

Mischen nach neuem Konzept

Dosierung von Natronlauge im Wasserwerk Eichenkamp/Bornheim

Für die Sicherstellung der Wasserversorgung der Stadt Bornheim wurde von der Regionalgas Euskirchen die Erneuerung des Wasserwerkes Bornheim/Eichenkamp durchgeführt. Die Maßnahme erfolgte im Rahmen des auf 20 Jahre ausgerichteten Wasserversorgungskonzeptes. Mit dem Neubau des Wasserwerkes wurde folgende Zielsetzung umgesetzt:

- Vergrößerung der Anlagenkapazität von jährlich 2,2 Mio. auf jährlich 3 Mio. m³
- Veränderung der Wasserbezugs mengen
- Erhöhung des Automatisierungsgrades
- Verteilung einer möglichst konstanten Wasserqualität im gesamten Versorgungsgebiet

Bei der Neubaumaßnahme wurden der Lagertank und die Dosieranlage für die Natronlauge, die Enthärtungsanlage für das Treibwasser und die Treibwasserpumpen aus dem vorhandenen anlagentechnischen Bestand des Wasserwerkes übernommen. Im Rahmen der Erweiterung durch den Neubau wurde auch die Leitungsführung optimiert und die Verrohrung im bestehenden Gebäude erneuert. In diesem Zusammenhang sollte auch die Mischung der Wässer und der Eintrag der Natronlauge zur Entsäuerung des Mischwassers durch Einbau eines statischen Mischers verbessert werden. Nach Vergleich der Bautypen verschiedener Hersteller wurde schließlich ein statischer

Mischer („Kaskadenmischer“) eingebaut. Die Natronlauge wurde dabei vor dem statischen Mischer in den Mischwasserstrom ohne Verwendung einer Dosierlanze eingebracht.

Betriebsbedingungen

Das abgegebene Wasser ist ein Mischwasser, bestehend aus Einzellieferungen von zwei Vorlieferanten. Der Bemessungsförderstrom des neuen Pumpwerkes beträgt 600 m³/h. Im Wasserwerk Bornheim/Eichenkamp werden die Einzelwässer unabhängig von der abgegebenen Wassermenge stets in einem konstanten Mischungsverhältnis gemischt. Die Ausgangswässer sind nach den Kriterien des DVGW-Arbeitsblattes W 216 [1] von unterschiedlicher Beschaffenheit und können daher nur in einem bestimmten Mischungsverhältnis unter Einhaltung der Schwankungsbreite gemäß W 216 verteilt werden. Das danach erhaltene Mischwasser ist kalklösend und liegt mit seiner Calcitlösekapazität D oberhalb des nach der Trinkwasserverordnung [2] zugelassenen Grenzwertes von 5 mg CaCO₃/l. Die notwendige Einstellung des pH-Wertes der Calcitsättigung erfolgt durch Zusatz von Natronlauge mit Hilfe einer Treibwasser-Injektion. Dabei wird die ca. 33-prozentige Natronlauge mit dem enthärteten Treibwasser auf etwa 5 Prozent verdünnt. Der jeweils von der Abgabemenge und dem Mischungsverhältnis

der Ausgangswässer abhängige Zusatz an Natronlauge für die Einstellung des pH-Wertes der Calcitsättigung wurde zuvor jeweils mit dem Programm WinWasi 4.0 berechnet und in der SPS hinterlegt.

Betriebsergebnisse

Bereits nach kurzer Betriebsdauer hatten sich erhebliche Ablagerungen von Calciumcarbonat an der Dosierstelle an der Oberseite des Rohres, auf den Mischelementen (Abb. 1), in der nachfolgenden Leitung und an der in einem Abstand von etwa 2 Meter vom Mischer entfernten Absperrklappe (Abb. 2) abgesetzt, die letztendlich deren Funktionsfähigkeit blockierten. Bei dem Versuch, die Absperrklappe zu betätigen, ist letztendlich das Gussgehäuse der Absperrklappe der Länge nach gerissen (Abb. 3). Abbildung 4 zeigt die Calciumcarbonatrückstände, die in dem der Absperrklappe nachgeordneten Schrägsitzfilter aufgefangen wurden. Ursache der Kalkausfällungen war offensichtlich die fehlende Verteilung der Natronlauge über den gesamten Leitungsquerschnitt sowie die Bildung von Stagnationszonen hinter den Mischelementen, die dann zu lokalen Überalkalisierungen führten.

Änderung des Mischkonzeptes

Die Kalkausfällungen und die damit verbundenen Betriebsunterbrechungen erforderten neue Überlegungen zum Eintrag

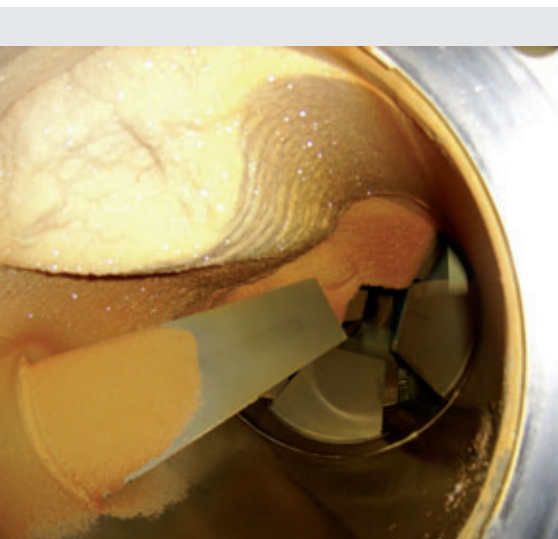


Abb. 1: Kaskadenmischer (Eingang)



Abb. 2: Absperrklappe mit Kalkablagerungen



Abb. 3: Riss im Gehäuse

Quelle alle Abbildungen: Regionalgas Euskirchen



der Natronlauge und deren Verteilung im Mischwasserstrom. Erste Hinweise und Vorschläge zur Verbesserung des Eintrages der Natronlauge in das Mischwasser und eine gleichmäßige Verteilung über den Rohrquerschnitt ergaben sich aus den Untersuchungsergebnissen eines DVGW-Forschungsprojektes [3], das an der FH Köln, Labor für Wasser und Umwelt, durchgeführt wurde. Nach Aussage der Untersuchungsergebnisse wurde unter folgenden Voraussetzungen ein optimaler Eintrag der Natronlauge unter Vermeidung örtlicher Überalkalisierungen erreicht:

- kein Einbau eines statischen Mischers
- Erzeugung einer pendelnden Strömung ähnlich der Kármánschen Wirbelstraße durch Einbau von zwei seitlich angeordneten Rundstäben und einer plattenförmigen Bogenblende
- Einbau der Dosierlanzen (Eintrag der Natronlauge) unterstrom des Mischelementes (Abstand 0,8d bis 1,3d). Die pendelnde Strömung muss an der Dosierstelle noch ausreichend intensiv sein.
- Verteilung der Natronlauge in der Vertikalen durch Dosierlanzen mit mehreren in der Höhe gestaffelten seitlichen Austrittsöffnungen, die eine ausreichend hohe Austrittsgeschwindigkeit der Natronlauge ermöglichen.

Dimensionierung des Mischelementes

Von der FH Köln, Labor für Wasser und Umwelt, wurde entsprechend den Untersuchungsergebnissen aus dem DVGW-Forschungsprojekt [3] und deren Veröffentlichung [4] das Mischelement für die nachfolgend aufgeführten Betriebsdaten des Wasserwerks Eichenkamp/Bornheim dimensioniert:

Volumenstrom des Mischwassers:

$$Q = 200-600 \text{ m}^3/\text{h}$$

Volumenstrom Treibwasser/Natronlauge:

$$Q_{\text{Dos}} = 800 \text{ l/h}$$

Durchmesser der Mischwasserleitung:

DN 350

Außen-/Innendurchmesser der Dosierlanze(n): $D_{\text{Lanze, a/i}} = 22 \text{ mm}/19,6 \text{ mm}$

Die Anordnung der Mischelemente und die Abmessungen gehen aus **Abbildung 5** hervor. Weitere Berechnungen sind in **Tabelle 2** enthalten.

Ausführung des neu konzipierten Mischelementes

Das Mischelement wurde entsprechend dem Querschnitt der vorhandenen Leitungen (DN 350) mit dem gleichen Durch-

NEUE PERSPEKTIVEN FÜR DIE UMWELT

ONLINE-REGISTRIERUNG FÜR BESUCHER:

www.ifat.de/tickets



**WELTLEITMESSE FÜR WASSER-, ABWASSER-,
ABFALL- UND ROHSTOFFWIRTSCHAFT**

**13.-17. SEPTEMBER 2010
IN MÜNCHEN**

**DAS INTERNATIONALE ANGEBOT FÜR
DIE WASSER- UND ABWASSERWIRTSCHAFT**

- Alle Anwendungsfelder, alle Produkte, alle Dienstleistungen
- Technologieführer, Spezialisten und Newcomer aus aller Welt
- Für jede Anwendung und jeden Einsatz die passende Lösung
- Erstklassiges Rahmenprogramm für Information und Networking
- Sehr breites Leistungsspektrum für die Wasser- und Abwasserwirtschaft

Ausführliche Informationen und Vortragsprogramm unter:
www.ifat.de

Neue Messe München
81823 München
Tel. (+49 89) 9 49 - 1 13 58
Fax (+49 89) 9 49 - 1 13 59

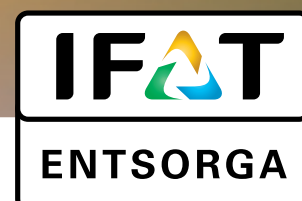


Tabelle 1: Maße der Bogenblende

Mischer WW Eichenkamp/Bornheim

D_Rohr in m:		0,35	
Q_max in m³/s:		0,1667	
Form:			
y in c · D	b in c · D	y in mm	b in mm
0 (Rohrmitte)	0,280	0	98,0
0,05	0,275	17,5	96,3
0,15	0,266	52,5	93,1
0,25	0,255	87,5	89,3
0,35	0,242	122,5	84,7
0,45	0,219	157,5	76,7
Re_Bl:	327208		
h_Verlust in m:	0,322		
f_Pendel in Hz:	6,9		

Quelle: Labor für Wasser und Umwelt, FH Köln

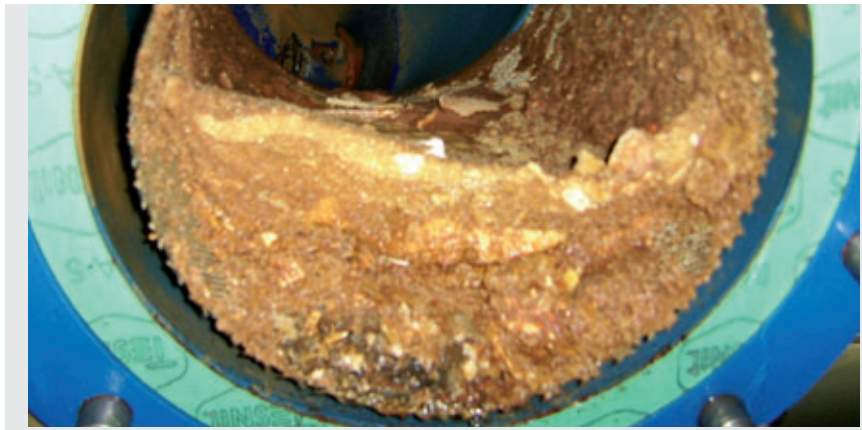


Abb. 4: Kalkansammlung im Schrägsitzfilter (Betrieb mit Kaskadenmischer)

messer komplett aus dem Werkstoff 1.4571 gefertigt und in seiner Baulänge an die durch den Ausbau des statischen Mixers entstandene Lücke (560 mm) angepasst. Die Dosierung der Natronlauge erfolgt über zwei Dosierlanzen mit über die gesamte Länge verteilten Austrittsöffnungen, von denen sich jeweils zwei auf gleicher Höhe befinden. Die Öffnungen sind, bezogen auf die Querachse der Mischwasserleitung, in einem Winkel von 10 Grad gegen die Fließrichtung angeordnet. Die Dosieröffnungen wurden zunächst mit einem Durchmesser von 2 Millimeter gefertigt.

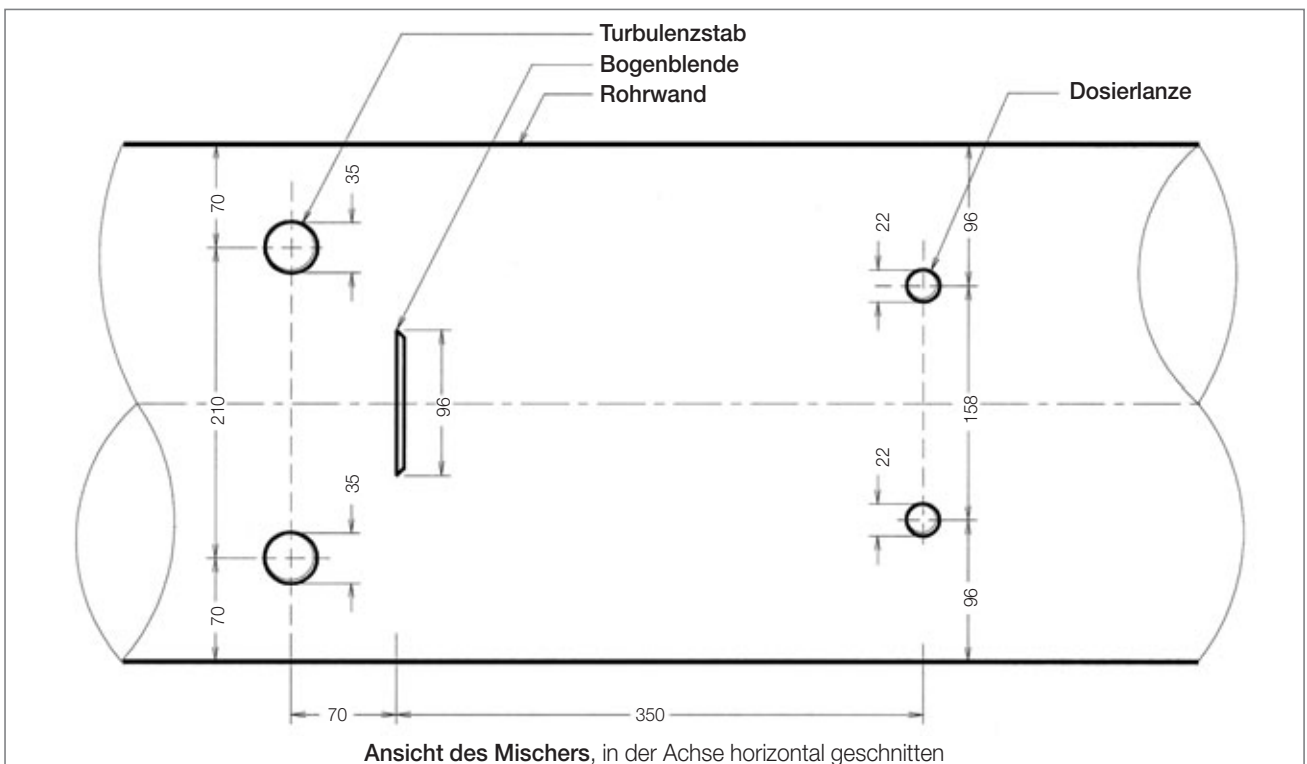
Erste Erfahrungen und Verbesserungen

Nach einer Betriebszeit von sechs Monaten wurde der Mischer ausgebaut und untersucht. Dabei ergab sich folgender Sachverhalt:

- Erhebliche Verringerung der Kalkausfällungen in der dem neuen Mischelement nachfolgenden Mischstrecke (Abb. 6)
- Auf der ganzen Rohrwandung – aber auch schon vor der Dosierstelle – hatte sich ein dünner, brauner, grobkristalliner Belag gebildet, der leicht abgewischt werden konnte.

- Auf den Lanzen hatte sich ein etwa 0,5 Millimeter dicker, feinkristalliner, fester Belag gebildet, der im Bereich der Bohrungen verstärkt war. Über den Austrittsöffnungen der Natronlauge hatten sich unregelmäßige, röhrenähnliche „Kanäle“ von bis zu etwa 2 Zentimeter Länge gebildet (Abb. 7).
- Die Absperrklappe, ca. 2 Meter hinter dem Mischer, war frei von jedem Belag (Abb. 6).

Auf Grund der Beobachtungen lässt sich festhalten, dass der Mischer offensichtlich die Natronlauge so schnell vermischt, dass eine Überalkalisierung und die damit ver-



Ansicht des Mixers, in der Achse horizontal geschnitten

Abb. 5: Zeichnung Mischer

Quelle: Labor für Wasser und Umwelt, FH Köln



Abb. 6: Leitung nach Mischer (Betrieb 6 Monate)

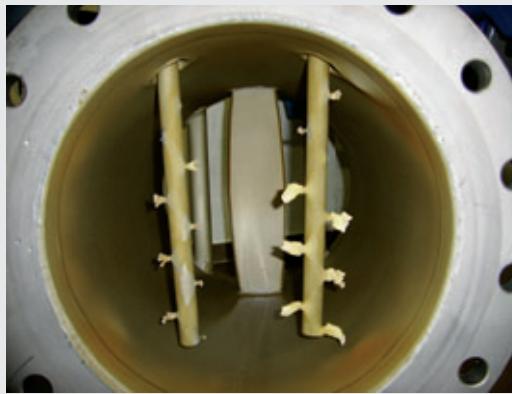


Abb. 7: Dosierlanzen mit „Kalkkanälen“ (Betrieb 6 Monate)



Abb. 8: Dosierlanzen nach Änderung der Austrittsöffnung (1,5 mm), Betrieb sechs Monate

Quelle alle Abbildungen: Regionalgas Euskirchen

bundene Kalkausfällung wirksam verhindert werden. Zur Verringerung des Kalkausfalls an den Austrittsöffnungen der Dosierlanzen ist eine Verringerung des Bohrdurchmessers erforderlich. Dadurch soll erreicht werden, dass durch Erhöhung der Austrittsgeschwindigkeit die Natronlauge von den Lanzen weiter weg in den Wasserstrom eingebracht wird und so die Ablagerungen auf den Lanzen selbst verringert werden. Die Bohrungen der Dosierlanzen wurden bei der Erstausrüstung mit 2 Millimeter größer als die vorgeschlagenen 1,7 Millimeter ausgeführt. Damit ist die Austrittsfläche A_{Dos} 38 Prozent zu groß und die Austrittsgeschwindigkeit der Natronlauge entsprechend zu gering.

Die Verringerung des Bohrdurchmessers hat außerdem noch den Vorteil, dass die

Dosierflüssigkeit gleichmäßiger aus den Einzelbohrungen austritt: Für eine gute Verteilung soll der kleinste Querschnitt der Zuleitung den 4- bis 6-fachen Wert der Summe der Düsenöffnungen haben. Bei einem inneren Durchmesser von 19,6 Millimeter in den Verschraubungen der Dosierlanzen ergibt sich in der Zuleitung eine Fläche von $3,02 \text{ cm}^2$; 18 Bohrungen von 2,0 Millimeter Durchmesser haben eine Fläche von $0,56 \text{ cm}^2$. Damit beträgt der Quotient $3,02/0,565 = 5,34 \approx 4$ bis 6. Die noch etwas ungleichmäßige Beaufschlagung wird durch die unterschiedlich langen Kalkansätze an den Austrittsöffnungen (Abb. 7) erkennbar. Bei einer Verringerung des Öffnungsdurchmessers auf 1,5 Millimeter beträgt der Quotient $3,02 / 0,32 = 9,4$ und liegt damit über dem in [4] vorgeschlagenen Bereich.

Eventuell wird gegen die kleinen Dosierbohrungen eingewendet, dass damit eine sehr leistungsfähige Dosierpumpe erforderlich wird. Deshalb wird nachfolgend der erforderliche Druck der Dosierpumpe abgeschätzt: Wegen der sehr geringen Geschwindigkeit in den Dosierleitungen können die Reibungsverluste dort vernachlässigt werden; für die Summe der Verluste wird vereinfacht die doppelte Geschwindigkeitshöhe in den Austrittsöffnungen angesetzt:

$$v_{\text{Dos}} = Q_{\text{Dos}} / \sum A_{\text{Dos}} = 222 \text{ cm}^3/\text{s} / 0,32 \text{ cm}^2 = 694 \text{ cm/s}$$

$$h_{\text{kin}} = v^2 / 2g = 694^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2 / (2 \cdot 981 \text{ cm/s}^2) = 245 \text{ cm} = 2,45 \text{ m}$$

$$p_{\text{erf}} \approx 2 \cdot h_{\text{kin}} \cdot \rho \cdot g = 2 \cdot 2,45 \text{ m} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 48,1 \text{ kPa} \approx 4,8 \text{ m} \approx 0,48 \text{ bar}$$



Die **SHT, Sanitär- und Heizungstechnik, Ausgabe 7**, enthält Beiträge zu den Themen Heizungstechnik, Solarthermie, Blockheizkraftwerke und stellt neue Produkte der IFH Nürnberg vor. Lesen Sie darüber hinaus u.a. mehr zu den Themen:

- **Planung**
Schallschutz nach DIN oder VDI?
- **Contracting**
Klimaneutral heizen, ohne zu investieren
- **„Tag des Bades“**
Kraftvolles Auftreten erwünscht

Weitere Nachrichten, Termine und Informationen unter www.sht-online.de
Kostenloses Probeheft unter abo-service@krammerag.de

Tabelle 2: Berechnungsgrundlagen

Verwendete Formeln:
 $Q = A \cdot v$ (Kontinuitätsbedingung)
 $v_{D_{os,erf}} = 1,3 \cdot v_{max,Rohr} \cdot (D_{Lanze}/D_{D_{os}})^{1/3}$ (nach Heinemann/Liebrecht)
 $h_{kin} = v^2/2g$ (Geschwindigkeitshöhe)

Verwendete Formelzeichen:

A_{Rohr}	[m ² , cm ²]	Fließquerschnitt der Rohwasserleitung
$A_{D_{os}}$	[m ² , cm ²]	gesamter Austrittsquerschnitt für das Treibwasser
$A_{D_{os,1}}$	[m ² , cm ²]	Austrittsquerschnitt einer einzelnen Öffnung $A_{D_{os}} = n \cdot A_{D_{os,1}}$
$b_{max,Blende}$	[m, mm]	maximale Breite der Blende auf Höhe der Rohrachse
b	[m, mm]	Breite der Blende im Abstand y von der Rohrachse
D	[m, mm]	Durchmesser der Rohwasserleitung
$D_{D_{os}}$	[m, mm]	Durchmesser einer Austrittsöffnung der Dosierlanze
$D_{Lanze,a}$	[m, mm]	Außendurchmesser der Dosierlanze
f_{Pendel}	[Hz]	Frequenz der Pendelströmung hinter der Blende
$Q_{D_{os}}$	[l/h, cm ³ /s]	Volumenstrom des Treibwassers
$Q_{max,Rohr}$	[m ³ /h, m ³ /s]	Förderstrom des Rohwassers für den Bemessungsfall
Q_{max}	[m ³ /s]	entspricht $Q_{max,Rohr}$
Re_{Bl}	[-]	auf die Blende bezogene Reynolds-Zahl
$v_{D_{os,erf}}$	[m/s, cm/s]	erforderliche Austrittsgeschwindigkeit des Treibwassers
$v_{max,Rohr}$	[m/s, cm/s]	Fließgeschwindigkeit des Rohwassers für den Bemessungsfall

Abmessungen: $b_{max,Blende} = 0,28 \cdot d_{Rohr} = 0,28 \cdot 350 \text{ mm} = 98 \text{ mm}$

Berechnung als EXCEL-Tabelle entsprechend **Tabelle 1** nach [4].

Berechnung der Dosierlanzen:
 $A_{Rohr} = D^2/4 \cdot \Pi = 0,35^2 / 4 \cdot \Pi = 0,0962 \text{ m}^2$
 $Q_{max,Rohr} = 600 \text{ m}^3/\text{h} / 3600 \text{ s/h} = 0,1667 \text{ m}^3/\text{s}$
 $v_{max,Rohr} = Q_{max,Rohr} / A_{Rohr} = 0,1667 \text{ m}^3/\text{s} / 0,0962 \text{ m}^2 = 1,733 \text{ m/s}$
 $D_{D_{os}} = 1,7 \text{ mm}$ (angenommen)
 $D_{Lanze,a} = 22,0 \text{ mm}$ (Außendurchmesser für Strömungsschatten maßgebend)
 $v_{D_{os,erf}} = 1,3 \cdot v_{max,Rohr} \cdot (D_{Lanze,a}/D_{D_{os}})^{1/3} = 1,3 \cdot 1,733 \cdot (22,0/1,7)^{1/3} = 5,29 \text{ m/s} = 529 \text{ cm/s}$

Berechnung ab hier in cm:
 $Q_{D_{os}} = 800 \text{ l/h} \cdot 1000 \text{ cm}^3/\text{l} / 3600 \text{ s/h} = 222 \text{ cm}^3/\text{s}$ (1 cm³ entspricht 1 ml)
 $A_{D_{os}} = Q / v = 222 \text{ cm}^3/\text{s} / 529 \text{ cm/s} = 0,420 \text{ cm}^2$
 $A_{D_{os,1}} = 0,17^2 / 4 \cdot \Pi = 0,0227 \text{ cm}^2$ (Austrittsfläche einer Bohrung)
 Erforderliche Anzahl n der Austrittsöffnungen
 $n = 0,420 / 0,0227 = 18,5$ Gewählt: 2 Lanzen mit je 9 Bohrungen 1,7 mm

Quelle: Labor für Wasser und Umwelt, FH Köln

zeugt, dadurch werden Einbauten im Mischweg und damit Stagnationszonen für das Dosiermittel vermieden. Die gut ausgebildete Pendelströmung bleibt über einen großen Reynolds-Zahlen-Bereich (5.000 < Re < 30.000) erhalten. Durch geeignet dimensionierte Dosierlanzen mit seitlich über die Höhe gestaffelten Austrittsöffnungen wird eine gleichmäßige Vertikalverteilung des Dosiermittels erreicht. Der Mischer kann in vereinfachter Ausführung auch zum schnellen und gründlichen Mischen von Fällmitteln, Desinfektionsmitteln etc. genutzt werden. Es ist vorgesehen, einen Mischer nach dem gleichem Prinzip auch für kleinere Rohrdurchmesser zu entwickeln.

Literatur:
 [1] DVGW-Arbeitsblatt W 216 „Versorgung mit unterschiedlichen Wässern“
 [2] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung 2001 – TrinkwV 2001) BGBl. I (2001), S. 959-980
 [3] Forschungsbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W 5/97 „Gestaltung von Natronlaugedosierstellen im Hinblick auf eine gute Vermischung mit dem Rohwasser“ der FH Köln (Laboratorium für Wasserbau und Umweltschutz), 1999
 [4] E. Heinemann, K. Liebrecht, GWF Wasser Abwasser 142 (2001) Nr. 3, Seite 222 ff

Autoren:

Horst Schell
Karl-Heinz Wagner
 Regionalgas Euskirchen GmbH & Co.KG
 Münsterstr. 9
 53881 Euskirchen
 Tel.: 02251 708-119/-112
 Fax: 02251 708-9119/-9112
 E-Mail: schell@regionalgas.de
 wagner@regionalgas.de
 Internet: www.regionalgas.de

Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Heinemann
Klaus Liebrecht
 Labor für Wasser und Umwelt der FH Köln
 Betzdorfer Str. 2
 50679 Köln
 Tel.: 0221 8275-2798
 Fax: 0221 8275-72798
 E-Mail: ekkehard.heinemann@fh-koeln.de
 Internet: www.f06.fh-koeln.de

Dr. Klaus MUSAICK
 rhenag Rheinische Energie AG
 Abteilung Zentraler Netzservice (E-NSZ)
 Wilhelm-Ostwald-Str. 10
 53721 Siegburg
 Tel.: 02241 107-241
 Fax: 02241 107-51241
 E-Mail: klaus.musaick@rhenag.de
 Internet: www.rhenag.de

Die Dosierpumpe soll folglich einen Druck von (Wasserdruck am Mischer + 0,48 bar) erzeugen. Da übliche Dosierpumpen Förderdrücke von 8 bis 17 bar erreichen, sind in der Regel keine zusätzlichen Einrichtungen zur Druckerhöhung erforderlich. Die Dosierlanzen wurden mit dem geringeren Bohrdurchmesser (1,5 mm) neu gefertigt und in das Mischelement eingebaut.

Kontrollen des Mixers

Nach einer Betriebsdauer von zwölf Monaten wurde der Mischer erneut ausgebaut und untersucht. Dabei ergab sich folgender Sachverhalt:

- keine Kalkausfällungen im Bereich der Dosierstelle und der nachfolgenden Mischstrecke → Keine Kalkablagerungen an der Absperrklappe
- Über den Austrittsöffnungen der Dosierlanzen sind nur geringe Kalkablagerungen/-kanäle vorhanden (Länge max. 5 mm) (Abb. 8).

Nach weiteren zwölf Monaten Betriebszeit zeigten sich im unteren Bereich der Dosierlanzen an einzelnen Öffnungen wieder Kalkansätze. Daraus ergibt sich die Empfehlung, die Dosierlanzen je nach Betriebsweise nach sechs bis zwölf Monaten Betriebsdauer zu kontrollieren und ggf. zu reinigen.

Zusammenfassung

Mit dem beschriebenen Mischer hat der planende Ingenieur eine Möglichkeit, die schwierige Natronlaugedosierung störungsfrei zu erstellen. Das neu konzipierte Mischelement hat im Vergleich zum statischen Mischer (Kaskadenmischer)

- einen wesentlich geringeren Druckverlust,
- geringere Anschaffungskosten,
- einen geringeren Wartungsaufwand,
- eine hohe Intensität der Vermischung.

Die zur Mischung benutzte „Pendelströmung“ wird oberstrom der Dosierstelle er-