ⁻	mol/m³	0,16	0,81	NO ₃ ⁻	mg/l	9,6	50
Phosphat	PO ₄ ³⁻	mmol/m³	< 14,1	71*	P ₂ O ₅	mg/l	< 1,00	5*
Oxidierbarkeit	O ₂	g/m³	1,2	5	KMnO ₄	mg/l	4,6	19,75
Calcium	Ca	mol/m³	3,67		Ca	mg/l	147	
Magnesium	Mg	mol/m³	0,55		Mg	mg/l	13,4	
Eisen	Fe	mmol/m³	< 0,36	3,6 / 9,0	Fe	mg/l	< 0,02	0,2 / 0,5
Mangan	Mn	mmol/m³	0,36	0,9 / 3,6	Mn	mg/l	0,02	0,05 / 0,2
Kupfer	Cu	mmol/m³	0,16	31	Cu	mg/l	0,01	2
Zink	Zn	mmol/m³	< 0,15		Zn	mg/l	< 0,01	
Aluminium	Al	mmol/m³	< 3,71	7,5	Al	mg/l	< 0,10	0,2
Natrium	Na	mol/m³	1,71	8,7	Na	mg/l	39,2	200
Kalium	K	mmol/m³	194,36		K	mg/l	7,60	
Silicium	Si	mmol/m³	138,50	250*	SiO ₂	mg/l	8,32	15*
Molybdän	Mo	mol/m³			Mo	mg/l		
SAK, 254nm		m ⁻¹	1,534		T _{100nm}	%	70,2	
SSK, 254nm		m ⁻¹	1,596		T _{100nm}	%	69,7	

Errechnete Werte:

pH-Calciumcarbonatsättigung	6,81	SI (DIN EN 12502-3)	0,54	Ionenbilanz	-0,10
SD (DIN EN 12502-3)	22,60	S (DIN EN 12502-2)	14,48	pH _{calc} E. 8.4	7,25

* Zulässige Zugabe nach Liste der Aufbereitungsstoffe

Die Analyseergebnisse wurden von uns gewissenhaft und mit den modernsten Verfahren ermittelt. Sie bewegen sich innerhalb der verfahrenstypischen Meßtoleranzen. Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf den Prüfgegenstand.

**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit**

