

BAWEmpfehlung

Empfehlung für die Bemessung von Dotationsmischern zur
Erzeugung einer gleichmäßigen und turbulenzarmen Strömung in
Dotationsbecken von Fischaufstiegsanlagen in
Bundeswasserstraßen

Ausgabe 2023

BAW-Merkblätter, - Empfehlungen und Richtlinien - Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-0
Fax: 0721 9726-4540

info@baw.de
www.baw.de

Copyright: Creative Commons BY-ND 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Soweit nicht anders angegeben, liegen alle Bildrechte bei der BAW.

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Vorbemerkung	1
2	Anwendungsbereich	3
3	Grundlegendes	4
3.1	Notation	4
3.2	Funktionsweise des Dotationsmischer	6
3.3	Geometrie des Dotationsmischer	7
3.4	Breitenklassentypen des Dotationsmischer	8
3.5	Anzahl der Dotationsmischer	10
3.6	Dotationsmischerlänge und Lückenabmessungen	11
4	Bemessung	12
4.1	Vorgehen	12
4.2	Benötigte Eingangsdaten	13
4.3	Dotationsbeckenbreite	14
4.4	Dotationsmischerbreite, -typ und -anzahl	14
4.5	Vergleichmäßigungslänge	14
4.6	Anordnung des Dotationsmischer im Dotationsbecken	15
4.7	Zuleitung	15
4.8	Dotationsmischerhöhe	18
4.9	Freibord	19
5	Bauliche Umsetzung	20
6	Literaturverzeichnis	22
Anlagen		23
A-1.	Beispiel 1: Dotationsmischer mit einer einzigen Rohrleitung bei relativ geringen Wasserspiegelschwankungen	23
A-2.	Beispiel 2: Dotationsmischer mit drei Rohrleitungen bei moderatem Leitdurchfluss und hohen Wasserspiegelschwankungen	27
A-3.	Beispiel 3: Zwei parallele Dotationsmischer mit jeweils zwei Rohrleitungen bei hohem Leitdurchfluss und moderaten Wasserspiegelschwankungen	31
A-4.	Beispiel 4: Dotationsmischer für verbreitertes Dotationsbecken, mit einer einzigen Rohrleitung bei relativ geringen Wasserspiegelschwankungen	37
A-5.	Berechnung des Energiehöhenverlustes	42

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 1: Schematische Darstellung: (a) Fischaufstiegsanlage mit Dotationsanlage (gelb markiert) und (b) gleichmäßige Einleitung der Dotation in das Aufnahmebecken mit Dotationsbecken (zusammen rot markiert) und Dotationsmischer (orange markiert)	2
Abbildung 2: Anordnung des Dotationsmischer und Notation (siehe Tabelle 1)	4
Abbildung 3: (a) Anordnung der Leitelemente im Dotationsmischer; (b) Definition von N_x , N_y , s_x , s_y , s_d in Draufsicht und (c) Definition von N_z und s_z in Seitenansicht (Anzahl N_y , N_z exemplarisch)	7
Abbildung 4: (a) Einzel- und (b) Parallelanwendung des Dotationsmischer	10
Abbildung 5: Ablauf der Dotationsmischerbemessung	12
Abbildung 6: Krümmungsradius in der Zuleitung von Dotationsbecken (Draufsicht)	18
Abbildung 7: Prinzipskizze der Konstruktion	20
Abbildung 8: Prinzipskizze der Modulbauweise	21

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Notation (DM: Dotationsmischer)	5
Tabelle 2: Dotationsmischer (DM 1 – DM 3) abhängig von Breitenklassen des Dotationsbeckens	8
Tabelle 3: Definition der Lückensysteme. Hinweis: die angegebenen Werte beziehen sich auf eine Leitelementdicke von $d_{LE} = 0,006$ m, wie in Kapitel 5 empfohlen	9
Tabelle 4: Benötigte Eingangsdaten für die Bemessung des Dotationsmischer (W : Wasserstand im Fließgewässer)	13
Tabelle 5: Eingangswerte für Beispiel 1, die Fließtiefen wurden mit Gleichung (5) berechnet	23
Tabelle 6: Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten	25
Tabelle 7: Eingangswerte für Beispiel 2, die Fließtiefen wurden mit Gleichung (5) berechnet	27
Tabelle 8: Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten	30
Tabelle 9: Eingangswerte für Beispiel 3, die Fließtiefen wurden mit Gleichung (5) berechnet	31
Tabelle 10: Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten	35
Tabelle 11: Eingangswerte für Beispiel 1, die Fließtiefen wurden mit Gleichung (5) berechnet	37
Tabelle 12: Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten	40

1 Vorbemerkung

Im Rahmen dieser Empfehlung bedeutet Dotation die Erhöhung des Durchflusses mit Zusatzleitungen in einer Fischaufstiegsanlage. Es gibt drei wesentlichen Gründe, warum Dotation notwendig ist. Erstens ist zum Erreichen der kleinräumigen Auffindbarkeit eine adäquate Leitströmung bereitzustellen (BAW und BfG 2019). Der hierfür notwendige Durchfluss überschreitet in der Regel den Basisdurchfluss einer Fischaufstiegsanlage. Um diese Differenz auszugleichen ist die Einleitung von zusätzlichem Wasser mittels Dotation notwendig. Zweitens verringert sich bei sehr hohen Unterwasserständen die Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Fischaufstiegsanlage so stark, dass der Wanderkorridor unterbrochen wird. Um diesen Einstauereffekt auszugleichen, ist die Strömungsgeschwindigkeit mittels Dotation zu erhöhen. Drittens wird an Standorten mit Geschwindigkeitsbarrieren im Unterwasser ein zweiter Einstieg benötigt. Der hierfür zusätzlich benötigte Basisabfluss ist mittels Dotation bereitzustellen.

Grundsätzlich können die fehlenden Durchflüsse auch durch größer dimensionierte Fischaufstiegsanlagen bereitgestellt werden, wodurch jedoch ein höherer Flächenbedarf und höhere Kosten entstehen. Mittels Dotation werden kleinere und kostengünstigere Fischaufstiegsanlagen ermöglicht.

Die Bereitstellung der Dotation erfolgt mit einer Dotationsanlage (Fiedler 2023). Diese besteht in der Regel aus einem Entnahmebauwerk im Oberwasser, einer oder mehrerer Transportleitungen (Druck- oder Freispiegelabfluss oder einer Kombination aus beiden), einem oder mehreren Regulierorganen (mit entsprechender Mess-, Steuer- und Regeltechnik), ggf. einem Energieumwandlungsbauwerk und einem Dotationsbecken (Abbildung 1). Der notwendige Durchfluss wird üblicherweise aus dem Oberwasser der Staustufe entnommen und im unteren Bereich der Fischaufstiegsanlage eingeleitet. Die Einleitung erfolgt über ein Dotationsbecken, welches mit einem Horizontalrechen von der Fischaufstiegsanlage getrennt ist, um ein Einschwimmen von Fischen in die Dotationsanlage zu verhindern (BAW und BfG 2017).

Das Dotationsbecken ist so zu gestalten, dass die Einleitung der Dotation in die Fischaufstiegsanlage mit geringen, gleichmäßig verteilten Strömungsgeschwindigkeiten im Querschnitt sowie turbulenzarm erfolgt, damit ein ungestörter, gerichteter Aufstieg von Fischen ermöglicht wird (DWA 2014). Um dies zu erreichen, ist die Zuströmung in das Dotationsbecken, also die Strömung aus der Transportleitung, zu vergleichmäßigen und zu beruhigen. Mit einem Dotationsmischer wird dies, im Vergleich zu ähnlichen Systemen, mit sehr geringem Platzbedarf erreicht. Der Dotationsmischer stellt aus hydraulischer Perspektive derzeit das einzige System dar, welches für eine weite Bandbreite an hydraulischen Randbedingungen von Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstraßen systematisch untersucht wurde und hinsichtlich aller relevanten Bemessungsgrößen mit Regeln beschrieben ist (Fiedler 2023).

Die Gestaltung des hier beschriebenen Dotationsmischer ist in Verbindung mit der Gestaltung des Dotationsbeckens und des Einstiegswendebeckens zu sehen (Abbildung 1). Hierfür siehe „Bemessungsempfehlungen zur Dotation in Becken einer Fischaufstiegsanlage“ (BAW und BfG 2017) und „Einstieg in einen Schlitzpass - Einstiegswendebecken“ (BAW und BfG 2023) im Handbuch Ökologische Durchgängigkeit (abrufbar unter <https://izw.baw.de/wsv/umwelt/durchgaengigkeit>: Arbeitsgruppe Handbuch → Fachspezifische, verbindliche Regelungen).

Die Nomenklatur der Bemessungsgrößen weicht teilweise von der Nomenklatur anderer Teile des Handbuchs ab. Es ist dafür Sorge zu tragen, die entsprechenden Größen während der Planung anderer Abschnitte sorgfältig ineinander zu überführen. Die in diesem Dokument genutzte Notation wird in Kapitel 3.1 definiert.

Die hier beschriebenen Regeln ermöglichen es, Dotation unter Einhaltung fischökologischer Anforderungen, anhand hydraulisch kontrollierter Bedingungen und mit geringem Platzbedarf einzuleiten. Abweichungen von diesen Regeln bedeuten nicht zwingend eine Beeinträchtigung der Passierbarkeit in der

Fischaufstiegsanlage. Alternative Konzepte sind akzeptabel, wenn sie geeignet sind, die Ziele der Dotationszugabe (BAW und BfG 2017) bezüglich der Strömungsgeschwindigkeiten, Gleichmäßigkeit der Strömung und Turbulenz zu erreichen.

Da das Dotationsbecken mit Dotationsmischer das Bindeglied zwischen der Dotationsanlage und der Fischaufstiegsanlage darstellt, ergeben sich vielschichtige Zusammenhänge zwischen Hydraulik und Bauwerksgeometrie. Der Bemessungsprozess des Dotationsmischer ergibt sich aus der ganzheitlichen Betrachtung der Planungsgrößen. Vor dem eigentlichen Beginn der Bemessung empfiehlt es sich daher, zunächst das gesamte Dokument zu lesen und die Berechnungsbeispiele nachzuvollziehen.

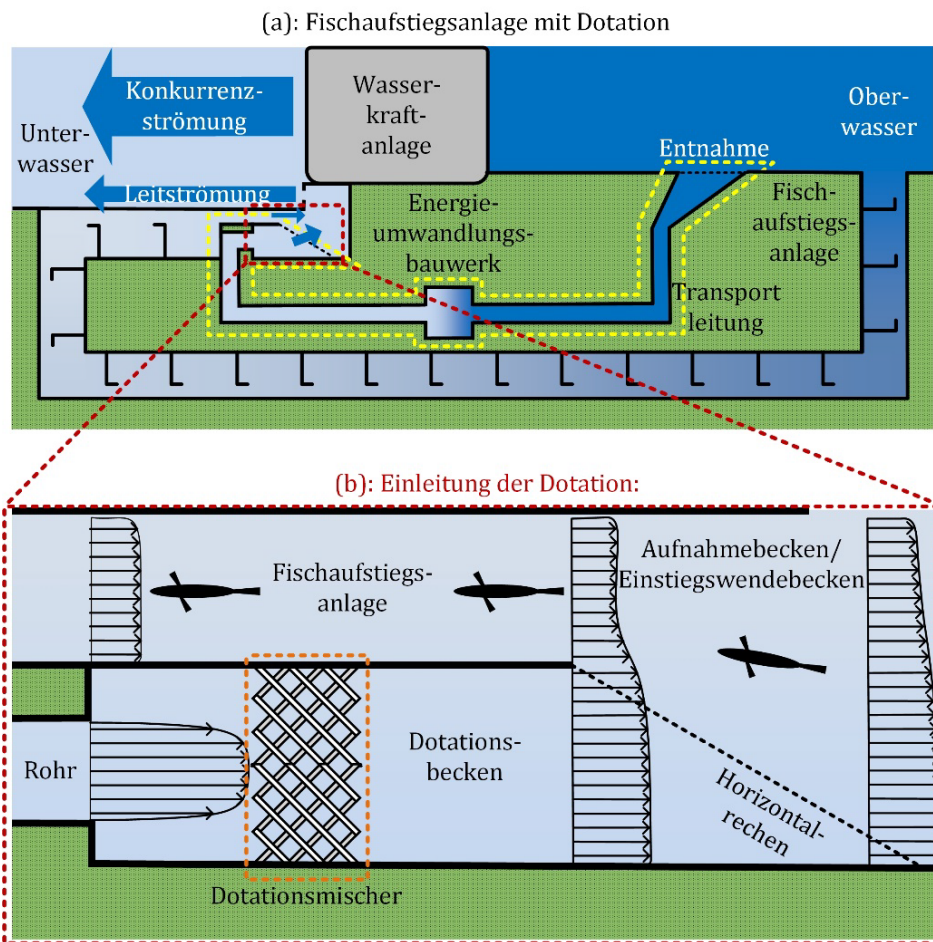


Abbildung 1: Schematische Darstellung: (a) Fischaufstiegsanlage mit Dotationsanlage (gelb markiert) und (b) gleichmäßige Einleitung der Dotation in das Aufnahmebecken mit Dotationsbecken (zusammen rot markiert) und Dotationsmischer (orange markiert)

2 Anwendungsbereich

Der Dotationsmischer kann unter folgenden Voraussetzungen eingesetzt werden:

- Die Dotationsbeckenbreite b_{DB} (Abbildung 2) beträgt $b_{DB} \geq 0,75$ m.
- Die Zuleitung ist eine Rohrleitung. Im Falle einer Freispiegelleitung wirkt sich der Dotationsmischer auch positiv auf die Vergleichmäßigung aus. Derzeit ist noch unklar, wie der Dotationsmischer bei dem Einsatz von Freispiegeltransportleitungen bemessen wird, sodass hierbei eine Rücksprache mit der BAW erforderlich ist.
- Rohrkrümmer, Energieumwandlungsanlagen und Regulierorgane der Dotationsanlage können in der Rohrleitung Strahlen mit hohen Geschwindigkeiten erzeugen. Derartige Strahlen beeinflussen die Funktion des Dotationsmischers negativ. Aus diesem Grund muss für Energieumwandlungsanlagen und Regulierorgane ein Mindestabstand des 20-fachen Rohrdurchmessers stromaufwärts des Dotationsbeckens eingehalten werden. Sollte dies bautechnisch nicht umsetzbar sein, ist Rücksprache mit der BAW erforderlich. Zur Ausführung von Rohrkrümmern werden in Kapitel 4.7 Empfehlungen gegeben.
- Das Dotationswasser ist frei von absteigenden Fischen, da bei der Entnahme eine Fischschutzvorrichtung (Horizontalrechen) eingesetzt wird.

3 Grundlegendes

3.1 Notation

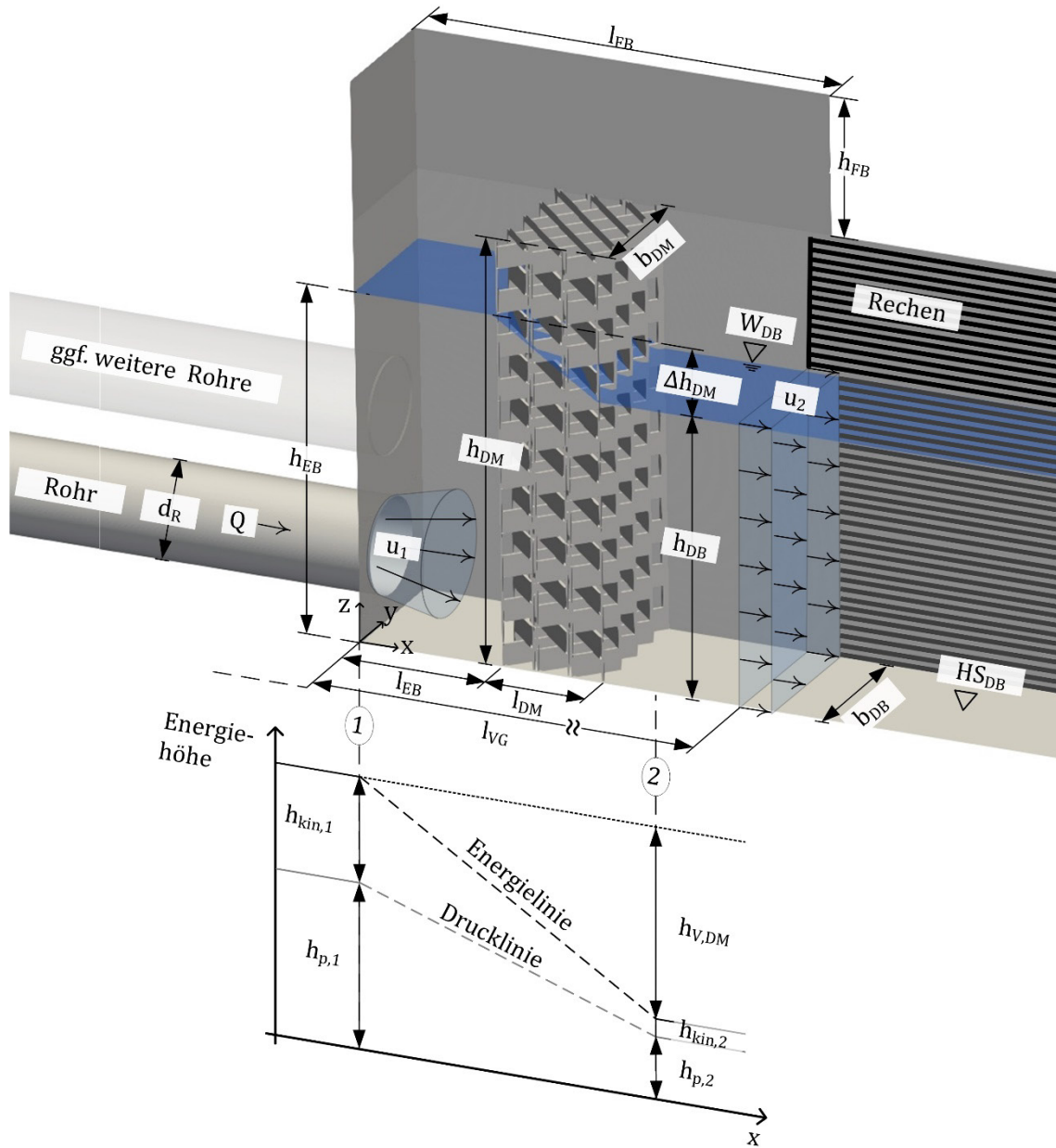


Abbildung 2: Anordnung des Dotationsmischers und Notation (siehe Tabelle 1)

Tabelle 1: Notation (DM: Dotationsmischer)

Symbol	Beschreibung	Einheit	Kapitel
b_{DB}	Dotationsbeckenbreite	(m)	4.3
b_{DM}	Dotationsmischerbreite	(m)	3.4 und 3.5
d_R	Durchmesser der Rohrleitung	(m)	4.7
h_{DB}	Fließtiefe im Dotationsbecken stromabwärts des DM	(m)	4.2
Δh_{DM}	Aufstauhöhe	(m)	4.7
h_{DM}	Dotationsmischerhöhe	(m)	4.8
h_E	Gesamtenergiehöhe	(m)	A-5
h_{EB}	Fließtiefe im Einlaufbereich stromaufwärts des DM	(m)	4.7
h_{FB}	Freibordhöhe	(m)	4.9
h_{kin}	kinetische Energiehöhe	(m)	A-5
h_p	Druckenergiehöhe	(m)	A-5
$h_{V,DM}$	Energiehöhenverlust	(m)	A-5
l_{DM}	Dotationsmischerlänge	(m)	3.6
l_{FB}	Freibordlänge	(m)	4.9
l_{EB}	Länge des Einlaufbereiches	(m)	4.6
l_{VG}	Länge für Vergleichmäßigung bis Beginn Rechen	(m)	4.5
Q	Durchfluss, im Folgenden Unterscheidung zwischen Q_{DB} , Q_{DM}	(m ³ /s)	4.2
u_1	querschnittsgemittelte Geschwindigkeit in der Rohrleitung	(m/s)	4.7
u_2	querschnittsgemittelte Geschwindigkeit im Dotationsbecken	(m/s)	4.7
x	Koordinaten in x-Richtung, in Fließrichtung	(m)	3.1 und 3.3
y	Koordinaten in y-Richtung	(m)	3.1 und 3.3
z	Koordinaten in z-Richtung	(m)	3.1 und 3.3
W_{DB}	Wasserstand im Dotationsbecken stromabwärts des DM	(m)	4.2
HS_{DB}	Sohlhöhe im Dotationsbecken	(m NHN)	4.2

3.2 Funktionsweise des Dotationsmischers

Der Dotationsmischer besteht aus Leitelementen, die in horizontalen Ebenen abwechselnd $\pm 45^\circ$ zur Hauptströmungsrichtung angeordnet werden (Abbildung 2 und Abbildung 3). Durch die Leitelemente entsteht ein Lückensystem, welches den aus der Zuleitung austretenden Strahl in gleichmäßig verteilte Teilströmungen überführt. Stromabwärts des Dotationsmischers ist eine Strecke mit freier Kanalströmung notwendig, um die Teilströmungen aus dem Dotationsmischer zu einer gleichmäßigen und beruhigten Kanalströmung zusammenzuführen.

Die Funktion ist nur für begrenzte Aufstauhöhen stromaufwärts des Dotationsmischers gegeben (Kapitel 4.8). Bei höherem Aufstau ist der Mischer überlastet und die Funktion beeinträchtigt. Um den Aufstau zu kontrollieren, ist die Geschwindigkeit in der Zuleitung des Dotationsmischers auf ein zulässiges Maß zu begrenzen. Auf diesem Prinzip bauen die Bemessungsregeln für die Zuleitung auf (Kapitel 4.7).

Der Einsatz des Dotationsmischers verursacht einen Energiehöhenverlust. Bei der Bemessung des Gesamtenergiehöhenverlustes der Dotationsanlage ist dieser zu berücksichtigen, um die Rohrleitung, Regulierorgane und ggf. Energieumwandlungsanlagen zu bemessen. Der Energiehöhenverlust des Dotationsmischers wird nach den Definitionen in Kapitel 3.1 und den Gleichungen in der Anlage Kapitel A-5 berechnet.

3.3 Geometrie des Dotationsmischer

Das Lückensystem im Dotationsmischer weist in den drei Raumrichtungen die Lückenanzahlen N_x , N_y und N_z auf (Abbildung 3). Hieraus ergeben sich in den drei Raumrichtungen die Lückenweiten s_x , s_y , s_z und in diagonaler Richtung s_d . Aufgrund der würfelförmigen Lücken gilt $s_x = s_y$ und $s_z = s_d$ (Kapitel 3.6). Der Dotationsmischer ist so auszuführen, dass die Lückenzahlen immer ganzzahlig sind. N_x ist mit $N_x = 3$ festgelegt. N_y und N_z werden im Bemessungsprozess festgelegt. N_y ist abhängig von der Dotationsmischerbreite (Kapitel 3.4). N_z ist abhängig von der Lückenweite in z-Richtung (entspricht der Leitelementhöhe) und der Fließtiefe im Einlaufbereich des Dotationsbeckens h_{EB} (Kapitel 4.8).

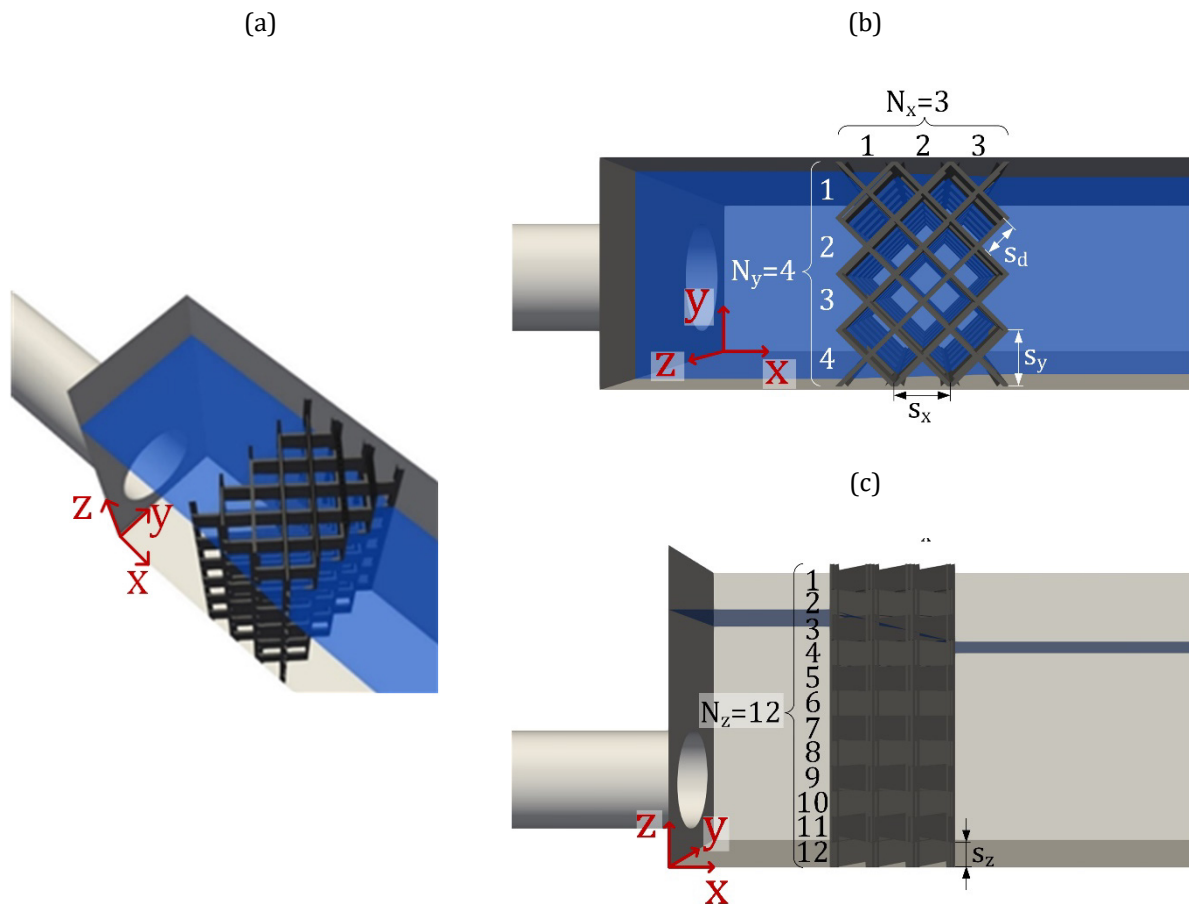
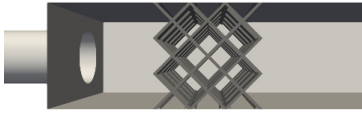

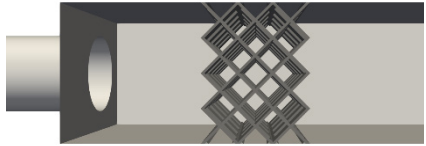


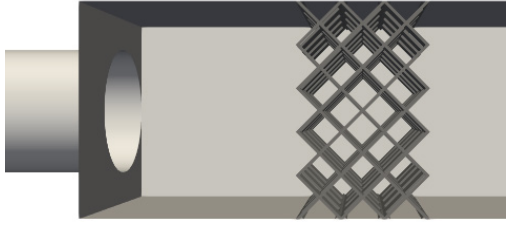


Abbildung 3: (a) Anordnung der Leitelemente im Dotationsmischer; (b) Definition von N_x , N_y , s_x , s_y , s_d in Draufsicht und (c) Definition von N_z und s_z in Seitenansicht (Anzahl N_y , N_z exemplarisch)

3.4 Breitenklassentypen des Dotationsmischer

Abhängig von der erforderlichen Dotationsmischerbreite (Kapitel 4.4) stehen die in Tabelle 2 aufgeführten drei Dotationsmischer DM 1 bis DM 3 zur Verfügung. Für die Dotationsmischer sind die angegebenen Lückenanzahlen in y-Richtung N_y festgelegt.

Tabelle 2: *Dotationsmischer (DM 1 – DM 3) abhängig von Breitenklassen des Dotationsbeckens*

DM	N_y	Breite des Dotationsmischer	
		von	bis
		$b_{DM} \geq 0,75 \text{ m}$	$b_{DM} \leq 0,99 \text{ m}$
DM 1	3		
		$b_{DM} > 1,00 \text{ m}$	$b_{DM} \leq 1,24 \text{ m}$
DM 2	4		
		$b_{DM} > 1,25 \text{ m}$	$b_{DM} \leq 1,50 \text{ m}$
DM 3	5		

Für die Dotationsmischer ergeben sich die im Folgenden angegebenen Lückenabmessungen (Tabelle 3).

Tabelle 3: *Definition der Lückensysteme. Hinweis: die angegebenen Werte beziehen sich auf eine Leitelementdicke von $d_{LE} = 0,006$ m, wie in Kapitel 5 empfohlen*

DM	b [m]	N_x [-]	N_y [-]	N_z [-]	$s_x = s_y$ [m]	$s_z = s_d$ [m]
1	0,75 bis 0,99	3	3	h_{DM}/s_x	0,24 – 0,32	0,17 – 0,23
2	1,00 bis 1,24	3	4	h_{DM}/s_x	0,24 – 0,30	0,17 – 0,21
3	1,25 bis 1,50	3	5	h_{DM}/s_x	0,24 – 0,29	0,17 – 0,20

Anzumerken ist, dass die Ausdehnung des Lückensystems bei den drei Dotationsmischern leicht unterschiedlich ausfällt (für s_x und s_y bei DM 1: 0,24 – 0,32 m und bei DM 3: 0,24 – 0,29 m). Dieser Effekt entsteht dadurch, dass die Erweiterung der Dotationsbeckenbreiten um 0,25 m pro Dotationsmischer von unterschiedlich vielen Lücken in y-Richtung ausgeglichen wird. Dies hat zur Folge, dass sich bei kleinen Dotationsmischern die Erweiterung der Kanalbreite stärker auf die wenigen Lücken auswirkt als auf die vielen Lücken bei großen Dotationsmischern. Es konnte festgestellt werden, dass hydraulische Auswirkungen durch diese Verzerrung vernachlässigbar klein sind.

3.5 Anzahl der Dotationsmischer

Dotationsmischer können einzeln oder parallel betrieben werden (Abbildung 4). Bei parallelem Einsatz werden N_{DM} Dotationsmischer gleicher Breite und Rohrleitungen nebeneinander angeordnet. Wenn Dotationsmischer parallel angewendet werden, ist aus hydraulischen und konstruktiven Gründen im Einlaufbereich und zwischen den Dotationsmischem eine Trennwand vorzusehen (Abbildung 4b).

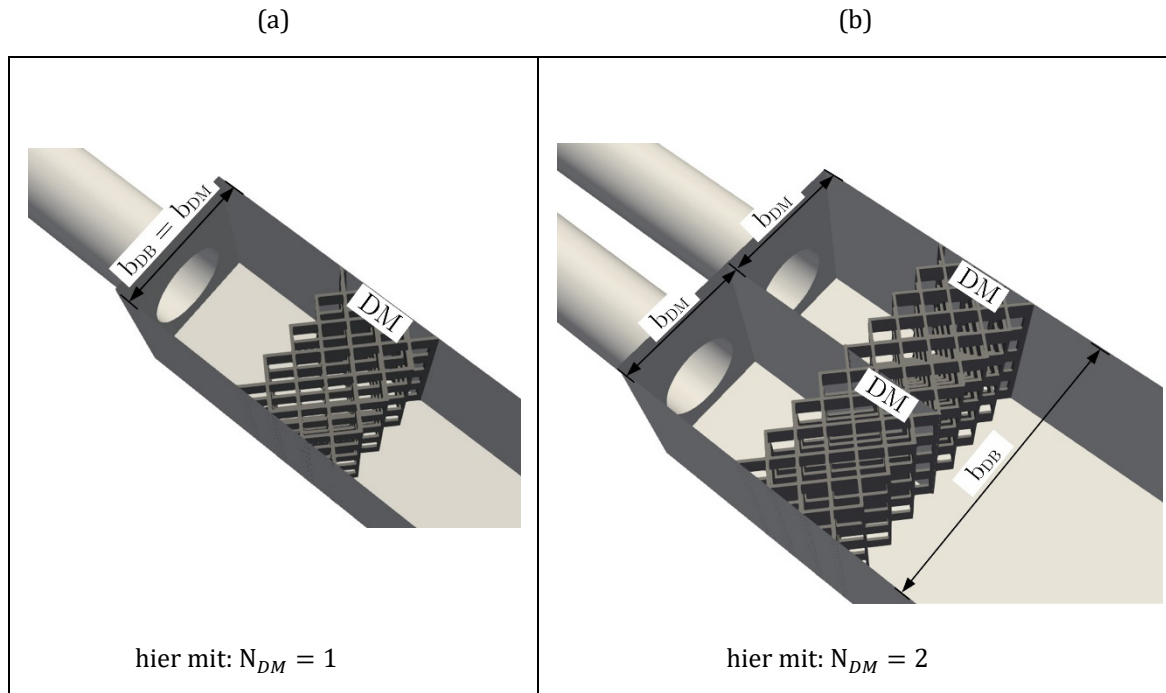


Abbildung 4: (a) Einzel- und (b) Parallelanwendung des Dotationsmischer

Für eine gleichmäßige Durchströmung des Dotationsbeckens ist sicherzustellen, dass alle Dotationsmischer gleich beaufschlagt werden. So teilt sich der Durchfluss im Dotationsbecken wie folgt auf:

$$Q_{DM} = \frac{Q_{DB}}{N_{DM}} \quad (1)$$

Mit:

Q_{DM}	Durchfluss pro Dotationsmischer	(m ³ /s)
Q_{DB}	Dotationsdurchfluss (im gesamten Dotationsbecken)	(m ³ /s)
N_{DM}	Dotationsmischeranzahl	(-)

3.6 Dotationsmischerlänge und Lückenabmessungen

Die Länge des Dotationsmischer l_{DM} ergibt sich aus Lückenanzahl und -weite in x -Richtung. Diese hängt von der Lückenanzahl in y -Richtung und der Dotationsmischerbreite ab. Darüber hinaus ist die Leitelementdicke d_{LE} zu berücksichtigen, wodurch deren diagonale Querschnittslänge addiert werden muss:

$$l_{DM} = 3 \cdot \frac{b_{DM}}{N_y} + \sqrt{2} d_{LE} \quad (2)$$

Mit:

l_{DM}	Dotationsmischerlänge	(m)
b_{DM}	Dotationsmischerbreite	(m)
N_y	Lückenanzahl in y -Richtung	(-)
d_{LE}	Leitelementdicke	(m)

Das Lückensystem des Dotationsmischer wird durch die Lückenanzahl $N_x=3$, N_y und N_z und die Lückenweiten s_x , s_y , s_z sowie s_d definiert (Kapitel 3.3). Für die Berechnung der Lückenweiten gelten die trigonometrischen Beziehungen gleichschenkliger Dreiecke und Rechtecke, welche sich durch die Anordnung der Leitelemente im Dotationsbecken ergeben. Die Lückenweite in x -Richtung errechnet sich aus der Dotationsmischerlänge l_{DM} und der Leitelementdicke d_{LE} . Da die vertikalen Lücken einen quadratischen Grundriss aufweisen, sind die Lückenweiten in x - und y -Richtung identisch:

$$s_x = s_y = \frac{l_{DM} - \sqrt{32} \cdot d_{LE}}{3} \quad (3)$$

Mit:

s_x	Lückenweite in x Richtung	(m)
s_y	Lückenweite in y Richtung	(m)
l_{DM}	Dotationsmischerlänge	(m)
d_{LE}	Leitelementdicke	(m)

Hierbei sei angemerkt, dass Gleichung (3) für s_y im Inneren des Dotationsmischer gilt. In den An- und Abströmquerschnitten fällt s_y geringfügig größer aus, da die Lücken hier nicht durch angrenzende Leitelemente verengt werden.

Die diagonale Lückenweite s_d ergibt sich aus den Lückenweiten in x - und y -Richtung. Auch die diagonalen Lücken sind quadratisch, sodass sie identisch mit der Lückenweite in z -Richtung s_z ist:

$$s_d = s_z = \frac{s_x}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

Mit:

s_d	Lückenweite in diagonalen Richtung	(m)
s_z	Lückenweite in z -Richtung	(m)
s_x	Lückenweite in x -Richtung	(m)

4 Bemessung

4.1 Vorgehen

Die Bemessung des Dotationsbeckens mit Dotationsmischer und Zuleitung erfolgt anhand der in Kapitel 4.2 bis 4.9 beschriebenen Regeln. Die Bemessung der Zuleitung erfordert ggf. eine iterative Gestaltung des Dotationsbeckens bzw. Dotationsmischers. Das Vorgehen ist in Abbildung 5 in Form eines Ablaufdiagramms dargestellt.

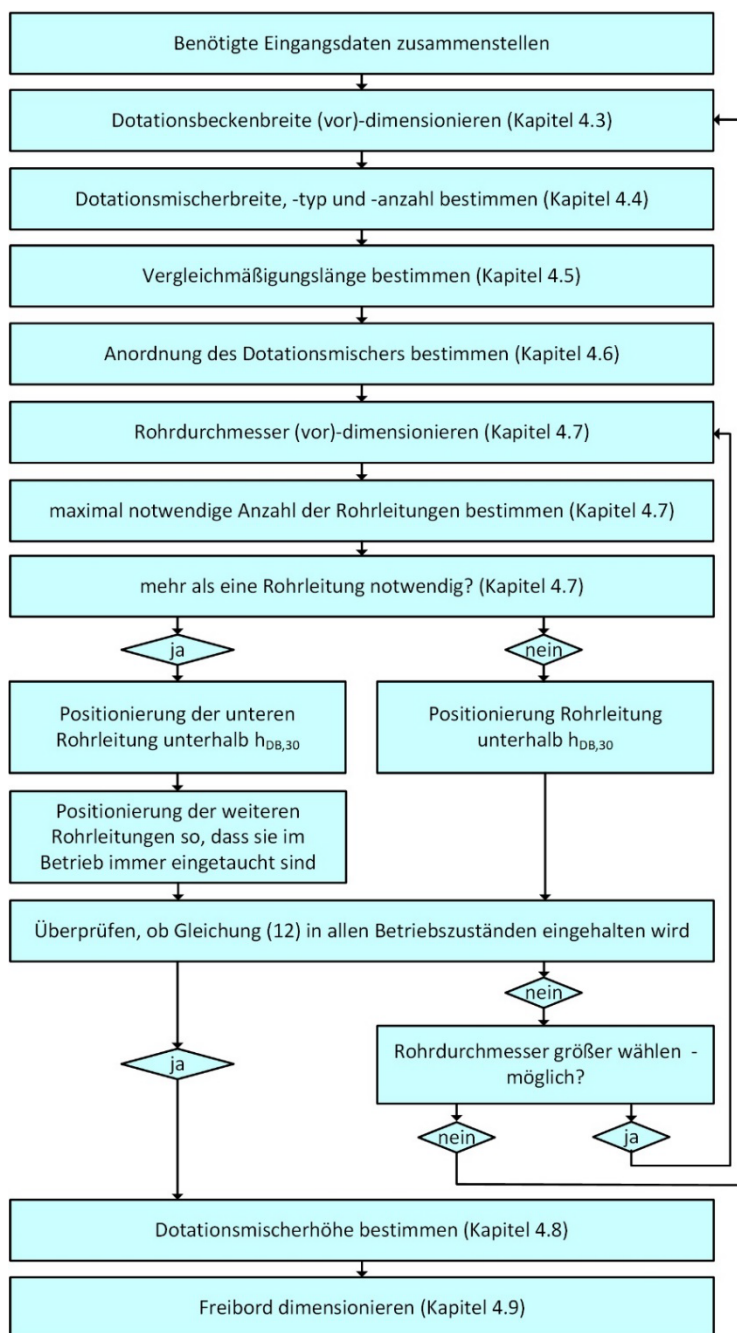


Abbildung 5: Ablauf der Dotationsmischerbemessung

In den Kapiteln 4.4 und 4.7 sind aufgrund der Vielzahl an Randbedingungen ggf. mehrere Lösungen möglich. Die geeignetste Lösung ist durch Variation der Bemessungsparameter zu ermitteln. Die Entscheidung,

welche Lösung projektbedingt die größten Vorteile bietet, wird von Standortfaktoren bestimmt und ist in den Planungen zu ermitteln.

4.2 Benötigte Eingangsdaten

Die für die Anwendung der Empfehlung benötigten Eingangsdaten sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Benötigte Eingangsdaten für die Bemessung des Dotationsmischer (W : Wasserstand im Fließgewässer)

Kenndaten	Symbol	Einheit
Durchfluss im Dotationsbecken bei W_{30}	$Q_{DB,30}$	(m ³ /s)
Durchfluss im Dotationsbecken bei W_{330}	$Q_{DB,330}$	(m ³ /s)
Wasserstand im Dotationsbecken bei W_{30}	$W_{DB,30}$	(m ü. NHN)
Wasserstand im Dotationsbecken bei W_{330}	$W_{DB,330}$	(m ü. NHN)
Sohlhöhe im Dotationsbecken	HS_{DB}	(m ü. NHN)

Hieraus ist die Fließtiefe im Dotationsbecken h_{DB} nach Gleichung (5) zu berechnen. Für den Wasserstand im Dotationsbecken ist der Wasserstand im Aufnahmebecken anzunehmen (Aufstauereffekte durch z. B. den Horizontalrechen können hier vernachlässigt werden):

$$h_{DB} = W_{DB} - HS_{DB} \quad (5)$$

Mit:

h_{DB}	Fließtiefe im Dotationsbecken (stromabwärts des Dotationsmischer)	(m)
W_{DB}	Wasserstand im Dotationsbecken Aufnahmebecken	(m ü. NHN)
HS_{DB}	Sohlhöhe im Dotationsbecken	(m ü. NHN)

Neben $W_{DB,30}$ und $W_{DB,330}$ sind ggf. auch weitere Zustände bemessungsrelevant. Ob und ggf. welche weiteren Zustände benötigt werden, ergibt sich bei der Bemessung der Zuleitung (siehe Beispiele in den Anlagen Kapitel A-2 und A-3). Der Durchfluss im Dotationsbecken kann bei einer gegebenen Fließtiefe mit Gleichung (6) berechnet werden (Annahme: Fließtiefe im Einstiegswendebecken und Dotationsbecken sind identisch) (BAW und BfG 2019):

$$Q_{DB} = s \cdot u_{Leit} \cdot h_{DB} - Q_{FAA} \quad (6)$$

Mit:

Q_{DB}	Dotationsdurchfluss (im gesamten Dotationsbecken)	(m ³ /s)
s	Weite des Einstiegsschlitzes	(m)
u_{Leit}	Strömungsgeschwindigkeit im Einstiegsschlitz	(m/s)
h_{DB}	Fließtiefe im Dotationsbecken (stromabwärts des Dotationsmischer)	(m)
Q_{FAA}	Basisabfluss der Fischaufstiegsanlage	(m ³ /s)

4.3 Dotationsbeckenbreite

Das Bemessungskriterium für die Breite des Dotationsbeckens ist die fischbiologisch festgelegte zeitlich und querschnittsgemittelte maximale Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken $u_2 = 0,80 \text{ m/s}$ (BAW und BfG 2017).

Die Mindestbreite des Dotationsbeckens b_{DB} ist nach Gleichung (7) zu ermitteln. Hierbei ist der Maximalwert zu wählen, der sich innerhalb des Dotationsbetriebes berechnet. Dieser tritt im Regelfall bei $W_{DB,330}$ auf, kann aber auch bei besonderen Betriebsweisen (z. B. zusätzliche Dotation stromaufwärts zum Ausgleich von Einstauwirkungen in der Fischaufstiegsanlage) in einem anderen Zustand eintreten. Aus diesem Grund ist zu überprüfen, an welchem Betriebspunkt die maximal notwendige Dotationsbeckenbreite notwendig ist (Annahme: Fließtiefe im Aufnahmebecken und Dotationsbecken sind identisch):

$$b_{DB} \geq \max\left(\frac{Q_{DB,30}}{0,80 \text{ m/s} \cdot h_{DB,30}}, \dots, \frac{Q_{DB,330}}{0,80 \text{ m/s} \cdot h_{DB,330}}\right) \quad (7)$$

Mit:

b_{DB}	Dotationsbeckenbreite	(m)
Q_{DB}	Dotationsdurchfluss (im gesamten Dotationsbecken)	(m ³ /s)
h_{DB}	Fließtiefe im Dotationsbecken (stromabwärts des Dotationsmischer)	(m)

4.4 Dotationsmischerbreite, -typ und -anzahl

Die Dotationsmischerbreite b_{DM} und -anzahl N_{DM} richtet sich nach der Breite des Dotationsbeckens b_{DB} und wird mit Gleichung (8) berechnet:

$$b_{DM} = \frac{b_{DB}}{N_{DM}} \quad (8)$$

Mit:

b_{DM}	Dotationsmischerbreite	(m)
b_{DB}	Dotationsbeckenbreite	(m)
N_{DM}	Dotationsmischeranzahl	(-)

Mit Gleichung (8) und Tabelle 2 ist eine geeignete Kombination aus Dotationsmischertyp und -anzahl zu ermitteln. Insbesondere bei breiten Dotationsbecken können mehrere Dotationsmischer nebeneinander vorteilhaft sein (geringeres Einzelgewicht, bessere Handhabung bei der Wartung und Unterhaltung). An dieser Stelle sei nochmals angemerkt, dass jeder Dotationsmischer eine eigene Zuleitung benötigt.

4.5 Vergleichmäßigungslänge

Die Vergleichmäßigungslänge l_{VG} berechnet sich nach Gleichung (9):

$$l_{VG} = 4 \cdot b_{DM} \quad (9)$$

Mit:

l_{VG} Vergleichmäßigungslänge (m)

b_{DM} Dotationsmischerbreite (m)

Da l_{VG} von der Dotationsmischerbreite b_{DM} abhängt, wirkt sich der parallele Einsatz von Dotationsmischern verkürzend auf die Vergleichmäßigungslänge aus.

4.6 Anordnung des Dotationsmischer im Dotationsbecken

Der Dotationsmischer wird zwischen Rohrmündung und Horizontalrechen angeordnet (Abbildung 1). Der Abstand zwischen Rohrmündung und Dotationsmischer l_{EB} wird mit Gleichung (10) beträgt:

$$l_{EB} = b_{DM} \quad (10)$$

Mit:

l_{EB} Länge des Einlaufbereiches (m)

b_{DM} Dotationsmischerbreite (m)

4.7 Zuleitung

Die folgenden Regeln beschreiben die Zuleitung für einen einzelnen Dotationsmischer. Die Dotationszuleitung erfolgt im Druckabfluss über eine oder mehrere übereinander angeordneten Rohrleitung(en), die im Betrieb immer vollständig mit Wasser gefüllt sind (Abbildung 2). Der Rohrleitungsdurchmessers d_R soll zwecks hoher Leistungsfähigkeit möglichst groß dimensioniert werden, aber auch konstruktive Aspekte (z. B. Anschluss mittels Flansche an das Becken) berücksichtigen. Im Rahmen der Untersuchungen zum Dotationsmischer wurde der Rohrleitungsdurchmesser mit Gleichung (11) bemessen, womit aus hydraulischer Sicht gute Bedingungen geschaffen wurden (Fiedler 2023):

$$d_R = \frac{2}{3} \cdot b_{DM} \quad (11)$$

Mit:

d_R Rohrdurchmesser (m)

b_{DM} Dotationsmischerbreite (m)

Gleichung (11) kann als Richtwert aufgefasst werden. Aus praktischen Gründen ist d_R auf gängige Nenninnendurchmesser zu runden. Des Weiteren sind standörtliche Gegebenheiten wie Fallhöhe, Länge der Rohrleitung bzw. Reibungsverluste oder der Einsatz von Regulierorganen und Energieumwandlungsanlagen bei der Dimensionierung des Rohrleitungsdurchmessers zu berücksichtigen. Diese Aspekte sind im Planungsprozess der Dotationsanlage zu ermitteln und mit dem hier gewählten Durchmesser in Einklang zu bringen.

Um eine Überlastung des Dotationsmischer zu vermeiden, darf die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr u_1 während aller Betriebspunkte den in Gleichung (12) definierten Grenzwert nicht überschreiten (Fiedler 2023):

$$u_{1,grenz} = 4 \cdot u_{2,max} \quad (12)$$

Mit:

$u_{1,grenz}$ Grenzwert für die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr (m/s)

$u_{2,max}$ maximal auftretende Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken (m/s)

Anmerkung: üblicherweise wird das Dotationsbecken für $u_{2,max} = 0,80 \text{ m/s}$ bemessen (BAW und BfG 2017), um möglichst kompakte Abmessungen zu erreichen. Für diesen Fall beträgt $u_{1,grenz} = 3,20 \text{ m/s}$.

Die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr kann mit Gleichung (13) berechnet werden:

$$u_1 = \frac{4 \cdot Q_{DM}}{\pi \cdot N_R \cdot d_R^2} \quad (13)$$

Mit:

u_1 Strömungsgeschwindigkeit im Rohr (m/s)

Q_{DM} Durchfluss pro Dotationsmischer (m³/s)

N_R Anzahl eingesetzter Rohrleitungen pro Dotationsmischer (-)

d_R Rohrdurchmesser (m)

Die Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken u_2 verändert sich mit dem Wasserstand und kann mit Gleichung (14) berechnet werden:

$$u_2 = \frac{Q_{DM}}{b_{DM} \cdot h_{DB}} \quad (14)$$

Mit:

u_2 Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken (m/s)

Q_{DM} Durchfluss pro Dotationsmischer (m³/s)

b_{DM} Dotationsmischerbreite (m)

h_{DB} Fließtiefe im Dotationsbecken (stromabwärts des Dotationsmischer) (m)

Es können sich Betriebspunkte ergeben, bei denen mit dem Einsatz einer einzigen Rohrleitung $u_{1,grenz}$ überschritten wird. In diesem Fall sind zwei oder ggf. mehr Rohrleitungen übereinander einzusetzen. Die Rohrleitungen müssen so übereinander positioniert werden, dass sie während des Betriebes immer vollständig eingetaucht sind und Gleichung (12) in jedem Betriebspunkt eingehalten wird. Während der Bemessung ist die optimale Kombination von Anzahl, Durchmesser und Lage der Rohrleitungen ggf. durch deren Variation zu bestimmen (siehe hierzu die Beispiele in den Anlagen). Zur Bestimmung der insgesamt benötigten Anzahl an Rohrleitungen $N_{R,max}$ ist Gleichung (15) einzusetzen (auf ganze Zahl aufzurunden):

$$N_{R,max} = \left[\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\max(Q_{DM})}{d_R^2 \cdot u_{1,grenz}} \right] \quad (15)$$

Mit:

$N_{R,max}$	maximal benötigte Anzahl an Rohrleitungen pro Dotationsmischer	(-)
$\max(Q_{DM})$	maximaler Durchfluss pro Dotationsmischer	(m ³ /s)
d_R	Rohrdurchmesser	(m)
$u_{1,grenz}$	Grenzwert für die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr	(m/s)

Zur Bestimmung der mindestens einzusetzenden Anzahl an Rohrleitungen bei einer bestimmten Fließtiefe h_{DB} ist Gleichung (16) einzusetzen (Aufstauhöhe nicht berücksichtigt):

$$N_R(h_{DB}) = \left[\frac{4 \cdot Q_{DM}(h_{DB})}{\pi \cdot u_{1,grenz} \cdot d_R^2} \right] = \left[\frac{4 \cdot b_{DM}}{\pi \cdot d_R^2} \cdot \frac{u_2 \cdot h_{DB}}{u_{1,grenz}} \right] \quad (16)$$

Mit:

$N_R(h_{DB})$	mind. einzusetzenden Anzahl an Rohrleitungen bei einer bestimmten Fließtiefe	(-)
h_{DB}	Fließtiefe im Dotationsbecken (stromabwärts des Dotationsmischer)	(m)
$Q_{DM}(h_{DB})$	Durchfluss pro Dotationsmischer bei einer bestimmten Fließtiefe	(m ³ /s)
$u_{1,grenz}$	Grenzwert für die Strömungsgeschwindigkeit im Rohr	(m/s)
d_R	Rohrdurchmesser	(m)
b_{DM}	Dotationsmischerbreite	(m)
u_2	Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken	(m/s)

Für die Positionierung der Rohrleitung ist die Fließtiefe im Einlaufbereich h_{EB} zu betrachten. Diese berechnet sich nach Gleichung (17) aus der Fließtiefe im Dotationsbecken h_{DB} und der Aufstauhöhe Δh_{DM} :

$$h_{EB} = h_{DB} + \Delta h_{DM} \quad (17)$$

Mit:

h_{EB}	Fließtiefe im Einlaufbereich	(m)
h_{DB}	Fließtiefe im Dotationsbecken (stromabwärts des Dotationsmischer)	(m)
Δh_{DM}	Aufstauhöhe	(m)

Die Aufstauhöhe am Dotationsmischer Δh_{DM} kann grundsätzlich für alle Betriebspunkte mit Gleichung (18) berechnet werden (Geltungsbereich: $1,8 \leq u_1/u_2 \leq 17,5$ und Dotationsmischer wie in Abbildung 2):

$$\frac{\Delta h_{DM}}{u_2^2/2g} = 2,5 \frac{u_1}{u_2} + 2,9 \quad (18)$$

Mit:

Δh_{DM}	Aufstauhöhe	(m)
u_2	Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken	(m/s)
u_1	Strömungsgeschwindigkeit im Rohr	(m/s)

Anmerkung: Bei $u_{1,grenz} = 3,20 \text{ m/s}$ und $u_2 = 0,80 \text{ m/s}$ ergibt sich eine maximal zu erwartende Aufstauhöhe von $\Delta h_{DM,max} = 0,42 \text{ m}$.

Unter Umständen ist es nicht immer möglich die Rohrleitung, die zusätzlich in Betrieb genommen werden soll, so zu positionieren, dass sie während des Betriebes vollständig eingetaucht ist. In diesem Falle können, in Abhängigkeit der am Standort maßgebenden Faktoren, folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Den Rohrdurchmesser nach Möglichkeit vergrößern, sodass die Kapazität für den erforderlichen Durchfluss ausreicht. Ggf. ist hierfür das Dotationsbecken breiter zu dimensionieren.
- Die weitere Rohrleitung kann (zur Entlastung der bereits in Betrieb stehenden Rohrleitung) übergangsweise teilgefüllt eingesetzt werden. Bei teilgefüllten Rohren können allerdings unerwünschte Effekte, wie z. B. Lärm, Kavitation, Störungen von Messinstrumenten oder Lufteintrag in die Fischaufstiegsanlage auftreten.
- Der Einlaufbereich des Dotationsmischer (zwischen Rohrmündung und Dotationsmischer) kann breiter gestaltet werden, sodass größere Rohrdurchmesser eingesetzt werden können. In diesem Falle sind jedoch Gleichung (18) und (24) (Kapitel A-5) nicht anwendbar.
- Kann mit den in a) bis c) beschriebenen Maßnahmen keine realisierbare Lösung gefunden werden, kann übergangsweise von Gleichung (12) abgewichen werden. Das Verhältnis von $u_1/u_{2,max}$ soll den Faktor 4 jedoch nicht wesentlich überschreiten, um eine gleichmäßige Dotationseinleitung zu erreichen.

Grundsätzlich soll in jedem dieser Fälle eine Absprache mit BAW und BfG erfolgen.

Für Rohrkrümmer stromaufwärts des Dotationsmischer ist ein Krümmungsradius (Mittelpunkt der Krümmung zu Rohrachse) von mindestens $2 \cdot d_R$ zu berücksichtigen (Abbildung 6).

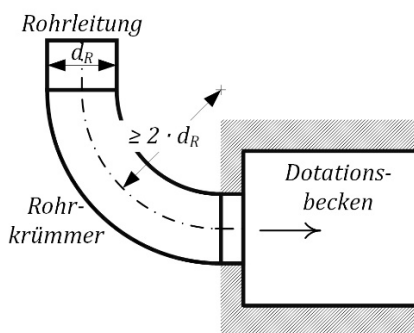


Abbildung 6: Krümmungsradius in der Zuleitung von Dotationsbecken (Draufsicht)

4.8 Dotationsmischerhöhe

Die Dotationsmischerhöhe h_{DM} wird für den Betriebspunkt berechnet, bei dem sich die höchste Fließtiefe im Einlaufbereich h_{EB} einstellt ($W_{DB,330}$). Sie berechnet sich nach Gleichung (19) aus dem Produkt der Lückenanzahl in z-Richtung N_z und der Lückenweite in z-Richtung s_z (entspricht der Leitelementhöhe):

$$h_{DM} = N_z \cdot s_z \quad (19)$$

Mit:

h_{DM}	Höhe des Dotationsmischers	(m)
N_z	Lückenanzahl in z-Richtung	(-)
s_z	Lückenweite in z-Richtung	(m)

Die Lückenanzahl in z-Richtung N_z berechnet sich nach Gleichung (20) aus der Fließtiefe im Dotationsbecken h_{DB} , der Aufstauhöhe Δh_{DM} und einem Sicherheitsaufschlag (Freibord). Es wird aus konstruktiven Gründen empfohlen, die Höhe des Dotationsmischers auf ein ganzzahliges Vielfaches der Lückenweite in z-Richtung s_z aufzurunden:

$$N_z = \left\lceil \frac{h_{DB,330} + s_{FB} \cdot \Delta h_{DM,330}}{s_z} \right\rceil \quad (20)$$

Mit:

N_z	Lückenanzahl in z-Richtung	(-)
$h_{DB,330}$	Fließtiefe im Dotationsbecken bei $W_{DB,330}$ (stromabwärts des Dotationsmischers)	(m)
s_{FB}	Sicherheitsfaktor für Freibord (Empfehlung $s_{FB} = 2,0$)	(-)
$\Delta h_{DM,330}$	Aufstauhöhe bei $W_{DB,330}$	(m)
s_z	Lückenweite in z-Richtung	(m)

4.9 Freibord

Bei Havarie (starke Verlegung und/oder Ausfall der Regelung) kann eine Überströmung des Dotationsmischers eintreten. Um den Dotationsdurchfluss in diesem Fall weiterhin über das Dotationsbecken abzuführen, ist ein Freibord über dem Dotationsmischer vorzusehen (Abbildung 2). Für die Maße des Freibords wird eine Höhe von $h_{FB} = 1,00 \text{ m}$ und eine Länge $l_{FB} = 3 \cdot b_{DM}$ empfohlen.

5 Bauliche Umsetzung

Die hier beschriebene Konstruktion stellt grundsätzlich eine Möglichkeit der baulichen Umsetzung dar und schließt andere Konstruktionen oder Materialien nicht aus. Die Bauteilabmessungen wurden in einer Vorbemessung ermittelt, bei der als konservative Annahme eine Vollverlegung des Dotationsmischer angenommen wurde. Grundlage für die konstruktive Bemessung war ein zulässiger Auslastungsgrad von 0,9 der Streckgrenze.

Für die genannten Bedingungen wird empfohlen, den Dotationsmischer als Schweißkonstruktion aus Baustahl S235 nach EN 10025 herzustellen und mit einem Stahlwasserbau-Korrosionsschutz zu versehen. Als Bodenplatte dient bei allen drei Dotationsmischern (DM1 – DM3) ein Stahlblech mit einer Dicke von 6 mm (Abbildung 7). Auf dieser wird eine Stützkonstruktion erstellt, die mit Leitelementen ausgefacht wird. Die Stützkonstruktion besteht aus Rundrohren (48,3 mm x 2,6 mm) und an den Außenseiten angeordneten vertikalen Seitenschotten. Die Blechdicke der Schotte variiert je nach Dotationsmischer (DM1 und DM2: 8 mm, DM3: 10 mm). Die Leitelemente bestehen, unabhängig von der Baugröße des Dotationsmischer, aus Blechen mit 6 mm Dicke. Die Leitelemente werden zwischen die Rundrohre bzw. zwischen Rundrohr und Seitenschott eingepasst und mit Kehlnähten umlaufend verschweißt. Die untere Lage wird zusätzlich mit der Bodenplatte verschweißt. An den Kreuzungspunkten der Leitelemente werden diese miteinander verschweißt. Die Rundrohre werden oben mit einem angeschweißten Deckel verschlossen. Oben auf den Dotationsmischer werden quer zur Fließrichtung zwei horizontale Vierkantprofile aufgeschweißt, die als Anschlagpunkte nutzbar sind. Für die eingesetzten Bleche soll, unabhängig von weiteren Berechnungen, aus Gründen der Dauerhaftigkeit eine Mindestdicke von 6 mm nicht unterschritten werden. Die Lastweiterleitung vom Dotationsmischer in den angrenzenden Massivbau erfolgt über die vertikale Seitenschotte (in Abbildung 7 gelb dargestellt), die sich in einer Nische bzw. gegen eine Konsole abstützen. Hierbei sei angemerkt, dass die Breite des Dotationsmischer selbst (in Abbildung 7 blau dargestellt), in Abhängigkeit davon ob eine Nische oder Konsole eingesetzt wird, entweder der Dotationsbeckenbreite entspricht (Seitenschotte lagern in Nische) oder etwas schmaler als die Dotationsbeckenbreite gestaltet werden muss (Seitenschotte lagern in Konsole).

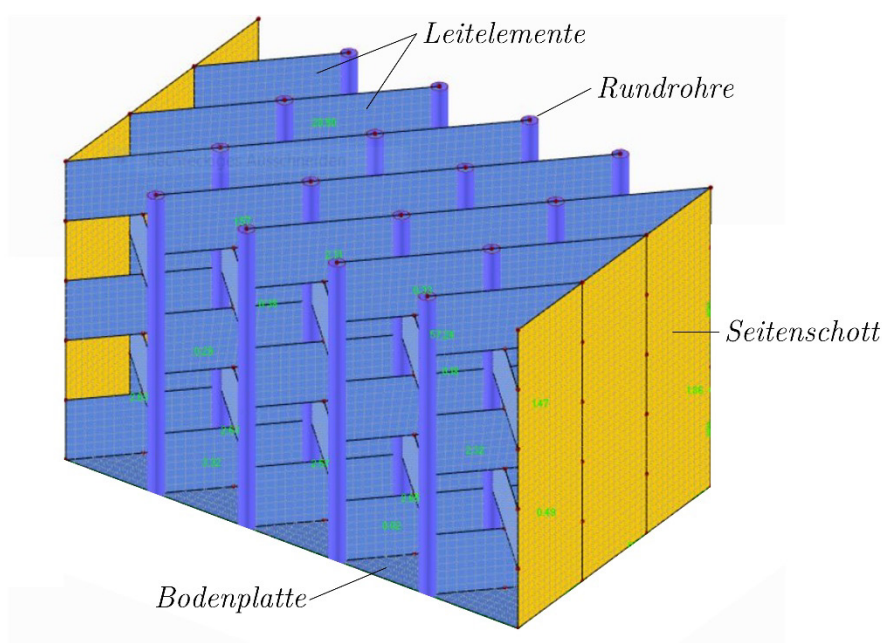


Abbildung 7: Prinzipskizze der Konstruktion

Alternativ kann der Dotationsmischer in Modulbauweise konstruiert werden (Abbildung 8), um Reinigungsarbeiten zu erleichtern und das Gewicht der Einzelteile zu reduzieren. Hierbei setzt sich der Dotationsmischer aus mehreren Modulen zusammen, die mit einer Hebevorrichtung einzeln gehoben werden können. Ein Vorteil dieser Bauweise ist, dass ggf. besonders häufig verunreinigte Bereiche einfacher zugänglich sind. Derzeit werden erste Erfahrungen mit der konstruktiven Umsetzung dieser Bauweise gesammelt.

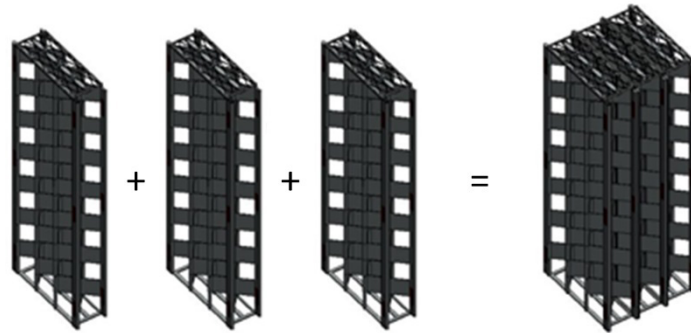


Abbildung 8: *Prinzipische Skizze der Modulbauweise*

6 Literaturverzeichnis

BAW und BfG (2017): Bemessungsempfehlungen zur Dotation in Becken einer Fischaufstiegsanlage. Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde. Online verfügbar unter https://izw.baw.de/publikationen/umwelt-durchgaengigkeit/0/036_2022-04_Dotationszugabe.pdf.

BAW und BfG (2019): Empfehlung für die Bemessung der Leitströmung von Fischaufstiegsanlagen an Standorten mit Wasserkraftnutzung für den kraftwerksnahen Einstieg. BAWEmpfehlung. Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde. Online verfügbar unter <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106982>.

BAW und BfG (2023): Einstieg in einen Schlitzpass - Einstiegswendebecken (in Bearbeitung). Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde.

DWA (2014): Merkblatt DWA-M 509. Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Hg. v. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Hennef (DWA-Regelwerk).

Fiedler, G. (2023): Bemessung statischer Mischer für die Erzeugung gleichmäßiger Strömungen in Dotationsbecken von Fischaufstiegsanlagen. Dissertation. In: Technische Universität Braunschweig. Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:084-2023071313153>.

Anlagen

Anmerkung: in den Berechnungsbeispielen werden zur Vereinfachung keine Rohrwandstärken berücksichtigt. Durch die Wandstärken verringert sich der Abstand zwischen einer Rohrleitung und einer Wand oder zwischen zwei Rohrleitungen entsprechend.

A-1. Beispiel 1: Dotationsmischer mit einer einzigen Rohrleitung bei relativ geringen Wasserspiegelschwankungen

Das erste Beispiel behandelt die Dotation einer Fischaufstiegsanlage mit relativ geringen Wasserspiegelschwankungen von 0,58 m zwischen $W_{DB,30}$ und $W_{DB,330}$. Die Fischaufstiegsanlage weist einen Durchfluss von $Q_{FAA} = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$, eine Einstiegsschlitzweite von $s = 1,07 \text{ m}$ und eine Geschwindigkeit im Einstiegsschlitz von $u_{Leit} = 1,50 \text{ m/s}$ auf. Die Eingangswerte sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Eingangswerte für Beispiel 1, die Fließtiefen wurden mit Gleichung (5) berechnet

Parameter	Wert	Einheit
HS_{DB}	158,5	(mNHN)
$W_{DB,30}$	159,5	(mNHN)
$W_{DB,330}$	160,08	(mNHN)
$Q_{DB,30}$	0,85	(m^3/s)
$Q_{DB,330}$	1,83	(m^3/s)
$h_{DB,30}$	1,00	(m)
$h_{DB,330}$	1,58	(m)

(1) Dotationsbeckenbreite

Die Dotationsbeckenbreite errechnet sich nach Gleichung (7) zu:

$$\text{Für } W_{DB,30}: b_{DB} = \frac{Q_{DB,30}}{0,80 \cdot h_{DB,30}} = \frac{0,85 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,80 \text{ m} \cdot 1,00 \text{ m}} = 1,06 \text{ m}$$

$$\text{Für } W_{DB,330}: b_{DB} = \frac{Q_{DB,330}}{0,80 \cdot h_{DB,330}} = \frac{1,83 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,80 \text{ m} \cdot 1,58 \text{ m}} = 1,45 \text{ m}$$

→ Die Dotationsbeckenbreite wird mit $b_{DB} = 1,45 \text{ m}$ festgelegt.

(2) Dotationsmischerbreite, -typ und -anzahl

Nach Tabelle 2 kann für Dotationsbecken mit $b_{DB} = 1,45 \text{ m}$ der Typ DM 3 eingesetzt werden. Somit bestimmt sich die Dotationsmischerbreite zu $b_{DM} = b_{DB} = 1,45 \text{ m}$ und die Dotationsmischeranzahl zu $N_{DM} = 1$.

(3) Dotationsmischerlänge und Lückenabmessungen

DM 3 weist nach Tabelle 2 eine Lückenanzahl in y-Richtung von $N_y = 5$ auf. Es wird angenommen, dass der Dotationsmischer aus Baustahl gefertigt wird, sodass nach den Empfehlungen in Kapitel 5 eine Leitelementdicke von $d_{LE} = 0,006 \text{ m}$ eingesetzt wird. Hieraus ergibt sich nach Gleichung (2) eine Dotationsmischerlänge von:

$$l_{DM} = 3 \cdot \frac{b_{DM}}{N_y} + \sqrt{2} \cdot d_{LE} = 3 \cdot \frac{1,45 \text{ m}}{5} + \sqrt{2} \cdot 0,006 \text{ m} = 0,88 \text{ m}$$

Die Lückenweiten in x- und y-Richtung betragen nach Gleichung (3):

$$s_x = s_y = \frac{l_{DM} - \sqrt{32} \cdot d_{LE}}{3} = \frac{0,87 \text{ m} - \sqrt{32} \cdot 0,006 \text{ m}}{3} = 0,28 \text{ m}$$

Die Lückenweiten in diagonalen und z-Richtung betragen nach Gleichung (4):

$$s_d = s_z = \frac{s_x}{\sqrt{2}} = \frac{0,28 \text{ m}}{\sqrt{2}} = 0,20 \text{ m}$$

(4) Vergleichmäßigungslänge

Die Vergleichmäßigungslänge l_{VG} beträgt nach Gleichung (9):

$$l_{VG} = 4 \cdot b_{DM} = 4 \cdot 1,45 \text{ m} = 5,80 \text{ m}$$

(5) Anordnung des Dotationsmischer im Dotationsbecken

Die Länge des Einlaufbereiches l_{EB} berechnet sich nach Gleichung (10) zu:

$$l_{EB} = b_{DM} = 1,45 \text{ m}$$

(6) Zuleitung

Für die Bemessung der Zuleitung wird im ersten Schritt der Rohrdurchmesser mit Gleichung (11) (vor-)dimensioniert:

$$d_R = \frac{2}{3} \cdot b_{DM} = \frac{2}{3} \cdot 1,45 \text{ m} = 0,97$$

→ für die weitere Berechnung wird d_R abgerundet, um $d_R = 0,90 \text{ m}$ (DN 900-Innendurchmesser) zu testen (kleinere Rohrdurchmesser ermöglichen größere Abstände zu den Beckenwänden oder zur Sohle).

Die Bestimmung der maximal notwendigen Anzahl an Rohrleitungen $N_{R,330}$ erfolgt mit Gleichung (15):

$$N_{R,330} = \left\lceil \frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q_{DM,330}}{d_R^2 \cdot u_{1,grenz}} \right\rceil = \left\lceil \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1,83 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(0,9 \text{ m})^2 \cdot 3,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right\rceil = [0,90] = 1$$

→ Die Zuleitung kann mit einem (einzigen) Rohr erfolgen.

Eine Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten für alle Betriebszustände erfolgt in Tabelle 6 mit Gleichungen (12) und (13).

Tabelle 6: Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten

	bei $W_{DB,30}$	bei $W_{DB,330}$
u_1	1,34 m/s	2,88 m/s
$u_1 \leq 3,20$ m/s	ja	ja

→ In beiden Betriebszuständen wird Gleichung (12) eingehalten. Damit kann der gewählte Rohrdurchmesser für die weitere Dimensionierung verwendet werden.

Positionierung der Rohrleitung

Die Positionierung des Rohres erfolgt so, dass der gesamte Rohrquerschnitt bei $W_{DB,30}$ unterhalb der Wasseroberfläche liegt. Die Fließtiefe im Einlaufbereich berechnet sich nach Gleichung (17) aus der Fließtiefe und Aufstauhöhe bei $W_{DB,30}$. Die für die Aufstauhöhe benötigte Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken berechnet sich nach Gleichung (14) zu:

$$u_{2,30} = \frac{Q_{DM,30}}{b_{DM} \cdot h_{DB,30}} = \frac{0,85 \frac{m^3}{s}}{1,45 m \cdot 1,00 m} = 0,59 \frac{m}{s}$$

Sodass sich nach Gleichung (18) folgende Aufstauhöhe einstellt:

$$\Delta h_{DM,30} = \left(2,5 \frac{u_{1,30}}{u_{2,30}} + 2,9 \right) \cdot \frac{u_{2,30}^2}{2g} = \left(2,5 \cdot \frac{1,34 \frac{m}{s}}{0,59 \frac{m}{s}} + 2,9 \right) \cdot \frac{\left(0,59 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,15 m$$

Nach Gleichung (17) beträgt somit die Fließtiefe im Einlaufbereich

$$h_{EB,30} = h_{DB,30} + \Delta h_{DM,30} = 1,00 m + 0,15 m = 1,15 m$$

Die Rohrrinnenachse wird auf $HS_{DB} + 0,65 m$ gelegt, sodass die Rohroberkante bei $HS_{DB} + 1,10 m$ und die Rohrunterkante bei $HS_{DB} + 0,20 m$ liegt.

(7) Dotationsmischerhöhe

Die Dotationsmischerhöhe berechnet sich nach Gleichung (19) für den Betriebspunkt mit der maximalen Fließtiefe im Einlaufbereich ($W_{DB,330}$) aus der Lückenanzahl und Lückenweite in z-Richtung. Aus der Konstruktion ergibt sich eine Lückenweite in z-Richtung von $s_z = 0,20 m$ (s. o.). Die Lückenanzahl in z-Richtung berechnet sich nach Gleichung (20) u. a. aus der Aufstauhöhe. Die für die Aufstauhöhe benötigte Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken berechnet sich nach Gleichung (14) zu $u_2 = 0,80 m/s$ (wie bemessen). Demzufolge stellt sich nach Gleichung (18) folgende Aufstauhöhe ein:

$$\Delta h_{DM,330} = \left(2,5 \frac{u_{1,330}}{u_{2,330}} + 2,9 \right) \cdot \frac{u_{2,330}^2}{2g} = \left(2,5 \cdot \frac{2,88 \frac{m}{s}}{0,80 \frac{m}{s}} + 2,9 \right) \cdot \frac{\left(0,80 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,39 m$$

Somit ergibt sich nach Gleichung (20) folgende Lückenanzahl in z-Richtung:

$$N_z = \left\lceil \frac{h_{DB,330} + s_{FB} \cdot \Delta h_{DM,330}}{s_z} \right\rceil = \left\lceil \frac{1,58 \text{ m} + 2 \cdot 0,39 \text{ m}}{0,20 \text{ m}} \right\rceil = [11,8] = 12$$

Die Lückenanzahl in z-Richtung beträgt $N_z = 12$ und demnach beträgt die Dotationsmischerhöhe nach Gleichung (19):

$$h_{DM} = N_z \cdot s_z = 12 \cdot 0,20 \text{ m} = 2,40 \text{ m}$$

Die Dotationsmischerhöhe beträgt $h_{DM} = 2,40 \text{ m}$.

(8) Freibord

Der Freibord soll eine Höhe von $h_{FB} = 1,00 \text{ m}$ und eine Länge von $l_{FB} = 3 \cdot b_{DM} = 3 \cdot 1,45 \text{ m} = 4,35 \text{ m}$ aufweisen.

A-2. Beispiel 2: Dotationsmischer mit drei Rohrleitungen bei moderatem Leitdurchfluss und hohen Wasserspiegelschwankungen

Das zweite Beispiel behandelt die Dotation einer FAA mit moderatem Leitdurchfluss und relativ hohen Wasserspiegelschwankungen von 1,85 m zwischen $W_{DB,30}$ und $W_{DB,330}$. Die Fischaufstiegsanlage weist einen Durchfluss von $Q_{FAA} = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$, eine Einstiegsschlitzweite von $s = 0,66 \text{ m}$ und eine Geschwindigkeit im Einstiegsschlitz von $u_{Leit} = 1,50 \text{ m/s}$ auf. Die Eingangswerte sind in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7: Eingangswerte für Beispiel 2, die Fließtiefen wurden mit Gleichung (5) berechnet

Symbol	Wert	Einheit
HS_{DB}	172,8	(mNHN)
$W_{DB,30}$	173,80	(mNHN)
$W_{DB,330}$	175,65	(mNHN)
$Q_{DB,30}$	0,24	(m^3/s)
$Q_{DB,330}$	2,05	(m^3/s)
$h_{DB,30}$	1,00	(m)
$h_{DB,330}$	2,85	(m)

(1) Dotationsbeckenbreite

Die Dotationsbeckenbreite errechnet sich nach Gleichung (7) zu:

$$\text{Für } W_{DB,30}: b_{DB} = \frac{Q_{DB,30}}{0,80 \text{ m/s} \cdot h_{30}} = \frac{0,24 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,80 \text{ m/s} \cdot 1,00 \text{ m}} = 0,30 \text{ m}$$

...

$$\text{Für } W_{DB,330}: b_{DB} = \frac{Q_{DB,330}}{0,80 \text{ m/s} \cdot h_{330}} = \frac{2,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,80 \text{ m/s} \cdot 2,85 \text{ m}} = 0,90 \text{ m}$$

→ Die Dotationsbeckenbreite wird mit $b_{DB} = 0,90 \text{ m}$ festgelegt.

(2) Dotationsmischerbreite, -typ und -anzahl

Nach Tabelle 2 kann für Dotationsbecken mit $b_{DB} = 0,90 \text{ m}$ DM 1 eingesetzt werden. Somit bestimmt sich die Dotationsmischerbreite zu $b_{DM} = b_{DB} = 0,90 \text{ m}$ und die Dotationsmischeranzahl zu $N_{DM} = 1$.

(3) Dotationsmischerlänge und Lückenabmessungen

DM 1 weist nach Tabelle 2 eine Lückenanzahl in y-Richtung von $N_y = 3$ auf. Es wird angenommen, dass der Dotationsmischer aus Baustahl gefertigt wird, sodass nach den Empfehlungen in Kapitel 5 eine Leitelementdicke von $d_{LE} = 0,006 \text{ m}$ eingesetzt wird. Hieraus ergibt sich nach Gleichung (2) eine Dotationsmischerlänge von:

$$l_{DM} = 3 \cdot \frac{b_{DM}}{N_y} + \sqrt{2} d_{LE} = 3 \cdot \frac{0,90 \text{ m}}{3} + \sqrt{2} \cdot 0,006 \text{ m} = 0,91 \text{ m}$$

Die Lückenweiten in x- und y-Richtung betragen nach Gleichung (3):

$$s_x = s_y = \frac{l_{DM} - \sqrt{32} \cdot d_{LE}}{3} = \frac{0,90 \text{ m} - \sqrt{32} \cdot 0,006 \text{ m}}{3} = 0,29 \text{ m}$$

Die Lückenweiten in diagonaler und z-Richtung betragen nach Gleichung (4):

$$s_d = s_z = \frac{s_x}{\sqrt{2}} = \frac{0,29 \text{ m}}{\sqrt{2}} = 0,21 \text{ m}$$

(4) Vergleichmäßigungslänge

Die Vergleichmäßigungslänge l_{VG} beträgt nach Gleichung (9):

$$l_{VG} = 4 \cdot b_{DM} = 4 \cdot 0,90 \text{ m} = 3,60 \text{ m}$$

(5) Anordnung des Dotationsmischer im Dotationsbecken

Die Länge des Einlaufbereiches l_{EB} berechnet sich nach Gleichung (10) zu:

$$l_{EB} = b_{DM} = 0,90 \text{ m}$$

(6) Zuleitung

Für die Bemessung der Zuleitung wird im ersten Schritt der Rohrdurchmesser mit Gleichung (11) (vor-)dimensioniert:

$$d_R = \frac{2}{3} \cdot b_{DM} = \frac{2}{3} \cdot 0,90 \text{ m} = 0,60 \text{ m}$$

→ Für die weitere Berechnung wird eine Rohrleitung mit $d_R = 0,60 \text{ m}$ gewählt (DN 600-Innendurchmesser).

Die Bestimmung der benötigten Anzahl an Rohrleitungen $N_{R,330}$ bei $W_{DB,330}$ erfolgt mit Gleichung (15):

$$N_{R,330} = \left\lceil \frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q_{DM,330}}{d_R^2 \cdot u_{1,330,grenz}} \right\rceil = \left\lceil \frac{4}{\pi} \cdot \frac{2,05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(0,6 \text{ m})^2 \cdot 3,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right\rceil = \lceil 2,27 \rceil = 3$$

→ Die Zuleitung muss mit drei Rohrleitungen erfolgen. (Alternativ kann das Dotationsbecken breiter gestaltet werden, sodass ein größerer Rohrdurchmesser (0,70 m) eingesetzt werden kann und zwei Rohrleitungen für den Betrieb ausreichen, hier nicht weiter betrachtet).

Positionierung der ersten Rohrleitung:

Die erste Rohrleitung soll bei $W_{DB,30}$ vollständig unterhalb der Wasseroberfläche münden. Hierfür wird überprüft, ob in diesem Zustand eine Rohrleitung ausreicht. Mit Gleichung (16) wird die mindestens einzusetzende Anzahl an Rohrleitungen bestimmt (zur Vereinfachung wird die Aufstauhöhe hierbei nicht betrachtet):

$$N_R(h_{DB,30}) = \left\lceil \frac{4 \cdot Q_{DB,30}}{\pi \cdot u_{1,grenz} \cdot d_R^2} \right\rceil = \left\lceil \frac{4 \cdot 0,24 \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot 3,20 \frac{m}{s} \cdot (0,60 m)^2} \right\rceil = [0,27] = 1$$

→ bei $W_{DB,30}$ ist eine Rohrleitung einzusetzen. Die Positionierung des Rohres erfolgt so, dass der gesamte Rohrquerschnitt im Betrieb unterhalb der Wasseroberfläche liegt. Hierfür wird die Rohrrinnenachse auf $HS_{DB} + 0,50 m$ gelegt. Somit liegt die Rohrunterkante 0,20 m und die Rohroberkante 0,80 m über der Dotationsbeckensohle. Das Rohr ist demzufolge bei $W_{DB,30}$ vollständig eingetaucht.

Positionierung der zweiten Rohrleitung:

Die zweite Rohrleitung wird über der ersten Rohrleitung positioniert. Für die Positionierung wird angenommen, dass zum unteren Rohr ein Mindestabstand von 0,20 m eingehalten werden muss (Wandstärke nicht betrachtet). Aus diesem Grund wird die Rohrrinnenachse testweise auf $HS_{DB} + 1,30 m$ gelegt. Somit liegt die Rohrunterkante 1,00 m und die Rohroberkante 1,60 m über der Dotationsbeckensohle. Nun muss überprüft werden, ob $u_{1,grenz}$ bis zur Inbetriebnahme bei $h_{DB} = 1,60 m$ (entspricht Oberkante der zweiten Rohrleitung, Aufstauhöhe nicht betrachtet) nicht überschritten wird. Nach Tabelle 7 sind die hydraulischen Bedingungen im Dotationsbecken für die Fließtiefe $h_{DB} = 1,60 m$ unbekannt. Aus der Planung der Fischaufstiegsanlage ist jedoch die Bemessung der Leitströmung gegeben (siehe Beschreibung Anfang des Kapitels). Hierdurch kann die Dotation für die Fließtiefe $h_{DB} = 1,60 m$ mit Gleichung (6) berechnet werden:

$$Q_{DB}(h_{DB} = 1,60 m) = s \cdot u_{Leit} \cdot h_{DB} - Q_{FAA} = 0,66 m \cdot 1,50 \frac{m}{s} \cdot 1,60 m - 0,75 \frac{m^3}{s} = 0,83 \frac{m^3}{s}$$

Mit Gleichung (16) wird die mindestens einzusetzende Anzahl an Rohrleitungen bestimmt (zur Vereinfachung wird die Aufstauhöhe hierbei nicht betrachtet):

$$N_R(h_{DB} = 1,60 m) = \left\lceil \frac{4 \cdot Q_{DB}}{\pi \cdot u_{1,grenz} \cdot d_R^2} \right\rceil = \left\lceil \frac{4 \cdot 0,83 \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot 3,20 \frac{m}{s} \cdot (0,60 m)^2} \right\rceil = [0,92] = 1$$

→ bei $h_{DB} = 1,60 m$ reicht eine Rohrleitung aus, sodass die untere Rohrleitung bis zur Inbetriebnahme der zweiten Rohrleitung eingesetzt werden kann, ohne $u_{1,grenz}$ zu überschreiten.

Positionierung der dritten Rohrleitung:

Für die Positionierung der dritten Rohrleitung wird die Rohrrinnenachse auf $HS_{DB} + 2,10 m$ gelegt. Somit liegt die Rohrunterkante 1,80 m und die Rohroberkante 2,40 m über der Dotationsbeckensohle. Nun muss überprüft werden, ob $u_{1,grenz}$ bis zur Inbetriebnahme bei $h_{DB} = 2,40 m$ (entspricht Oberkante der dritten Rohrleitung, Aufstauhöhe nicht betrachtet) nicht überschritten wird. Nach Tabelle 7 sind die hydraulischen Bedingungen im Dotationsbecken für die Fließtiefe $h_{DB} = 2,40 m$ unbekannt. Aus der Planung der Fischaufstiegsanlage ist jedoch die Bemessung der Leitströmung gegeben (siehe Beschreibung Anfang des Kapitels). Hierdurch kann die Dotation für die Fließtiefe $h_{DB} = 2,40 m$ mit Gleichung (6) berechnet werden:

$$Q_{DB}(h_{DB} = 2,40 m) = s \cdot u_{Leit} \cdot h_{DB} - Q_{FAA} = 0,66 m \cdot 1,50 \frac{m}{s} \cdot 2,40 m - 0,75 \frac{m^3}{s} = 1,63 \frac{m^3}{s}$$

Mit Gleichung (16) wird die mindestens einzusetzende Anzahl an Rohrleitungen bestimmt (zur Vereinfachung wird die Aufstauhöhe hierbei nicht betrachtet):

$$N_R(h_{DB} = 2,40 \text{ m}) = \left\lceil \frac{4 \cdot Q_{DB}}{\pi \cdot u_{1,grenz} \cdot d_R^2} \right\rceil = \left\lceil \frac{4 \cdot 1,63 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 3,20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (0,60 \text{ m})^2} \right\rceil = [1,80] = 2$$

→ Für die Fließtiefe $h_{DB} = 2,40 \text{ m}$ reichen zwei Rohrleitungen aus, sodass $u_{1,grenz}$ bis zur Inbetriebnahme des dritten Rohres nicht überschritten wird. Eine Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten für alle Betriebszustände erfolgt in Tabelle 8 mit Gleichungen (12) und (13).

Tabelle 8: Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten

	bei $W_{DB,30}$ $h_{DB} = 1,60 \text{ m}$		bei $W_{DB,330}$ $h_{DB} = 2,40 \text{ m}$	
u_1	0,85 m/s	2,94 m/s → 1,47 m/s	2,88 m/s → 1,92 m/s	2,42 m/s
$u_1 \leq 3,20 \text{ m/s}$	ja	ja	ja	ja

→ In allen Betriebszuständen wird Gleichung (12) eingehalten.

(7) Dotationsmischerhöhe

Die Dotationsmischerhöhe berechnet sich nach Gleichung (19) für den Betriebspunkt mit der maximalen Fließtiefe im Einlaufbereich ($W_{DB,330}$) aus der Lückenanzahl und Lückenweite in z-Richtung. Aus der Konstruktion ergibt sich eine Lückenweite in z-Richtung von $s_z = 0,21 \text{ m}$ (s. o.). Die Lückenanzahl in z-Richtung berechnet sich nach Gleichung (20) u. a. aus der Aufstauhöhe. Die für die Aufstauhöhe benötigte Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken berechnet sich nach Gleichung (14) zu $u_2 = 0,80 \text{ m/s}$ (wie bemessen). Demzufolge stellt sich nach Gleichung (18) folgende Aufstauhöhe ein:

$$\Delta h_{DM,330} = \left(2,5 \frac{u_{1,330}}{u_{2,330}} + 2,9 \right) \cdot \frac{u_{2,330}^2}{2g} = \left(2,5 \cdot \frac{2,42 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,80 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 2,9 \right) \cdot \frac{\left(0,80 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,34 \text{ m}$$

Somit ergibt sich nach Gleichung (20) folgende Lückenanzahl in z-Richtung:

$$N_z = \left\lceil \frac{h_{DB,330} + s_{FB} \cdot \Delta h_{DM,330}}{s_z} \right\rceil = \left\lceil \frac{2,85 + 2 \cdot 0,34 \text{ m}}{0,21 \text{ m}} \right\rceil = [16,81] = 17$$

Die Lückenanzahl in z-Richtung beträgt $N_z = 17$ und demnach beträgt die Dotationsmischerhöhe nach Gleichung (19):

$$h_{DM} = N_z \cdot s_z = 17 \cdot 0,21 \text{ m} = 3,57 \text{ m}$$

Die Dotationsmischerhöhe beträgt $h_{DM} = 3,57 \text{ m}$.

(8) Freibord

Der Freibord soll eine Höhe von $h_{FB} = 1,00 \text{ m}$ und eine Länge von $l_{FB} = 3 \cdot b_{DM} = 3 \cdot 0,90 \text{ m} = 2,70 \text{ m}$ aufweisen.

A-3. Beispiel 3: Zwei parallele Dotationsmischer mit jeweils zwei Rohrleitungen bei hohem Leitdurchfluss und moderaten Wasserspiegelschwankungen

Das dritte Beispiel behandelt die Dotation einer FAA mit hohem Leitdurchfluss und moderaten Wasserspiegelschwankungen zwischen $W_{DB,30}$ und $W_{DB,330}$. Die Fischaufstiegsanlage weist einen Durchfluss von $Q_{FAA} = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$, eine Einstiegsschlitzweite von $s = 1,20 \text{ m}$ und eine Geschwindigkeit im Einstiegsschlitz von $u_{Leit} = 1,50 \text{ m/s}$ auf. Die Eingangswerte sind in Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Eingangswerte für Beispiel 3, die Fließtiefen wurden mit Gleichung (5) berechnet

Symbol	Wert	Einheit
HS_{DB}	141,25	(mNHN)
$W_{DB,30}$	142,45	(mNHN)
$W_{DB,330}$	143,29	(mNHN)
$Q_{DB,30}$	1,41	(m^3/s)
$Q_{DB,330}$	2,94	(m^3/s)
h_{30}	1,20	(m)
h_{330}	2,04	(m)

(1) Dotationsbeckenbreite

Die Dotationsbeckenbreite errechnet sich nach Gleichung (7) zu:

$$\text{Für } W_{DB,30}: b_{DB} = \frac{Q_{DB,30}}{0,80 \text{ m/s} \cdot h_{30}} = \frac{1,41 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,80 \text{ m/s} \cdot 1,20 \text{ m}} = 1,47 \text{ m}$$

$$\text{Für } W_{DB,330}: b_{DB} = \frac{Q_{DB,330}}{0,80 \text{ m/s} \cdot h_{max}} = \frac{2,94 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,80 \text{ m/s} \cdot 2,04 \text{ m}} = 1,80 \text{ m}$$

→ Die Dotationsbeckenbreite wird mit $b_{DB} = 1,80 \text{ m}$ festgelegt.

(2) Dotationsmischerbreite, -typ und -anzahl

Nach Tabelle 2 kann für Dotationsbecken mit $b_{DB} = 1,80 \text{ m}$ kein einzelner Dotationsmischer eingesetzt werden. Aus diesem Grund müssen zwei Dotationsmischer parallel betrieben werden. Die Dotationsmischeranzahl beträgt somit $N_{DM} = 2$. Die Dotationsmischerbreite berechnet sich demzufolge mit Gleichung (8) zu:

$$b_{DM} = \frac{b_{DB}}{N_{DM}} = \frac{1,80 \text{ m}}{2} = 0,90 \text{ m}$$

→ Aus Tabelle 2 wird der DM 1 gewählt.

(3) Dotationsmischerlänge und Lückenabmessungen

DM 1 weist nach Tabelle 2 eine Lückenanzahl in y -Richtung von $N_y = 3$ auf. Es wird angenommen, dass der Dotationsmischer aus Baustahl gefertigt wird, sodass nach den Empfehlungen in Kapitel 5 eine Leitelementdicke von $d_{LE} = 0,006 \text{ m}$ eingesetzt wird. Hieraus ergibt sich nach Gleichung (2) eine Dotationsmischerlänge von:

$$l_{DM} = 3 \cdot \frac{b_{DM}}{N_y} + \sqrt{2} d_{LE} = 3 \cdot \frac{0,90 \text{ m}}{3} + \sqrt{2} \cdot 0,006 \text{ m} = 0,91 \text{ m}$$

Die Lückenweiten in x - und y -Richtung betragen nach Gleichung (3):

$$s_x = s_y = \frac{l_{DM} - \sqrt{32} \cdot d_{LE}}{3} = \frac{0,90 \text{ m} - \sqrt{32} \cdot 0,006 \text{ m}}{3} = 0,29 \text{ m}$$

Die Lückenweiten in diagonalen und z -Richtung betragen nach Gleichung (4):

$$s_d = s_z = \frac{s_x}{\sqrt{2}} = \frac{0,29 \text{ m}}{\sqrt{2}} = 0,21 \text{ m}$$

(4) Vergleichmäßigungslänge

Die Vergleichmäßigungslänge l_{VG} beträgt nach Gleichung (9):

$$l_{VG} = 4 \cdot b_{DM} = 4 \cdot 0,90 \text{ m} = 3,60 \text{ m}$$

(5) Anordnung des Dotationsmischer im Dotationsbecken

Die Länge des Einlaufbereiches l_{EB} berechnet sich nach Gleichung (10) zu:

$$l_{EB} = b_{DM} = 0,90 \text{ m}$$

(6) Zuleitung

Bei parallelem Betrieb zweier Dotationsmischer werden zwei Zuleitungen gleichen Typs für jeden Dotationsmischer vorgesehen. Im Folgenden wird die Zuleitung für einen der beiden Dotationsmischer bemessen. Im ersten Schritt ist der Durchfluss durch einen Dotationsmischer mit Gleichung (1) zu bestimmen:

Für $W_{DB,30}$

$$Q_{DM,30} = \frac{Q_{DB,30}}{N_{DM}} = \frac{1,41 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2} = 0,71 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Für $W_{DB,330}$

$$Q_{DM,330} = \frac{Q_{DB,330}}{N_{DM}} = \frac{2,94 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2} = 1,47 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Im nächsten Schritt wird für die Bemessung der Zuleitung der Rohrdurchmesser mit Gleichung (11) (vor-)dimensioniert:

$$d_R = \frac{2}{3} \cdot b_{DM} = \frac{2}{3} \cdot 0,90 \text{ m} = 0,60 \text{ m}$$

→ Für die weitere Berechnung wird $d_R = 0,60 \text{ m}$ (DN 600-Innendurchmesser) gewählt.

Die Bestimmung der benötigten Anzahl an Rohrleitungen $N_{R,330}$ bei $W_{DB,330}$ erfolgt mit Gleichung (15):

$$N_{R,330} = \left\lceil \frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q_{DM,330}}{d_R^2 \cdot u_{1,330}} \right\rceil = \left\lceil \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1,47 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(0,60 \text{ m})^2 \cdot 3,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right\rceil = [1,62] = 2$$

→ Die Zuleitung muss mit zwei Rohren pro Dotationsmischer erfolgen

Positionierung der ersten Rohrleitung:

Die erste Rohrleitung soll bei $W_{DB,30}$ vollständig unterhalb der Wasseroberfläche münden. Hierfür wird mit Gleichung (16) überprüft, ob in diesem Zustand eine Rohrleitung ausreicht. Mit Gleichung (16) wird die mindestens einzusetzende Anzahl an Rohrleitungen bestimmt:

$$N_R(h_{DB,30}) = \left\lceil \frac{4 \cdot Q_{DM,30}}{\pi \cdot u_{1,grenz} \cdot d_R^2} \right\rceil = \left\lceil \frac{4 \cdot 0,71 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 3,20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (0,60 \text{ m})^2} \right\rceil = [0,78] = 1$$

→ bei $W_{DB,30}$ ist eine Rohrleitung einzusetzen. Hierfür wird die Rohrrinnenachse auf $HS_{DB} + 0,50 \text{ m}$ gelegt. Somit liegt die Rohrunterkante $0,20 \text{ m}$ und die Rohroberkante $0,80 \text{ m}$ über der Sohle des Dotationsbeckens. Das Rohr ist demzufolge bei $W_{DB,30}$ vollständig eingetaucht.

Positionierung der zweiten Rohrleitung:

Für die Positionierung der zweiten Rohrleitung wird die Rohrrinnenachse für einen ersten Versuch auf $HS_{DB} + 1,30 \text{ m}$ gelegt. Somit liegt die Rohrunterkante $1,00 \text{ m}$ und die Rohroberkante $1,60 \text{ m}$ über der Dotationsbeckensohle. Nun muss überprüft werden, ob $u_{1,grenz}$ bis zur Inbetriebnahme bei $h_{DB} = 1,60 \text{ m}$ (entspricht Oberkante der zweiten Rohrleitung, Aufstauhöhe nicht betrachtet) nicht überschritten wird. Nach Tabelle 9 sind die hydraulischen Bedingungen im Dotationsbecken für die Fließtiefe $h_{DB} = 1,60 \text{ m}$ unbekannt. Aus der Planung der Fischaufstiegsanlage ist jedoch die Bemessung der Leitströmung gegeben (siehe Beschreibung Anfang des Kapitels). Hierdurch kann die Dotation für die Fließtiefe $h_{DB} = 1,60 \text{ m}$ mit Gleichung (6) berechnet werden:

$$Q_{DB} = s \cdot u_{Leit} \cdot h_{DB} - Q_{FAA} = 1,20 \text{ m} \cdot 1,50 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,60 \text{ m} - 0,75 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2,13 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Aus Gleichung (1) ergibt sich für den Durchfluss des Dotationsmischer:

$$Q_{DM}(h_{DB} = 1,60 \text{ m}) = \frac{Q_{DB}}{N_{DM}} = \frac{2,13 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2} = 1,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Mit Gleichung (16) wird die mindestens einzusetzende Anzahl an Rohrleitungen bestimmt (zur Vereinfachung wird die Aufstauhöhe hierbei nicht betrachtet):

$$N_R(h_{DB} = 1,60 \text{ m}) = \left\lceil \frac{4 \cdot Q_{DB}}{\pi \cdot u_{1,grenz} \cdot d_R^2} \right\rceil = \left\lceil \frac{4 \cdot 1,07 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 3,20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (0,60 \text{ m})^2} \right\rceil = [1,18] = 2$$

→ Bei der Fließtiefe $h_{DB} = 1,60 \text{ m}$ müssen bereits zwei Rohre eingesetzt werden, um $u_{1,grenz}$ nicht zu überschreiten, wenn die Aufstauhöhe nicht betrachtet wird. Aus diesem Grund soll im zweiten Versuch ausprobiert werden, ob die zweite Rohrleitung bereits bei $h_{DB} = 1,40 \text{ m}$ in Betrieb genommen werden kann, wenn die Aufstauhöhe berücksichtigt wird.

In diesem Betriebspunkt beträgt der Durchfluss im Dotationsbecken nach Gleichung (6):

$$Q_{DB}(h_{DB} = 1,40 \text{ m}) = s \cdot u_{Leit} \cdot h_{DB} - Q_{FAA} = 1,20 \text{ m} \cdot 1,50 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,40 \text{ m} - 0,75 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1,77 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Aus Gleichung (1) ergibt sich für den Durchfluss des Dotationsmischer:

$$Q_{DM}(h_{DB} = 1,40 \text{ m}) = \frac{Q_{DB}}{N_{DM}} = \frac{1,77 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2} = 0,89 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Mit Gleichung (16) wird die mindestens einzusetzende Anzahl an Rohrleitungen bestimmt (zur Vereinfachung wird die Aufstauhöhe hierbei nicht betrachtet):

$$N_R(h_{DB} = 1,40 \text{ m}) = \left\lceil \frac{4 \cdot Q_{DM}}{\pi \cdot u_{1,grenz} \cdot d_R^2} \right\rceil = \left\lceil \frac{4 \cdot 0,89 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 3,20 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot (0,60 \text{ m})^2} \right\rceil = [0,98] = 1$$

→ Theoretisch kann die erste Rohrleitung die Dotation bis $h_{DB} = 1,40 \text{ m}$ einleiten.

Nun muss nur noch überprüft werden, ob die zweite Rohrleitung im Betrieb bei $h_{DB} = 1,40 \text{ m}$ vollständig abgetaucht ist, wenn die Aufstauhöhe berücksichtigt wird. Für die Berechnung der Aufstauhöhe mit Gleichung (18) wird zunächst die Strömungsgeschwindigkeit in der Zuleitung und im Dotationsbecken mit Gleichung (13) und (14) bestimmt.

Die Strömungsgeschwindigkeit in der Zuleitung beträgt:

$$u_1(h = 1,40 \text{ m}) = \frac{4 \cdot Q_{DM}}{\pi \cdot N_R \cdot d_R^2} = \frac{4 \cdot 0,89 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 2 \cdot (0,60 \text{ m})^2} = 1,57 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken beträgt:

$$u_2 = \frac{Q_{DM}}{b_{DM} \cdot h_{DB}} = \frac{0,89 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,90 \text{ m} \cdot 1,40 \text{ m}} = 0,71 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Die Aufstauhöhe beträgt nach Gleichung (18):

$$\Delta h_{DM}(h_{DB} = 2,40 \text{ m}) = \left(2,5 \frac{u_1}{u_2} + 2,9 \right) \cdot \frac{u_2^2}{2g}$$

$$= \left(2,5 \cdot \frac{1,57 \frac{m}{s}}{0,71 \frac{m}{s}} + 2,9 \right) \cdot \frac{\left(0,71 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,22 \text{ m}$$

Daraus ergibt sich nach Gleichung (17) eine Fließtiefe im Einlaufbereich von:

$$h_{EB} = h_{DB} + \Delta h_{DM} = 1,40 \text{ m} + 0,22 \text{ m} = 1,62 \text{ m}$$

→ Die zweite Rohrleitung ist bereits bei $h_{DB} = 1,40 \text{ m}$ vollständig eingetaucht und kann somit in Betrieb genommen werden.

Eine Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten für alle Betriebszustände erfolgt in Tabelle 10 mit Gleichungen (12) und (13).

Tabelle 10: Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten

	bei $W_{DB,30}$	$h_{DB} = 1,40 \text{ m}$	bei $W_{DB,330}$
u_1	2,51 m/s	3,15 m/s → 1,57 m/s	2,60 m/s
$u_1 \leq 3,20 \text{ m/s}$	ja	ja	ja

→ In allen Betriebszuständen wird Gleichung (12) eingehalten.

(7) Dotationsmischerhöhe

Die Dotationsmischerhöhe berechnet sich nach Gleichung (19) für den Betriebspunkt mit der maximalen Fließtiefe im Einlaufbereich ($W_{DB,330}$) aus der Lückenanzahl und Lückenweite in z-Richtung. Aus der Konstruktion ergibt sich eine Lückenweite in z-Richtung von $s_z = 0,21 \text{ m}$ (s. o.). Die Lückenanzahl in z-Richtung berechnet sich nach Gleichung (20) u. a. aus der Aufstauhöhe. Die für die Aufstauhöhe benötigte Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken berechnet sich nach Gleichung (14) zu $u_2 = 0,80 \text{ m/s}$ (wie bemessen). Demzufolge stellt sich nach Gleichung (18) folgende Aufstauhöhe ein:

$$\Delta h_{DM,330} = \left(2,5 \frac{u_1}{u_2} + 2,9 \right) \cdot \frac{u_2^2}{2g} = \left(2,5 \cdot \frac{2,60 \frac{m}{s}}{0,80 \frac{m}{s}} + 2,9 \right) \cdot \frac{\left(0,80 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,36 \text{ m}$$

Somit ergibt sich nach Gleichung (20) folgende Lückenanzahl in z-Richtung:

$$N_z = \left\lceil \frac{h_{DB,330} + s_{FB} \cdot \Delta h_{DM,330}}{s_z} \right\rceil = \left\lceil \frac{2,04 + 2 \cdot 0,36 \text{ m}}{0,21 \text{ m}} \right\rceil = \lceil 13,42 \rceil = 14$$

Die Lückenanzahl in z-Richtung beträgt $N_z = 14$ und demnach beträgt die Dotationsmischerhöhe nach Gleichung (19):

$$h_{DM} = N_z \cdot s_z = 14 \cdot 0,21 \text{ m} = 2,94 \text{ m}$$

Die Dotationsmischerhöhe beträgt $h_{DM} = 2,94 \text{ m}$.

(8) Freibord

Der Freibord soll eine Höhe von $h_{FB} = 1,00 \text{ m}$ und eine Länge von $l_{FB} = 3 \cdot b_{DM} = 3 \cdot 0,90 \text{ m} = 2,70 \text{ m}$ aufweisen.

A-4. Beispiel 4: Dotationsmischer für verbreitertes Dotationsbecken, mit einer einzigen Rohrleitung bei relativ geringen Wasserspiegelschwankungen

Das vierte Beispiel behandelt die Dotation einer Fischaufstiegsanlage mit relativ geringen Wasserspiegelschwankungen von 0,51 m zwischen $W_{DB,30}$ und $W_{DB,330}$. Die Fischaufstiegsanlage weist einen Durchfluss von $Q_{FAA} = 0,75 \text{ m}^3/\text{s}$, eine Einstiegsschlitzweite von $s = 0,70 \text{ m}$ und eine Geschwindigkeit im Einstiegsschlitz von $u_{Leit} = 1,50 \text{ m/s}$ auf. Die Eingangswerte sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 11: Eingangswerte für Beispiel 1, die Fließtiefen wurden mit Gleichung (5) berechnet

Parameter	Wert	Einheit
HS_{DB}	161,5	(mNHN)
$W_{DB,30}$	162,50	(mNHN)
$W_{DB,330}$	163,01	(mNHN)
$Q_{DB,30}$	0,30	(m^3/s)
$Q_{DB,330}$	0,84	(m^3/s)
$h_{DB,30}$	1,00	(m)
$h_{DB,330}$	1,51	(m)

(1) Dotationsbeckenbreite

Die Dotationsbeckenbreite errechnet sich nach Gleichung (7) zu:

$$\text{Für } W_{DB,30}: b_{DB} = \frac{Q_{DB,30}}{0,80 \cdot h_{DB,30}} = \frac{0,85 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,80 \text{ m} \cdot 1,00 \text{ m}} = 0,38 \text{ m}$$

$$\text{Für } W_{DB,330}: b_{DB} = \frac{Q_{DB,330}}{0,80 \cdot h_{DB,330}} = \frac{0,84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,80 \text{ m} \cdot 1,51 \text{ m}} = 0,70 \text{ m}$$

→ Die Dotationsbeckenbreite unterschreitet die Mindestbreite und wird mit $b_{DB} = 0,75 \text{ m}$ festgelegt.

(2) Dotationsmischerbreite, -typ und -anzahl

Nach Tabelle 2 kann für Dotationsbecken mit $b_{DB} = 0,75 \text{ m}$ der Typ DM 1 eingesetzt werden. Somit bestimmt sich die Dotationsmischerbreite zu $b_{DM} = b_{DB} = 0,75 \text{ m}$ und die Dotationsmischeranzahl zu $N_{DM} = 1$.

(3) Dotationsmischerlänge und Lückenabmessungen

DM 1 weist nach Tabelle 2 eine Lückenanzahl in y-Richtung von $N_y = 3$ auf. Es wird angenommen, dass der Dotationsmischer aus Baustahl gefertigt wird, sodass nach den Empfehlungen in Kapitel 5 eine Leitelementdicke von $d_{LE} = 0,006 \text{ m}$ eingesetzt wird. Hieraus ergibt sich nach Gleichung (2) eine Dotationsmischerlänge von:

$$l_{DM} = 3 \cdot \frac{b_{DM}}{N_y} + \sqrt{2} \cdot d_{LE} = 3 \cdot \frac{0,75 \text{ m}}{3} + \sqrt{2} \cdot 0,006 \text{ m} = 0,76 \text{ m}$$

Die Lückenweiten in x - und y -Richtung betragen nach Gleichung (3):

$$s_x = s_y = \frac{l_{DM} - \sqrt{32} \cdot d_{LE}}{3} = \frac{0,76 \text{ m} - \sqrt{32} \cdot 0,006 \text{ m}}{3} = 0,24 \text{ m}$$

Die Lückenweiten in diagonalen und z -Richtung betragen nach Gleichung (4):

$$s_d = s_z = \frac{s_x}{\sqrt{2}} = \frac{0,24 \text{ m}}{\sqrt{2}} = 0,17 \text{ m}$$

(4) Vergleichmäßigungslänge

Die Vergleichmäßigungslänge l_{VG} beträgt nach Gleichung (9):

$$l_{VG} = 4 \cdot b_{DM} = 4 \cdot 0,75 \text{ m} = 3,00 \text{ m}$$

(5) Anordnung des Dotationsmischer im Dotationsbecken

Die Länge des Einlaufbereiches l_{EB} berechnet sich nach Gleichung (10) zu:

$$l_{EB} = b_{DM} = 0,75 \text{ m}$$

(6) Zuleitung

Für die Bemessung der Zuleitung wird im ersten Schritt der Rohrdurchmesser mit Gleichung (11) (vor-)dimensioniert:

$$d_R = \frac{2}{3} \cdot b_{DM} = \frac{2}{3} \cdot 0,75 \text{ m} = 0,50$$

→ für die weitere Berechnung wird $d_R = 0,50 \text{ m}$ (DN 500-Innendurchmesser) getestet

Die Bestimmung der maximal notwendigen Anzahl an Rohrleitungen $N_{R,330}$ erfolgt mit Gleichung (15):

$$N_{R,330} = \left\lceil \frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q_{DM,330}}{d_R^2 \cdot u_{1,grenz}} \right\rceil = \left\lceil \frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(0,5 \text{ m})^2 \cdot 3,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right\rceil = [1,34] = 2$$

→ Die Zuleitung müsste bei dem gewählten Rohrdurchmesser mit zwei Rohrleitungen ausgeführt werden. Aufgrund des schmalen Dotationsbeckens und der geringen maximalen Fließtiefe im Dotationsbecken würde die Anordnung der zwei Zuleitungen sehr geringe Abstände zwischen den Rohrleitungen sowie den Wänden hervorrufen. Um weniger beengte Verhältnisse zu erzielen wird das Dotationsbecken breiter ausgeführt:

→ Die Dotationsbeckenbreite wird mit $b_{DB} = 0,90 \text{ m}$ festgelegt.

(7) Dotationsmischerbreite, -typ und -anzahl

Nach Tabelle 2 kann für Dotationsbecken mit $b_{DB} = 0,90 \text{ m}$ der Typ DM 1 eingesetzt werden. Somit bestimmt sich die Dotationsmischerbreite zu $b_{DM} = b_{DB} = 0,90 \text{ m}$ und die Dotationsmischeranzahl zu $N_{DM} = 1$.

(8) Dotationsmischerlänge und Lückenabmessungen

DM 1 weist nach Tabelle 2 eine Lückenanzahl in y -Richtung von $N_y = 3$ auf. Es wird angenommen, dass der Dotationsmischer aus Baustahl gefertigt wird, sodass nach den Empfehlungen in Kapitel 5 eine Leitelementdicke von $d_{LE} = 0,006 \text{ m}$ eingesetzt wird. Hieraus ergibt sich nach Gleichung (2) eine Dotationsmischerlänge von:

$$l_{DM} = 3 \cdot \frac{b_{DM}}{N_y} + \sqrt{2} \cdot d_{LE} = 3 \cdot \frac{0,90 \text{ m}}{3} + \sqrt{2} \cdot 0,006 \text{ m} = 0,91 \text{ m}$$

Die Lückenweiten in x - und y -Richtung betragen nach Gleichung (3):

$$s_x = s_y = \frac{l_{DM} - \sqrt{32} \cdot d_{LE}}{3} = \frac{0,91 \text{ m} - \sqrt{32} \cdot 0,006 \text{ m}}{3} = 0,29 \text{ m}$$

Die Lückenweiten in diagonalen und z -Richtung betragen nach Gleichung (4):

$$s_d = s_z = \frac{s_x}{\sqrt{2}} = \frac{0,29 \text{ m}}{\sqrt{2}} = 0,21 \text{ m}$$

(9) Vergleichmäßigungslänge

Die Vergleichmäßigungslänge l_{VG} beträgt nach Gleichung (9):

$$l_{VG} = 4 \cdot b_{DM} = 4 \cdot 0,90 \text{ m} = 3,60 \text{ m}$$

(10) Anordnung des Dotationsmischer im Dotationsbecken

Die Länge des Einlaufbereiches l_{EB} berechnet sich nach Gleichung (10) zu:

$$l_{EB} = b_{DM} = 0,90 \text{ m}$$

(11) Zuleitung

Für die Bemessung der Zuleitung wird im ersten Schritt der Rohrdurchmesser mit Gleichung (11) (vor-)dimensioniert:

$$d_R = \frac{2}{3} \cdot b_{DM} = \frac{2}{3} \cdot 0,90 \text{ m} = 0,60$$

→ für die weitere Berechnung wird $d_R = 0,60 \text{ m}$ (DN 600-Innendurchmesser) getestet

Die Bestimmung der maximal notwendigen Anzahl an Rohrleitungen $N_{R,330}$ erfolgt mit Gleichung (15):

$$N_{R,330} = \left\lceil \frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q_{DM,330}}{d_R^2 \cdot u_{1,grenz}} \right\rceil = \left\lceil \frac{4}{\pi} \cdot \frac{0,84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{(0,6 \text{ m})^2 \cdot 3,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right\rceil = [0,93] = 1$$

→ Die Zuleitung kann mit einem (einzigem) Rohr erfolgen.

Eine Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten für alle Betriebszustände erfolgt in Tabelle 6 mit Gleichungen (12) und (13).

Tabelle 12: Kontrolle der Strömungsgeschwindigkeiten

	bei $W_{DB,30}$	bei $W_{DB,330}$
u_1	1,06 m/s	2,97 m/s
$u_1 \leq 3,20 \text{ m/s}$	ja	ja

→ In beiden Betriebszuständen wird Gleichung (12) eingehalten. Damit kann der gewählte Rohrdurchmesser für die weitere Dimensionierung verwendet werden.

Positionierung der Rohrleitung

Die Positionierung des Rohres erfolgt so, dass der gesamte Rohrquerschnitt bei $W_{DB,30}$ unterhalb der Wasseroberfläche liegt. Die Rohrrinnenachse wird auf $HS_{DB} + 0,50 \text{ m}$ gelegt, sodass die Rohroberkante bei $HS_{DB} + 0,90 \text{ m}$ und die Rohrunterkante bei $HS_{DB} + 0,20 \text{ m}$ liegt.

(12) Dotationsmischerhöhe

Die Dotationsmischerhöhe berechnet sich nach Gleichung (19) für den Betriebspunkt mit der maximalen Fließtiefe im Einlaufbereich ($W_{DB,330}$) aus der Lückenanzahl und Lückenweite in z-Richtung. Aus der Konstruktion ergibt sich eine Lückenweite in z-Richtung von $s_z = 0,21 \text{ m}$ (s. o.). Die Lückenanzahl in z-Richtung berechnet sich nach Gleichung (20) u. a. aus der Aufstauhöhe. Die für die Aufstauhöhe benötigte Strömungsgeschwindigkeit im Dotationsbecken berechnet sich nach Gleichung (14) zu:

$$u_2 = \frac{Q_{DM}}{b_{DM} \cdot h_{DB}} = \frac{0,84 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,90 \text{ m} \cdot 1,51 \text{ m}} = 0,62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Demzufolge stellt sich nach Gleichung (18) folgende Aufstauhöhe ein:

$$\Delta h_{DM,330} = \left(2,5 \frac{u_{1,330}}{u_{2,330}} + 2,9 \right) \cdot \frac{u_{2,330}^2}{2g} = \left(2,5 \cdot \frac{2,97 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,62 \frac{\text{m}}{\text{s}}} + 2,9 \right) \cdot \frac{\left(0,62 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,29 \text{ m}$$

Somit ergibt sich nach Gleichung (20) folgende Lückenanzahl in z-Richtung:

$$N_z = \left\lceil \frac{h_{DB,330} + s_{FB} \cdot \Delta h_{DM,330}}{s_z} \right\rceil = \left\lceil \frac{1,51 \text{ m} + 2 \cdot 0,29 \text{ m}}{0,21 \text{ m}} \right\rceil = \lceil 9,95 \rceil = 10$$

Die Lückenanzahl in z-Richtung beträgt $N_z = 10$ und demnach beträgt die Dotationsmischerhöhe nach Gleichung (19):

$$h_{DM} = N_z \cdot s_z = 10 \cdot 0,21 \text{ m} = 2,10 \text{ m}$$

Die Dotationsmischerhöhe beträgt $h_{DM} = 2,10 \text{ m}$.

(13) Freibord

Der Freibord soll eine Höhe von $h_{FB} = 1,00 \text{ m}$ und eine Länge von $l_{FB} = 3 \cdot b_{DM} = 3 \cdot 0,90 \text{ m} = 2,70 \text{ m}$ aufweisen.

A-5. Berechnung des Energiehöhenverlustes

Nach der Energiegleichung von Bernoulli definiert sich der Energiehöhenverlust zwischen den Bezugspunkten ① (in der Rohrleitung) und ② (stromabwärts des Dotationsmischer) in Abbildung 2 mit Gleichung (21):

$$h_{V,DM} = h_{E,1} - h_{E,2} \quad (21)$$

Wobei die Energiehöhen durch Gleichung (22) und (23) definiert sind:

$$h_{E,1} = h_{kin,1} + h_{p,1} = \frac{u_1^2}{2 \cdot g} + h_1 \quad (22)$$

$$h_{E,2} = h_{kin,2} + h_{p,2} = \frac{u_2^2}{2 \cdot g} + h_2 \quad (23)$$

Der zu erwartende Energiehöhenverlust $h_{V,DM}$ kann zu allen Betriebszeitpunkten mit Gleichung (24) berechnet werden (Geltungsbereich: $1,8 \leq u_1/u_2 \leq 17,5$ und Dotationsmischer wie in Abbildung 2):

$$\frac{h_{V,DM}}{u_2^2/2g} = 1,08 \left(\frac{u_1}{u_2}\right)^2 + 1,93 \frac{u_1}{u_2} + 4,01 \quad (24)$$

Anmerkung: bei $u_{1,grenz} = 3,20 \text{ m/s}$ und $u_{2,max} = 0,80 \text{ m/s}$ ergibt sich ein maximal zu erwartender Energiehöhenverlust von $h_{V,DM} = 0,96 \text{ m}$.