

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/357118207>

Wasserkraft stärker nutzbar machen – Das Federwehr

Article · December 2021

CITATIONS

0

READS

211

4 authors, including:



Alexander Ruppert

Josef Wiegand GmbH & Co. KG

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Steve Borchardt

Technische Universität Darmstadt

3 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Jens-Uwe Wiesemann

Technische Universität Darmstadt

6 PUBLICATIONS 4 CITATIONS

SEE PROFILE

Alexander Ruppert, Dirk Grombach, Rasdorf,
M. Sc. Steve Borchardt und Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann, TU Darmstadt

Wasserkraft stärker nutzbar machen – Das Federwehr

Einführung

Die Wasserkraft stärker nutzbar machen – das Federwehr verfolgt dieses Ziel für Klein- und Mittelwasserkraftwerksanlagen. Mit dem Federwehr werden Stauzielhöhen realisiert, welche unter dem Ansatz der gegebenen Abflussleistungen so dimensioniert werden, dass der Energieertrag von Klein- und Mittelwasserkraftwerksanlagen optimiert wird.

Das Federwehr (Abb. 1) ist ein beweglicher Wehrständer, welcher selbstregulierend ein konstantes Stauziel bei unterschiedlichen Abflusszuständen eines Gewässers einstellt, indem er sich bei Überströmung nach und nach umlegt und mehr Abflussquerschnitt freigibt. Bei höheren Abflüssen senkt sich das Federwehr ab und ermöglicht eine stärkere Wasserabgabe. Wenn der Abfluss abnimmt, stellt sich das Federwehr selbstständig wieder auf. Durch diesen Mechanismus steigt das Wasser vor dem Wehr, bis sich das Federwehr umgelegt hat, nur in geringem Maß an. Im Anschluss daran zeigt das Gewässer das bei ansteigenden Abflüssen er-

wartete, ursprüngliche Anstiegsverhalten und somit eine vergleichbare Schlüsselkurve für Hochwasserereignisse.

Das Federwehr wird in Modulen von bis zu 3 m Länge geliefert, die an die Größenanforderungen vor Ort angepasst werden können. Die Module erlauben auch den Ausgleich kleiner Höhenunterschiede in der Wehrkrone. Durch das Einbringen von Wehrpfeilern kann das Federwehr dem Verlauf der Wehrkrone angepasst werden. Die Spalten zwischen den Staublechen werden mittels dünner, elastischer Blechstreifen überbrückt, die sich vom Wasserdruck selbst abdichten. Das obere Ende dieser Streifen ist so ausgebildet, dass zwei Staubleche miteinander verbunden werden und so eine homogene Linie bilden.

Die seitliche Begrenzung erfolgt durch zwei mitgelieferte Edelstahlplatten zum Einbetonieren, an denen Dichtlippen unter Aufrechterhaltung ihrer Dichtwirkung gleiten. Eine gegebenenfalls notwendige Belüftung des Federwehrs kann durch entsprechende



Abb. 1: Federwehr auf einer Wehrkrone

Abb. 1 und Abb. 3–12: Wiegand GmbH & Co. KG

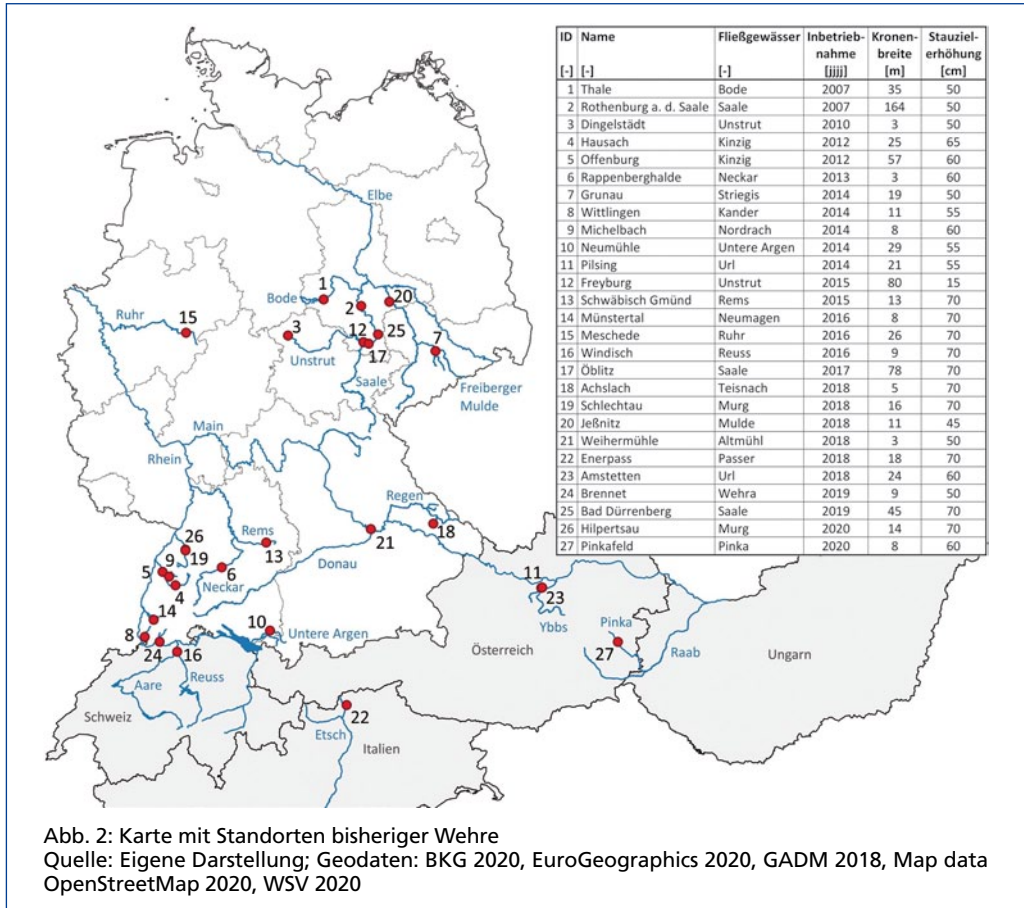


Abb. 2: Karte mit Standorten bisheriger Wehre
 Quelle: Eigene Darstellung; Geodaten: BKG 2020, EuroGeographics 2020, GADM 2018, Map data OpenStreetMap 2020, WSV 2020

Aussparungen über diese Platten erfolgen. Um den Bereich vor dem Wehr zu spülen, kann das Federwehr durch ein optionales hydraulisches Seilzugsystem abgelegt werden.

Referenzen

Seit dem Markteintritt wird das Federwehr an verschiedenen Standorten in Deutschland, Österreich, Italien und der Schweiz erfolgreich eingesetzt. Die Einsatzmöglichkeiten reichen dabei von einem kleinen Wehrständer in einem Bach oder Mühlgraben über den Aufstau von Wasser für eine Kleinwasserkraftanlage bis hin zu einem Einsatz auf der Wehrkrone einer Mittelswasserkraftanlage. Wie in Abb. 2 zu erkennen ist, wird das Federwehr insbesondere im Bereich der Saale bereits an mehreren Standorten eingesetzt, um den Ertrag der dor-

tigen Kraftwerke zu erhöhen. Auch im südwestdeutschen Bereich wird das Federwehr erfolgreich in Gewässern verschiedener Größenordnungen eingesetzt.

Vergleichsobjekte

Die Art und Weise der energielosen Stauzielregelung des Federwehrs ist einzigartig und im Regelbereich bis 1 m gibt es nur wenige Vergleichsprodukte, die in direkter Konkurrenz zum Federwehr stehen. In diesem Kontext sind z. B. die gewichtsgesteuerte Stauklappe oder die luft- bzw. hebergesteuerte Stauklappe zu nennen. Diese alternativen Systeme können im Vergleich zum Federwehr jedoch oft nur schwer an bestehenden Objekten nachgerüstet werden und erreichen teilweise nicht die Stauhöhe des Federwehrs.

Für Stauhöhen bis 1 m sind Alternativpro-



Abb. 3: a) kurze Variante, b) lange Variante, c) Aufbau mit Wehrpfeilern, d) Ausführung als Bypass

dukte wie z. B. Dammbalkenwehre, Fischbauchklappen oder Schlauchwehre zu nennen. Die Produkte Fischbauchklappe und Schlauchwehr benötigen für die Stauzielregelung jedoch Energie und sind daher sowohl in ihren Baukosten als auch in ihren Unterhaltskosten teurer als das Federwehr. Der Vorteil des Federwehrs im Vergleich zum Dammbalkenwehr zeigt sich darin, dass sich das Federwehr bei Hochwasser selbsttätig umlegt, den Überstau abführt und sich nach dem Hochwasserereignis selbstständig wieder aufstellt. Eine manuelle/automatisierte Auslösung des Federwehrs zur Freigabe des Abflussquerschnitts ist nicht notwendig.

Varianten

Das Federwehr kann entweder alleinstehend, in Kombination mit einem Querbauwerk oder auch als seitliche Abfluss- bzw. Entlastungsklappe eingesetzt werden. In den meisten Fällen wird der Wehrständer in Kombination mit anderen Wasserbauwerken verbaut. Mithilfe des modularen Aufbaus kann dabei jede beliebige Wehrbreite realisiert werden. Ausgewählte Einbaumöglichkeiten werden in Abb. 3 gezeigt.

Das Federwehr kann sowohl auf einer (aus-

gebesserten) bestehenden Wehrkrone verbaut werden als auch auf dem Dammkörper/



Abb. 4: Sondervarianten: (a) Rückstaufunktion für Bypass (oben), (b) Rückhaltebecken (unten)

Wehrrücken hinter der Wehrkrone, sodass sichergestellt ist, dass der Grundaufstau durch den umgelegten Wehrständer die bestehende Höhe der Wehrkrone nicht überschreitet.

Unabhängig von diesen Einbauvarianten können auch anlagenspezifische Sonderlösungen umgesetzt werden. Hier ist der Einsatz bei einem Rückhaltebecken oder in Kombination mit einem Schütz zu nennen (Abb. 4).

Funktions- und Wirkprinzip

Das Federwehr (Abb. 5) besteht aus den Bauteilen Standfuß, Druckkörper, Gummimatte, Staublech und mehreren Federblechen als Federlagen. Der Standfuß ist die Basiskonstruktion für das Stau- sowie die Federbleche und den Druckkörper. Dazu sind das Staublech und die Federbleche im Fußbereich um 90° umgekantert und mit Bohrungen bzw. Langlöchern an den oberwasserseitigen Gewindestangen eingespannt. Der Druckkörper liegt unterwasserseitig mit einer Vorspannung an den Federblechen an. Mit zunehmendem Abfluss soll der Druckkörper den Federblechen eine Biegekontur vorgeben und als Endanschlag eine plastische Verformung der Federbleche verhindern. Außerdem dient der Druckkörper als horizontale Stützkraft und erhöht im Fußbereich die

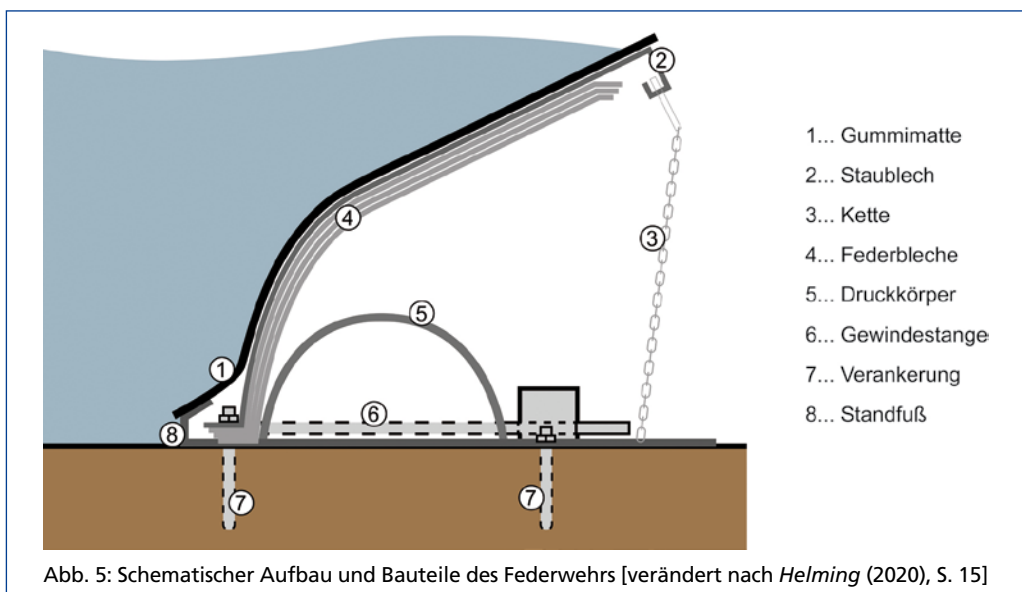
Federsteifigkeit. Um die Bleche vor Beschädigungen durch Treibgut und Geschiebe zu schützen, wird das Staublech mit einer Gummimatte abgedeckt. Die praktischen Erfahrungen haben gezeigt, dass Felsblöcke mit einer Kantenlänge von bis zu 1 m im Hochwasserfall über das Wehr gespült wurden, ohne dieses zu beschädigen. Mithilfe einer Kette ist es möglich, das Federwehr auf das Stauziel einzustellen.

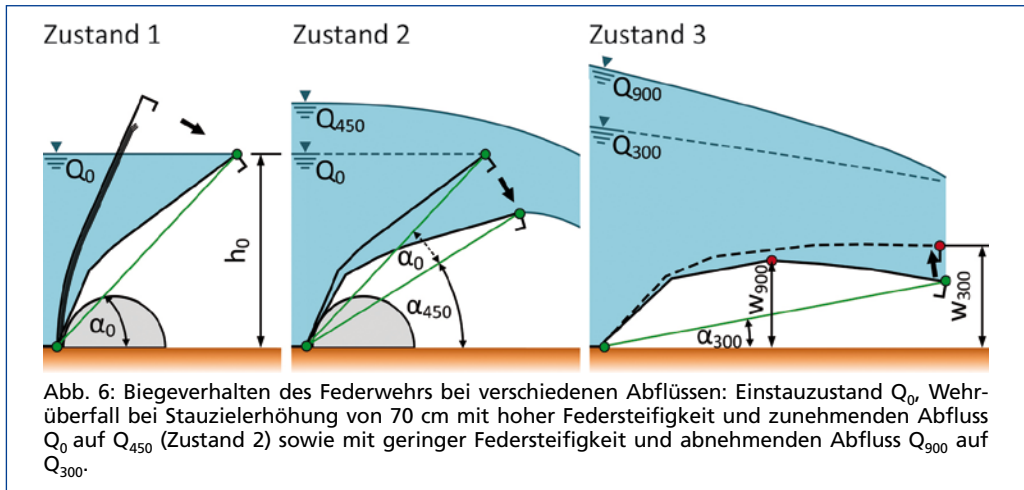
Das Federwehr kann je nach Abflusssituation und verwendeter Federsteifigkeit drei Zustände einnehmen (Abb. 6):

Zustand 1: stationärer Einstau

Die Einstauhöhe h_0 beschreibt hierbei die initiale Wassertiefe im Beharrungszustand vor dem beginnenden Überfall und entspricht idealerweise dem angestrebten Stauziel. Im Einstauzustand wirkt eine hydrostatische Druckverteilung auf das Staublech, womit sich die erforderliche Anfangssteifigkeit auf den Fußbereich des Federwehrs konzentriert.

Gegenüber dem unbelasteten Einbauzustand wirkt im Einstauzustand durch den hydrostatischen Wasserdruck bereits eine Biegekraft auf das Staublech und führt zu einer initialen Biegung des Staublechs. Durch diese initiale Biegung erfährt die Überfallkante eine vertikale und horizontale Translation. Die Position der Überfallkante





wird beim Einbau durch eine Feinjustierung der Vorspannung und der Anfangssteifigkeit an die geforderte Einstauhöhe angepasst.

Zustand 2: Wehrüberfall bei zunehmenden Abfluss

Übersteigt der Oberwasserstand die Überfallkante, erfolgt eine weitere Biegung des Federwehrs und gibt einen Teil des Abflussquerschnitts frei. Das gestaute Oberwasser wird ins Unterwasser abgeführt, wobei das Federwehr gerade so viel Federweg s freigeben soll, dass der Oberwasserstand möglichst konstant und der Aufstau Δh minimal bleibt. Mit steigender Überfallhöhe h_U wird die anfängliche hydrostatische Druckverteilung zunehmend von einer hydrodynamischen Druckverteilung überlagert.

Ein schmaler Luftspalt trennt die Federlagen voneinander. Mit steigender hydrodynamischer Belastung und zunehmendem Federweg s legen sich die Federbleche auf das jeweils angrenzende Federblech ab und aktivieren diese Federlage. Durch die einseitige Einspannung am Fußpunkt und der Vorbiegung des Fußbereichs erfolgt der Kontakt zwischen den Federlagen und dem Staublech im Kopfbereich. Durch die Biegung des Staublechs erfolgt eine horizontale und vertikale Translation der Überfallkante. Mit zunehmendem Federweg s wird die Überfallkante abgesenkt und durch die Abstützung der Federlagen entsteht ein bauchförmiger Verlauf des Staublechs. Die Wehrkrone wandert Richtung Fußpunkt bzw. verlagert sich von der Oberkante des Staublechs gemäß der Durchbiegung als Hochpunkt der Feder-

wehrkontur. Die stützende Wirkung des Druckkörpers beschränkt als „Endanschlag“ den maximalen Federweg s auf den elastischen Bereich und verhindert somit eine plastische Verformung des Staublechs und der Federlagen.

Zustand 3: Wehrüberfall bei abnehmenden Abfluss

Mit abnehmendem Überfall sinkt die einwirkende Druckverteilung entlang des Staublechs und unterschreitet sukzessive die Rückstellkraft der Federlagen. In diesem Maß wandert die Überfallkante in Richtung der Anfangsposition zurück und endet mit einem eintretenden Beharrungszustand oder mit dem Erreichen des Einstauzustandes.

Forschungs- und Entwicklungsprojekt „Stauzielerhöhung eines dynamischen Wehrständers“

Das Unternehmen Josef Wiegand, Rasdorf, hat in einjähriger Kooperation mit dem Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt und mithilfe des Hessisches Förderprogramms LOEWE das Federwehr weiterentwickelt. Ziel des Entwicklungsprojektes war eine Steigerung der ursprünglichen Stauzielerhöhung. Im Rahmen des Entwicklungsprojektes konnte eine Steigerung der Einstauhöhe auf 90 cm realisiert werden. Durch die zusätzliche Einstauhöhe kann an neuen oder bestehenden Klein- und Mittelwasserkraftwerken

mehr Energie nutzbar gemacht werden und der Ertrag dieser Anlagen wird somit erhöht. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde in fortlaufenden Versuchsreihen die Konfiguration bestimmt, welche mit Hinblick auf geeignete Gleichgewichtszustände die erforderliche Regulierbarkeit des Federwehrs aufweist. Die Selbstregulierung des Federwehrs erfolgt durch den anliegenden Wasserdruck entlang der Stauffläche des Wehres und der Federsteifigkeit. Das Umlegeverhalten des Wehres ist somit für die Regulierbarkeit maßgebend und bestimmt dabei die Wasserabgabe bei höheren Abflüssen. Zudem soll sich das Wehr aber auch so weit umlegen, dass die Wassertiefe im Oberwasser für einen möglichst großen Durchflussbereich nahezu konstant bleibt.

Um das Verständnis für das Zusammenwirken der einzelnen Bauteile sowie die Rückkopplung auf das Fließgewässer zu vertiefen und in den weiteren Entwicklungsschritten zu berücksichtigen, wurden die

- Druckkörperradien (① in Abb. 7),
- Staublech- und Federstärken (② in Abb. 7),

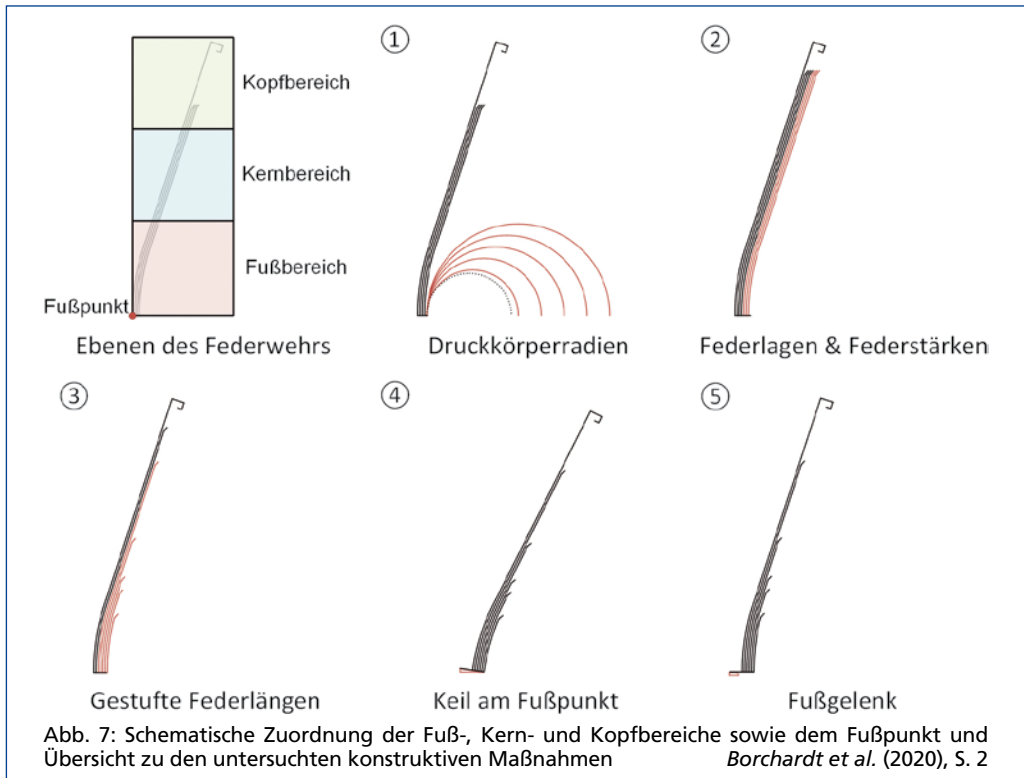
- Federlängen (③ in Abb. 7),
- Art der Einspannung am Fußpunkt (④ & ⑤ in Abb. 7)

variiert und der Einfluss auf

- den Anstellwinkel α ,
- die Einstauhöhe h_0 ,
- den Federweg s ,
- den Aufstau Δh ,
- und das Regelungsverhalten

messtechnisch dokumentiert.

Dabei waren die Ziele einer maximalen Einstauhöhe bei einem minimalen Aufstau bei zunehmenden Abfluss konträr zueinander. Während für eine ausreichende Einstauhöhe eine Anfangssteifigkeit gegeben sein muss, soll das Federwehr mit beginnender Durchbiegung bestenfalls eine progressive, mindestens aber eine lineare Federkennlinie aufweisen. Während die konstruktiven Maßnahmen für jeweils ein Ziel förderlich sind, unterstützen diese das andere Ziel nicht bzw.



nur geringfügig oder wirken sich nachteilig aus. Dies erfordert somit die gleichzeitige Verwendung mehrerer Maßnahmen. Während beim Einstauzustand eine lineare statische Druckverteilung vorliegt, überlagert sich diese im überströmten Zustand mit einer hydrodynamischen Druckverteilung. Diese Druckfigur ist bei den einzelnen Federlängen zu berücksichtigen.

Experimentelle Untersuchungen

Die Untersuchungen fanden in der Tiefrinne des Wasserbaulichen Forschungslabors an der Technischen Universität Darmstadt statt. Die Tiefrinne weist eine Länge von 30 m, eine Breite von 0,75 m und eine nutzbare Tiefe von 2,90 m auf. Über einen eigenen Pumpenkreislauf ist der Durchfluss über einen Abflussbereich bis zu einem Maximalwert von $1 \text{ m}^3/\text{s}$ verstellbar. In Fließrichtung kann die Tiefrinne in einen Einlauf-/Zulaufbereich, den Untersuchungsbereich und den Auslaufbereich unterteilt werden. Die seitliche Wandung des Untersuchungsbereichs ist auf einer Länge von ca. 7 m mit Sichtfenstern ausgeführt und kann von einem Beobachtungsraum eingesehen werden.

Um die einwirkenden Kräfte, die Federkennlinie und die Überfallcharakteristik zu beschreiben, wurde eine umfangreiche Messdatenerfassung installiert (Abb. 8):

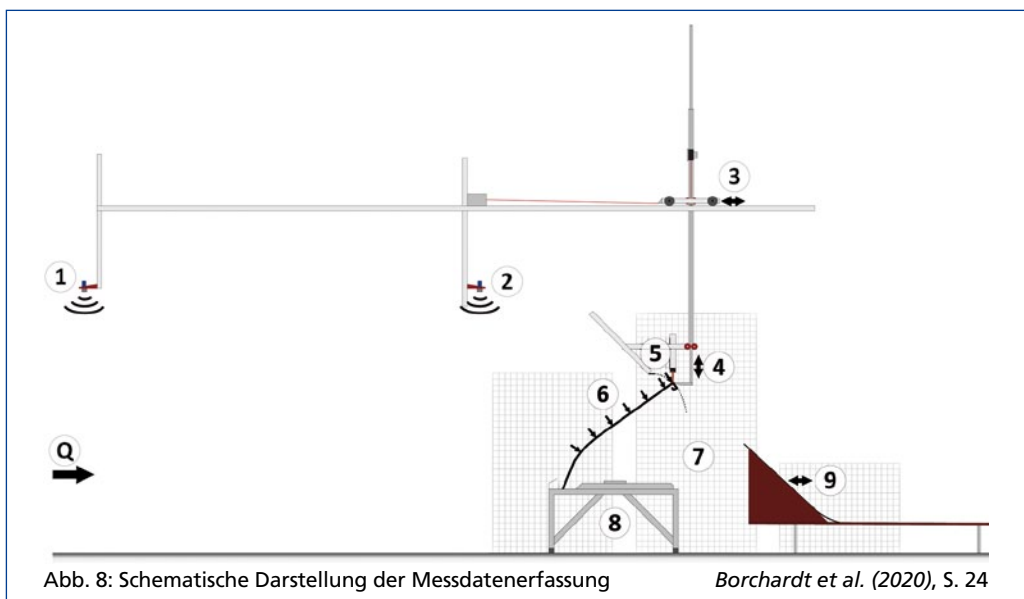
Der Wasserspiegelverlauf im Oberwasser wurde an den Positionen ① und ② über Ultraschallabstands-Sensoren und an der Überfallkante mittels eines Laserdistanzsensors mit Reflektorfolie auf der Wasseroberfläche ⑤ messtechnisch erfasst.

Eine Abflussänderung führte zur Durchbiegung des Staublechs mit einer horizontalen und vertikalen Translation der Überfallkante. Ein Messwagen mit einer zweiachsigen Linearführung erfasste jeweils über ein Seilzug-Potentiometer die horizontale ③ und vertikale ④ Translation der Überfallkante.

Die Druckverteilung auf das Staublech wurde punktuell über sieben Druckmesspunkte ⑥ entlang der Staublechkontur axial in gleichmäßigen Abständen erfasst. Der Durchfluss Q wurde in den Zuleitungen über magnetisch-induktive Durchflussmesser gemessen. Ein Messraster ⑦ diente der visuellen Erfassung:

- der Wassertiefe im Oberwasser,
- des Bezugspunktes für die Ultraschall-Abstandssensoren,
- der Passpunkte für die Wehrkontur,
- der Positionen der Drucksensoren.

Um durch die unterwasserseitigen Verhältnisse eine Beeinflussung auf die Messungen auszuschließen, war eine ausreichende Be-



lüftung und eine minimale Wasserpolderbildung unterstromseitig des Wehrständers durch die Minimierung des rückwirkenden Strömungsanteils des Überfallstrahls zu gewährleisten. Die Belüftung erfolgte bei den Versuchen unterwasserseitig über eine flexible Rohrleitung. Die vertikale Linearführung des Potentiometers an der Überfallkante übernahm zudem die Funktion eines Strahlaufreibers.

Eine Aufständerung ⑧ der Federwehrkonstruktion um 53 cm in der zweiten Projekthälfte ermöglichte bei höheren Abflüssen ein tieferes Ablegen des Staublechs und vermied somit eine unterwasserseitige Stützkraft auf das Staublech.

Durch konstruktive Maßnahmen ⑨ im Unterwasser wurde der rückwirkende Strömungsanteil minimiert und der wasserabführende Strömungsanteil erhöht. Prallbleche mit anpassbaren Längen und Winkeln lenkten dazu den Überfallstrahl unterwasserseitig ab. Zusätzliche Entwässerungsdurchlässe in den Prallblechen oder Entwässerungskanäle unterhalb der Unterwassersohle leiteten angestautes Wasser von der Federwehrkonstruktion ins Unterwasser ab.

Überfallcharakteristik aus den experimentellen Untersuchungen

Die untersuchten Konfigurationen wurden in den Versuchsreihen mit spezifischen Ab-

flüssen von 0 bis 1,22 m³/s·m erprobt. Nachfolgend werden die empirisch abgeleiteten Überfallbeiwerte nach Poleni für eine Vor-dimensionierung vorgestellt (Abb. 9):

$$Q = \frac{2}{3} \cdot b \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_{\bar{0}}^{3/2}$$

Q	Abfluss über Federwehr	m ³ /s
b	Überfallbreite	m
μ_{Poleni}	Überfallbeiwert nach Poleni	-
$h_{\bar{0}}$	Überfallhöhe, im Abstand $4 h_{\bar{0}}$ von der Überfallkante oberstromseitig gemessen	m

Die Wehrhöhe w , die Wehrlänge L und die Wehrform des Federwehrs variieren mit dem Abfluss, was sich auf den Überfallbeiwert μ_{Poleni} auswirkt. Der Überfallbeiwert berücksichtigt neben der Strahlabsenkung auch die Anströmgeschwindigkeit und die Reibungseinflüsse sowie die Druck- und Geschwindigkeitsverteilung infolge der Stromfadenkrümmung über der Wehrkrone.

Der Anstellwinkel der Staublechsehne α variiert mit der Biegesteifigkeit des Federwehrs und dem Abfluss (Abb. 10). Analog zu Klappenwehren teilt der Anstellwinkel α des Federwehrs die Überfallbeiwerte μ_{Poleni} in drei Bereiche ein [Castro-Delgado (1983), S. 100–101]:

– Bereich 1 ($\alpha > 35^\circ$; $w > 74$ cm): Ausgehend

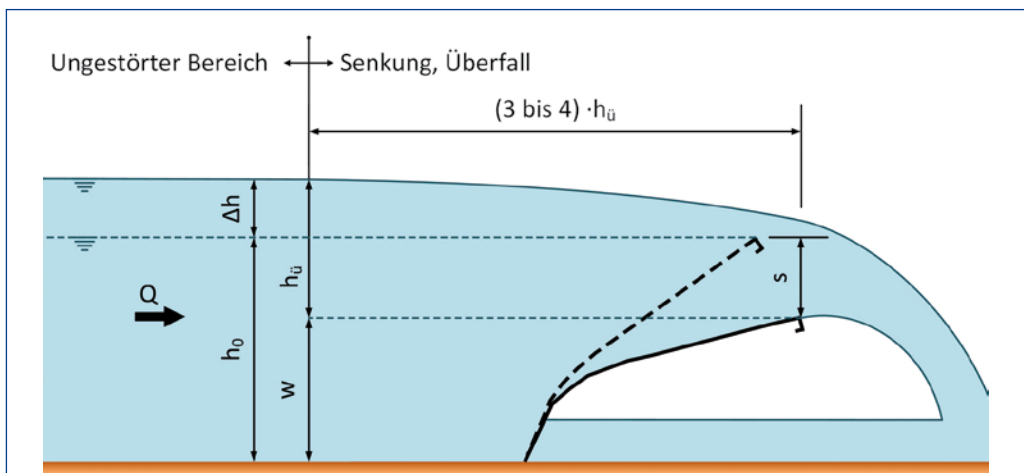
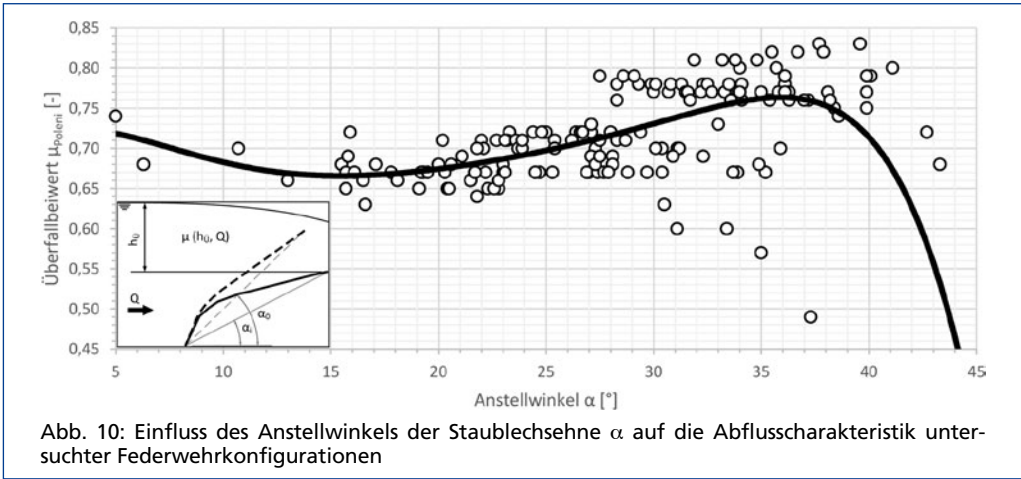


Abb. 9: Schematische Erläuterung der Einstauhöhe h_0 , der Überfallhöhe $h_{\bar{0}}$, der Wehrhöhe w , des Aufstaus Δh bezogen auf die Einstauhöhe, den Federweg s und den Anstellwinkel α der Staublechsehne [verändert nach Borchardt et al. (2020), S. 3]



vom initialen Anstellwinkel steigt der Überfallbeiwert mit abfallenden Anstellwinkel durch eine abnehmende Strahleinschnürung.

Zähigkeitseinflüsse durch die Grenzschichtentwicklung und -ablösung nehmen zu und reduzieren den Überfallbeiwert.

- Bereich 2 ($15^\circ < \alpha \leq 35^\circ$, $w < 74$ cm): Die Stromlinien werden primär von der Krümmung der Staublechkontur beeinflusst. Die
- Bereich 3 ($\alpha \leq 15^\circ$, $w < 35$ cm): Mit weiterer Abnahme des Anstellwinkels und der Wehrhöhe nimmt der Überfallbeiwert wieder zu. Durch die stärkere Durchbie-

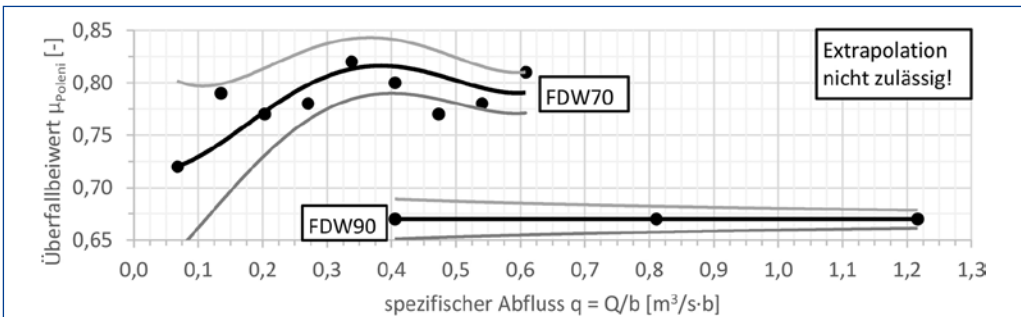


Abb. 11: Ausgleichskurve (schwarze Volllinie) der Überfallbeiwerte μ_{poleni} für verschiedene Abflüsse für eine Stauzielhöhe von 70 cm (FDW70) und 90 cm (FDW90). Zusätzlich ist der obere und untere Vertrauensbereich (graue Volllinien) dargestellt.

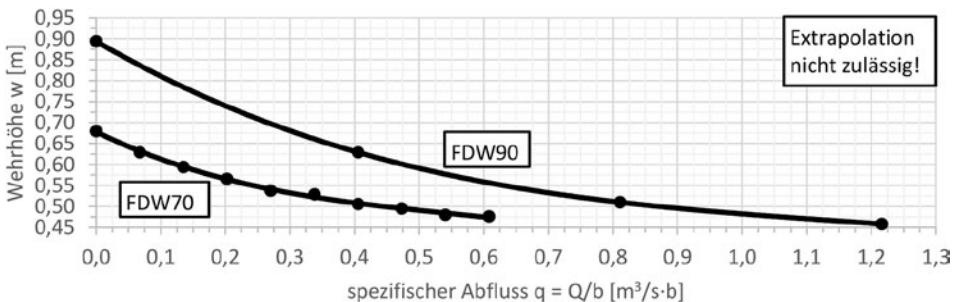


Abb. 12: Ausgleichskurve (schwarze Volllinie) der Wehrhöhen w für verschiedene Abflüsse für eine Stauzielhöhe von 70 cm (FDW70) und 90 cm (FDW90)

gung des Staublechs liegt die Überfallkante unterhalb der Wehrhöhe und die Länge der x-Koordinate der Überfallkante nimmt ab, was eine zunehmende Krümmung der Stromlinien bedingt.

Bei der ursprünglichen Stauzielerhöhung von 70 cm steigt der Überfallbeiwert μ_{Poleni} mit zunehmenden Abfluss zunächst an und erreicht bei einem spezifischen Abfluss von etwa $0,34 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ ein Maximum von 0,82 (Abb. 11). Mit einer weiteren Zunahme des Abflusses wandert der Anstellwinkel der Staublechsehne α aus dem ersten Bereich in den zweiten Bereich (Abb. 10) und der Überfallbeiwert μ_{Poleni} nähert sich dem Wert von 0,78 an.

Eine Stauzielerhöhung von 90 cm erfordert ein längeres Staublech und eine geänderte Federkonfiguration mit gestuften Federlängen und zusätzlichen Federlagen. Für die untersuchten Abflüsse stellt sich eine lineare Federkennlinie mit einem konstanten Überfallbeiwert μ_{Poleni} von 0,67 ein. Der geringere Überfallbeiwert μ_{Poleni} ist auf eine stärkere Krümmung des Staublechs und eine Zunahme der Wehrlänge L um 0,58% zurückzuführen. Mit beginnendem Überfall bewegt sich der Anstellwinkel der Staublechsehne α zwischen 35° und 20° , wodurch die Zähigkeitseinflüsse durch die Grenzschichtentwicklung und -ablösung zunehmen und den Überfallbeiwert μ_{Poleni} reduzieren. Gegenüber der ursprünglichen Stauzielerhöhung von 70 cm sinkt die Wehrhöhe mit zunehmenden Abfluss stärker ab, was zu einem geringeren oberwasserseitigen Aufstau Δh führt (Abb. 12).

Ausblick

Zusätzlich zur bestehenden Stauzielerhöhung konnte im Rahmen der experimentellen Untersuchungen eine weiterentwickelte Konfiguration gefunden werden und die mögliche Stauzielerhöhung um 20 cm auf nun 90 cm erweitert werden. Die Vorteile des Systems sind dabei erhalten geblieben. Das System ist weiterhin wartungsarm, robust und kostengünstig. Es ermöglicht eine energielose Stauzielregelung bei gleichzeitig gegebener Ableitung von Treibgut und Geschiebe.

Durch einen realmaßstäblichen Versuchsaufbau konnte das aus der Praxis bekannte Umlegeverhalten des Federwehres reprodu-

ziert werden. Dies ermöglicht daher nun den Rückschluss, dass auch das erhöhte Wehr mit einer Stauzielerhöhung von 90 cm das in der Untersuchung ermittelte Umlegeverhalten in der Praxis zeigen wird.

Mit Unterstützung durch die wissenschaftliche Begleitung der Technischen Universität Darmstadt plant das Unternehmen Josef Wiegand weitere Forschungsarbeiten am Federwehr, um das Produkt gemäß den Anforderungen fortlaufend weiterzuentwickeln.

Das Projekt (HA-Projekt-Nr.: 699/19-19) wurde im Rahmen der Innovationsförderung Hessen aus Mitteln der LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben – gefördert.



Literatur

Castro-Delgado, M.: Abfluss- und Auflastbeiwerte für den Entwurf von Stauklappen. – Dissertation Universität Karlsruhe (1983)

Helming, Ch.: Untersuchung zu wirkenden Kräften auf bewegliche Wehre und zu repräsentativen Überfallbeiwerten. – Masterarbeit TU Darmstadt, unveröffentlicht (2020)

Borchardt, S., A. Ruppert und J.-U. Wiesemann: Stauzielerhöhung eines dynamischen Wehrständers (Federwehr). Abschlussbericht 699/19-19. LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz, Förderlinie 3: KMU-Verbundvorhaben. Josef Wiegand, Rasdorf/Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft – TU Universität Darmstadt, unveröffentlicht (2020)