

WASSER



ABFALL

Ergänzung zum ÖWAV-Arbeitsbehelf 46

Praktische Umsetzung und Beispiele des Fischaufstiegshilfen-Leitfadens

**Hilfestellung bei der Planung –
Hydraulische Bemessung**

Wien 2017

An der Erstellung der Ergänzung zum ÖWAV-Arbeitsbehelf 46 haben mitgewirkt:

Ausschussleiter:

DI Dr. Jürgen EBERSTALLER, ezb – Technisches Büro Eberstaller GmbH, Wien

Ausschussmitglieder:

Mag. Michael BUCHART, Amt der NÖ Landesregierung, St. Pölten

DI Thomas BUCHSBAUM, Kleinwasserkraft Österreich, Wien

DI Hans-Jörg GOBER, KELAG – Kärntner Elektrizitäts-AG, St. Veit an der Glan

Mag. Dr. Reinhard HAUNSCHMID, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Mondsee

Dr. Wolfgang HONSIG-ERLENBURG, Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt

OR DI Hubert HONSOWITZ, Technische Universität Wien, Wien

DI (HTL) Sabine KÄFER, VERBUND Hydro Power GmbH, Villach

DI Dr. Thomas KAUFMANN, freiwasser DI Bauer, DI Dr. Kaufmann, Wien

Florian KEIL, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Mondsee

Mag. Gerald KERSCHBAUMER, Amt der Kärntner Landesregierung, Klagenfurt

MR Dr. Veronika KOLLER-KREIMEL, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

ao.Univ.-Prof. DI Dr. Helmut MADER, Universität für Bodenkultur Wien

Mag. Erwin MAYER, Kleinwasserkraft Österreich, Wien

DI Bernhard MONAI, Der Wasserwirt DI Bernhard Monai, Straßburg

Prok. BR h.c. DI Karl NACKLER, KELAG – Kärntner Elektrizitäts-AG, Klagenfurt

Univ.-Lektor DI Dr. Otto PIRKER, VERBUND AG, Wien

Dr. Walter RECKENDORFER, VERBUND Hydro Power GmbH, Wien

MMMag. Robert REMPLBAUER, MMSc MBA, Ennskraftwerke AG, Steyr

DI Martin SCHARSCHING, EVN Naturkraft Erzeugungsgesellschaft mbH, Maria Enzersdorf

ao.Univ.-Prof. DI Dr. Stefan SCHMUTZ, Universität für Bodenkultur Wien

DDI Georg SEIDL, flusslauf e.U. Ingenieurbüro für Gewässerökologie und Wasserbau, Graz

DI Reinhard SPREITZER, ENERGIE AG Oberösterreich Kraftwerke GmbH, Linz

DI Helmut WIMMER, VERBUND Hydro Power GmbH, Wien

DI Bernhard ZEIRINGER, Universität für Bodenkultur Wien

GF DI Friedrich ZEMANEK, EVN Naturkraft Erzeugungsgesellschaft mbH, Maria Enzersdorf

für den ÖWAV:

DI Werner MACHO, Bereichsleiter Wasserwirtschaft im ÖWAV, Wien

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Hersteller: Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien

Es wird darauf hingewiesen, dass sämtliche Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Autoren oder des Verlages ausgeschlossen ist.

Dieses Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung, und Übersetzung werden ausdrücklich vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Redaktion, Satz und Layout: Mag. Fritz Randl (ÖWAV)

© 2017 by Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.

Inhaltsverzeichnis

3.	Hilfestellung bei der Planung – Hydraulische Bemessung	4
3.1.	Vorgangsweise zur Bemessung von gewässertypischen Umgehungsgerinnen.....	5
3.1.1.	Hydraulische Berechnungen gewässertypischer Umgehungsgerinne	5
3.1.1.1.	Gerinnegeometrie.....	8
3.1.2.	Betriebsfälle bei naturnahen Umgehungsgerinnen:.....	9
3.2.	Vorgangsweise zur Bemessung von naturnahen Beckenpässen	9
3.2.1.	Hydraulische Berechnungen naturnaher Beckenpass.....	10
3.2.1.1.	Beckengröße	13
3.2.2.	Bemessungs- und Betriebsfälle beim naturnahen Beckenpass	14
3.2.2.1.	Bemessungsfall größte Fallhöhe zur Bestimmung von Beckenanzahl sowie Gefälle und Länge der FAH:.....	14
	Beispiel 3.2-1	14
3.2.2.2.	Betriebsfall höchster UW-Stand (300 Tage).....	15
	Beispiel 3.2-2	16
3.2.2.3.	Betriebsfälle niedrigster und höchster OW-Stand (300 Tage).....	17
	Beispiel 3.2-3	17
	Beispiel 3.2-4	18
3.3.	Vorgangsweise zur Bemessung von Schlitzpässen.....	20
3.3.1.	Hydraulische Berechnungen Schlitzpass (vertical slot)	20
3.3.1.1.	Beckengröße	21
3.3.2.	Bemessungs- und Betriebsfälle beim Schlitzpass.....	22
3.3.2.1.	Bemessungsfall größte Fallhöhe zur Bestimmung von Anzahl und Größe der Becken. 22	
	Beispiel 3.3-1	22
3.3.2.2.	Betriebsfall höchster UW-Stand (300 Tage).....	24
	Beispiel 3.3-2	25
3.3.2.3.	Betriebsfälle niedrigster und höchster OW-Stand (300 Tage).....	25
	Beispiel 3.3-3	26
	Beispiel 3.3-4	27

3. Hilfestellung bei der Planung – Hydraulische Bemessung

Im FAH-Leitfaden werden die hydraulischen Hintergründe zur Ermittlung der Tabellenwerte nicht erläutert. Dieser Arbeitsbehelf soll diese Lücke nun schließen. Außerdem soll der Arbeitsbehelf die Grenzen der erreichbaren Genauigkeit bei den einzelnen Parametern einer FAH aufzeigen. Damit soll sowohl die Planung von Fischaufstiegshilfen unterstützt als auch ein Beitrag für die Behördenvertreter/innen geleistet werden, um Vorgaben in Bewilligungsbescheiden möglichst praxisnah zu formulieren.

Allgemeines

Die im Folgenden vorgestellten Berechnungsmethoden sind als Vorschläge zu verstehen, auf welche Art die hydraulische Bemessung für die im Leitfaden beschriebenen Schlitzpässe, Beckenpässe und Umgehungsgerinne erfolgen kann. Es war nicht beabsichtigt, ein neues Handbuch zur Hydraulik von Fischaufstiegshilfen zu schaffen, sondern es bleibt weiterhin in der Verantwortung der Planer und Planerinnen, ein geeignetes Berechnungsverfahren anzuwenden und für den jeweiligen Fall die Anwendbarkeit der Formeln einzuschätzen.

In den Erläuterungen wird versucht, die von den Autoren in der Praxis gewonnenen Erfahrungen bei Planungen, Behördenverfahren, Ausführung und Monitoring zu berücksichtigen.

Klassifizierung von Vorgaben des FAH-Leitfadens

Exakte Vorgaben:

Das sind die Bemessungswerte im Leitfaden wie Mindesttiefen, E-Dissipation, Übergänge (Breiten und Tiefen, Form), obere und untere Grenzen der Fließgeschwindigkeit v (Gefälle bzw. Δh) und die Leitströmung. Diese Werte sind aus Naturbeobachtungen und Laborversuchen zum Verhalten und aus Abmessungen von Fischen abgeleitet und somit innerhalb einer statistischen Bandbreite biologisch begründet.

Definition von Bemessungswerten:

Als Bemessungswerte bezeichnet man jene Angaben im Leitfaden, die bei Berechnungen zu verwenden sind und somit der Planung zugrunde liegen. Aufgrund von Unschärfen bei hydraulischen Beiwerten und aufgrund von Bautoleranzen können die tatsächlichen Werte (Messwerte) innerhalb einer bestimmten Bandbreite von den Bemessungswerten abweichen.

Rechnerische Werte:

Aus den Bemessungswerten ergeben sich rechnerisch abgeleitete Größen wie Durchfluss, Fließgeschwindigkeit und Beckengröße.

Die dafür verwendeten Berechnungsmethoden werden mit hydraulischen Begründungen eingesetzt, die meist auf physikalischen aber auch empirischen Grundlagen aufgebaut sind, weil sich die komplexen Strömungsvorgänge in der Regel nicht exakt, sondern nur vereinfacht und näherungsweise rechnerisch beschreiben lassen. Die empirische Anpassung der Durchflussbeiwerte an die Realität beinhaltet häufig eine bedeutende Bandbreite beim Ergebnis.

Messwerte:

Diese Parameter sind entweder direkt messbar wie Breiten, Längen und Tiefen sowie die Zeit, oder werden indirekt bestimmt wie Durchfluss und Geschwindigkeit. Messwerte bilden einerseits die Grundlage für die Berechnungsformeln oder zur Eichung von Berechnungen und andererseits dienen sie der Kontrolle des geplanten Zustands.

Hier wird die Bandbreite durch die sinnvoll erzielbare Messgenauigkeit bestimmt. Es ist zweckmäßig, allfällige Kontrollen möglichst auf gut messbare Parameter zu beschränken. Das sind z. B. Abmessungen oder Wasserspiegel.

Nicht exakt bestimmbare Einflüsse führen zu Abweichungen bei allen Werten. Die Grenzen der erreichbaren Genauigkeit sollen in diesem Arbeitsbehelf aufgezeigt werden.

3.1. Vorgangsweise zur Bemessung von gewässertypischen Umgehungsgerinnen

- Gerinneverlauf, Strukturen und ggf. Einbauten festlegen.
- Gefälle im Längenschnitt des Gerinnes ermitteln bzw. festlegen:
 - Maximal-Gefälle laut FAH-Leitfaden, Tab. 6 (BMLFUW 2012) beachten.
- Hydraulische Regelprofile festlegen:
 - Mindestabmessungen laut FAH-Leitfaden, Tab. 8 (BMLFUW 2012) beachten,
 - Vorbemessung mit Strickler-Formel anhand Bemessungsdotation laut FAH-Leitfaden, Tab. 6 (BMLFUW 2012).
- Maßgebliche Ausgangs-Wasserspiegel im Unterwasser und im Oberwasser des Umgehungsgerinnes erheben:
 - maßgeblichen Bemessungsfall festlegen,
 - Funktionsfähigkeit der FAH an 300 Tagen (Q30-Q330) im Jahr sicherstellen.
- Geeignete hydraulische Berechnungsmethode wählen:
 - Strickler-Formel,
 - 1-D-Wasserspiegel- und -Abflussberechnung (Furten als hydraulisch bestimmende Teile des Umgehungsgerinnes).
- Rechnerischer Nachweis Minimalstiefen, minimale und maximale Fließgeschwindigkeiten und Berechnung des Abflusses für den maßgeblichen Bemessungsfall:
 - Der Abfluss kann sich innerhalb der geometrischen Variationsbreite erheblich unterscheiden:
 - Variation Gefälle oder Breite zur Anpassung von Q bei kombinierten FAH unterschiedlicher Typen.
 - Mögliche Abweichungen Berechnung und Realität (Messungen) aufgrund von
 - unterschiedlichen Rauigkeiten,
 - Abweichungen der Geometrie bei naturnaher Bauweise (Bautoleranzen),
 - (gewünschten) Umlagerungen in Betrieb,
 - Abweichungen beim Gefälle von Sohle und Wasserspiegel.
- Darstellung in hydraulischem Längenschnitt.
- Darstellung im Lageplan.

3.1.1. Hydraulische Berechnungen gewässertypischer Umgehungsgerinne

Die Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeit v und des Durchflusses Q kann mit der Strickler-Formel erfolgen.

$$v = k_{St} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad Q = v \cdot A \quad R = \frac{A}{U}$$

k_{St}Rauigkeitsbeiwert nach Strickler

R hydraulischer Radius zur Charakterisierung der Querschnittsform

I Energienliniengefälle (FAH-Leitfaden, Tab. 6, BMLFUW 2012)

AStrömungsquerschnitt

U benetzter Umfang

Rauigkeitsbeiwert k_{St} :

Mit Laborversuchen und In-situ-Messungen wurden von mehreren Autoren Werte für die Rauigkeit ermittelt.

Bemessungswerte laut FAH-Leitfaden, BMLFUW 2012:

$k_{St} = 25$ bei allen Gewässertypen außer

$k_{St} = 30$ beim Epipotamal groß (Donau)

In der Praxis können die Rauigkeiten erheblich abweichen. k_{St} kann Werte zwischen 15 und 35 annehmen, es wurden aber aus Rückrechnungen auch schon k_{St} Werte unter 10 ermittelt.

Außerdem ist k_{st} neben der Rauigkeit von Sohle und Ufer auch vom Durchfluss abhängig und nicht wie hier angenommen ein konstanter Wert, das ist aber meist ein geringerer und vernachlässigbarer Einfluss.

Zu beachten: Die Strickler-Formel gilt nicht für Step-Pool-Sequenzen.

Gefälle I:

Bei homogenen Gerinnen mit stationärem Abfluss stellen sich die Energielinie und der Wasserspiegel parallel zum Sohlgefälle ein. Bei jeder Inhomogenität im Gerinne verändert sich das Energie- und Wasserspiegelgefälle, sodass es eine Herausforderung ist, bei Umgehungsgerinnen die richtige Annahme zu treffen.

Gewässertypische Umgehungsgerinne laut Leitfaden weisen eine Abfolge von Furten und Rinnern/Kolken auf, die durch einen gewundenen Gerinneverlauf oder eine entsprechende Lenkung der Strömung erzeugt werden. Dabei sind die maßgeblichen abflussbestimmenden Querschnitte bei den Furten, sodass eine rechnerische Reduktion des Gerinnes auf die Furten geeignet ist, um den Abfluss zu ermitteln. Die Energielinie ist an den Furten entsprechend dem größerem Wasserspiegelgefälle stärker geneigt als das Ausgleichsgefälle (= Durchschnittsgefälle = mittleres Gefälle I_m) des Gerinnes. Deshalb muss bei den Furten ein größeres „Berechnungsgefälle I_f “ geschätzt werden.

Bemessungswert laut Leitfaden:

$$I = I_f = 1,5 \cdot I_m \quad \text{bei allen Gewässertypen}$$

Genauigkeit der Abflussberechnung:

Aus den vorhergehenden Ausführungen geht hervor, dass die Abflussberechnung für naturnahe Umgehungsgerinne eigentlich eine Schätzung ist. Für die Darstellung der Bandbreite in Abb. 3-1 wurde angenommen, dass die Schätzgenauigkeit bei der Rauigkeit ± 5 Werteinheiten und beim Gefälle $\pm 0,25$ Prozentpunkte (Faktor 1,25 – 1,75) beträgt.

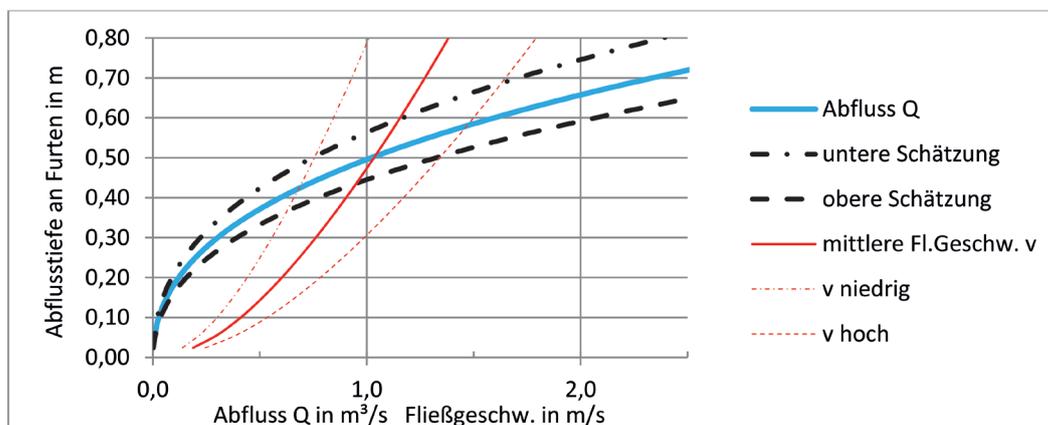


Abb. 3-1 Unschärfe durch Schätzung von Rauigkeit und Gefälle bei Umgehungsgerinnen

Anmerkung: Die absoluten Werte im Diagramm beziehen sich auf ein konkretes Beispiel (Umgehungsgerinne im Hyporhithral-groß mit 0,7 % Ausgleichsgefälle) und sind nicht allgemein gültig. Die Verhältnisse sind aber annähernd gleich und daher übertragbar.

Die erwähnten Annahmen führen zu einer mittleren rechnerischen Bandbreite von ca. ± 27 % bei den Ergebnissen für Abfluss und Fließgeschwindigkeit.

Bei der Wassertiefe hat auch die geometrische Form einen bedeutenden Einfluss: Bei flachen Trapez-Querschnitten laut Leitfaden beträgt die Abweichung der Tiefe nach unten ca. -10 % und nach oben ca. $+14$ %, während bei äquivalenten Rechtecks-Querschnitten (Tiefe gleich

wie im Trapezquerschnitt) die Tiefe stärker reagiert und die Abweichung nach unten – 16 % und nach oben + 25 % beträgt.

Alternative Berechnungsmethoden:

- **1-D-Wasserspiegel- und -Abflussberechnung**

Mit diesen Berechnungsmethoden können begrenzt variable Strukturen und ggf. auch Einbauten berücksichtigt werden. Das Gefälle wird bei diesen Methoden genauer erfasst, die Unschärfen bei der Rauigkeit und bei der Gerinnegeometrie bleiben aber trotzdem bestehen, sodass die Anwendung dieser Verfahren nicht zwingend zu einer höheren Genauigkeit führt.

Diese Berechnungen erfolgen mittels spezieller EDV-Programme und werden hier nicht näher erläutert.

Anmerkung: 2-D- und 3-D-Berechnungen führen nur dann zu genaueren Ergebnissen, wenn die kleinräumigen Strukturen eines Umgehungsgerinnes in dem entsprechenden Geländemodell enthalten sind. Dies erfordert allerdings beträchtlichen Aufwand, der in den meisten Fällen für die Planung und Bau von Umgehungsgerinnen nicht erforderlich ist. Diese Berechnungsmethoden werden daher vor allem in Spezialfällen bei besonders schwierigen Rahmenbedingungen verwendet.

Das DWA-Merkblatt M 509 empfiehlt für flächige Raugerinne die

- **Berechnung nach Darcy-Weißbach**

Das entspricht auch dem Anwendungsbereich der Strickler-Formel und ist eine vergleichbare und gleichwertige Methode. Die Unschärfen bei der Schätzung von Rauigkeiten und des Gefälles sind aber ebenfalls gegeben. Die hier verwendete äquivalente Sandrauigkeit k_s scheint zwar weniger abstrakt und ist im Gegensatz zum Strickler-Beiwert dimensionsrein, trotzdem ist die Genauigkeit in der Praxis nicht wesentlich höher. Zu dieser Art der Berechnung wird auf das DWA-Merkblatt M 509 verwiesen.

Außerdem werden im DWA-Merkblatt M 509 auch Berechnungsansätze für

- Umgehungsgerinne mit Störsteinen und
- beckenartige Umgehungsgerinne (= naturnahe Beckenpässe)

angegeben, auf die hier ebenfalls verwiesen wird.

Zusammenfassung: Die erforderliche Schätzung von Rauigkeit und Berechnungsgefälle wurde variiert und so gezeigt, dass für die Durchflussberechnung eine Genauigkeit von ca. $\pm 25\%$ angenommen werden kann.

Für einen gegebenen Durchfluss kann die Wassertiefe in Abhängigkeit von der Profilform zwischen – 16 % und + 25 % abweichen. Bei Trapezquerschnitten ist die Unschärfe geringer (– 10 % bis + 14 %).

Justiermöglichkeiten:

Im Vergleich zu anderen Fischaufstiegshilfen sind nachträgliche Korrekturen bei Umgehungsgerinnen vergleichsweise einfach, wenn die Zugänglichkeit gegeben ist.

Bei Umgehungsgerinnen ist es zweckmäßig, in der Ausschreibung auch eine Position für nachträgliche Profilbearbeitungen vorzusehen, wenn sich beim Gerinne nach der Flutung unzulässige Stellen zeigen.

Eine Justierung ist außerdem über die Dotationswassermenge möglich. Dazu muss aber eine variable Dotationseinrichtung vorgesehen werden. Oder der hydraulisch bestimmende Querschnitt wird angepasst, bis die erforderliche Dotation erreicht wird.

3.1.1.1. Gerinnegeometrie

Gewässertypische Umgehungsgerinne laut Leitfaden weisen eine Abfolge von Furten (= Rinne) und Kolken auf, die durch einen gewundenen Gerinneverlauf oder eine entsprechende Lenkung der Strömung erzeugt werden. Dabei sind die maßgeblichen abflussbestimmenden Querschnitte bei den Furten, sodass eine rechnerische Reduktion des Gerinnes auf die Furten geeignet ist, um den Abfluss zu ermitteln. Die Energielinie ist an den Furten entsprechend dem größerem Wasserspiegelgefälle stärker geneigt als das Ausgleichsgefälle (= Durchschnittsgefälle = mittleres Gefälle I_m) des Gerinnes. Deshalb muss bei den Furten ein größeres „Berechnungsgefälle I_f “ geschätzt werden.

Dabei ist für die Berechnung eine „Einheitsfurt“ anzunehmen. Durch Bauungenauigkeiten und Umlagerungen kommt es allerdings zwangsläufig zu Abweichungen, die grundsätzlich gewünscht sind, wobei die in *Kap. 2.3.* angeführten zulässigen Variationen aber nicht überschritten werden dürfen. Darüber hinausgehende Abweichungen sind am besten im Zuge der Nachadaptierung des bereits dotierten Umgehungsgerinnes anzupassen.

Die Furten sind im Leitfaden als asymmetrische Trapezquerschnitte wie folgt definiert:

- s minimale Breite der Tiefenrinne (= Schlitzweite beim Schlitzpass)
- m Böschungsneigung Prallufer (cot): $m = 1$
- n Böschungsneigung Gleitufer (cot): $n = 5 - 6$ (bei allen Fischregionen)
 $n = 2$ (außer bei Epirhithral klein)
- t Wassertiefe in der Furt: Minimaltiefen laut FAH-Leitfaden, Tab. 7 (BMLFUW 2012)
- b Breite Wasserspiegel: $b = s + t \cdot n + t \cdot m$

Anmerkung: Bei Abweichungen von der idealisierten Form laut Leitfaden, sind die Angaben für die Mindestbreite laut FAH-Leitfaden, Tab. 7 (BMLFUW 2012) nicht mehr gültig. Es ist dann jene Breite maßgeblich, die sich aus einem äquivalenten Querschnitt bei gleicher Wassertiefe und gleichem Durchfluss ergibt. Diese Regel ermöglicht auch ein Nachjustieren an einzelnen Furten, wenn die kritische Tiefe unterschritten oder die Fließgeschwindigkeit zu hoch ist.

Ausgewählte Formeln für Trapezprofile:

$$U = s + t \cdot (\sqrt{1 + m^2} + \sqrt{1 + n^2}) \quad \text{benetzter Umfang im Querschnitt}$$

$$F = t \cdot \left[s + \frac{(m+n)}{2} \cdot t \right] \quad \text{Fläche Strömungsquerschnitt}$$

Beziehung zwischen dem hydraulischen Radius R und der Tiefe t (iterativ lösbar)

$$t = R \cdot \frac{[s + t \cdot (\sqrt{1 + m^2} + \sqrt{1 + n^2})]}{\left[s + \frac{(m+n)}{2} \cdot t \right]}$$

Beziehung zwischen Durchfluss Q und Tiefe t (iterativ lösbar)

$$t = \left\{ \frac{Q}{k_{St} \cdot \sqrt{I}} \cdot \frac{[s + t \cdot (\sqrt{1 + m^2} + \sqrt{1 + n^2})]^{2/3}}{\left[s + \frac{(m+n)}{2} \cdot t \right]^{5/3}} \right\}^{3/5}$$

Zur Identifizierung des Fließzustandes kann die Grenztiefe herangezogen werden (iterativ lösbar)

$$t_{\text{grenz}} = \sqrt[3]{\left\{ \frac{Q^2}{g} \cdot \frac{[s + t_{\text{gr}} \cdot (m + n)]}{\left[s + t_{\text{gr}} \cdot \frac{(m+n)}{2} \right]^3} \right\}}$$

Fließzustand: strömen ... $t > t_{\text{grenz}} > t$... schießen

Abschnittslängen von Furt-Rinner-/Kolk-Abfolgen in Umgehungsgerinnen:

Bezüglich der Abschnittslängen zwischen 2 Furten trifft der Leitfaden keine Aussage. Diesbezüglich wird auf die Präzisierungen in *Kap. 2.3.* dieses Arbeitsbehelfes verwiesen.

Bei der Trassierung von Umgehungsgerinnen sind das Gelände, Zwangspunkte, Gewässeranbindungen und das Gefälle die ausschlaggebenden Parameter für die Projektierung. Dabei können sich unterschiedliche Streckentypen ergeben, die dann getrennt zu berechnen sein können.

3.1.2. Betriebsfälle bei naturnahen Umgehungsgerinnen:

Für alle maßgeblichen Durchflüsse sind die Grenzen bei der Tiefe und bei der Fließgeschwindigkeit zu beachten. An 300 Tagen im Jahr ist die Funktionsfähigkeit herzustellen.

Da es bei Umgehungsgerinnen sehr heterogene Situationen gibt, sind hier keine Beispiele für Standardfälle angeführt. Neben dem eigentlichen Gerinne sind auch Einbauten jeglicher Art fischpassierbar zu gestalten. Dabei spielen wieder Wassertiefen und Geschwindigkeiten sowie die erforderliche Abflusskapazität eine wichtige Rolle, während zum Beispiel die Breite kein maßgeblicher Planungsparameter ist.

Mindestwassertiefe:

- Die Mindestwassertiefen laut FAH-Leitfaden, Tab. 7 (BMLFUW 2012) sind an 300 Tagen im Jahr einzuhalten.
- Zulässige Abweichungen *siehe Kap. 2.3.*

Durchfluss:

Bei Umgehungsgerinnen wird der Durchfluss meist mittels Dotationseinrichtungen eingestellt und ist somit relativ genau bekannt. Sollten jedoch andere Gewässer eingebunden werden, dann sind die daraus resultierenden variablen Verhältnisse bei der Planung zu berücksichtigen.

3.2. Vorgangsweise zur Bemessung von naturnahen Beckenpässen

- Hydraulische Regelprofile für Übergänge und Becken festlegen:
 - Mindestabmessungen laut FAH-Leitfaden, Tab. 9 (BMLFUW 2012) beachten.
- Maßgebliche Ausgangs-Wasserspiegel im Unterwasser und im Oberwasser erheben:
 - maßgeblichen Bemessungsfall festlegen,
 - Funktionsfähigkeit der FAH an 300 Tagen (Q30 – Q330) im Jahr sicherstellen.
- Maximale Wasserspiegeldifferenzen zwischen Becken laut FAH-Leitfaden, Tab. 9 (BMLFUW 2012) beachten.
- Geeignete hydraulische Berechnungsmethode wählen:
 - Poleni-Schmidt-Formel (*siehe Kapitel 3.2.1.*) und empfohlene Beiwerte für rundkronige Wehre.
- Mindestlänge des Beckenpasses ermitteln.
- Gerinneverlauf und ggf. Einbauten festlegen.

- Nachweis Minimalstiefen und ausreichende Beckengrößen und Berechnung des Abflusses für den maßgeblichen Bemessungsfall:
 - Der Abfluss kann sich innerhalb der geometrischen Variationsbreite erheblich unterscheiden:
 - Variation Absturzhöhe oder Übergangsbreite bei den Schwellen zur Anpassung von Q bei kombinierten FAH unterschiedlicher Typen.
 - Auch die Beckengröße kann sich innerhalb der geometrischen Variationsbreite erheblich unterscheiden:
 - Durch geringere WSP-Differenzen beim Beckenübergang kann die Beckengröße reduziert werden.
 - Steilere Böschungen führen zu kleineren Becken.
 - Dabei ist aber jeweils das Kriterium Fischlänge zu beachten.
 - Mögliche Abweichungen von Berechnung und Realität (Messungen) aufgrund von
 - Abflussziffer und Rückstaubeiwert,
 - Abweichungen Geometrie bei naturnaher Bauweise (Bautoleranzen).
- Darstellung in hydraulischem Längsschnitt.
- Darstellung im Lageplan.

3.2.1. Hydraulische Berechnungen naturnaher Beckenpass

Die Berechnung des Abflusses kann mit der Poleni-Schmidt-Formel erfolgen.

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot c \cdot b_s \cdot \sqrt{2g} \cdot h_o^{\frac{3}{2}}$$

μ Abflussziffer für Wehre

c Rückstaubeiwert (häufig auch als σ bezeichnet)

$b_s = b_m$... mittlere Öffnungsbreite der Schwellen laut *Abb. 3-3* (FAH-Leitfaden, Tab. 9, BMLFUW 2012)

$h = h_o = h_u + \Delta h$... Höhe vor dem Überfall laut *Abb. 3-2*

h_u ... Rückstauhöhe im Unterwasser laut *Abb. 3-2*

Δh ... Differenzhöhe je Becken (auch als „Absturzhöhe“ bezeichnet)

w Wehrhöhe (kann auch „0“ sein)

Diese Berechnungsformel für den Abfluss Q gilt für erprobte Überfall- und Becken-Geometrien, die eine dissipierende Strömung in den einzelnen Becken bewirken. Für direkte Strömungen von Öffnung zu Öffnung, auch als „Kurzschluss Strömungen“ bezeichnet, die hier nicht behandelt werden, weil sie unerwünscht sind, gelten andere Beziehungen, wo auch die dann höhere Anströmungsgeschwindigkeit v_o berücksichtigt wird. Für solche Fälle wird auf das DWA-Merkblatt M 509 verwiesen.

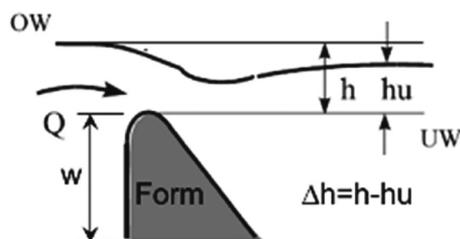


Abb. 3-2 Höhen an der Überfallschwelle, hydraulisches Schema (Längsschnitt)

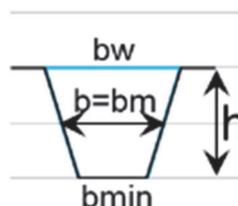


Abb. 3-3 Idealisierte Beckenöffnungen an den Schwellen laut Leitfaden (Querschnitt)

$b_s = b_m$ (FAH-Leitfaden, Tab. 9)

$b_m = 1,5 \cdot b_{min}$

$b_w = 2 \cdot b_{min}$

außer $b_m = 1,25 \cdot b_{min}$ (E-M-Rhithral klein)

dann $b_w = 1,5 \cdot b_{min}$

Einfluss der Überfallform:

μ und c hängen stark von der Überfallform ab; es wird hier unterstellt, dass der rundkronige Überfall zutreffend ist. Bei deutlich abweichender Geometrie sind zutreffende Beiwerte der Fachliteratur zu entnehmen.

In Laborversuchen und aus In-situ-Messungen wurden für rundkronige Wehre Rückstaubeiwerte und Abflussziffern ermittelt, die auch bei Beckenpässen herangezogen werden:

Rückstaubeiwert c

$$c = 1 - \left(\frac{h_u}{h_o} \right)^{11} \quad \text{Formel aus DWA-M 509 (grüne Linie in Abb. 3-4)}$$

$$c = \sigma = -91,66 \cdot \left(\frac{h_u}{h} \right)^4 + 258,33 \cdot \left(\frac{h_u}{h} \right)^3 - 274,08 \cdot \left(\frac{h_u}{h} \right)^2 + 129,22 \cdot \frac{h_u}{h} - 21,8$$

Näherung an $c = \sigma$ -Werte nach FAH-Leitfaden, Anhang 1, BMLFUW 2012 (rote Linie in Abb. 3-4) bzw. Ablesung von c direkt aus einem Diagramm für rundkronige Wehre in der Fachliteratur.

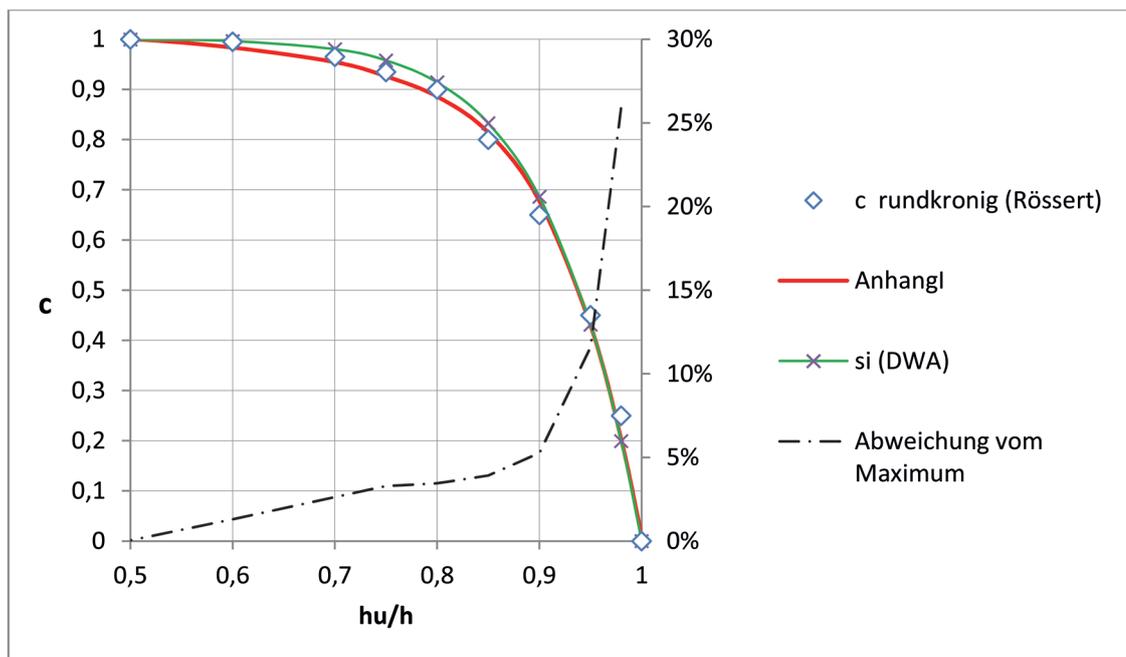


Abb. 3-4 Unschärfe bei Bestimmung des Rückstaubeiwertes c (rundkronig)

Die Abweichung beim Beiwert c liegt meist unter 5 % vom Maximalwert. Im Bereich $h_u/h > 0,95$ steigt die Unsicherheit der Berechnung jedoch rasch bis auf 20 % an.

Abflussziffer μ

Erfahrungswert laut Leitfaden:

$\mu = 0,60$ neben der Übergangsform sind damit auch die Auswirkungen der Trapez-Querschnitts-Form, eine geringe seitliche Einschnürung des Abflussstrahles und eine ebenfalls geringe Anströmungsgeschwindigkeit ($v_o = 0,3$ m/s) berücksichtigt

Anmerkung: Stärkere Einschnürungseffekte könnten den Abfluss maßgeblich verringern und sind entweder zu vermeiden oder rechnerisch zusätzlich zu berücksichtigen.

Angaben aus DWA-M 509:

scharfkantige Steine: $\mu = 0,65$

abgerundete Steine: $\mu = 0,70$

für $w = 0$ (keine Schwelle): $\mu = 0,55$

μ weist demnach eine Bandbreite von 0,55 – 0,70 auf und ist somit für die erzielbare Genauigkeit ausschlaggebend.

Abb. 3-5 zeigt die gesamte Unschärfe bei der Berechnung des Abflusses am Überfall, die sich aus der Unsicherheit bei der Schätzung der Beiwerte μ und c ergibt.

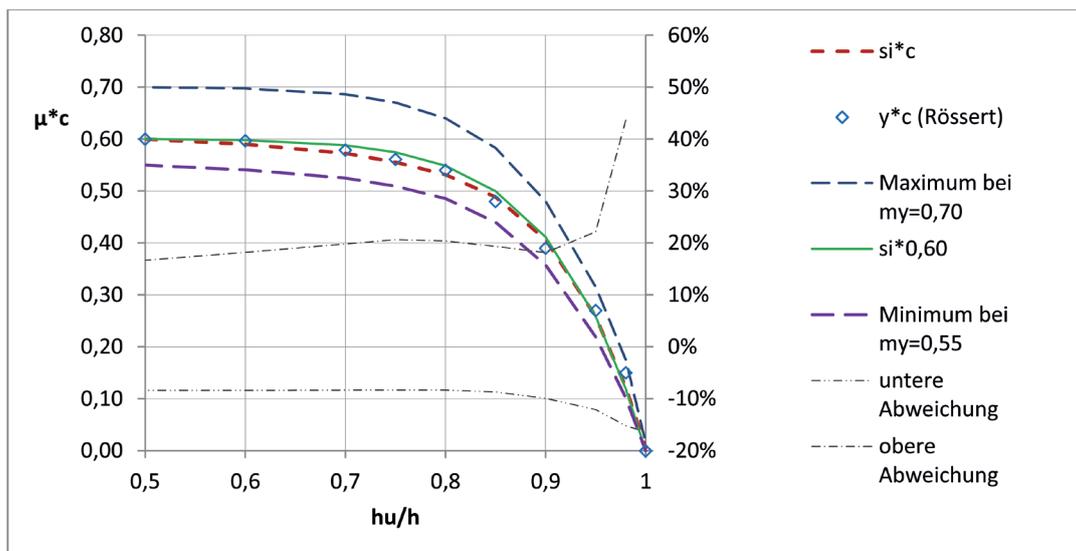


Abb. 3-5 Unschärfe bei Berechnung des Abflusses für rundkronige Überfälle

Bezogen auf die im Leitfaden empfohlenen Rechenwerte $\mu = 0,60$ und c laut FAH-Leitfaden, Anhang 1 (BMLFUW 2012) betragen die möglichen Abweichungen bei der Abflussermittlung im Mittel zwischen -9% und $+21\%$.

D. h., der Abfluss kann bei hydraulisch strömungsgünstigerer Form der Schwellen um 9% überschätzt und bei hydraulisch ungünstigerer Form der Schwellen um 21% unterschätzt werden.

Im Bereich $h_u / h > 0,95$ steigt die Unsicherheit der Berechnung auf über $+40\%$ an, wenn der zutreffende Abflussbeiwert nicht näher bekannt ist!

Zusammenfassung:

Im Mittel ergeben sich -9% und $+21\%$ mögliche Abweichung beim Abfluss bei Beckenpässen, bezogen auf die Berechnung mit dem empfohlenen Abflussbeiwert $\mu = 0,60$.

Es wird empfohlen, im Regelfall die Abflussbeiwerte des FAH-Leitfadens (BMLFUW 2012) bzw. des DWA-Merkblattes M 509 zu verwenden. Die hier angeführten Methoden können als aktueller Stand der Technik angesehen werden.

Justiermöglichkeiten:

Es wird auf die zulässigen Abweichungen von Kap. 2.2. verwiesen.

Eine Justierung der Tiefe ist meist über die Dotationswassermenge möglich.

3.2.1.1. Beckengröße

Die Berechnung der Beckengröße erfolgt aus dem Beckenvolumen und dem Seitenverhältnis:

Beckenvolumen: erf. $V = \Delta h \cdot Q \cdot 9,81 / E$

E ... Bemessungswert für die Energiedissipation in den Becken (Formel laut Larinier)

$V = l \cdot b \cdot t$ gilt für eine idealisierte Quader-Beckenform, deren Volumen in ein Fischpassbecken passen muss
 $b = l \cdot 3/5$ rechnerische Beckenbreite (Breite und Länge beim Wasserspiegel)
 $t = t_{\max} / 2$ min. Kolkentiefe $t_{\max} = 1,5 \cdot h$ bei minimaler Tiefe an Übergängen
 $h = 2/3 \cdot t_{\max}$ h_{\min} und t_{\max} laut FAH-Leitfaden, Tab. 9 (BMLFUW 2012)

Beckengröße:

erf. $l = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{V}{h}}$ Beckenform und Mindesttiefen laut Leitfaden

zu beachten: Mindestgröße: $l > 3 \cdot L_{\text{Fisch}}$

erf. $b = \frac{3L}{5} = 0,6 \cdot l$

Hinweis: Diese Beziehungen der Beckengrößen gelten nur für die Geometrie wie im Leitfaden beschrieben. Für abweichende Tiefen und Böschungen ergeben sich andere Beziehungen, die dann individuell zu ermitteln sind; dazu zwei Beispiele:

Bsp. 1, lotrechte Seitenwände (~ Raugerinne-Beckenpass):

$t = t_{\max} + \Delta t$ Δt ... Übertiefe

erf. $l = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{V}{h}}$ mit lotrechten Seiten, gültig für Mindesttiefen ($\Delta t = 0$) laut FAH-Leitfaden, BMLFUW 2012

Anmerkung: Zur hydraulischen Auslegung des Raugerinne-Beckenpasses wird auf das DWA-Merkblatt M 509 verwiesen.

Bsp. 2, Übertiefen:

$t = t_{\max} / 2 + \Delta t$ bei größeren Wassertiefen, z. B. aufgrund höheren Durchflusses durch steigenden OW-Spiegel, ist beim zusätzlichen Volumen die volle zusätzliche Wassertiefe Δt anzusetzen, weil die halbe Wassertiefe dann zur Unterschätzung des vorhandenen Volumens führt.

Generelle Anmerkungen:

- **In der Regel werden sich bei höherem Durchfluss keine größeren Becken ergeben, als mit den Bemessungswerten**, weil das Beckenvolumen durch die größeren Wassertiefen zunimmt, wodurch der Energie-Dissipationswert meist kleiner wird oder gleich bleibt.
- Gefälle bzw. Absturzhöhen (Δh) und Beckenform wirken sich auf die erforderliche Beckengröße aus.
- Kleineres Δh bewirkt kleinere Becken, aber eine größere Anzahl!

3.2.2. Bemessungs- und Betriebsfälle beim naturnahen Beckenpass

3.2.2.1. Bemessungsfall größte Fallhöhe zur Bestimmung von Beckenanzahl sowie Gefälle und Länge der FAH:

Höchster OW-Stand (höchstes genehmigtes Betriebsstauziel) und niedrigster UW-Stand jeweils für die einzelnen Abflüsse im Fluss; bzw. die **maximale Fallhöhe**, die an 300 Tagen im Jahr auftreten kann.

- Bestimmt die Anzahl der Becken und das Gefälle im Beckenpass (*Abb. 3-6*).
- Bestimmt die unterwasserseitige Sohlhöhe des Beckenpasses aufgrund der Mindesttiefen beim untersten Becken (Sohlsubstrat beachten).
- Nur in diesem Fall stellt sich zwischen allen Becken die gleiche Wasserspiegeldifferenz Δh ein (E-Linie entspricht Sohlgefälle).
- Steigen oder fallen OW und UW parallel, so bleiben die Δh zwischen den Becken gleich wie im Bemessungsfall und der Durchfluss nimmt mit veränderter Tiefe bei der maßgeblichen obersten Schwelle zu oder ab. In allen anderen Betriebsfällen der FAH nimmt Δh zwischen den unteren Becken ab.

Zu beachten: Bei höherem OW-Stand oder niedrigerem UW-Stand als in diesem Bemessungsfall werden in den unteren Becken zwangsläufig die zulässigen Differenzhöhen überschritten (E-Linie steiler als Sohlgefälle) und dies ist an 300 Tagen im Jahr nicht zulässig. Bei stark schwankendem OW- oder UW-Spiegel sind für jeden Abfluss im Gewässer/jede Dotation der FAH unterschiedliche Bemessungsfälle durchzurechnen.

Beispiel 3.2-1

Bemessungsfall größte Fallhöhe: Fischregion „Hyporhithral groß mit Huchen“, HR > 20 m³/s (Hu)

Max. Fallhöhe $H_{ow} - H_{uw} = 2,1$ m

Max $\Delta h = 15$ cm

Anzahl Schwellen = 14 → Becken = 13

$\Delta h = 210 / 14 = 15$ cm (zufällig gleich wie max Δh , häufig etwas kleiner)

Mindesttiefe $h = h_o = 0,73$ m (Mindesttiefe am Beckenübergang laut FAH-Leitfaden, Tab. 9, BMLFUW 2012)

Rückstauhöhe $h_u = h_o - \Delta h = 0,73 - 0,15 = 0,58$ m
 $h_o / h_u = 0,79$

Abflussziffer $\mu = 0,60$

Rückstaubeiwert $c = 0,89$ (polynomische Näherungsformel für c-Diagramm)

Übergangsbreite $b = b_m = 53$ cm

Abfluss Q = 522 l/s (Unschärfe 480 – 626 l/s)

E-Diss. = 120 W/m² (Bemessungswert laut FAH-Leitfaden, Tab. 9, BMLFUW 2012)

Minimale Kolkentiefe $h_{max} = 1,10$ m (laut FAH-Leitfaden, Tab. 9, BMLFUW 2012)

Mittlere Beckentiefe $h_m = h_{max} / 2 = 1,10 / 2 = 0,55$ m (bei Mindesttiefe laut FAH-Leitfaden, Tab. 9, BMLFUW 2012)

Beckenlänge = 4,41 m (Unschärfe 4,23 – 4,83 m)

Beckenbreite = 2,65 m (Unschärfe 2,54 – 2,90 m)

Schwellenstärke = 50 cm

Gesamtlänge = 64,4 m (Unschärfe 62,0 – 69,8 m)

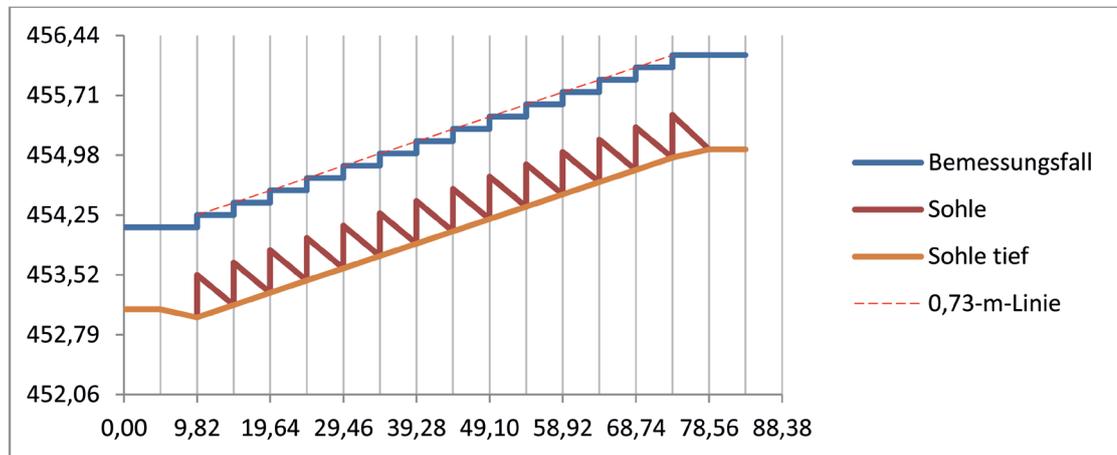


Abb. 3-6 Beispiel 3.2-1, Bemessungsfall größte Fallhöhe Beckenpass

Zu Abb. 3-6: Aus der maximalen Fallhöhe zwischen OW und UW je Dotation ergeben sich die Anzahl der Becken und das Gefälle des Beckenpasses. Die Sohlhöhe (hier Wassertiefen bis zur Schwelle und dazwischen bis zum Sohlsubstrat) wird meist durch andere maßgebliche Betriebswasserspiegel bestimmt. Sie ist hier für den Fall eines konstanten OW-Spiegels eingezeichnet.

Rechnerische Betriebswassermenge im Beckenpass

Der Zulauf in den Beckenpass wird von der Wassertiefe oberhalb und der Wasserspiegeldifferenz Δh beim obersten Übergang bestimmt. Die Tiefe im Oberwasser muss der hydraulischen Mindesttiefe h_{\min} entsprechen. Δh entspricht meist dem Bemessungsfall, bei kurzen FAH kann ein Rückstau aus dem Unterwasser aber zu einem kleineren Δh und somit auch zu einem geringeren Durchfluss führen, wenn der OW-Stand unverändert bleibt.

Sonderfall: gestaffelte Dotation oder variable Dotation

Beckenpässe laufen Gefahr, dass im untersten Becken Δh_{\max} überschritten wird, wenn bei höheren Dotationen die Energielinie steiler wird als das Sohlgefälle. Höhere Dotationen als im Bemessungsfall sollten nur dann erfolgen, wenn auch im Unterwasser der Spiegel entsprechend ansteigt.

3.2.2.2 Betriebsfall höchster UW-Stand (300 Tage)

- Rückstau führt gegen das Unterwasser hin zu größeren Tiefen und kleineren Δh in den unteren Becken, dadurch nimmt die Durchflussgeschwindigkeit in den Übergängen ab.
- Δh stellt sich wegen kleinerem Rückstaubeiwert c kleiner oder gleich als im Bemessungsfall, nach unten abnehmend, ein (E-Linie flacher als Sohlgefälle).
- Bestimmt die **unterwasserseitigen Seiten- und Querriegel-Höhen** der FAH (Freibord beachten). Außer in begründeten Fällen, wird empfohlen, auch die Querriegel-Oberkante entsprechend hoch zu legen, damit der Durchfluss konzentriert erfolgt, wodurch die Leitströmung besser als bei breit überströmten Kaskaden ist.

Anmerkung: Die oberwasserseitigen Seiten- und Querriegel-Oberkanten ergeben sich aus dem höchsten OW-Stand (Bemessungsfall größte Fallhöhe).

Der Zulauf Q verändert sich bei gleichbleibendem OW-Stand nicht, außer es kommt durch den angestiegenen UW-Spiegel zu einem Rückstau, der sich bis zur obersten Beckenschwelle auswirkt. Falls diese Möglichkeit besteht, so kann der Zufluss mittels Kaskadenrechnung ermittelt werden. Dabei sind mit einem gewählten Durchfluss, ausgehend vom Unterwasserspiegel, die unterschiedlichen Δh von unten nach oben fortlaufend zu errechnen und der Durchfluss solange anzupassen, bis sich der Ausgangswasserspiegel im OW ergibt. Die Querriegel-Oberkanten liegen bei den Beispielen hier so hoch, dass sie nicht überströmt werden und der volle Abfluss durch die Übergangsöffnungen erfolgt

Berechnungsablauf Kaskadenrechnung:

- 1) Q schätzen mit Δh und h_o bei der obersten Schwelle.
- 2) Erste Schwelle von unten: aus Q und dem Unterwasserstand h_{u_1} wird Δh_1 errechnet.
- 3) Erste Schwelle von unten: Wasserstand im untersten Becken $h_{o_1} = h_{u_1} + \Delta h_1$.
- 4) Zweite Schwelle von unten: aus dem Wasserstand oberhalb der 1. Schwelle ergibt sich $h_{u_2} = h_{o_1} - \Delta h$ (Δh ... Wasserspiegeldifferenz je Becken im Bemessungsfall = Höhendifferenz zwischen aufeinanderfolgenden Überfall-Schwellen).
- 5) Zweite Schwelle von unten: Aus Q und dem Unterwasserstand h_{u_2} wird Δh_2 errechnet.
- 6) Zweite Schwelle von unten: Wasserstand im nächsten Becken $h_{o_2} = h_{u_2} + \Delta h_2$.
- 7) Usw., bis Δh_n dem Bemessungsfall entspricht oder bis zur obersten Schwelle h_o .
- 8) Oberste Schwelle: h_o ist durch den OW-Spiegel und die Schwellenhöhe bestimmt, deshalb ist h_o eine Kontrollgröße, die im Falle eines Rückstaus benötigt wird. Wenn sich rechnerisch derselbe Wert für h_o ergibt, war die Annahme von Q richtig, sonst ist die gesamte Kaskade mit verändertem Q neu zu rechnen, bis Übereinstimmung herrscht.

Anmerkung: Die Berechnungsmethode für ungleichförmigen Abfluss wird auch im DWA-Merkblatt M 509 beim Schlitzpass beschrieben.

Beispiel 3.2-2

Höchster UW-Stand bei niedrigstem OW-Stand, Fischregion „Hyporhithral groß mit Huchen“, $HR > 20 \text{ m}^3/\text{s}$ (H_u), Unterwasser + 50 cm, Oberwasser – 30 cm:

Maximale Fallhöhe = 2,1 m

Aktuelle Fallhöhe $H_{ow} - H_{uw} = 2,1 - 0,3 - 0,5 = 1,3 \text{ m}$

Ergebnisse der Kaskadenrechnung (Abb. 3-8):

Min $\Delta h = 6 \text{ cm}$ (unterste Schwelle) bei max. $h_u = 1,38 \text{ m}$ (Ausgangswasserstand)

Δh nimmt nun von Becken zu Becken von unten nach oben zu, bis die Energielinie parallel zur Sohle verläuft, die Tiefen nehmen entsprechend ab.

Max $\Delta h = 14,5 \text{ cm}$ (oberste Schwelle, infolge Rückstau anstelle von 15 cm) bei min $h_o = 0,73 \text{ m}$

Oberste Schwelle: $h_u = 0,585 \text{ m}$ (infolge Rückstau anstelle von 0,580 m)

$$h_o = h_u + \Delta h = h_{\min} + \Delta h = 0,585 + 0,145 = 0,73 \text{ m (Kontrollwert OW-Spiegel)}$$

$$h_o / h_u = 0,80$$

Rückstaubeiwert $c = 0,88$ (Näherungsformel)

Abflussziffer $\mu = 0,60$

Abfluss $Q = 516 \text{ l/s}$ (infolge Rückstau anstelle von 522 l/s)

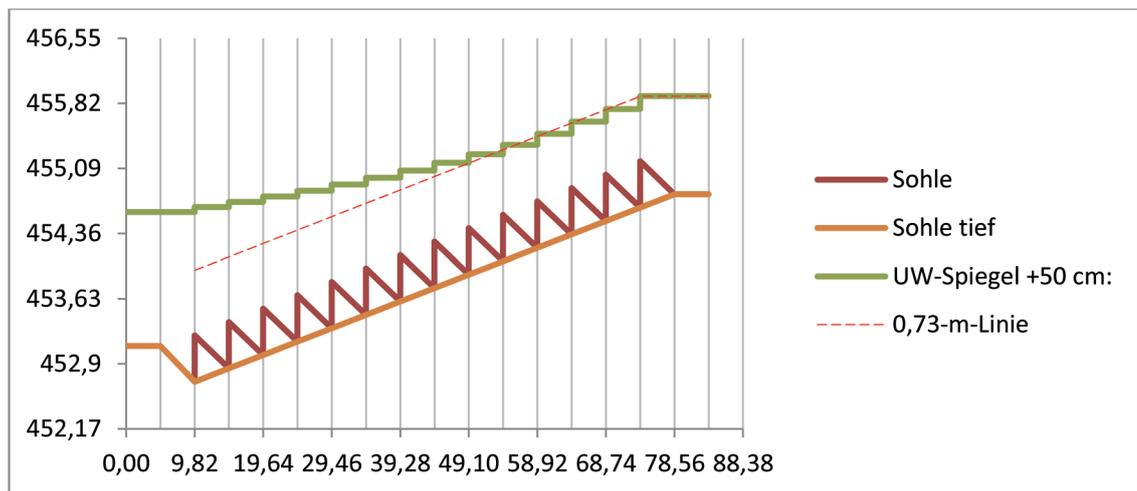


Abb. 3-7 Beispiel 3.2-2, höchster UW-Stand bei niedrigstem OW-Stand

Anmerkung zu Abb. 3-7: Bei einem längeren Beckenpass wäre der Rückstau nicht mehr bis zur obersten Schwelle wirksam. Der Durchfluss kann dann einfach aus der Tiefe und Δh wie im Bemessungsfall (s. *Beispiel 3.2-1*: $\Delta h = 15 \text{ cm}$, $h_o = 0,73 \text{ m}$, $h_u = 0,58 \text{ m} \rightarrow Q = 522 \text{ l/s}$) errechnet werden.

3.2.2.3. Betriebsfälle niedrigster und höchster OW-Stand (300 Tage)

Für den Fall, dass der Betriebswasserspiegel zwischen einem oberen und einem unteren Wert schwankt, werden in den folgenden Beispielen die Konsequenzen für die Auslegung eines Beckenpasses gezeigt.

Niedrigster OW-Stand

- Wassertiefen und Durchfluss sind geringer. Auch das führt gegen das Unterwasser hin zu größeren Tiefen und kleineren Δh in den unteren Becken, wodurch die Durchflussgeschwindigkeiten bei den unteren Schwellen ebenfalls abnehmen.
- Δh stellt sich ebenfalls kleiner oder gleich als im Bemessungsfall ein, nach unten abnehmend (E-Linie flacher als Sohlgefälle).
- Bestimmt die **oberwasserseitigen Querriegel- und Sohlhöhen** des Beckenpasses aufgrund der Mindesttiefe bei der maßgeblichen obersten Schwelle.
Anmerkung: Die unterwasserseitigen Querriegel- und Sohlhöhen ergeben sich aus dem niedrigsten UW-Stand bei größtem Durchfluss (Bemessungsfall größte Fallhöhe), wobei die Abflusstiefen unten nicht kleiner sein dürfen als oben.

Dieser Betriebsfall bestimmt meistens auch die Länge und Breite der Becken, wenn dabei die Mindesttiefen und Proportionen laut FAH-Leitfaden, Tab. 9 (BMLFUW 2012) maßgeblich sind.

Beispiel 3.2-3

Niedrigster OW-Stand, OW schwankt häufig um 30 cm, Fischregion „Hyporhithral groß mit Huchen“, $HR > 20 \text{ m}^3/\text{s}$ (Hu):

Maximale Fallhöhe = 2,1 m

Aktuelle Fallhöhe $H_{ow} - H_{uw} = 2,1 - 0,3 = 1,8 \text{ m}$

$\Delta h = 15 \text{ cm}$ (wie Bemessungsfall)

Mindesttiefe $h = h_o = 0,73 \text{ m}$ (FAH-Leitfaden, Tab. 9, BMLFUW 2012, gibt für die Beckenübergänge eine Mindesttiefe von $h_o = 0,73 \text{ m}$ als Bemessungswert an)

$$\text{Rückstauhöhe } h_u = h_o - \Delta h = 0,73 - 0,15 = 0,58 \text{ m}$$

$$h_o / h_u = 0,79$$

Abflussziffer $\mu = 0,60$

Rückstaubeiwert $c = 0,89$

Übergangsbreite $b = b_m = 53 \text{ cm}$

Abfluss $Q = 522 \text{ l/s}$ (Unschärfe 480 – 626 l/s)

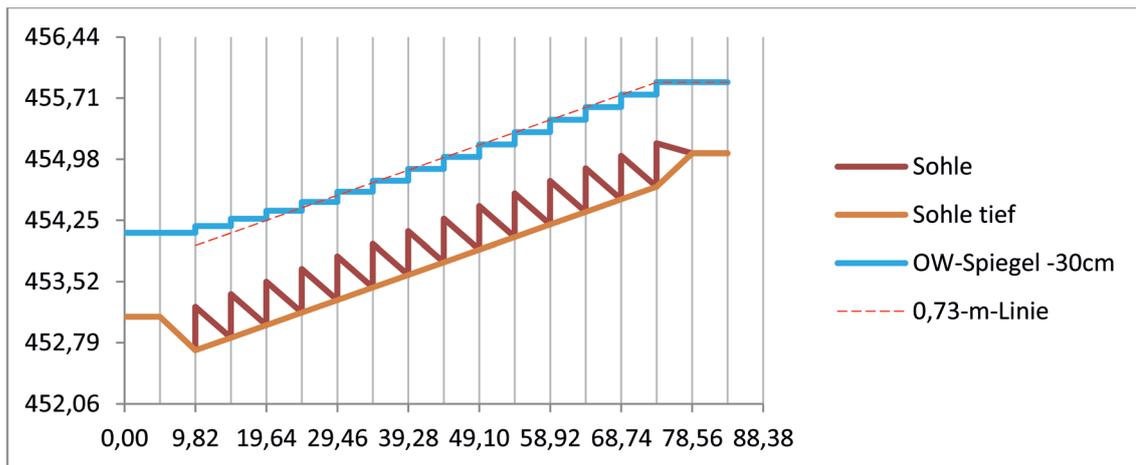


Abb. 3-8 Beispiel 3.2-3, niedrigster OW-Stand, Mindesttiefen laut FAH-Leitfaden, Tab. 9 (BMLFUW 2012)

Aus diesem Betriebsfall ergibt sich eine im Vergleich zum Beispiel 3.2-1 um 30 cm tiefere Sohle der FAH. Die Bemessung anhand der größten Fallhöhe hat somit für diese Sohlage zu erfolgen (*siehe Beispiel 3.2-4*) und hat für den Bemessungsfall „größte Fallhöhe“ eine höhere Dotation ($Q = 701 \text{ l/s}$) als beim Beispiel 3.2-1 zur Folge.

Zu Abb. 3-8: Weil dieser Beckenpass auf einen um 30 cm höheren OW-Stand ausgelegt ist (Bemessungsfall größte Fallhöhe), ergeben sich zum Unterwasser hin unterschiedliche Wasserspiegeldifferenzen zwischen den Einzelbecken. Der zugehörige „Bemessungsfall größte Fallhöhe“ entspricht hier dem Beispiel 3.2-4 ($Q = 803 \text{ l/s}$), nicht dem Beispiel 3.2-1. Im Vergleich liegt die Sohle hier gegenüber dem Wasserspiegel um 30 cm tiefer als beim Beispiel 3.2-1.

Beispiel 3.2-4

Höchster OW-Stand (Bemessungsfall), Fischregion wie oben:

Max. Fallhöhe $H_{ow} - H_{uw} = 2,1 \text{ m}$ (gleiche maximale Fallhöhe wie im Beispiel 3.2-1)

Max $\Delta h = 15 \text{ cm}$

Anzahl Schwellen = 14 → Becken = 13

$\Delta h = 15 \text{ cm}$

Größte hydraulische Tiefe $h = h_o = 0,73 + 0,30 = 1,03 \text{ m}$ (der angestiegene Wasserspiegel führt zu Übertiefen)

Rückstauhöhe $h_u = h_o - \Delta h = 1,03 - 0,15 = 0,88 \text{ m}$
 $h_o / h_u = 0,85$

Abflussziffer $\mu = 0,60$

Rückstaubeiwert $c = 0,82$

Übergangsbreite $b = b_m = 53 \text{ cm}$ (Trapezform innerhalb der Rechengenauigkeit leicht verändert)

Abfluss $Q = 803 \text{ l/s}$ (anstelle von 521 l/s , die sich mit Bemessungswerten laut Tab. 9, FAH-Leitfaden, BMLFUW 2012, ergeben)

E-Diss = 120 W/m^2

Mittlere Beckentiefe $t_m = t_{\max} / 2 + \Delta t$ (größere Wasseroberfläche vernachlässigt)
 $\Delta t = 30 \text{ cm}$ Übertiefe (Tiefe über der Mindest-Kolktiefe t_{\max} laut FAH-Leitfaden, Tab. 9, BMLFUW 2012), um diesen Betrag muss die Beckensohle tiefer gelegt werden)

Beckenlänge = $3,91 \text{ m}$ (anstelle von $4,41 \text{ m}$ laut Beispiel 3.2.1)

Beckenbreite = $2,35 \text{ m}$ (anstelle von $2,65 \text{ m}$ laut Beispiel 3.2.1)

Längen und Breiten der Becken sind kleiner als mit Bemessungswerten laut FAH-Leitfaden, Tab. 9 (BMLFUW 2012), weil mit zunehmender Tiefe das Volumen rasch größer wird und der E-Diss.-Wert deshalb abnimmt.

→ **Die maßgebliche Beckengröße ergibt sich daher in der Regel beim niedrigsten Wasserstand in den Becken.**

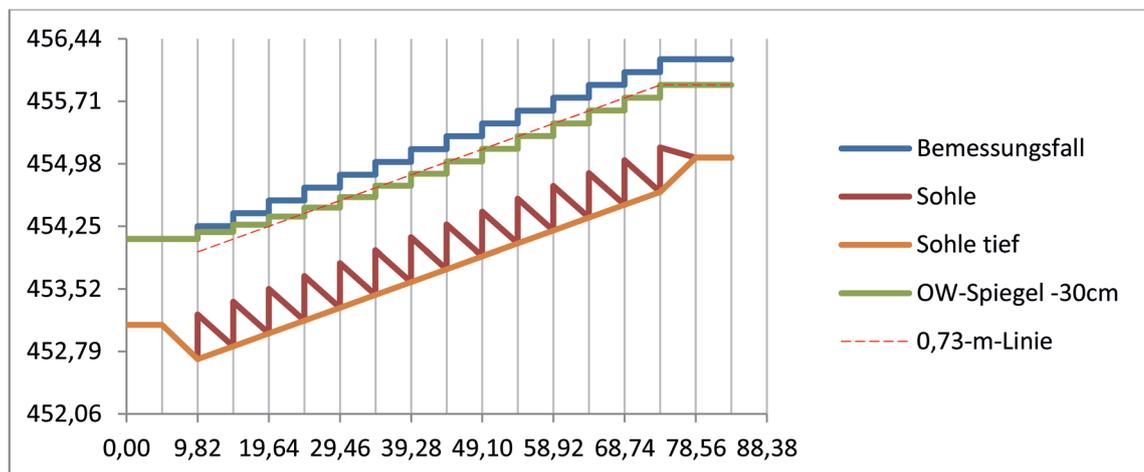


Abb. 3-9 Beispiel 3.2-4, höchster und niedrigster OW-Stand, Mindesttiefe laut Tab. 9, FAH-Leitfaden, BMLFUW 2012)

Zu Abb. 3-9: Im Vergleich zum Beispiel 3.2-4 ergeben sich hier tiefere Becken und Sohlhöhen und ein wesentlich größerer Wasserbedarf für die FAH.

Fazit: Bei steigendem OW-Spiegel wird die Dotation bedeutend mehr, wenn sich damit auch die hydraulische Tiefe vor der obersten Schwelle vergrößert. Das kann aus energiewirtschaftlicher

Sicht ein erheblicher Nachteil sein, sodass es konstruktive Lösungen gibt, um die Dotation nicht zu erhöhen.

3.3. Vorgangsweise zur Bemessung von Schlitzpässen

- Geometrie Trennwände, Schlitze und Becken festlegen:
 - Mindestabmessungen laut FAH-Leitfaden, Tab. 11 (BMLFUW 2012) beachten:
 - Maßgebliche Ausgangs-Wasserspiegel im Unterwasser und im Oberwasser erheben.
 - Maßgebliche Bemessungsfälle festlegen:
 - Funktionsfähigkeit der FAH an 300 Tagen (Q30 – Q330) im Jahr sicherstellen.
- Maximale Wasserspiegeldifferenzen zwischen Becken laut FAH-Leitfaden, Tab. 11 (BMLFUW 2012) beachten.
- Geeignete hydraulische Berechnungsmethode wählen:
 - abgewandelte Poleni-Formel für Schlitzpässe nach DWA-M 509.
- Mindestlänge des Schlitzpasses ermitteln.
- Gerinneverlauf und ggf. Einbauten festlegen.
- Nachweis Minimaltiefen und ausreichende Beckengrößen und Berechnung des Abflusses für den maßgeblichen Bemessungsfall:
 - Der Abfluss kann sich innerhalb der geometrischen Variationsbreite erheblich unterscheiden:
 - Variation Gefälle oder Schlitz-Breite zur Anpassung von Q bei kombinierten FAH unterschiedlicher Typen.
 - Auch die Beckengröße kann sich innerhalb der geometrischen Variationsbreite erheblich unterscheiden:
 - Geringeres Gefälle führt zu kleineren Becken (Kriterium Fischlänge beachten).
 - Mögliche Abweichungen Berechnung und Realität (Messungen) aufgrund von
 - Durchflussziffer und
 - Abweichungen Geometrie (Bautoleranzen geringer als bei naturnaher Bauweise).
 - Darstellung in hydraulischem Längenschnitt.
 - Darstellung im Lageplan.

3.3.1. Hydraulische Berechnungen Schlitzpass (vertical slot)

Die Berechnung des Durchflusses kann mit der abgewandelten Poleni-Formel erfolgen:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu_r \cdot s \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_o^{\frac{3}{2}}$$

μ_r Durchflussziffer

s lichte Schlitzweite (Abfasungen von Kanten ggf. berücksichtigen)

h_u Tiefe unterhalb des Schlitzes (FAH-Leitfaden, Tab. 11, BMLFUW 2012)

$h_o = h_u + \Delta h$... Tiefe oberhalb des Schlitzes

Δh ... Differenzhöhe je Becken

In Laborversuchen und In-situ-Messungen wurden von mehreren Autoren Beziehungen für Durchflussziffern und Wasserspiegelhöhen in Schlitzpässen ermittelt:

$$\mu_r = 0,6 \cdot \left[1 - 0,8 \cdot \left(\frac{h_u}{h_o} \right)^{7,5} \right] \quad \text{Formel aus DWA-M 509 (rote Linie in Abb. 3-10)}$$

$$\mu_r = -3,5897 \cdot \left(\frac{h_u}{h_o} \right)^3 + 6,0653 \cdot \left(\frac{h_u}{h_o} \right)^2 - 3,599 \cdot \frac{h_u}{h_o} + 1,3241$$

Näherung an μ_r -Werte nach Gebler (blaue Linie in Abb. 3-10) bzw. Ablesung direkt aus einem Diagramm in der Fachliteratur (blaue Punkte in Abb. 3-10).

Gültigkeitsbereich der Formeln für $0,50 \leq h_u / h_o \leq 0,98$. Für kleinere Höhendifferenzen wird auf das DWA-Merkblatt M 509 verwiesen. In *Abb. 3-10* ist auch die Abweichung in % vom Maximum eingezeichnet. Dabei wird deutlich, dass diese ab $h_u / h_o > 0,90$ stark zunimmt. Bei sehr kleinen Höhendifferenzen liegt die Unschärfe der Berechnung deutlich über 10 %, bei $h_u / h_o = 0,98$ letztlich bei 23 % – die polynomische Formel für μ_r führt hier zu einer Überschätzung des Durchflusses um mindestens 10 %. Bei $h_u / h_o < 0,90$ beträgt die größte Abweichung hingegen nur ca. 5 % vom Maximum; in diesem Bereich ergibt die DWA-Formel die größeren Durchflusswerte.

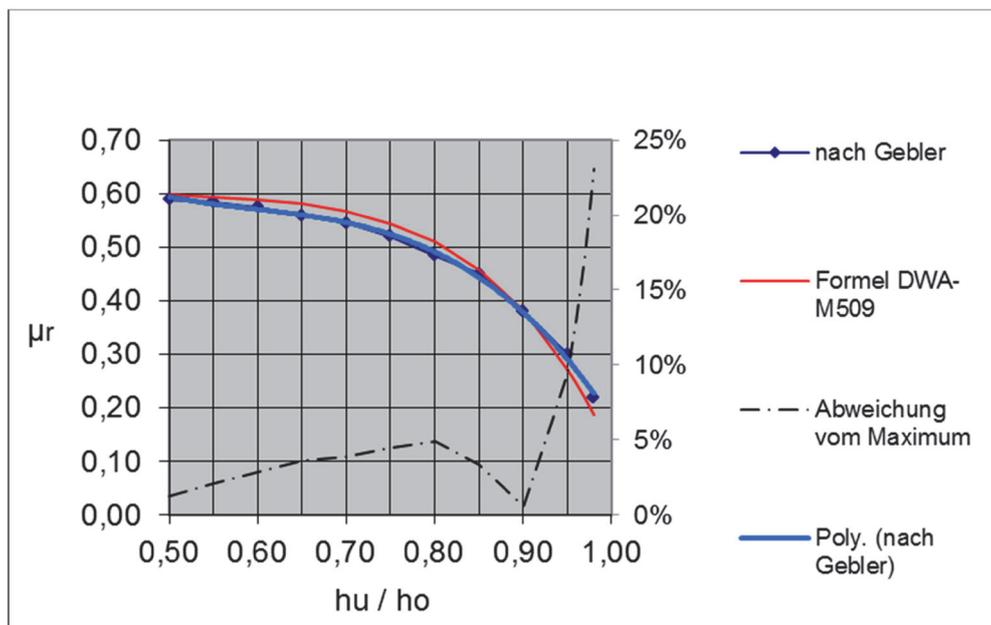


Abb. 3-10 Unschärfe bei Bestimmung der Durchflussziffer für Schlitzpässe

Diese Werte für μ_r gelten für erprobte Beckenformen, Schlitz- Leitwand- und Umlenkblick-Geometrien, die eine dissipierende Strömung in den einzelnen Becken bewirken. Für direkte Strömungen von Schlitz zu Schlitz, auch als „Kurzschluss Strömungen“ bezeichnet, gelten andere Beziehungen, die hier nicht behandelt werden, weil sie unerwünscht sind.

Hinweis: In der Fachliteratur finden sich unterschiedliche Ansätze für die Berechnung von Schlitzpässen. Bei Verwendung alternativer Formeln für die Berechnung des Durchflusses Q sind stets die zugehörigen Durchflussbeiwerte zu beachten. Die in diesem Arbeitsbehelf angeführten Werte und Näherungsfunktionen für μ_r sind dann nicht zutreffend!

Zusammenfassung:

Mit abnehmenden Höhendifferenzen zwischen den Becken nimmt die Unschärfe bei der Berechnung des Durchflusses zu. 5 % bis 23 % Abweichung ergeben sich aufgrund der Schätzbreite für die Durchflussziffer, sodass bei der Durchflussberechnung letztlich eine Genauigkeit von ca. ± 5 % erzielbar ist.

Es wird empfohlen, im Regelfall die Abflussbeiwerte des FAH-Leitfadens (BMLFUW 2012) bzw. des DWA-Merkblattes M 509 zu verwenden. Diese Angaben können als aktueller Stand der Technik angesehen werden.

3.3.1.1. Beckengröße

Die Berechnung der Beckengröße erfolgt aus dem Beckenvolumen und dem Seitenverhältnis:

$$\text{Beckenvolumen: erf. } V = \Delta h \cdot Q \cdot 9,81 / E$$

E ... Bemessungswert für die Energiedissipation in den Becken (Formel laut Larinier)

$$V = l \cdot b \cdot h$$

$$b = l \cdot 2/3 \quad \text{Beckenbreite}$$

$$h = (h_o + h_u) / 2 \quad \text{mittlere Tiefe im Becken}$$

Beckengröße:

$$\text{erf. } l = \sqrt{\frac{3V}{h_o + h_u}} \quad \text{Mindestgröße beachten: } l > 3 \cdot L_{\text{Fisch}}$$

$$\text{erf. } b = \frac{2L}{3} = 0,67 \cdot l$$

Generelle Anmerkungen:

- **In der Regel werden sich bei höherem Durchfluss keine größeren Becken ergeben, als mit den Bemessungswerten**, weil das Beckenvolumen durch die größeren Wassertiefen zunimmt, wodurch der Energie-Dissipationswert unverändert bleibt.
- Kleineres Δh bewirkt kleinere Becken, aber eine größere Anzahl!

3.3.2. Bemessungs- und Betriebsfälle beim Schlitzpass

3.3.2.1. Bemessungsfall größte Fallhöhe zur Bestimmung von Anzahl und Größe der Becken

Höchster OW-Stand (höchstes genehmigtes Betriebsstauziel) und niedrigster UW-Stand; bzw. die **maximale Fallhöhe**, die an 300 Tagen im Jahr auftreten kann.

- Bestimmt die Anzahl und Größe der Becken und das Gefälle im Schlitzpass (*Abb. 3-11*).
- **Bestimmt die unterwasserseitige Sohlhöhe** des Schlitzpasses aufgrund der Mindesttiefe im untersten Becken (Sohlsubstrat beachten).
- Nur in diesem Fall stellt sich zwischen allen Becken die gleiche Wasserspiegeldifferenz Δh ein (E-Linie entspricht Sohlgefälle).
- Steigen oder fallen OW und UW parallel, so bleiben die Δh zwischen den Becken gleich wie im Bemessungsfall und der Durchfluss nimmt mit veränderter Tiefe beim maßgeblichen obersten Schlitz zu oder ab.

In allen anderen Betriebsfällen der FAH nimmt Δh zwischen den unteren Becken ab.

Zu beachten: Bei höherem OW-Stand oder niedrigerem UW-Stand als im Bemessungsfall werden in den unteren Becken zwangsläufig die zulässigen Differenzhöhen überschritten (E-Linie steiler als Sohlgefälle), und das ist an 300 Tagen im Jahr nicht zulässig.

Beispiel 3.3-1

Bemessungsfall größte Fallhöhe: Fischregion „Hyporhithral groß mit Huchen“, $HR > 20 \text{ m}^3/\text{s}$ (Hu)

Max. Fallhöhe $H_{ow} - H_{uw} = 2,1 \text{ m}$

Max $\Delta h = 15 \text{ cm}$

Anzahl Schlitze = 14 → Becken = 13

$\Delta h = 210 / 14 = 15 \text{ cm}$ (zufällig gleich wie max Δh , häufig etwas kleiner)

Mindesttiefe $h_u = 1,0 \text{ m}$

$$h_o = h_u + \Delta h = h_{\text{min}} + \Delta h = 1,0 + 0,15 = 1,15 \text{ m}$$

$$h_o / h_u = 0,83$$

Durchflussbeiwert $\mu_r = 0,43$ (Formel nach DWA-M 509)

Schlitzweite $s = 35$ cm

Abfluss $Q = 550$ l/s (Unschärfe 520 – 550 l/s)

E-Diss = 120 W/m² (Bemessungswert laut FAH-Leitfaden, Tab.11)

Beckenlänge = 3,07 m (Unschärfe 2,98 – 3,07 m)

Beckenbreite = 2,05 m (Unschärfe 1,99 – 2,05 m)

Querwandstärke = 15 cm

Gesamtlänge = 42 m (Unschärfe 41 – 42 m)

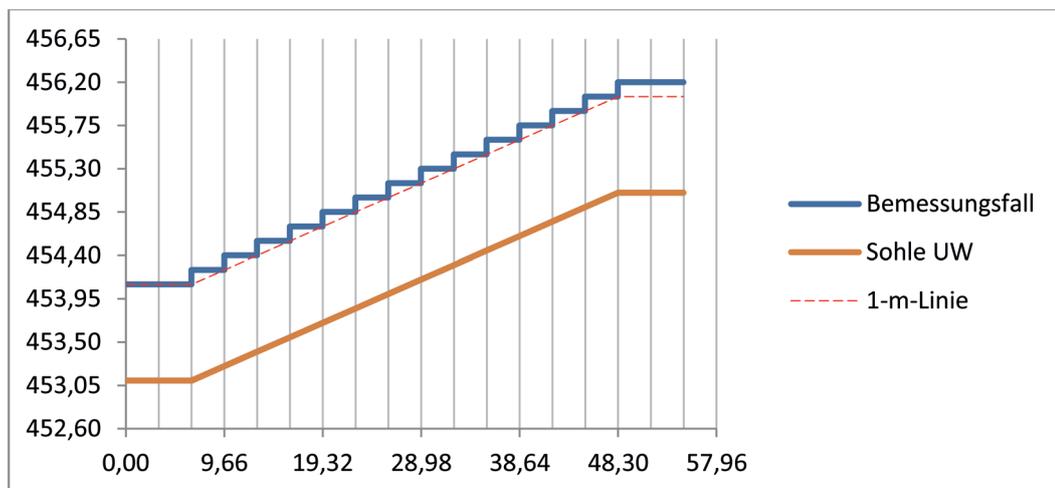


Abb. 3-11 Beispiel 3.3-1, Bemessungsfall Schlitzpass

Zu Abb. 3-11: Aus der maximalen Fallhöhe zwischen OW und UW ergeben sich die Anzahl der Becken und das Gefälle des Schlitzpasses. Die Sohlhöhe (hier Wassertiefe bis zum Sohlsubstrat) wird meist durch andere maßgebliche Betriebswasserspiegel bestimmt. Sie ist hier für den Fall eines konstanten OW-Spiegels eingezeichnet.

Rechnerische Betriebswassermenge im Schlitzpass:

Der Zulauf in den Schlitzpass wird von der Wassertiefe und der Wasserspiegeldifferenz Δh beim obersten Schlitz bestimmt. Die Tiefe im Oberwasser muss der Mindesttiefe $h_{\min} + \Delta h$ entsprechen. Δh entspricht meist dem Bemessungsfall, bei kurzen FAH kann ein Rückstau aus dem Unterwasser aber auch zu einem kleineren Δh und somit auch geringerem Durchfluss führen, wenn der OW-Stand unverändert bleibt.

Sonderfall: gestaffelte Dotation oder variable Dotation:

Schlitzpässe laufen Gefahr im untersten Becken Δh_{\max} zu überschreiten, wenn bei höheren Dotationen die Energielinie steiler wird als das Sohlgefälle.

Das ist z. B. der Fall, wenn der Zufluss durch variable Schlitze im obersten Becken variiert werden kann. Dieses Prinzip der „variablen Becken“ darf in keinem Fall zu wenige Becken für die jeweils wirksame Fallhöhe vorsehen. Das Prinzip empfiehlt sich dann, wenn höhere Dotationen auch mit einem höheren Unterwasserstand einhergehen, sodass die Energielinie nicht steiler wird. Trifft das nicht zu, dann darf ein Schlitzpass nicht höher als im Bemessungsfall dotiert werden.

Bei gestaffeltem Abfluss, wie er oft im Rahmen von Bewilligungsverfahren gefordert wird, sind Vorkehrungen zu treffen, dass die Mindestanforderungen gemäß BMLFUW (2012) bei allen Dotationen eingehalten werden. Dies kann durch eine Erhöhung der Beckenanzahl bei vermindertem Durchfluss erfolgen. Dazu werden im Einlaufbereich größere Becken vorgesehen, die bei vermindertem Durchfluss durch das Einfügen zusätzlicher Schlitze geteilt werden. Der Vertical-Slot-Pass (ohne optionale Schlitze) wird auf die maximale Dotation dimensioniert. Details dazu finden sich in Zauner et al. (2005)¹⁾. Eine weitere Möglichkeit sind mechanisch regulierbare Lamellenverschlüsse (Patent DE 10 2005 042 a46 A1 2007.03.16).

Bei Dotationsregelungen an einem Einlaufbauwerk (z. B. Schieber) müssen unzulässige Einengung sowie Tiefenänderungen in den darunterliegenden Becken bedacht werden.

3.3.2.2. Betriebsfall höchster UW-Stand (300 Tage)

- Rückstau führt zu größeren Tiefen in den unteren Becken, dadurch nimmt aufgrund des größeren Strömungsquerschnittes die Durchflussgeschwindigkeit in den Schlitzen ab.
- Δh stellt sich kleiner oder gleich als im Bemessungsfall, nach unten abnehmend, ein (E-Linie flacher als Sohlgefälle).
- **Bestimmt die unterwasserseitigen Wandhöhen** der FAH (Freibord beachten). Außer in begründeten Fällen wird empfohlen, auch die Querwände entsprechend hoch zu machen, damit der volle Durchfluss durch die Schlitze erfolgt, wodurch die Leitströmung besser als bei überströmten Kaskaden ist.
Anmerkung: Die oberwasserseitige Wandhöhe ergibt sich aus dem höchsten OW-Stand (Bemessungsfall).

Der Zulauf verändert sich bei gleichbleibendem OW-Stand nicht, außer es kommt durch den angestiegenen UW-Spiegel zu einem Rückstau, der sich bis zum obersten Schlitz auswirkt. Falls diese Möglichkeit besteht, so kann der Zufluss mittels Kaskadenrechnung ermittelt werden. Dabei sind mit einem gewählten Durchfluss die unterschiedlichen Δh , ausgehend vom Unterwasserspiegel von unten nach oben, fortlaufend zu errechnen und der Durchfluss solange anzupassen, bis sich der Ausgangswasserspiegel im OW ergibt. Die Querwände sind hier so hoch bemessen, dass sie nicht überströmt werden und der volle Abfluss durch die Schlitze erfolgt.

Anmerkungen: Dazu ist aber anzuführen, dass die zu berücksichtigende Erhöhung des UW-Spiegels nur bis zu Q_{30} geht. Mit Ausnahme großer Flüsse begrenzt sich die Erhöhung des UW-Spiegel somit um wenige dm. Die Querwände sind zudem nur im untersten Teil der FAH zu erhöhen, wobei die Erhöhung mit dem Ansteigen der FAH von Becken zu Becken reduziert wird.

Berechnungsablauf Kaskadenrechnung:

- 1) Q schätzen mit Δh und h_o beim obersten Schlitz.
- 2) Erster Schlitz von unten: aus Q und dem Unterwasserstand h_{u_1} wird Δh_1 errechnet.
- 3) Erster Schlitz von unten: Wasserstand im untersten Becken $h_{o_1} = h_{u_1} + \Delta h_1$.
- 4) Zweiter Schlitz von unten: aus dem Sohlgefälle I_s und der Beckenlänge l_B der FAH ergibt sich $h_{u_2} = h_{o_1} - I_s \cdot l_B$ ($l_B =$ lichte Beckenlänge $l_b +$ Querwandstärke s).
- 5) Zweiter Schlitz von unten: aus Q und dem Unterwasserstand h_{u_2} wird Δh_2 errechnet.
- 6) Zweiter Schlitz von unten: Wasserstand im nächsten Becken $h_{o_2} = h_{u_2} + \Delta h_2$.
- 7) Usw., bis Δh_n dem Bemessungsfall entspricht oder bis zum obersten Schlitz h_o .
- 8) Oberster Schlitz: h_o ist durch den OW-Spiegel und die Schlitztiefe bestimmt, deshalb ist h_o eine Kontrollgröße, die im Falle eines Rückstaus benötigt wird. Wenn sich rechnerisch derselbe Wert für h_o ergibt, war die Annahme von Q richtig, sonst ist die gesamte Kaskade mit verändertem Q neu zu rechnen, bis Übereinstimmung herrscht.

Anmerkung: Die Berechnungsmethode für ungleichförmigen Abfluss wird auch im DWA-Merkblatt M 509 beschrieben.

¹⁾ Zauner, G., Ratschan, C., Eberstaller, J. & Pinka, P. (2005): Vertical-Slot-Fischpass mit staffelbarem Abfluss: Eine Möglichkeit zur Optimierung von technischen Fischaufstiegshilfen. *Österreichs Fischerei*, Jahrgang 58, 162-169

Beispiel 3.3-2

Höchster UW-Stand bei niedrigstem OW-Stand: Fischregion „Hyporhithral groß mit Huchen“,
HR > 20 m³/s (Hu), Unterwasser + 50 cm, Oberwasser – 30 cm

Maximale Fallhöhe = 2,1 m

Aktuelle Fallhöhe $H_{ow} - H_{uw} = 2,1 - 0,3 - 0,5 = 1,3 \text{ m}$

Ergebnisse der Kaskadenrechnung (Abb. 3-12):

Min $\Delta h = 5 \text{ cm}$ (unterster Schlitz) bei max. $h_u = 1,50 \text{ m}$ (Ausgangswasserstand)

Δh nimmt nun von Becken zu Becken von unten nach oben zu, bis die Energielinie parallel zur Sohle verläuft, die Tiefen nehmen entsprechend ab.

Max $\Delta h = 13,3 \text{ cm}$ (oberster Schlitz, infolge Rückstau anstelle von 15 cm) bei min $h_o = 1,15 \text{ m}$

Oberster Schlitz: $h_u = 1,017 \text{ m}$ (infolge Rückstau anstelle von 1,0 m)
 $h_o = h_u + \Delta h = h_{\min} + \Delta h = 1,017 + 0,133 = 1,15 \text{ m}$ (Kontrollwert OW-Spiegel)
 $h_o / h_u = 0,88$

Abflussbeiwert $\mu_r = 0,41$ (Formel nach DWA-M 509)

Abfluss Q = 521 l/s (infolge Rückstau anstelle von 550 l/s)

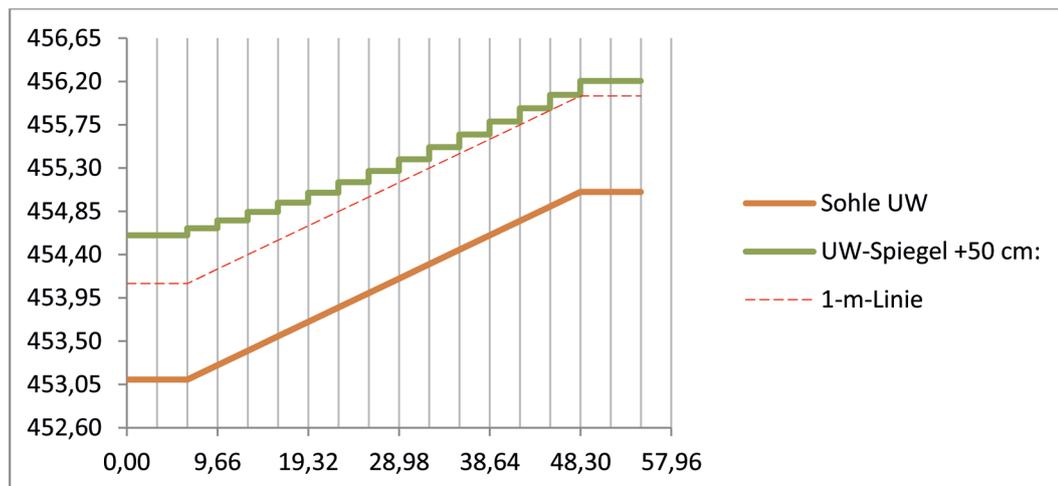


Abb. 3-12 Beispiel 3.3-2, höchster UW-Stand bei niedrigstem OW-Stand

Anmerkung zu Abb. 3-12: Bei einem längeren Schlitzpass wäre der Rückstau nicht mehr bis zum obersten Schlitz wirksam. Der Durchfluss kann dann einfach aus der Tiefe und Δh wie im Bemessungsfall (s. Beispiel 3.3-1: $\Delta h = 15 \text{ cm}$, $h_o = 1,15 \text{ m} \rightarrow Q = 550 \text{ l/s}$) errechnet werden.

3.3.2.3. Betriebsfälle niedrigster und höchster OW-Stand (300 Tage)

Für den Fall, dass der Betriebswasserspiegel zwischen einem oberen und einem unteren Wert schwankt, werden in den folgenden Beispielen die Konsequenzen für die Auslegung eines Schlitzpasses gezeigt.

Niedrigster OW-Stand:

- Wassertiefen und Durchfluss sind geringer. Das führt gegen das Unterwasser hin zu größte-

ren Tiefen in den unteren Becken, wodurch aufgrund des größeren Strömungsquerschnitts die Durchflussgeschwindigkeiten in den unteren Schlitzen ebenfalls abnehmen.

- Δh stellt sich ebenfalls kleiner oder gleich als im Bemessungsfall ein, nach unten abnehmend (E-Linie flacher als Sohlgefälle).
- Bestimmt die **oberwasserseitige Sohlhöhe** des Schlitzpasses aufgrund der Mindestdtiefe beim maßgeblichen obersten Schlitz (Sohlsubstrat beachten).
- Anmerkung: Die **unterwasserseitige Sohlhöhe** ergibt sich aus dem niedrigsten UW-Stand bei größtem Durchfluss (Bemessungsfall), wobei die Schlitztiefen unten nicht kleiner sein dürfen als oben.

Der niedrigste Bemessungswasserspiegel im Oberwasser bestimmt die Mindestdtiefe h_{min} und damit die Mindestdotation für den Schlitzpass. Daraus folgt die Sohlhöhe für den Anschluss des Schlitzpasses an das Oberwasser (Sohlsubstrat ist noch zu beachten).

*Wichtiger Hinweis: **Zu beachten ist, dass die Tiefe im Oberwasser $h_o = h_{min} + \Delta h$ betragen muss, um die Bemessungswerte im Leitfaden einhalten zu können!***

Beispiel 3.3-3

Niedrigster OW-Stand, OW schwankt häufig um 30 cm: Fischregion „Hyporhithral groß mit Huchen“, HR > 20 m³/s (Hu)

Maximale Fallhöhe = 2,1 m

Aktuelle Fallhöhe $h_{ow} - h_{uw} = 2,1 - 0,3 = 1,8$ m

$\Delta h = 15$ cm (wie Bemessungsfall)

Mindestdtiefe $h_u = 1,0$ m

$$h_o = h_u + \Delta h = h_{min} + \Delta h = 1,0 + 0,15 = 1,15 \text{ m}$$

$$h_o / h_u = 0,83$$

Abflussbeiwert $\mu_r = 0,43$ (Formel nach DWA-M 509)

Schlitzweite $s = 35$ cm

Abfluss Q = 550 l/s (Unschärfe 520 – 550 l/s)

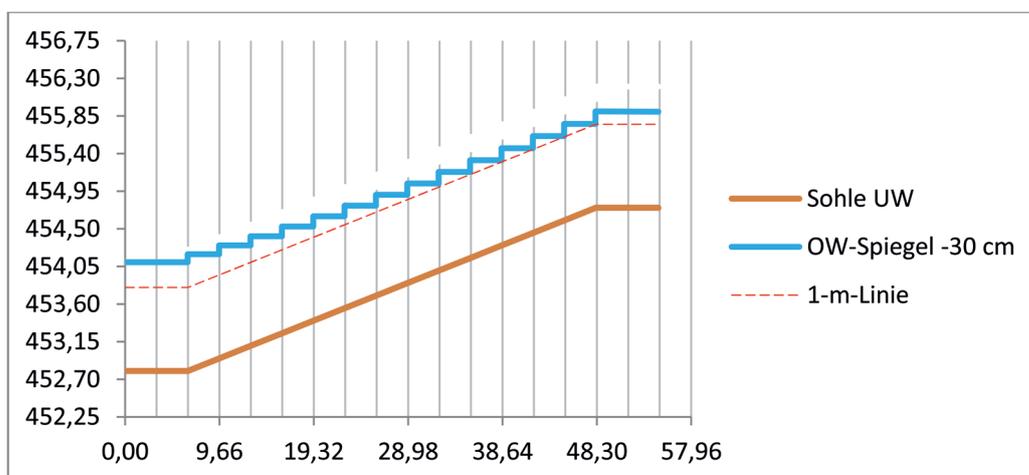


Abb. 3-13 Beispiel 3.3-3, niedrigster OW-Stand, Mindestdtiefe h_u laut FAH-Leitfaden, Tab. 11 (BMLFUW 2012)

Aus diesem Betriebsfall ergibt sich eine im Vergleich zum Beispiel 3.3-1 um 30 cm tiefere Sohle der FAH. Die Bemessung anhand der größten Fallhöhe hat somit für diese Sohlage zu erfolgen (*siehe Beispiel 3.3-4*) und hat für den Bemessungsfall „größte Fallhöhe“ eine höhere Dotation ($Q = 701 \text{ l/s}$) als beim Beispiel 3.3-1 zu Folge.

Weil dieser Beckenpass auf einen um 30 cm höheren OW-Stand ausgelegt ist (Beispiel 3.3-4), ergeben sich in vorliegendem Beispiel (*Abb. 3-13*) zum Unterwasser hin unterschiedliche Wasserspiegeldifferenzen zwischen den Einzelbecken.

Beispiel 3.3-4

höchster OW-Stand wie Bemessungsfall, Fischregion wie oben:

Max. Fallhöhe $H_{ow} - H_{uw} = 2,1 \text{ m}$ (gleiche maximale Fallhöhe wie im Beispiel 3.3-1)

Max $\Delta h = 15 \text{ cm}$

Anzahl Schlitz = 14 \rightarrow Becken = 13

$\Delta h = 15 \text{ cm}$

Beckentiefe $h_u = 1,3 \text{ m}$ (der angestiegene Wasserspiegel führt zu Übertiefen)

$h_o = h_u + \Delta h = h_u + \Delta h = 1,30 + 0,15 = 1,45 \text{ m}$

$h_o / h_u = 0,90$

Abflussbeiwert $\mu_r = 0,39$ (Formel nach DWA-M 509)

Schlitzweite $s = 35 \text{ cm}$

Abfluss $Q = 701 \text{ l/s}$ (anstelle von 550 l/s, die sich mit Bemessungswerten laut FAH-Leitfaden, Tab. 11, BMLFUW 2012, ergeben)

E-Diss = 120 W/m^2

Beckenlänge = 3,06 m (3,07 m laut Beispiel 3.3-1)

Beckenbreite = 2,04 m (2,05 m laut Beispiel 3.3-1)

\rightarrow **Längen und Breiten der Becken bleiben ca. gleich, nur die Tiefen nehmen zu!**

Anmerkung: Das Volumen ändert sich mit der Beckentiefe, daher bleibt die E-Dissipation trotz verschiedener Durchflüsse gleich. Deshalb bleiben auch die Beckenlängen und -breiten gleich.

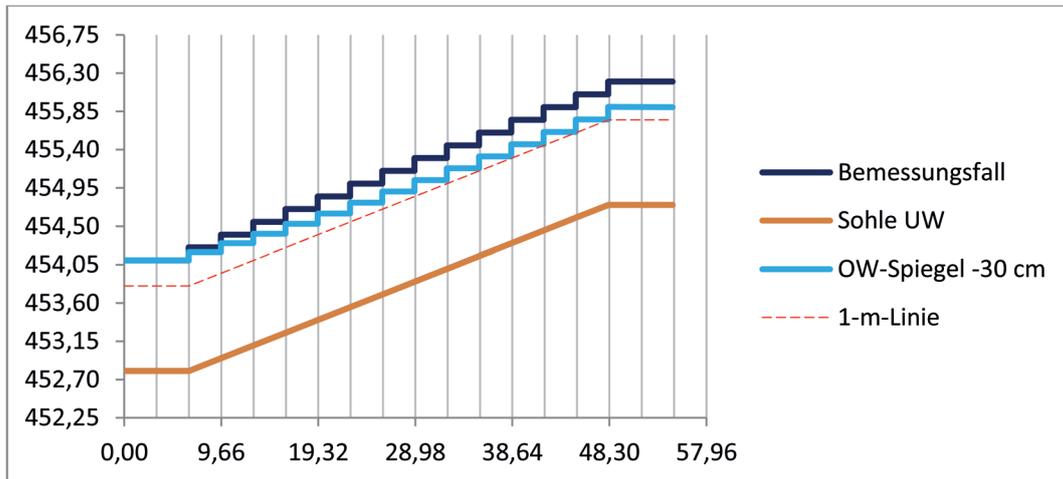


Abb. 3-14 Beispiel 3.3-4, höchster und niedrigster OW-Stand, Mindesttiefe laut FAH-Leitfaden, Tab. 11 (BMLFUW 2012)

Fazit: Bei steigendem OW-Spiegel wird die Dotation bedeutend mehr, wenn sich damit auch die durchströmte Schlitzhöhe und Querschnittsfläche vergrößert. Dies kann aus energiewirtschaftlicher Sicht ein erheblicher Nachteil sein, sodass es konstruktive Lösungen gibt, um die Dotation nicht zu erhöhen.