





# WASSERBILDERN AUF DER SPUR

Systematische Untersuchungen  
an Wasserschleiern und an Wassertreppen

Von dem Fachbereich Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung der  
Universität Hannover  
zur Erlangung des Grades einer

DOKTORIN DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN

Dr.-Ing.  
genehmigte Dissertation  
von

Dipl.-Ing. Anke Seegert  
geboren am 02. Januar 1966, in Salzhausen

Referent: Prof. Dipl.-Ing. Gilbert Lösken

Korreferent: Prof. Dipl.-Ing. Norbert Schitteck

Tag der Promotion: 6. Dezember 2004



## Abstract

This thesis deals with the question how different kinds of weirs and steps influence the developing waterfeatures. Therefore the way of running and the aesthetical appearance of waterfeatures are examined by several series of experiments. It is the aim to find out more about constructional requirements for getting the desired waterfeatures, so that their calculable use is possible.

The experiments on the waterfeature "waterveil" aim at creating a waterveil which is as long, smooth and glassy as possible. It is examined what kind of weir this aim is achieved best with, how length and width of a waterveil can be optimized, which water film thickness is necessary for a certain length, and which technical requirements have to be met.

The experiments on watersteps examine what effects can be created on watersteps and how the steps' angle of inclination and the waterfilm thickness influence the waterfeature. The variety of structures that can be created on steps with varying proportion of depth to height is to be shown. It is also examined what types of waterfeatures can be developed at these steps with a certain rate of flow.

The experiments on "waterveils" and "watersteps" operate with a waterfilm thickness of a few millimetres up to a few centimetres, the width of the testing construction is one metre. Each of the three series of experiments are carried out on 14 different weirs and 10 different steps with several graded rates of flow. The measured results are evaluated and integrated with aesthetical assessments into some recommendations. This thesis deals with experiments on constructions with smooth surfaces, rough surfaces are disregarded.

It turned out that rectangular weirs or such with an ascent produce especial smooth and glassy waterveils. For this a rate of flow of 2 l/s or more is necessary. Waterveils increase continuously in length and width, if the rate of flow grows but they become more opaque.

The measuring series on watersteps show a total of 14 different, reproducible waterfeatures. A low rate of flow causes calm, clear waterfeatures with few structures, by increasing the rate of flow the waterfeatures become more structural until they are foamy. Watersteps with a greater depth than height show a greater variety in structures than steps with a greater height than depth.

The arising of a certain waterfeature depends on the interaction of the three factors: rate of flow, inclination and proportion. Often the same waterfeatures can be created by different rates of flow, if only combined with the right angle of inclination. This offers many creative opportunities.

The results of the thesis in hand form the technical basis of the intentional planning of a calm and glassy waterveil on the one hand and of more structural, plastic up to foamy waterfeatures on steps on the other hand.

Schlagworte englisch:

Waterfeaturea

waterveil

watersteps

Schlagworte deutsch:

Wasserbilder

Wasserschleier

Wassertreppen

Das Abstrakt in deutscher Sprache findet sich unter [Kapitel 7 S. 197](#)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>11</b>
1.1	<i>Problemstellung</i>	12
1.2	<i>Begriffsbestimmung</i>	13
1.3	<i>Zielsetzung</i>	14
<b>2</b>	<b>STAND DES WISSENS</b>	<b>17</b>
2.1	<i>Wasserbilder an Überlaufkörpern</i>	<b>18</b>
2.1.1	Ausformung von Überlaufkörpern	19
2.1.2	Kohäsions- und Adhäsionskräfte	23
2.1.3	Absenkung des Wasserfilms vor dem Überlauf und Veränderung der Fließgeschwindigkeit	27
2.1.4	Wasserschleierlängen, Wasserfilmhöhen und Wasserbedarf	29
2.1.5	Zusammenfassung	33
2.2	<i>Wasserbilder an Wassertreppen</i>	<b>34</b>
2.2.1	Mindestwasserfilmhöhen und das Verhältnis von Auftritt zu Steigung	34
2.2.2	Einspeisung des Wassers in das Tosbecken	35
2.2.3	Zusammenfassung	35
2.3	<i>Objektbeispiele</i>	<b>36</b>
2.3.1	Objekte mit Überlaufkörpern - Zusammenfassung der Ergebnisse	37
2.3.2	Objekte mit Wassertreppen - Zusammenfassung der Ergebnisse	42
<b>3</b>	<b>VERSUCHSAUFBAU</b>	<b>55</b>
3.1	<i>Versuchsanlage</i>	<b>55</b>
3.1.1	Tosbecken	57
3.1.2	Auffangbecken	59
3.1.3	Vorbauten: Überlaufkörper und Wassertreppen	60
3.1.4	Schwenkbare Auflagekonstruktion	66
3.1.5	Pumpen, Schlauchzuleitungen und Durchflussmengen	67
3.1.6	Sonstige Hilfsmittel	67

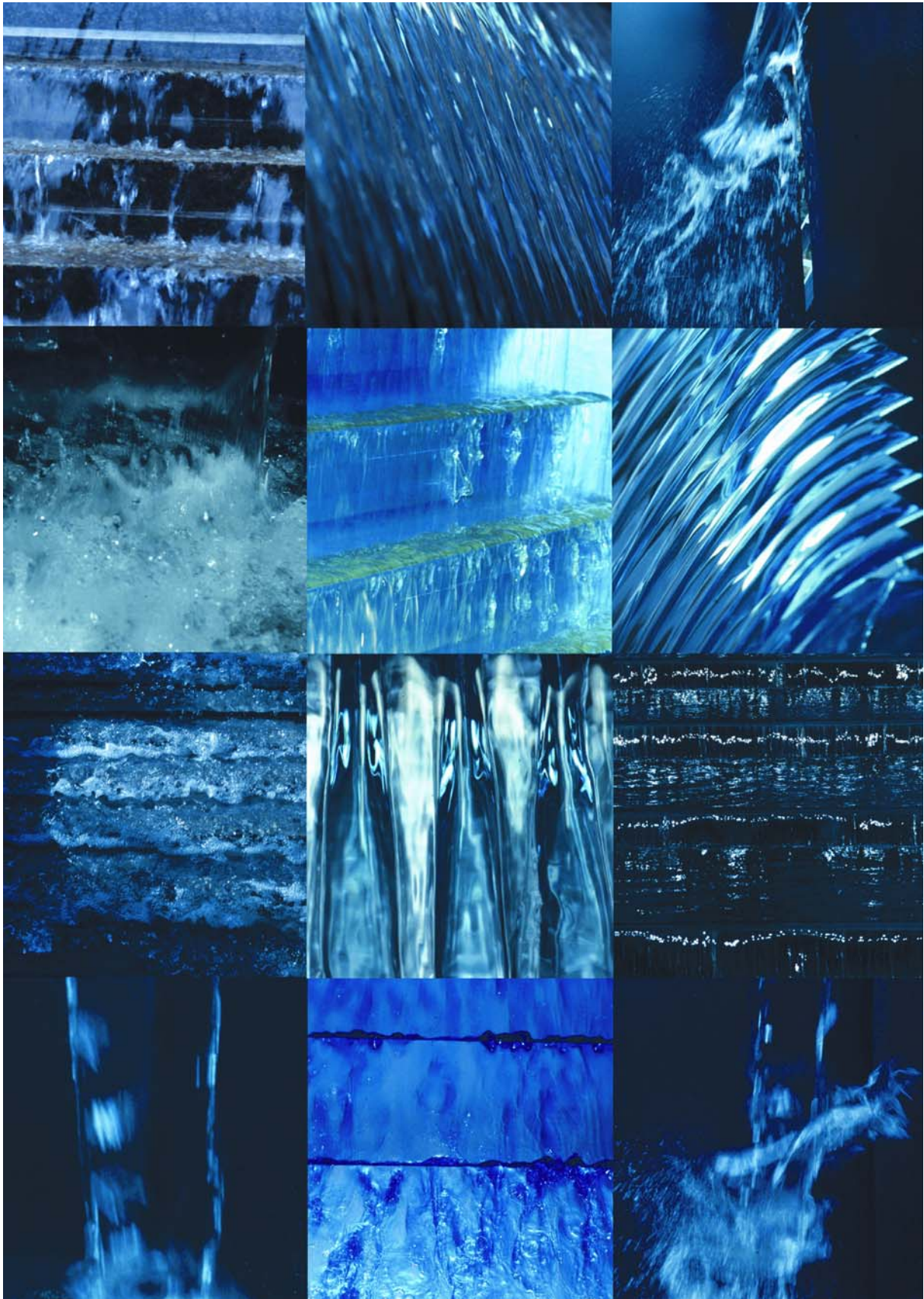
3.1.7	Folienkaschierungen	67
<b>4</b>	<b>METHODEN</b>	<b>69</b>
<b>4.1</b>	<b><i>Optimierung der Versuchsbedingungen</i></b>	<b>69</b>
4.1.1	Dimensionierung des Tosbeckens	69
4.1.2	Windeinfluss	70
4.1.3	Durchflussmessung	70
<b>4.2</b>	<b><i>Untersuchungen an Überlaufkörpern</i></b>	<b>71</b>
4.2.1	Überlaufkörper	72
4.2.1.1	Fließgeschwindigkeiten	75
4.2.1.2	Wasserspiegelabsenkung	75
4.2.2	Wasserfilmhöhen	76
4.2.3	Wasserschleierbreite	76
4.2.4	Steigerung der Durchflussmenge	78
<b>4.3</b>	<b><i>Untersuchungen an Wassertreppen</i></b>	<b>78</b>
4.3.1	Treppen mit kurzen Aufritten und langen Steigungen	80
4.3.2	Treppen mit langen Aufritten und kurzen Steigungen	80
4.3.3	Treppen mit Stufenwinkeln von 50, 70 und 90 Grad	80
4.3.4	Wasserfilmhöhen	81
<b>4.4</b>	<b><i>Dokumentation der Untersuchungen und Auswertung</i></b>	<b>83</b>
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>85</b>
<b>5.1</b>	<b><i>Wasserbilder an Überlaufkörpern</i></b>	<b>85</b>
5.1.1	Wasserberuhigung im Tosbecken durch Lochbleche	85
5.1.2.	Wasserschleier unter Windeinfluss	88
5.1.3	Wasserschleier an unterschiedlichen Überlaufkörpern	89
5.1.3.1	Messergebnisse	90
5.1.3.2	Ästhetische Bewertung	95
5.1.3.2.1	Überlaufkörper mit Anläufen	97
5.1.3.2.2	Überlaufkörper mit rechten Winkeln	99
5.1.3.2.3	Gerundete Überlaufkörper	102

5.1.3.2.4	Überlaufkörper mit 30° Winkel	106
5.1.4	Optimierung der Breite von Wasserschleiern	107
5.1.5.	Steigerung der Durchflussmenge	111
5.1.5.1	Messergebnisse	111
5.1.5.2	Ästhetische Bewertung	117
<b>5.2</b>	<b><i>Wasserbilder an Wassertreppen</i></b>	<b>125</b>
5.2.1	Strukturmerkmale der Wasserbilder	125
5.2.2	Wasserbilder in 14 Variationen	133
5.2.3	Der Einfluss der Durchflussmenge auf die Wasserbilder	148
5.2.4	Der Einfluss eines verringerten Stufenwinkels innerhalb der Treppe	159
5.2.5	Veränderung des Wasserbildes durch einen einzelnen Faktor	164
5.2.5.1	Veränderung der Durchflussmenge	164
5.2.5.2	Veränderung der Neigung	166
5.2.5.3	Veränderung der Proportion	169
5.2.6	Zusammenfassung	171
<b>6</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>173</b>
<b>6.1</b>	<b><i>Wasserschleiern auf der Spur</i></b>	<b>173</b>
6.1.1	Überlaufkörper für glatte Wasserschleier	173
6.1.2	Wasserschleierlängen	177
6.1.3	Wasserschleierbreiten	179
6.1.4	Das Verhältnisse von Wasserfilmhöhe zu Durchflussmenge und Fließgeschwindigkeit	180
<b>6.2</b>	<b><i>Wasserbildern an Treppen auf der Spur</i></b>	<b>183</b>
6.2.1	Proportion von Auftritt zu Steigung	183
6.2.2	Der Zusammenhang zwischen Wasserfilmhöhe und Wasserbild	184
6.2.3	Der Zusammenhang zwischen Wasserfilmhöhe und Durchflussmenge	186
6.2.4	Der Zusammenhang zwischen Wasserfilmhöhe und Fließgeschwindigkeit	190
6.2.5	Wasserschleier an Wassertreppen	194

<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>197</b>
<b>8</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>199</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG</b>	<b>205</b>
9.1	<i>Anhang zu Kapitel 2.3: Objektbeschreibungen</i>	208
9.2	<i>Anhang zu Kapitel 4.3: Auswertungsprotokolle zu Wassertreppen</i>	224
9.3	<i>Anhang zu Kapitel 5.1: Versuchsreihe ÜK 1</i>	226
9.4	<i>Anhang zu Kapitel 5.2: Tabellarische Auflistung der Kategorien, Proportionen, Wasserfilmhöhen und Durchflussmengen</i>	241
9.5	<i>Tabellenverzeichnis</i>	246
9.6	<i>Darstellungsverzeichnis</i>	250
9.7	<i>Abbildungsverzeichnis</i>	254
	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>262</b>



# 1 EINLEITUNG



## 1.1 *Problemstellung*

Wasser begegnet uns in vielfältigen Formen. Es kann unbewegt und still sein, dabei tiefgründig spiegelnd erscheinen. Ist es in Bewegung, so kann es gurgelnd, sprudelnd bis tosend, schäumend oder spritzend bis nebelartig zerstäubt sein. Diese vielfältigen Erscheinungsformen des Wassers können auch als unterschiedliche Wasserbilder bezeichnet werden. So entstehen beispielsweise Kreise auf einer Wasseroberfläche durch einen ins Wasser geworfenen Stein. Aufsteigende und wieder fallende Strahlen der Fontäne, das Fließen und Fallen von Brunnenbecken zu Brunnenbecken in einer Kaskade, der klare Wasserstrahl eines Wasserspeiers oder der Sprühnebel über einem tosenden Wasserabsturz, sie alle erzeugen Wasserbilder.

Menschen sind fasziniert von diesen Bildern, sie ziehen sie in ihren Bann. Vielleicht ist das auch der Grund, weshalb Wasser so häufig in Parks, auf Plätzen und in Gärten inszeniert wird. Dabei werden die Wasserbilder der Natur kopiert. Das Erscheinungsbild eines Geysirs findet sich in baulicher Form als Fontäne wieder, Wasserfälle werden als Kaskaden in kleiner Form nachgebaut, um nur zwei Beispiele zu nennen.

Seit alters her spielt Wasser eine entscheidende Rolle in der Gestaltung des menschlichen Umfeldes. Schon in der Antike wurden Gärten als Orte der Erfrischung, Entspannung oder Zerstreuung mit Brunnen und Wasserbecken ausgestattet.

Besonders in der Renaissance und im Barock legte man großen Wert darauf, sich mit vielfältigen Wasserspielen zu umgeben. Und auch heute noch spielt Wasser als Symbol für das Leben eine große Rolle in der Gestaltung. Als glattes Spiegelbecken wirkt es beruhigend auf den Betrachter, als plätscherndes Wasserspiel versetzt es die Zuhörer und Zuschauer in eine gewisse Heiterkeit und einen Zustand der Entspannung.

Grundsätzlich können Wasserbilder in zwei Kategorien eingeteilt werden: solche, bei denen das Wasser aus Düsen austritt, z.B. Fontänen oder einzelne Springstahnen, und solche, bei denen das Wasser fließt oder fällt. Mit letzteren beschäftigt sich die vorliegende Arbeit.

Dazu sind zwei grundsätzliche Bauarten zu finden. Zum einen sind dies Wasserbilder an Überlaufkörpern, an denen durch Überfließen Wasservorhänge entstehen, wie beispielsweise die Kaskaden in Het Loo in den Niederlanden oder Rosendaal in Belgien. Die zweite Form sind Wassertreppen, auf denen das Wasser beim Hinunterfließen verschiedene Wassermuster bildet, wie in der Villa Lante oder am Herkulesbrunnen in Kassel-Wilhelmshöhe. Beispiele aus jüngerer Zeit sind auf dem Gelände der Expo 2000 in Hannover zu finden. Ein Wasserschleier markierte den Eingang in die 'Gärten im Wandel', Wassertreppen wurden am dänischen Pavillon angelegt. Einige weitere Beispiele werden exemplarisch in Kapitel 2.3 vorgestellt.

Ein Großteil des Wissens um die Wasserkunst aus früherer Zeit wurde nur mündlich überliefert und nicht schriftlich dokumentiert, so dass vieles verloren ging. Es ist erstaunlich, dass



es auch heute trotz der Beliebtheit dieser Wasserbilder bislang noch keine umfassenden Untersuchungen gibt, die den Zusammenhang von baulichen Bedingungen und entstehenden Wasserbildern systematisieren. Auf einen technischen Ratgeber für den gestalterischen Umgang mit Wasserbildern an Wassertreppen und an Überfällen und deren bauliche Voraussetzungen kann bisher nicht zurückgegriffen werden. Architekten, Landschaftsarchitekten und Künstler haben somit kein Nachschlagewerk, das sie bei ihren Planungen heranziehen können.

So werden oftmals Wasserspiele entwickelt, deren technische Umsetzungen nicht immer die Wasserbilder liefern, die den PlanerInnen zuvor vorschwebten. Zudem setzen technische Schwierigkeiten häufig einer brillanten Idee ein jähes Ende. Es bedarf daher der technischen und baulichen Klärung, wie Wasserbilder plan- und erzielbar sind. Genau dieser Wissenslücke widmet sich die Arbeit. Sie ist als grundlegende Forschung zu Wasserschleiern und Wassertreppen zu verstehen, in der untersucht wird, wie Wasser sich unter bestimmten Voraussetzungen verhält, welche Wassermuster erzeugt und wie Wasserbilder technisch optimiert werden können.

## **1.2        *Begriffsbestimmung***

Obwohl die beiden Gestaltungselemente 'Wasserschleier' und 'Wassertreppen' sich schon lange etabliert haben, sind die Begriffe für diese Wasserbilder in der Literatur nicht einheitlich. In der vorliegenden Untersuchung wird mit folgenden Definitionen gearbeitet:

Der Überlaufkörper befindet sich vor dem Absturz und staut das Wasser auf, ehe es ihn überfließt und im freien Fall abstürzt. Im Wasserbau wird der Überlaufkörper auch als Wehr oder Überfall bezeichnet.

Das Wasserbild des zusammenhängend abstürzenden Wasserfilms wird als Wasserschleier bezeichnet.

Eine Wassertreppe ist eine Abfolge von Stufen, die von Wasser überflossen werden. Sie bestehen aus einer Aneinanderreihung von Steigung und Auftritt. Dabei können die Auftritte der Stufen ohne Gefälle, mit Längs- und/oder Quergefälle ausgestattet sein. Die Steigungen der Stufen sind entweder lotrecht oder mit Neigung ausgebildet.

Bei Überfließen der Überlaufkörper und Wassertreppen entstehen unterschiedliche Wasserbilder. Der Wasserschleier, der durch Ablösung vom Überlaufkörper entsteht, kann glatt, strukturiert, klar oder milchig sein. Die Wasserbilder an Wassertreppen bilden unterschiedliche Muster aus. Sie reichen von klar bis sprudelnd schäumend (AURAND 1991).

Wenn an einer Wassertreppe mehrere klare Wasserschleier stufenartig untereinander angeordnet sind, wird von einer Kaskade gesprochen.

### **1.3 Zielsetzung**

Ziel der Arbeit ist es, die ästhetischen Möglichkeiten herauszustellen, die die Gestaltung mit Wasserschleiern und mit Wasserbildern an Wassertreppen bietet. Es sollen Antworten auf die Fragen gefunden werden, wie tosende oder auch ruhige Wasserbilder bewusst inszeniert werden können. Als Grundlage dafür werden die baulichen Rahmenbedingungen und wassertechnischen Voraussetzungen erforscht, die es ermöglichen, diese Wasserbilder planbar zu machen. Ziel ist es, gestalterisch genau das Wasserbild zu erzielen, welches PlanerInnen als Idee vor Augen haben als auch, die Formenvielfalt der Wasserlandschaft an Wassertreppen aufzuzeigen, um sie gestalterisch einsetzen zu können.

In der Diplomarbeit von AHNER & SEEGERT (1997, unveröffentlicht) wurde an fließendem und fallendem Wasser untersucht, wie es in seinem Formenreichtum in Szene gesetzt werden kann, wie fließendes Wasser in seiner Homogenität durch Strukturen beeinflusst werden kann oder welche Wassermuster im Wasserfilm erzeugt werden können. Es wurde auch untersucht, wie ein Wasserschleier entsteht und ob er unterschiedliche Qualitäten haben kann. Dabei stellte sich heraus, dass je nach Ausformung des Überlaufkörpers, klare und strukturarme, aber auch milchige und strukturreiche Wasserschleier entstehen können. Bei den Untersuchungen konnte an einem Überlaufkörper mit rechtwinkliger Abkantung und mit einem Anlauf ein glatter klarer Wasserschleier erzeugt werden. Die Ergebnisse der Diplomarbeit wurden in 4 Teilen in 'Stadt und Grün' veröffentlicht (1998: 10, 12; 1999: 2, 5).

Allerdings steht dieses Ergebnis im Gegensatz zu den Aussagen anderer Fachleute (vgl. Kapitel 2.1). Da nicht hinreichend geklärt ist, welche Ausbildung des Überlaufkörpers tatsächlich am besten geeignet ist, um einen langen, glatten und gläsernen Wasserschleier zu erzeugen, wird dieser Aspekt in der vorliegenden Arbeit durch weitere Untersuchungen vertieft.

Hinsichtlich der Wassertreppen liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen darin, herauszufinden, welche Gestaltungsvielfalt sich hinter Wassertreppen verbirgt, welche Muster erzeugt werden können und durch welche technischen Voraussetzungen sie beeinflussbar sind.

Hier soll auch ein Bilderkatalog erstellt werden, der einen Überblick gibt, welche unterschiedlichen Muster an verschiedenen Treppenformen möglich sind. Dabei sollen die Abhängigkeiten von Wassermengen, Neigungen und Ausbildungen der Stufenverhältnisse aufgezeigt werden. Um die gesetzten Ziele zu erreichen, erfolgt die Bearbeitung des Themenkomplexes in den drei Arbeitsschritten:

Literaturrecherche, Sichtung ausgewählter Objektbeispiele und systematische Untersuchungen an eigenen Versuchsständen.

Die Literatur wurde gesichtet, verstreute Hinweise zu einzelnen Aspekten der Gestaltung von Wasserbildern zusammengetragen und im Hinblick auf beide Untersuchungsschwerpunkte ausgewertet (Kapitel 2.1, 2.2).

Ausgewählte Objektbeispiele wurden auf ihre Bauweisen hin untersucht, um einen Überblick über die Vielfalt neuerer Brunnenanlagen mit Wassertreppen und mit dem Wasserbild des Wasserschleiers zu erhalten (Kapitel 2.3).

Aufbauend auf den Ergebnissen aus der Quellenauswertung und den Objektbeispielen wurde die Konzeption eigener weitergehender Untersuchungen entwickelt.

Den letzten Arbeitsschritt und den Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit bilden zwei Versuchsanlagen (Kapitel 3), an denen die Gesetzmäßigkeiten im Fließverhalten von Wasserbildern an Überlaufkörpern und an Wassertreppen untersucht werden.

Um Gesetzmäßigkeiten im Fließverhalten vorhersagen zu können, müssen die strömungsmechanischen Grundlagen und die physikalischen Eigenschaften des Wassers berücksichtigt werden. Hierzu werden systematische Versuchsreihen unter definierten Bedingungen durchgeführt.

Bei großen Wassermengen und Wasserfilmhöhen kann im Wasserbau mit Modellen gearbeitet werden. Auf Grund der physikalischen Eigenschaften (vgl. Kapitel 2.1) des Wassers ist dies bei Wasserfilmhöhen von einigen Millimetern bis wenigen Zentimetern, wie sie in eigenen Untersuchungen vorherrschen, nicht möglich.

Nach Beratungen durch das Institut für Strömungsmechanik und elektronisches Rechnen im Bauwesen und das Franzius-Institut für Wasserbau und Küstenwesen der Universität Hannover wurde für eigene Versuchsanlagen der Maßstab von 1:1 gewählt. Diese Bauweise hat den Vorteil, dass die Versuchsergebnisse direkt in die Praxis übertragbar sind. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen in konkrete Empfehlungen für den Bau von Wasseranlagen und den ihnen zugrunde liegenden Wasserbildern münden.



## 2 STAND DES WISSENS

Wissenschaftliche Literatur, die sich mit den technischen Details zum Bau von Wasseranlagen zur Erzeugung von strukturarmen und strukturreichen Wasserbildern beschäftigt, ist nur in geringem Umfang vorhanden. Dabei beschäftigt sich der überwiegende Teil der Werke mit Teichbau oder der Gestaltung mit Fontänen. Bis zum Beginn der Untersuchungen an eigenen Versuchsreihen wurde Fachliteratur aus dem Bereich Landschaftsarchitektur und verwandter Gebiete der letzten 20 Jahre bis einschließlich 1999 gesichtet und für die Auswertung herangezogen. Auch aus der Fachliteratur, die nach dem Beginn eigener Untersuchungen am Versuchsstand bis 2004 erschien, konnten keine neuen Erkenntnisse zu den untersuchten Wasserbildern gewonnen werden.

Die nachfolgend aufgeführten Autoren liefern einen visuellen Einblick in die Gestaltungsvielfalt und lassen schnell erkennen, welche Objekte für diese Arbeit interessant sein könnten. BISTRITZKI (1980) stellt Brunnen in München vor, PETZOLD & DANZER (1989) in Stuttgart und ERTEL & ROESENER (1988) in Hannover. Alle Autoren nennen die KünstlerInnen, machen Aussagen zur Entstehung des Kunstwerks, beschreiben die Elemente, das Material und die Besonderheiten der Anlagen in Detail- und Gesamtaufnahmen.

BOEMINGHAUS (1980) teilt die Brunnenanlagen deutscher und niederländischer Städte in Trink- und Zapfstellen, Rinnen und Bäche, Wasser-, Kunst- oder Spielobjekte ein.

Das Spektrum reicht von kleinen Innenhofbrunnen bis zu großen Wasseranlagen auf Stadtplätzen. Auf drei Seiten werden Aspekte der Pumpenanlagentechnik oder besondere Bedingungen beim Gebrauch von Thermalwasser sowie Pflege, Wartung und Windeinflüsse abgehandelt.

In der oben genannten Fachliteratur wird überwiegend bildhaft gearbeitet, ohne auf technische Details oder Handlungsempfehlungen einzugehen, wie Wasserbilder zu erzeugen sind.

SYMMES (1998) spannt den Bogen der Gestaltung und Verwendung von Brunnen vom 13. Jahrhundert bis zum ausgehenden 20. Jahrhundert anhand einer umfangreichen Zusammenstellung unterschiedlicher, plakativer Brunnenbeispiele aus Europa, Russland, Australien und den USA. Umfangreiche alte Skizzen zu Fontänenformen dokumentieren die technischen und gestalterischen Überlegungen vergangener Jahrhunderte. Planung, Funktion und Bedeutung der Brunnen werden unter Aspekten wie Vergnügen, Sensation in einer Weltausstellung oder zur Erfrischung beleuchtet. Die Wasserbilder werden vorrangig dargestellt, bauliche Voraussetzungen sind nicht Inhalt dieser Fachliteratur.

Weitere Hinweise auf internationale Objektbeispiele, die für die eigenen Untersuchungen von Bedeutung sind, finden sich bei ARNOLD (1998), BALJON (1997), CLEMENS (1995), DIED-

RICH (1998), DUBOYS FRESNEY (1995), ELVIS (1993), HOLDEN (1992, 1998), LANGE (1997), MILCHERT (1994), NEAL (1988), SCHÄFER (1993), SCHMIDTKE (1998), WEHBERG et al. (1995).

## **2.1 WASSERBILDER AN ÜBERLAUFKÖRPERN**

Mit technischen Details zu Wasserbildern an Überlaufkörpern haben sich vor allem Craig S. CAMPBELL (1982), C. Douglas AURAND (1991), Neville CROCKER (1987) und Stephen SCRIVENS (1988) beschäftigt. Sie vermitteln technisches Detailwissen zur Ausbildung der Überlaufkörper mit den klaren, glatten Wasserbildern, die in der Zielsetzung beschrieben sind.

Die amerikanischen Autoren CAMPBELL (1982) und AURAND (1991) schrieben Fachbücher über den gestalterischen Umgang mit Wasser in der Landschaftsarchitektur, Fontänen und Pools. AURAND gilt als Fachmann, der von der 'Landscape Architecture Foundation' aufgefordert wurde, ein Kapitel zur Bauausführung von Fontänen in einem Konstruktionshandbuch zu schreiben, woraus sich das Buch 'Fountains and Pools' (1991) entwickelt hat. Kriterien zu mechanischen und elektrischen Systemen und hydraulischer Kalkulation, zur Materialauswahl und Dimensionierung von Bassins sowie Konstruktionsdetails bilden die Schwerpunkte. Am Rande werden Hinweise zur Ausbildung von Überlaufkörpern gegeben.

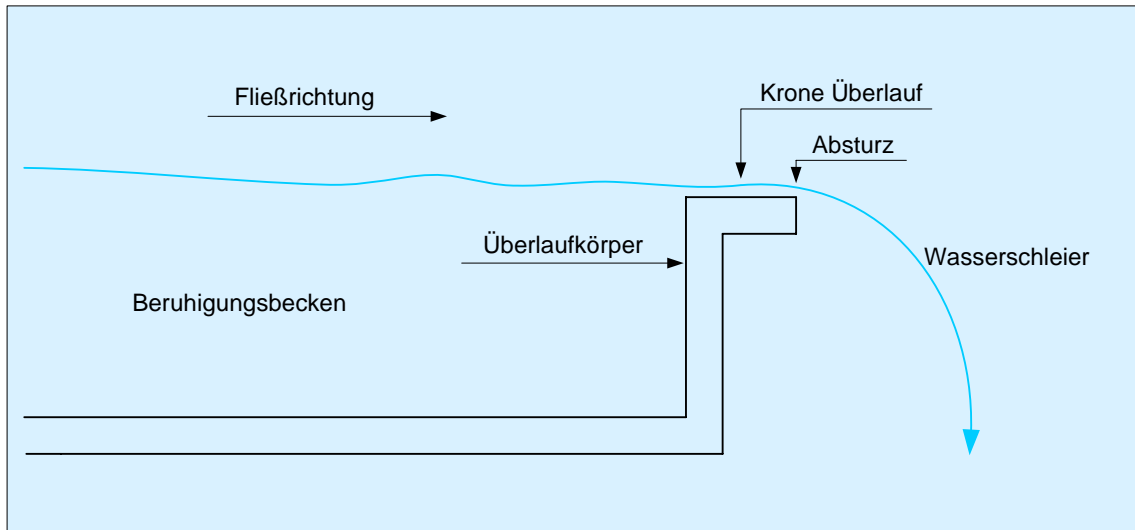
CROCKER, Wassertechniker in Australien, und SCRIVENS, Hydrotechniker in England, realisierten weltweit Brunnenprojekte. Sie veröffentlichten ihre Erfahrungen in Fachartikeln zu technischen und baulichen Aspekten wie Mindestwasserfilmhöhen, Durchflussmengen und Überlaufkörpern. Ebenso wurden Aspekte wie Akustik und Wind in Beiträgen der Fachzeitschriften 'Landscape Australia' und 'Architects Journal' beleuchtet.

Darüber hinaus steht der Verfasserin ein unveröffentlichtes Manuskript des Bauingenieurs Matthäus ORTMAIR (1974) zur Verfügung. Obwohl er sich darin vorrangig mit der Technik und den Wasserbildern beschäftigt, die mit Fontänen und Düsen zu erzielen sind, macht er auch klare Aussagen zu Wassertreppen und Wasserschleiern. Er stellt zum Beispiel die Zusammenhänge zwischen der baulichen Ausführung und dem Wasserbild her.

Untersuchungen von AHNER & SEEGERT (1998, 1999) haben zu eigenen Erkenntnissen zum Wasserbild des Wasserschleiers geführt und neue Fragen zu Wechselwirkungen zwischen der Ausbildung des Überlaufkörpers, Wasserfilmhöhe sowie Kohäsion und Adhäsion aufgeworfen. Eine Frage war beispielsweise, ob es voraussagbare Längen zu Wasserschleiern bestimmter Qualität gibt. Deshalb werden Aussagen von Autoren zu Überlaufkörpern, Wasserfilmhöhen, Pauschalwerten zum Wasserbedarf und physikalischen Einflüssen wie Kohäsion und Adhäsion nachfolgend genauer untersucht.

## 2.1.1 AUSFORMUNG VON ÜBERLAUFKÖRPERN

Übereinstimmend kommen alle Autoren zu dem Ergebnis, dass das Erscheinungsbild eines glatten Wasserschleiers ursächlich durch die Ausbildung des Überlaufkörpers geprägt wird (vgl. Darstellung 1).

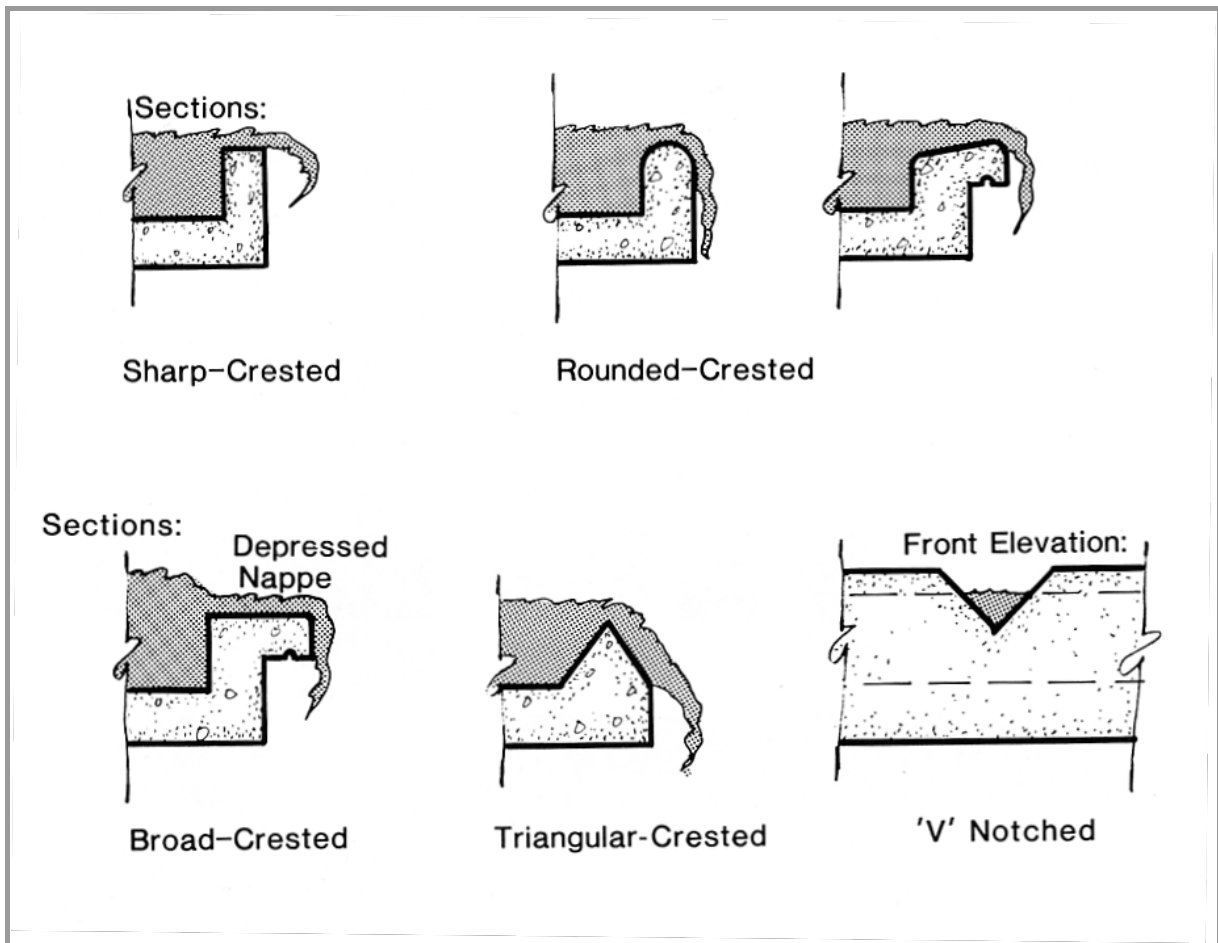


Darstellung 1: Prinzipskizze eines Überlaufkörpers mit rechtem Winkel

Einig sind sich alle Autoren darin, dass die Beschaffenheit des Wasserschleiers bezüglich seiner Glätte, Länge und Breite weiterhin von der Oberflächenstruktur des Überlaufkörpers abhängig ist. Je glatter die Oberfläche, desto klarer der Wasserschleier. Je grobkörniger die Oberflächen desto mehr Luft ist im Wasserschleier enthalten und desto weißer wird er.

In der Fachliteratur finden sich sehr unterschiedliche Ansichten zu der Ausformung von Überlaufkörpern.

AURAND (1991: 132) stellt Überlaufkörper mit scharfer, runder, breiter, dreieckig geformter und v-förmig eingeschnittener Krone vor (Darstellung 2).



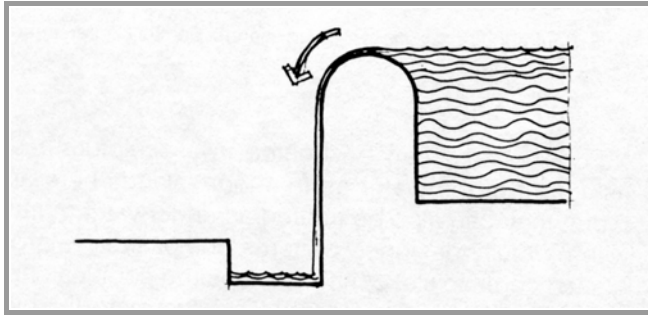
Darstellung 2: Klassifikation der Überlaufkörper aus 'Fountains and Pools', AURAND (1991: 132)

Er beschreibt (1991: 137), dass ein gerundeter Überlaufkörper die Tendenz hat, verschiedene Fließgeschwindigkeiten auf der gerundeten Oberfläche auszubilden. Der Wasserfilm tendiert dazu, unter dem Überlaufkörper entlang zu fließen, was zu Störungen im Wasserschleier führt. AURAND (1991: 133) stellt heraus, dass durch die Rundung der Oberfläche des Überlaufkörpers die Reibung auf der oberflächennahen Wasserschicht reduziert wird. Er zieht allerdings einen Überlaufkörper mit 30° Winkel rundkronigen oder rechtwinkligen Überlaufkörpern vor, da dieser aufgrund geringerer Oberflächenspannung und Reibung einen glatten Wasserschleier zulässt.

CAMPBELL (1982: 94) beschreibt einen rundkronigen Überlaufkörper mit anschließender Mauer und Auffangrinne, den 'Rounded Rollover Type Rim with catchment channel'. Er sieht in dieser Ausbildung des Überlaufkörpers die Möglichkeit, einen Wasserfilm glatt an der Oberfläche einer Mauer ohne Ablösen herabfließen zu lassen bis er in eine Überlauf Rinne mündet (Darstellung 3).

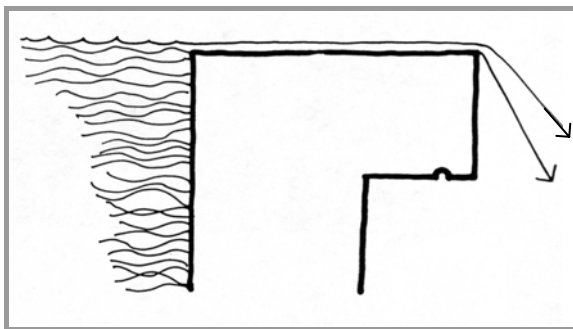
CAMPBELL stimmt somit AURAND und Georg FRAUNBERGER (mündl. Aussage 1999) zu, dass der Wasserfilm an dem rundkronigen Überlaufkörper anhaftet, ohne sich abzulösen.



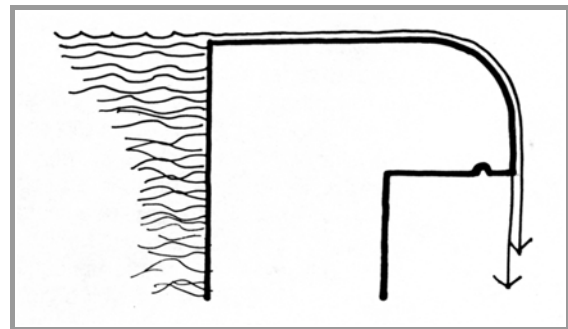


Darstellung 3: 'Rounded Rollover Type Rim', CAMPBELL (1982: 94)

CAMPBELL (1982: 97) stellt unterschiedliche Bogenverläufe der Wasserschleier zwischen gerundeten und quadratischen Überlaufändern heraus. Bei den quadratischen wird der Wasserfilm mit zunehmender Fließgeschwindigkeit immer weiter heraus getragen (Darstellung 4). Bei gerundetem Überlaufrand ist die Falllinie unabhängig von der Fließgeschwindigkeit gleich bleibend senkrecht (Darstellung 5). Den Wasserschleier des gerundeten Überlaufkörpers bezeichnet er als senkrecht fallend, den des rechtwinkligen Überlaufkörpers als auskragend.



Darstellung 4: 'Square spill lips', CAMPBELL (1982: 97)



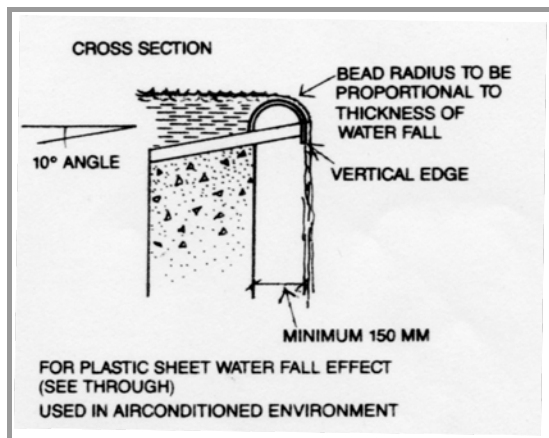
Darstellung 5: 'Rounded spill lips', CAMPBELL (1982: 97)

CAMPBELL sieht einen Zusammenhang zwischen dem Überlaufrand des Überlaufkörpers und dem Wasservolumen des Wasserschleiers. Für geringe Durchflussmengen empfiehlt er eine möglichst exakt gleich hohe, vorzugsweise aus Metall gefertigte Oberfläche. Sie soll über die angrenzende Wand herausragen und so einem Abfließen an der Wand entgegen wirken. Die Unterseite des Überlaufkörpers soll eingekerbt sein, um die Oberflächenspannung zu brechen. Ein Anhaften und willkürliches Abtropfen an der Unterseite soll so verhindert werden.

Matthäus ORTMAIR (1974: 96) favorisiert einen Überlaufkörper mit Achtelkreis, um glatte, klare Wasserschleier zu erzeugen. Den Überlaufkörper des 'Rechten Winkels' hält er für wenig empfehlenswert.

CROCKER bevorzugt einen Überlaufkörper mit 10-15 % Steigung zur Überlaufkante hin, um einen Wasserfalltyp (4,1987: 325) mit durchsichtiger, folienartiger Oberfläche zu erzeugen (Darstellung 6). Der Rand des Überlaufkörpers soll einen proportional zur Höhe des Wasser-

films ausgewählten Radius aufweisen (Tabelle 1) und sollte mindestens 150 mm über den Absturz hinaus stehen.



Darstellung 6: Prinzipskizze eines Überlaufkörpers zur Erzielung klarer Wasserscheier, CROCKER (4/1987: 325)

CROCKERS Empfehlungen zur Ausbildung des Radius je nach Höhe des Wasserfilms werden in Tabelle 1 aufgelistet.

Wfh auf Krone Überlauf (mm)	Radius des Überlaufendes (mm)	Wfh auf Krone Überlauf (mm)	Radius des Überlaufendes (mm)
3,5	25	20	45
7,0	32	30	55
10,0	35	40	65
15,0	40	50	75

Tabelle 1: Ausbildung des Radius des Überlaufendes in Abhängigkeit der Wasserfilmhöhe (Wfh), CROCKER (4/1987: 325)

AHNER & SEEGERT (12,1998: 896) haben in einer Versuchsreihe neun verschiedene Überlaufkörper untersucht und sind zu dem Ergebnis gekommen, dass mit dem Überlaufkörper mit 'Rechtem Winkel' ein möglichst langer, durchsichtiger, glatter Wasserscheier erzielt werden kann. Als besonders vorteilhaft hat sich hier ein Anlauf von 30-35° erwiesen.

AHNER & SEEGERT stellen fest, dass die Adhäsionskraft, die Anziehungskraft zwischen verschiedenen Stoffen, hier zwischen Überlaufkörper und Wasserschicht, bei einem viertelkreisförmigem Überlaufkörper deutlich mehr Einfluss auf den Wasserscheier hat als bei jeder anderen Ausformung. Gerade bei geringer Wasserfilmdicke wird der Wasserscheier nach innen gezogen. Diese Erscheinung tritt ausschließlich bei gerundeten Überlaufkörpern auf (12,1998: 897).

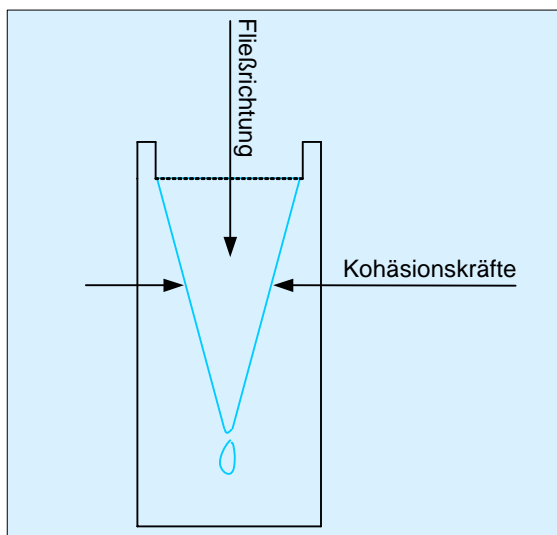
Wird hingegen der Viertelkreis zu einer Art Ellipse aufgebogen, verbessert sich das Gesamterscheinungsbild des Wasserscheiers hinsichtlich Glätte und Klarheit deutlich (AHNER & SEEGERT 12,1998: 894).

## 2.1.2 KOHÄSIONS- UND ADHÄSIONSKRÄFTE

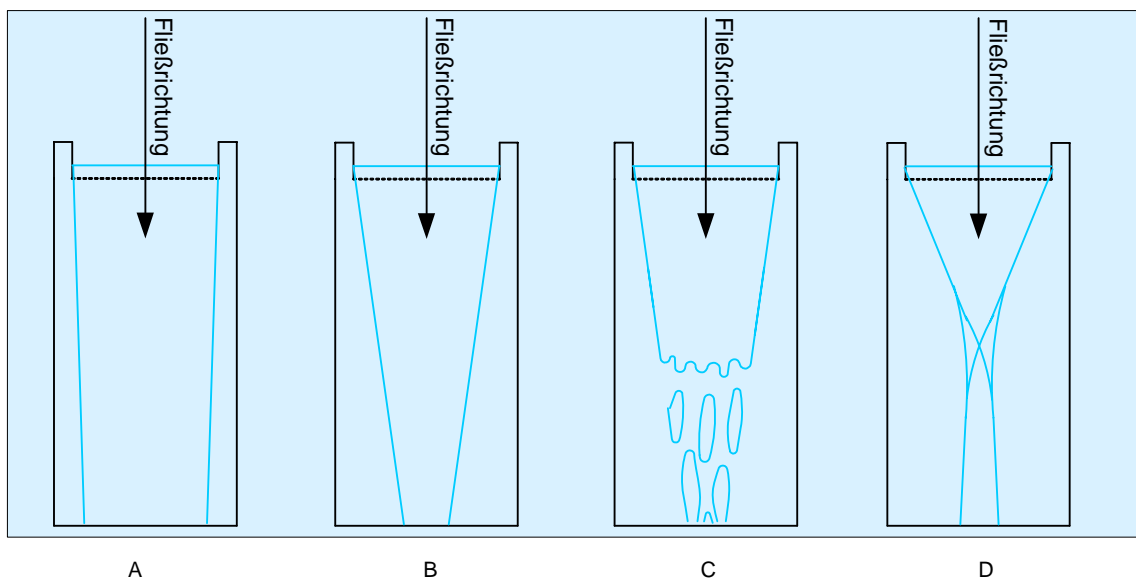
Die physikalischen Kräfte von Adhäsion und Kohäsion wirken auf jeden Wasserstrahl. Da durch die inneren Kohäsionskräfte im Wasser jeder Wasserstrahl bestrebt ist, in eine Tropfenform überzugehen, zieht sich der Wasserfilm zusammen.

Dies zeigt sich sehr gut, wenn ein Wasserhahn erst geöffnet und dann ganz langsam zuge dreht wird. Der Wasserstrahl wird immer dünner bis er sich schließlich in einzelne Tropfen auflöst (Darstellung 7).

Je dünner der Film auf dem Überlaufkörper ist, desto stärker wirken die Adhäsionskräfte zwischen Überlaufkörper und Wasserfilm. Da die Adhäsionskräfte nur in den Grenzschichten verschiedener Medien wirken, ist ihr Einfluss bei einer sehr dünnen Wasserhaut umso größer.



Darstellung 7: Einwirkung der Kohäsionskräfte auf einen Wasserstrahl



Darstellung 8: Unterschiedliche Einflüsse der Kohäsion auf das Fließverhalten

Bei einem Wasserschleier zeigt sich folglich das Bild eines 'v-förmig' fallenden, durch die inneren Kohäsionskräfte zusammengezogenen Wasserschleiers.

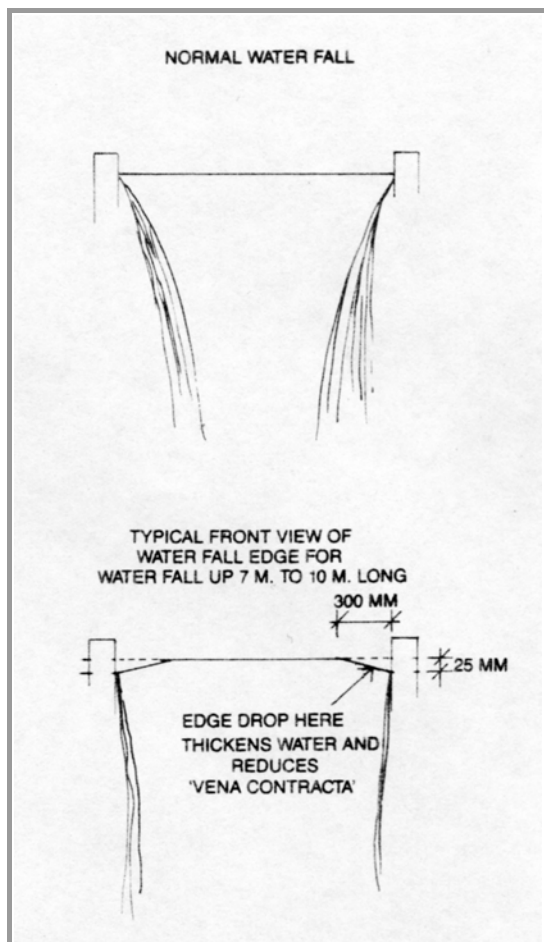
Welche Rolle die Dicke des Wasserfilms dabei spielt, wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen ausführlich behandelt.

Die Aussagen von ORTMAIR (1974: 33) zu den Auswirkungen der Kohäsionskräfte bei Wasserschleiern werden zur Veranschaulichung als Prinzipskizzen (Darstellung 8) dargestellt. Er beschreibt die Kohäsionskräfte so: „... dass eine Wasserwand, die angenommen an der Kante des Überlaufes 100 cm breit ist, nicht mit 100 cm Breite unten auftritt (Darstellung 8 A, Anm. d. V.). Bei geringer Dicke der Wasserhaut (Wasserfilm, Anm. d. V.) wird durch die Adhäsion die Wasserwand (Wasserschleier, Anm. d. V.) nach unten wieder zusammengezogen (Darstellung 8 B, Anm. d. V.) und kann sich je nach Fallhöhe bis auf ein breiteres Wasserbündel verengen (Darstellung 8 D, Anm. d. V.)“.

An anderer Stelle schreibt er: „Die Wasserhaut bleibt nach dem Überlauf über die Wehrkante (Kante des Überlaufkörpers, Anm. d. V.) solange geschlossen, bis die Fallgeschwindigkeit die Überlaufgeschwindigkeit übersteigt und das Aufreißen der Wasserhaut einsetzt. Dabei wird aber auch die Kohäsion in den parallelen Strombahnen wirksam. Die äußeren Kanten der Wasserwand verengen sich nach unten und die Zwischenfläche löst sich in einzelne Wasserzöpfe und grobe Flocken auf.“ (Darstellung 8 C, Anm. d. V.)

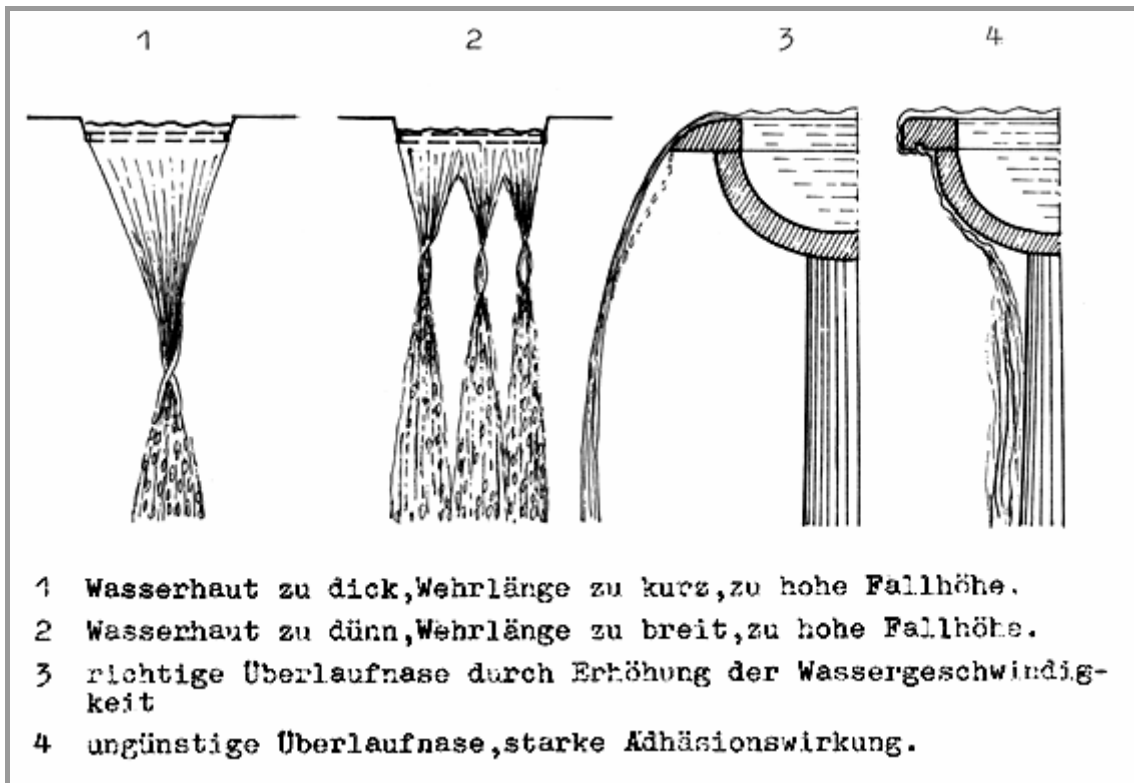
An anderer Stelle: „Die Adhäsion hält das Wasser solange an der Plastikfläche (Überlaufkörper, Anm. d. V.) fest, bis das Wassergewicht die Anhaftkraft übersteigt und in freien Fall übergeht.“

CROCKER (3/1987: 206) beschreibt die Möglichkeit, das Verjüngen eines 7-10 m langen Wasserschleiers zu verringern, indem er den Überlauf besonders ausformt. Die Seiten werden abgesenkt, damit mehr Wasser über die Seitenbereiche fließt und den Kohäsionskräften im Randbereich entgegen gewirkt wird (Darstellung 9).



Darstellung 9: Ausbildung des Überlaufkörpers mit abgesenkten Seitenbereichen, CROCKER (3/1978: 206)

Die Folgen von Adhäsion und Kohäsion verdeutlicht ORTMAIR (1974: 33) anhand von vier Beispielen verschiedenen Fließverhaltens und ihrer möglichen Ursachen (Darstellung 10). Zu den Skizzen 3 und 4 in Darstellung 10 schreibt ORTMAIR (1974: 33-34), ein senkrechter Überlaufkörper bewirke, dass die Wasserwand nach innen zur Beckenwand zusammengezogen werde und bei einem kurzen Überlaufkörper das Wasser an der Beckenwand nach unten liefe. „Schon seit der Antike werden die Überlaufnasen bogenförmig ausgebildet, mit einer möglichst scharfen Abrisskante. Die günstigste Krümmung ist der 1/8 Kreisbogen, der auch noch in Stein oder Kunststein hergestellt werden kann, ohne dass die Kante zu empfindlich gegen Beschädigung oder Verrottung wird. Je länger die gekrümmte Fläche der Überlaufnase ist, desto größer wird die Fließgeschwindigkeit an der Abrisskante sein und desto weiter wird die Wasserwand von der Plastik oder Beckenwand hinausgetragen. Durch eine reichliche Bemessung des Vorsprungs der Nase erzielt man eine Sicherung gegen das Zurückdrücken der Wasserwand durch Winddruck.“



Darstellung 10: Wechselwirkungen zwischen Adhäsion, Kohäsion und Wasserfilmhöhe, ORTMAIR (1974: 33)

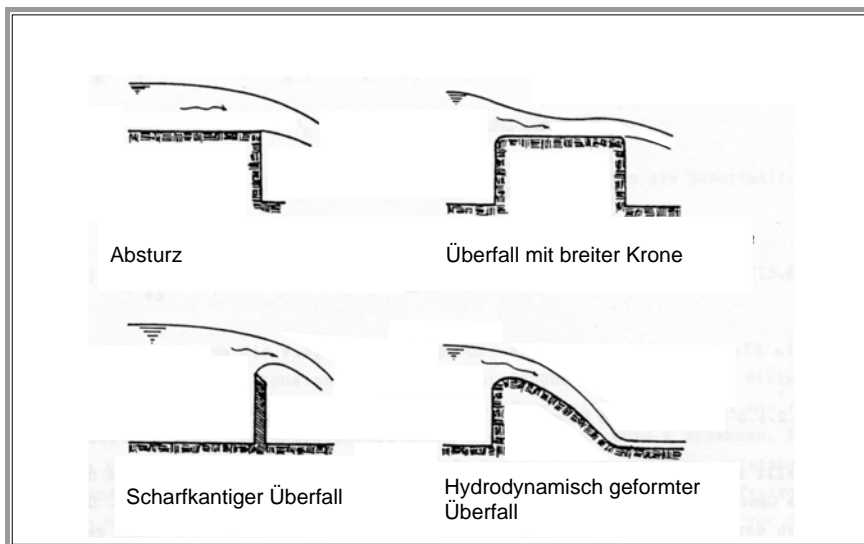
Abweichend von den Erklärungen ORTMAIRS sind die Ursachen für das abgebildete Fließverhalten des Wasserfilms in den Bildern 1 und 4 (Darstellung 10) nach den eigenen Erfahrungen (AHNER & SEEGERT 1998) vor allem in einer nicht ausreichenden Wasserfilmhöhe für eine gewünschte Wasserschleierlänge zu sehen, wodurch ein Anhaften des Wasserschleiers am Überlaufkörper und ein Abfließen an der Wand entsteht. In diesem Fall wirken die Adhäsionskräfte gegen das Bestreben des Wassers sich von der Kante des Überlaufkörpers zu lösen.

AHNER & SEEGERT (1998) stellen fest, dass die Adhäsionskräfte besonders bei geringer Wasserfilmhöhe bei einem viertelkreisförmigen Überlaufkörper deutlich mehr Einfluss auf den Wasserschleier haben als bei jedem anderen Überlaufkörper.

SCRIVENS (9/1988: 69) weist darauf hin, dass bei geringen Fließgeschwindigkeiten der Abrisspunkt immer überhängen sollte, so dass ein Abfließen an der Wand verhindert wird. Er schlägt eine abschüssige Rampe zum Abrisspunkt vor, um die Fließgeschwindigkeit zu erhöhen.

### 2.1.3 ABSENKUNG DES WASSERFILMS VOR DEM ÜBERLAUF UND VERÄNDERUNG DER FLIEßGESCHWINDIGKEIT

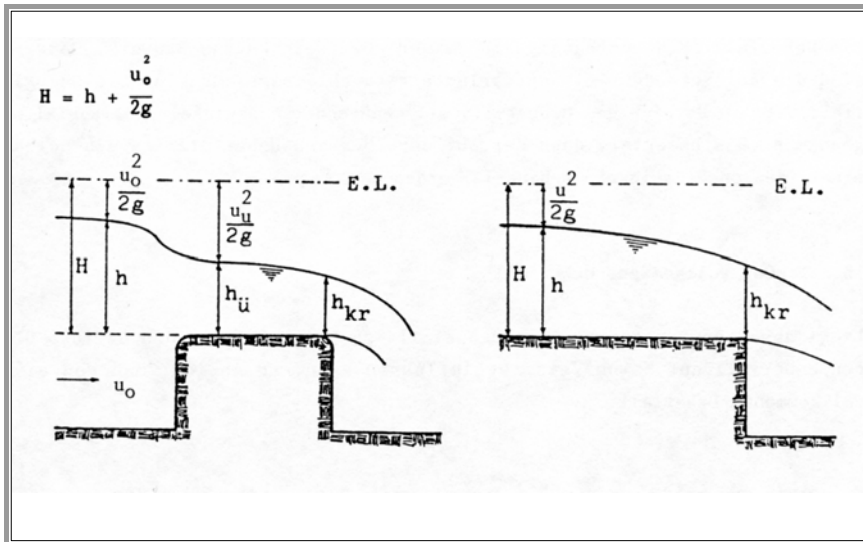
Nach SCHRÖDER et al. (1994: 183) ist die Wasserspiegelhöhe in einem Becken mit einem Überlauf nicht konstant gleich hoch. Schon vor dem Überlaufkörper senkt sich der Wasserspiegel ab, da das Wasser schneller zu fließen beginnt. Die Wasserfilmdicke nimmt auch nach dem Überfließen des Überlaufkörpers bis zum Auftreffen im Auffangbecken immer weiter ab. Im Wasserbau wird die Absenkung des Wasserspiegels als Strahlabsenkung bezeichnet. Es ist dort allgemein bekannt, dass sie von der Ausformung des Überlaufes beeinflusst wird (Darstellung 11). Für die differierenden Absenkungen werden Überfallbeiwerte/Überfallkoeffizienten benannt.



Darstellung 11: Strahlabsenkung in Abhängigkeit des Überlaufkörpers, DRACOS (1990: Kapitel 15.2, Fig.15.5)

DRACOS (1990: Kapitel 15.2, Kapitel 7) beschreibt das Überfließen der Überlaufkörper. Je nach Ausformung des Überlaufkörpers, ob schwach oder stark geneigt, ob gerundet oder scharfkantig, gibt es jeweils unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten, die auf den Wasserfilm wirken.

Die Fließgeschwindigkeit erhöht sich beim Überfließen des Überlaufkörpers gegenüber der Fließgeschwindigkeit vor dem Anstau, da neben der Strömungsgeschwindigkeit an der Absturzkante auch noch die Erdbeschleunigung auf den abstürzenden Wasserfilm wirkt. Dies führt zur Verringerung der Wasserfilmdicke, was wiederum erheblichen Einfluss auf das Erscheinungsbild des Wasserschleiers hat.



Darstellung 12: Abstürze und Überfälle mit breiter Krone, DRACOS (1990: Kapitel 15.2.1.2, Fig.15.7 - Dracos arbeitet statt mit Seitenzahlen mit Kapitelabschnitten)

DRACOS verdeutlicht die Absenkungen der Wasseroberfläche in Abhängigkeit der jeweiligen Überfallausbildung bei breitkronigen Überlaufkörpern (Darstellung 12). Er stellt eigene Berechnungen für den Volumenstrom an einem breitkronigen Überfall an (Darstellung 13).

$$h_k = \frac{2}{3} \cdot H \quad , \quad u_k = \sqrt{g \cdot h_k} = \sqrt{\frac{2}{3} \cdot g \cdot H}$$

Der Volumenstrom ist  $Q = u_k \cdot h_k \cdot b$ ,  $b$  = Breite des Ueberfalls.

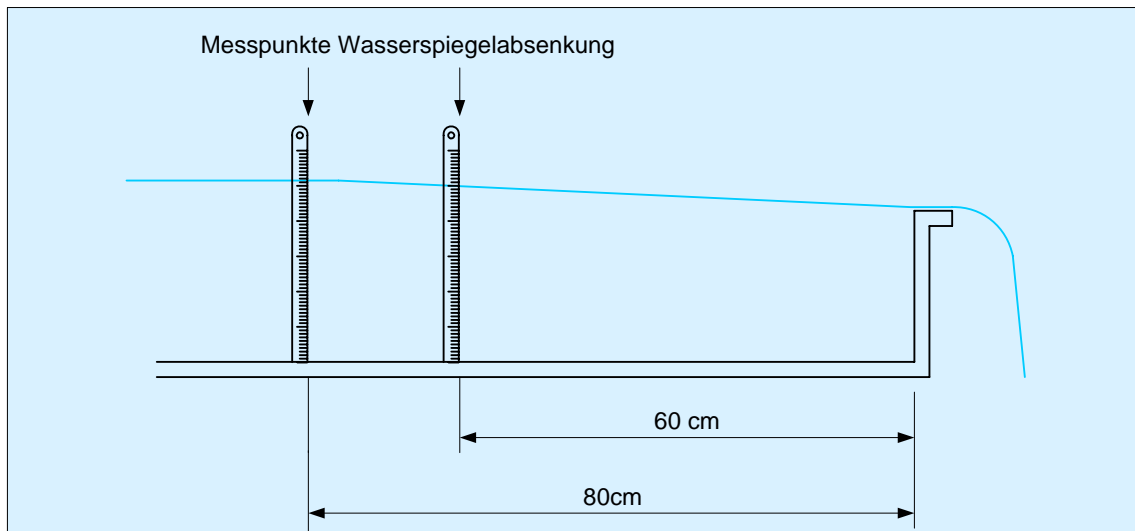
Setzt man die vorher gerechneten Grössen ein, so bekommt man die Ueberfallformel von Belanger:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}^{3/2}$$

Darstellung 13: Überfallformel nach BELANGER aus DRACOS (1990: Kapitel 15.2.1.2 Fig. 15.8)

Es gibt unterschiedliche Ansichten darüber, an welchem Punkt die Wasserspiegelabsenkung im Tosbecken beginnt (Strahlabsenkung). Nach verschiedenen Lehrbüchern der Wasserwirtschaft, des Wasserbaus und der Hydraulik (RÖSSERT 1969, SCHRÖDER 1994, DRACOS 1990) liegt dieser Punkt oberhalb des Überlaufkörpers (Wehrs) im Tosbecken. Die Entfernung zum Überlaufkörper entspricht drei bis viermal der Höhe ( $H$ ) des Überlaufkörpers. Ist  $H$  beispielsweise 20 cm hoch, so liegt dieser Punkt 60-80 cm vor dem Überlaufkörper (Darstellung 14).





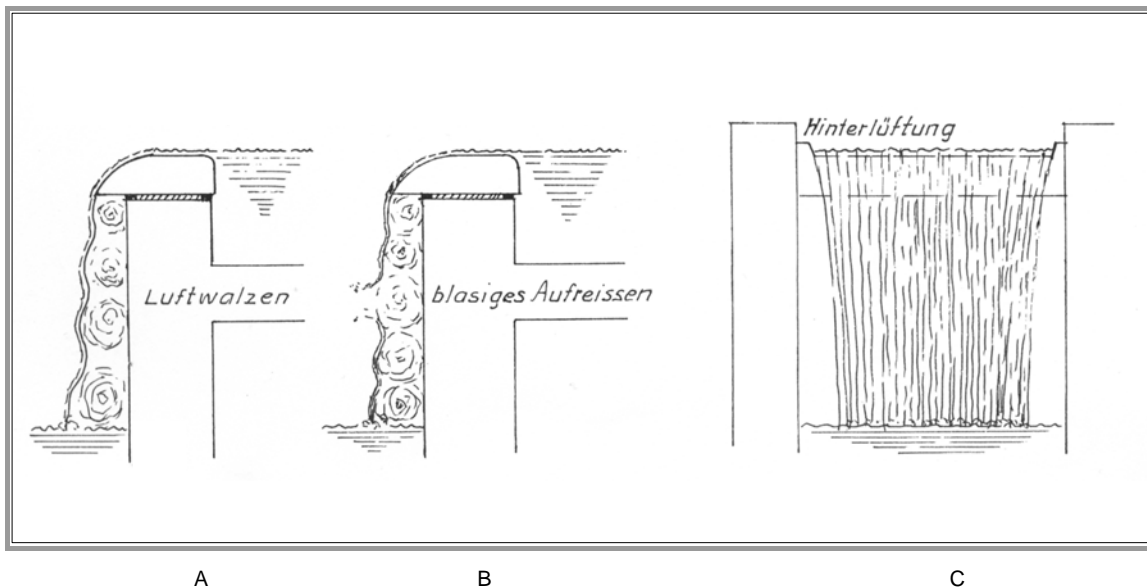
Darstellung 14: Prinzipskizze der Wasserspiegelabsenkung

AURAND (1991: 133) unterscheidet den breitkronigen Überlaufkörper von den anderen zuvor erwähnten vier Überlaufkörpern durch die sich deutlich ändernde Wasserfilmhöhe. Einzig bei diesem breitkronigen Überlaufkörper sieht er eine Strahlabsenkung bis zur Abrisskante, alle anderen Ausbildungen an Überlaufkörpern weisen seiner Meinung nach keine Strahlabsenkung auf.

CROCKER (4/1987: 324) dagegen schlägt einen Messpunkt vor, der viermal der Wasserfilmdicke über dem Überlaufkörper entspricht und in dieser Entfernung vor dem Überlaufkörper liegt. Seine Wasserfilmhöhen und dazugehörigen Durchflussmengen misst er folglich nicht direkt über dem Überlaufkörper sondern in dem zuvor beschriebenen Abstand.

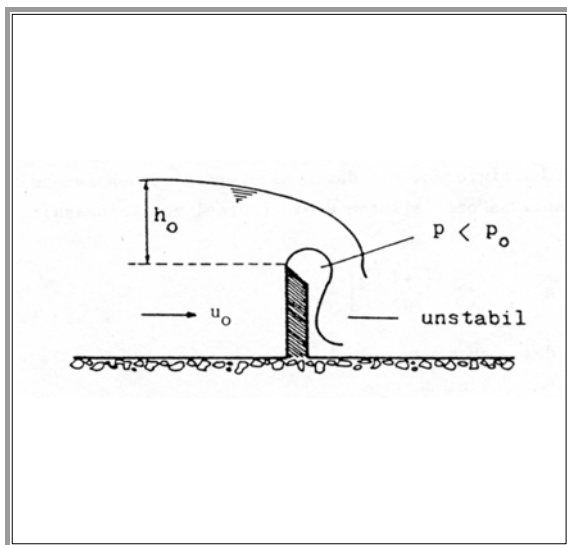
#### 2.1.4 Wasserschleierlängen, Wasserfilmhöhen und Wasserbedarf

ORTMAIR (1974: 100) merkt an, dass Wasserwände nur eine begrenzte geschlossene Länge haben können, da im Zwischenraum zwischen Wasserschleier und Beckenwand ein Unterdruck erzeugt wird, in dem Luftwalzen entstehen (Darstellung 15 A). „Die wechselnden Unter- und Überdrücke lassen die Wasserhaut des Wasserschleiers, je nach Stärke, mehr oder weniger flattern. Etwa ab 60 cm Fallhöhe treten bereits Wellungen im unteren Bereich der Wasserhaut auf. Von etwa 100 cm aufwärts bilden sich blasenförmige Ausbauchungen (Darstellung 15 B) und eine störende Geräuschkulisse. Der ganze Überfall beginnt zu dröhnen, insbesondere, wenn die Seitenkanten an Wänden anliegen.“



Darstellung 15: Hinterlüftung des Wasserschleiers, ORTMAIR (1974: 30)

DRACOS beschreibt dies Phänomen so: „Wird die Unterseite des Überfallstrahles nicht belüftet, so wird die anfänglich zwischen Strahl und Wand sich befindende Luft durch das fließende Wasser mitgerissen. Es entsteht eine Unterdruckzone und der Strahl wird gegen die Wand gezogen und beginnt zu oszillieren“ (vgl. Darstellung 16).



Darstellung 16: Die Fließrichtung des Wasserschleiers wird durch den Unterdruck hinter dem Wasserschleier bedingt, DRACOS (1990: Fig. 15.10)

Auch CROCKER (3,1987: 325) beschreibt den Unterdruck zwischen Wasserschleier und Rückwand. Er stellt fest, dass dadurch der Wasserschleier zu zittern, zu flattern und ein Geräusch erzeugt, das er als 'womping' beschreibt. Er erklärt, dass die unter Druck geratene Luft hinter dem Wasserschleier dazu tendiert, den Wasserschleier zu durchpflügen und ihn dazu zwingt, sich nach außen aufzublättern und in Tröpfchen aufzulösen.

Als Abhilfe schlägt CROCKER ebenfalls eine Seitenbelüftung vor. Allerdings haben Belüftungsversuche immer wieder ein Ausreißen des Wasserschleiers in einer Höhe von 1,5-2 m ergeben. Er warnt davor, dass die Wassergeräusche beispielsweise für ein Einkaufszentrum zu laut werden könnten, allerdings auch alle Aufmerksamkeit auf sich zögen.

ORTMAIR stellt die These auf, dass für einen komplett geschlossenen Wasserschleier von 60 cm Länge der Wasserfilm an der Abrisskante eine Höhe von 6 mm haben muss. Entsprechend werden für 80 cm geschlossenen Wasserschleier 8 mm Wasserfilm an der Abrisskante und für 100 cm geschlossenen Wasserschleier 10 mm Wasserfilm benötigt. Er schreibt weiterhin, dass eine Überfallhöhe (*h<sub>ü</sub>*) von 5-10 mm, je nach Form und Glätte der Überlaufnase, eine geschlossene Wasserschleierhöhe von 30-80 cm gewährleistet und dass 10-20 mm schon eine Wasserschleierhöhe von 80-150 cm zulassen. Überlaufhöhen von 20-30 mm ermöglichen geschlossene Wasserschleierhöhen bis 230 cm.

SCRIVENS (9,1988: 69) stellt die These auf, dass bei exakter Ausformung einer metallischen Überlaufkante und einem 5 mm hohen Wasserfilm ein 50 cm langer, klarer Wasserschleier erzeugt werden kann.

AHNER & SEEGERT (1998) haben mit 9 mm Wasserfilmhöhe 137 cm Wasserschleierlänge erzielt und mit 11 mm Wasserfilmhöhe eine Wasserschleierlänge von 156 cm.

CROCKER (4/87: 324) nennt eine Mindestwasserfilmhöhe von 12 mm pro Meter Überlaufbreite für einen 1 m langen Wasserschleier, was einer Durchflussmenge von 2,5 l/s entspricht (vgl. Tabelle 2).

Wasserschleierlänge (m)	Wfh vor der Krone (mm)	Durchfluss (l/s)
1	12	2,48
1,5	15	3,5
2,0	15	3,5
2,5	20	5,36
3,0	30	9,87
3,5	40	15,2
4,0	50	21,25

Tabelle 2: Wasserschleierlänge und Wasserbedarf, CROCKER (1987)

Wie schon unter 2.1.3 erwähnt, geht CROCKER davon aus, dass sich der Wasserspiegel bereits vor der Überlaufkante absenkt. Er misst die Wasserfilmhöhe deshalb in einem Abstand vor dem Überlauf, der vierfach der Wasserfilmhöhe auf dem Überlaufkörper entspricht. In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die Werte CROCKERS für den Wasserfilm auf der Krone und für die entsprechende Durchflussmenge gegenübergestellt.

Wfh vor der Krone (mm)	Durchfluss (l/s)	Wfh vor der Krone (mm)	Durchfluss (l/s)
1	0,06	16	3,84
2	0,17	17	4,21
3	0,31	18	4,59
5	0,67	19	4,98
6	0,88	20	5,37
7	1,11	21	5,78
8	1,36	22	6,20
9	1,62	23	6,63
10	1,90	24	7,06
11	2,19	25	7,51
12	2,50	26	7,79
13	2,82	27	8,42
14	3,15	28	8,90
15	3,49	29	9,87

Tabelle 3: Wasserfilmhöhen (Wfh) und Wasserbedarf, Tabellenauszug, CROCKER (1987: 324)

ORTMAIR (1974) erachtet Wasserfilmhöhen von über 20-30 mm für den Springbrunnenbau als unwirtschaftlich. Er beschreibt, dass eine Wassermenge, die sich aus der Summe der Wasserbeckenfläche multipliziert mit der Überlaufhöhe zusammensetzt, nach Abschalten der Pumpe sich oftmals als Wasserverlust in den Kanal ergießt und folglich beim Anschalten der Pumpe neu zugeführt werden muss. Er stellt einige Zahlenbeispiele auf für das Verhältnis von Wasserfilmhöhe und benötigter Wassermenge pro Stunde und pro Meter Überlauf. Die Herkunft dieser Annahmen ist nicht bekannt. Die Tabelle 4 stellt die Werte von CROCKER und ORTMAIR nebeneinander. Beide Autoren kommen zu sehr ähnlichen Ergebnissen.

Wasserbedarf pro m Überlaufbreite (m³/h) für Wasserfilmhöhen von 3 -10 mm		
Wfh über Krone (mm)	CROCKER	ORTMAIR
3	1,12	1,05
5	2,42	2,24
7	4,01	3,70
10	6,84	6,13

Tabelle 4: Durchflussmengen und Wasserfilmhöhen (Wfh), CROCKER (1987) und ORTMAIR (1974)

SCRIVENS (9/1988: 69) nennt als Faustformel pro zusammenhängendem Meter Wasser-schleierlänge eine Wasserfilmhöhe von 2 mm.

### 2.1.5 ZUSAMMENFASSUNG

AURAND, CROCKER, ORTMAIR und AHNER & SEEGERT favorisieren völlig unterschiedlich ausgeformte Überlaufkörper für die Erzeugung eines gläsernen, glatten und langen Wasserschleiers. Sie reichen von einem Überlaufkörper mit 30° Winkel, über einen 10° Anlauf mit einem Radius an der Absturzkante, bis zu einem Achtelkreis. Im Gegensatz dazu stehen die Versuchsreihen AHNER & SEEGERT (1997), die einen rechtwinkligen Überlaufkörper als am besten geeignet erachten, um einen glatten, klaren Wasserschleier zu erzielen.

Kohäsion und Adhäsion sowie ihr Einfluss auf den Wasserfilm sind von ORTMAIR diskutiert und anhand von Zeichnungen erläutert worden. Die Ergebnisse der Versuchsreihen von AHNER & SEEGERT (1997) geben allerdings Grund zu der Annahme, dass die Ursachen für die strahlförmigen Bilder vor allem in einer Kombination von zu geringen Wasserfilmhöhen und zu hohen Fallhöhen zu suchen sind.

Konträre Meinungen treten auch bei der Frage der Wasserspiegel-Absenkung vor dem Überlauf auf. Während AURAND der Ansicht ist, sie wäre nur bei einem breitkronigen Überlauf anzutreffen, beschreibt DRACOS für jeden Überlaufkörper eine Absenkung des Wasserspiegels.

Einig sind sich die Autoren lediglich darüber, dass ein Unterdruck zwischen Wasserschleier und dahinter liegender Wand auf jeden Fall zu vermeiden ist, da dies den Wasserschleier zum Aufreißen bringt. Differenzen gibt es auch bei den Mindestangaben zu Wasserfilmhöhen für bestimmte Wasserschleierlängen. Es hat den Anschein, als würden die Autoren eher zu geringe Wasserschleierlängen angeben, um auf jeden Fall sicher zu gehen. AHNER & SEEGERT konnten mit geringeren Wasserfilmhöhen längere Wasserschleier erzielen. Es ist jetzt zu klären, ob das eventuell auch an der verwendeten Form des rechtwinkligen Überlaufkörpers liegt.

Bei der Frage nach Durchflussmengen pro Stunde, die zur Erzielung bestimmter Wasserfilmhöhen benötigt werden, liegen die Werte von CROCKER und ORTMAIR nah beieinander. Sie sollen in den weiteren Untersuchungen überprüft werden.

Die bisherigen Erkenntnisse aus der Literatur belegen, dass mehrere Faktoren einen Einfluss auf das Wasserbild des Wasserschleiers ausüben. Hauptfaktoren sind die Ausbildung des Überlaufkörpers, die Wasserfilmhöhe und die Anströmungs-Geschwindigkeit. Weitere Rahmenbedingungen bilden die Fallhöhe, die Ausbildung des Randes und der Unterdruck hinter dem Wasserschleier.

## **2.2 WASSERBILDER AN WASSERTREPPEN**

In der Literatur wird sehr selten über Wassertreppen berichtet. PLUMPTRE (1995: 54) verweist auf Beispiele von Wassertreppen aus der Renaissance wie beispielsweise im Garten der 'Villa Garzoni' oder im Garten des 'Château de la Villette', ohne ins technische Detail zu gehen.

Für MEYER & RIES (1904, Reprint o.J.: 202) sind Wassertreppen wasserdicht gehaltene Treppen und integraler Bestandteil eines Gesamtelements. Wasser gelangt so von einem Niveau auf ein tiefer liegendes. Als berühmtes Beispiel nennt er die Kaskade von St. Cloud. Detailskizzen, wie sie in seinem Werk 'Gartenkunst in Wort und Bild' beispielsweise zu den technischen Details von Springbrunnen zu finden sind, gibt es zu diesem Thema mit Ausnahme eines Schnittes nicht.

### **2.2.1 MINDESTWASSERFILMHÖHEN UND DAS VERHÄLTNIS VON AUFTRITT ZU STEIGUNG**

Detailaussagen zum Schwerpunkt Wassertreppen wurden in englischsprachigen Fachzeitschriften und Fachbüchern gefunden. Die Autoren, die sich schon zum Wasserbild des Wasserschleiers geäußert haben, machen ebenfalls Aussagen zu Mindestwasserfilmhöhen und zum Stufenverhältnis an Wassertreppen.

AURAND (1991: 136,137) fordert für luftreiche, wasserfallähnliche Effekte auf Wassertreppen eine Wasserfilmhöhe von mindestens 1/8 Inch über der obersten Treppenstufe für jeden Inch Stufenhöhe. Das entspricht 0,125 cm pro cm Stufenhöhe.

Für einen turbulenten, schäumenden Effekt schlägt er als Minimum einen Wasserfilm von 5 Inch (ca.12,7 cm) über der ersten Stufe vor. Dabei soll das Verhältnis von Stufenauftritt und Stufenhöhe möglichst 1:1 betragen. Wenn dieses Verhältnis nicht eingehalten werden kann, sollte ein Verhältnis von Stufenauftritt zu Stufensteigung von 1:1,25 nicht überschritten werden.

Wie AURAND ist auch SCRIVENS (9, 1988: 69) der Meinung, dass ein gleichwertiges Verhältnis von Auftritt und Steigung zu wählen ist. Abweichend von AURAND darf der Auftritt bei SCRIVENS etwas größer als die Steigung ausfallen. Einig sind sich beide Autoren, dass der Wasserschleier nur auf den ersten ein bis zwei Stufen glatt ist und danach turbulent zu fließen beginnt. Als Faustregel zur Dimensionierung der Wasserfilmhöhe fordert SCRIVENS 10 % der Stufenhöhe der ersten Stufe, mindestens aber 10 mm.

## **2.2.2 EINSPEISUNG DES WASSERS IN DAS TOSBECKEN**

ORTMAIR (1974) nennt als Grundvoraussetzung für die Wassertreppe eine gleichmäßige und schwallfreie Zuleitung der Wassermenge auf der gesamten Länge der ersten Überlaufkante der Treppe. Eine Betonrinne zur Wasserverteilung hinter der obersten Stufe hat sich seiner Meinung nach besonders bewährt. Die Druckleitung sollte horizontal von der Seite zugeführt werden. Dabei sollte eine Fließgeschwindigkeit von  $v = 0,5-0,8$  m/s nicht überschritten werden. Wenn die Zuleitung nur von unten möglich ist, sollte nach ORTMAIR mit Prallplatten über den Auslässen gearbeitet werden. Er weist besonders darauf hin, in der Verteilerrinne (25 cm x 25-30 cm x entsprechender Länge) ein Gefälle in der Rinnenmitte zur Entleerung vorzusehen. In dieser Prägnanz ist er der Einzige, der sich zu den technischen Details äußert.

Ein weiteres Augenmerk legt er auf die Gestaltung der Zulauf Rinne, um Verschmutzung und auch Tiereinschlupf möglichst gering zu halten. Bei bodenbündigen Rinnen empfiehlt er eine Abdeckung aus 3 mm Edelstahl, Bronze oder kunststoffbeschichtetem Stahl. Der Austrittsschlitz soll wegen des Kleintiereinschlupfes maximal 2 cm breit sein. Die Abdeckplatte erhält im Abstand von 50 cm Auflagestege von 2 cm Höhe zur Abstützung des Auflagegewichtes. Die Platte wird auf der seitlichen und rückwärtigen, 2 cm höheren Wange der Betonrinne auf einem dauerelastischen Kittstreifen aufgeschraubt.

CROCKER (4,1987: 330) schlägt für Wassertreppen eine scharfkantige Metallkante an der Oberkante der obersten Stufe vor. Der erste Auftritt sollte 50 mm breit und 25 mm tief ausgehöhlt sein. Er begründet diese Ausbildung des Auftritts als eine Art 'Energiefalle', die das fallende Wasser daran hindert, nach außen zu springen. Flache Stufen erscheinen ihm besonders geeignet, einen luftreichen Effekt zu erzeugen.

## **2.2.3 ZUSAMMENFASSUNG**

Aus der Literaturrecherche ergeben sich unterschiedliche Aussagen, wie das Stufenverhältnis zu wählen ist und in welchem Größenbereich es liegt. Eine genauere Prüfung dieser Frage soll anhand von Objektbeispielen vorgenommen werden. Auch soll der Frage nachgegangen werden, ob an Objektbeispielen ausgehöhlte Stufen, wie CROCKER sie empfiehlt, anzutreffen sind oder ob es auch andere Ausgestaltungen der ersten Stufe gibt.

Mehrere Faktoren üben einen Einfluss auf das Wasserbild aus. Dazu zählen die Proportion, also das Verhältnis zwischen Auftritt und Steigung, die Wasserfilmhöhe und die Neigung der Treppe.

## **2.3           *Objektbeispiele***

In der Literatur werden unterschiedliche Standpunkte zu den technischen Details der Überlaufkörper und zu Wasserschleiern vertreten. Beispielsweise gibt es unterschiedliche Auffassungen darüber, wie ein Wasserschleier entsteht, wieso er teilweise an der Rückwand anhaftet und dort abläuft, ob eine Tropfnase nötig ist oder nicht und in welcher Weise der Überlaufkörper ausgestaltet sein sollte, um ein bestimmtes Erscheinungsbild zu produzieren.

Um diese unterschiedlichen Aussagen an Praxisbeispielen überprüfen zu können, wurde in der Literatur nach geeigneten Objekten im In- und Ausland gesucht. Eine begrenzte Zusammenstellung der Brunnen mit dem Wasserbild des Wasserschleiers oder Wasserbildern an Wassertreppen erfolgte zudem durch Hinweise aus Brunnenlisten von Hochbau-, Grünflächen- und Stadtplanungsämtern. Referenzlisten von mit Wasser gestaltenden Landschaftsarchitekturbüros und des Technikbetriebes 'Aquaform' wurden dabei zusätzlich berücksichtigt.

Aus pragmatischen Gründen wurden Orte zur Überprüfung der Objektbeispiele bereist, in denen mehrere Anlagen mit den zu untersuchenden Wasserbildern zu finden sind. Insbesondere an Banken und Versicherungen gibt es vielfältige Objektbeispiele.

Ziel ist es, einen Überblick über die verschiedenen Bauweisen zu gewinnen, Abhängigkeiten oder Vergleichbares in den Anlagen herauszufinden, um Gesetzmäßigkeiten ableiten zu können. Dazu bedarf es der genauen Kenntnis der technischen Umsetzung, die aus der Literatur nicht eindeutig hervorgeht.

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse zu den bereisten Anlagen vorgestellt. Es wurden neben der Lage der Wasseranlage, BauherrIn, KünstlerIn und Baujahr auch das Material, Farbe, Oberflächenbeschaffenheit, Typus der Anlage, die Wasserfilmhöhen und weitere messtechnische Details erfasst. Bei Wasserschleiern wurden die Ausbildung des Überlaufkörpers und Besonderheiten des Wasserbildes dokumentiert. An Wassertreppen wurden Stufenhöhen, Auftrittstiefen, Auftrittsgefälle und Neigungen der Stufen erfasst.

Bei einigen Anlagen gab es Schwierigkeiten in der Zugänglichkeit und der Datenerhebung. Gerade in Paris war es teilweise untersagt, Aufnahmen der Objekte zu machen oder Messungen vorzunehmen. Zudem führten auch technische Probleme innerhalb der Wasseranlagen dazu, dass Daten wie Wasserfilmhöhen, Wasserschleierlängen etc. nicht erhoben werden konnten.



### 2.3.1 OBJEKTE MIT ÜBERLAUFKÖRPERN – ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Die nachfolgenden Beispiele stellen eine Auswahl der bereisten Objekte mit dem Wasserbild des Wasserschleiers dar:



Kaskaden, Münchner Freiheit, München  
gestaltet von Duwenhöger, Zangenberg & Räder  
im Jahre 1972

Abbildung 1: Kaskade an der Münchner Freiheit



Wasserschleier im Parc de la Villette am Cité  
des Sciences et de L' Industrie, Paris  
gestaltet von Bernard Tschumi im Jahre 1985

Abbildung 2: Wasserschleier im Parc de la Villette



Jardin des Halles, Paris  
gestaltet von Louis Arretche im Jahre 1988

Abbildung 3: Wasserschleier im Jardin des Halles



Wassertisch im Parc Moulin de la Pointe, Paris  
gestaltet von Gilles Vexlard & Laurence Vacherot  
im Jahre 1990

Abbildung 4: Wassertisch im Parc Moulin de la Pointe



Felsenbrunnen, Schweitzer Platz, München  
gestaltet von Magdalena Jetélova im Jahre 1992

Abbildung 5: Felsenbrunnen auf dem Schweitzer Platz



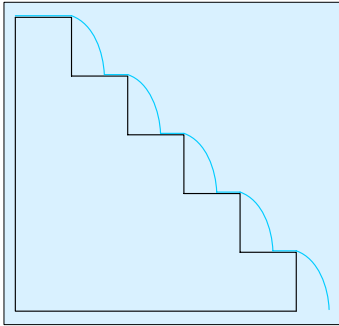
VTG- Hammerbrook, Hamburg  
gestaltet von Wehberg, Eppinger & Schmitke im  
Jahre 1997

Abbildung 6: VTG- Hammerbrook

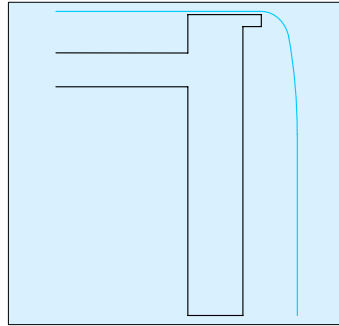
Ausführliche Beschreibungen zu diesen Anlagen befinden sich im Kapitel 9.1 (S. 208 ff.).

An den Objektbeispielen wurden verschiedene Konstruktionsmöglichkeiten zur Einbindung des Wasserschleiers beobachtet.

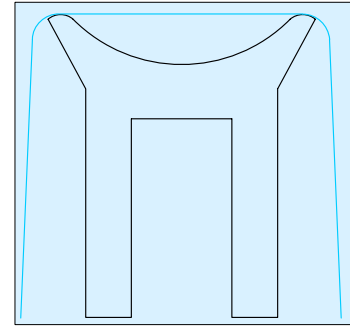
Wasserbilder des Wasserschleiers kommen an Kaskaden (Darstellung 17) vor, als Einzelobjekte an einem Wasserkunstwerk (Darstellung 18) oder als Wassertische (Darstellung 19), von deren Kanten ein glatter Wasserschleier abfließt.



Darstellungen 17: 'Kaskade'



Darstellung 18: 'Aufstau und Überlaufkörper'



Darstellung 19: 'Wassertisch'

Die Ausformungen der Anlagen mit Wasserschleiern sind sehr unterschiedlich, ebenso die Wasserfilmhöhen und die Wasserschleierlängen. Der Wassertisch im Parc Moulin de la Pointe (vgl. Tabelle 5, Nr. 4) hat mit 6 mm die geringste Wasserfilmhöhe während die Wasserschleier im Jardin des Halles mit 15 mm die höchsten haben (vgl. Tabelle 5, Nr. 3). Die Wasserfilmhöhe am Felsenbrunnen in München (vgl. Tabelle 5, Nr. 5) konnte nicht ermittelt werden, sie dürfte jedoch im gleichen Bereich liegen.

Abb.	Objekt	Wasserschleiertyp	Material	Auffälligkeiten	Absturzhöhe (cm)	Wasserfilmhöhe (cm)	Form des Überlaufkörpers
1	Kaskaden, Münchner Freiheit, München	Kaskaden	Beton und Naturstein	Rücksaugeffekt	87	10	rechtwinklig
2	Wasserschleier am Cité des Sciences et de L'Industrie, Paris	Luftreicher Wasserschleier	Granit	beabsichtigter Aufriss des Wasserschleiers	~ 400	nicht bestimmt	wellenförmig
3	Jardin des Halles, Rue Berger; Rue Rambuteau, Paris	Kaskaden	Naturstein		90	15	abgerundet
4	Wassertisch im Parc Moulin de la Pointe, Paris	Wassertisch mit Wasserschleier	Schwarzer Granit	nicht geschlossen, windbeeinflusst	107	6-7	gerundet
5	Felsenbrunnen Schweitzer Platz Fürstenried-West, München	Klarer Wasserfall	Graugrüner Quarzit	150 cm langer geschlossener Wasserfilm	~ 500	nicht bestimmt	scharfkantig
6	VTG- Hammerbrook, Hamburg	Wassertisch mit Wasserschleier	Edelstahl	Windverwehungen	100	7	gerundet

Tabelle 5: Ergebnisse der Messungen zu Wasserschleiern

Die Anlagen haben verschiedene Grundvoraussetzungen und sind somit nicht direkt miteinander vergleichbar. Auffällig ist, dass alle Wasserschleier stark vom Wind beeinflusst werden, bei exponierter Lage leicht aufreißen und es den Rücksaugeffekt auch bei nicht gerundeten Überlaufkörpern gibt (vgl. Kapitel 9.1, Objektbeschreibung, S. 208 ff.).

Aufgrund der unterschiedlichen Wasserfilmhöhen und Stufenverhältnisse können anhand der Praxisbeispiele allein noch keine Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden.

Die Eindrücke aus den Objektbeispielen werfen drei Hauptfragen zur Gestaltung des Wasserbildes eines Wasserschleiers auf:

1. Wie sollte der Überlaufkörper ausgeformt sein, um einen glatten Wasserschleier zu erzeugen?
2. Gibt es eine minimale Wasserfilmhöhe, die notwendig ist, um einen Wasserschleier zu erzeugen?
3. Welche minimalen Wasserfilmhöhen werden für welche geschlossenen Wasserschleierlängen benötigt? Ist es möglich Faustzahlen aufzustellen?  
Welche Faktoren spielen dabei eine Rolle?

Anhand der eigenen Erfahrungen stellen sich für die Verfasserin folgende weitergehende Fragen:

4. Welche Rolle spielt das Tosbecken für das Wasserbild?
5. Welche Arten der Wasserberuhigung im Tosbecken sind nötig und effektiv?
6. Welchen Einfluss haben Anströmrampen auf den Wasserschleier?
7. Ab welcher Wasserfilmhöhe ist die Adhäsionskraft zu vernachlässigen?
8. Wie kann ein über seine gesamte Höhe gleichmäßig breiter Wasserschleier erzeugt werden?
9. Lässt sich das Aufreißen des Wasserschleiers verzögern?

### 2.3.2 OBJEKTE MIT WASSERTREPPEN – ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Die nachfolgenden Objektbeispiele stellen eine Auswahl der bereisten Objekte mit Wasserbildern an Wassertreppen dar:



Invalidenpark, Berlin  
gestaltet von Christophe Girot für die Stadt  
Berlin in den Jahren 1993-97

Abbildung 7: Wassertreppen im Invalidenpark



Zürich-Haus, Hamburg  
gestaltet von Wehberg, Eppinger & Schmittke  
für die Zürich-Versicherung  
in den Jahren 1991-92

Abbildung 8: Wassertreppe im Zürich-Haus



Hapag-Lloyd-Hof, Hamburg  
gestaltet von Wehberg, Eppinger & Schmittke  
für Hapag-Lloyd im Jahre 1995

Abbildung 9: Wassertreppe im Hapag-Lloyd-Hof





LBS-Württemberg, Stuttgart  
gestaltet von Jo Schöpfer für die LBS im Jahre  
1994

Abbildung 10: Wassertreppe der LBS-Württemberg



Reiherbrunnen, Stuttgart  
gestaltet von Fritz Melis für die Allianz-  
Lebensversicherung im Jahre 1974

Abbildung 11: Wassertreppe des Reiherbrunnens



Felsenbrunnen, Schweitzer Platz, München  
gestaltet von Magdalena Jetélova für die Stadt München  
im Jahre 1992

Abbildung 12: Wassertreppe am Felsenbrunnen,



Abbildung 13: Rindermarktbrunnen

Rindermarktbrunnen, München  
gestaltet von Prof. Josef Henselmann für die  
Stadt München im Jahre 1964

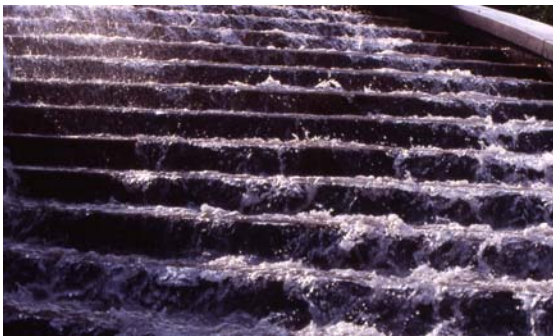


Abbildung 14: Weltkugelbrunnen

Weltkugelbrunnen, Berlin  
gestaltet von Joachim Schmettau, Susanne  
Wehland, Krusnik & Reith für die Stadt Berlin im  
Jahre 1983



Abbildung 15: Wassertreppe im Parc André Citroën

Parc André Citroën, Paris  
gestaltet von Gilles Clément & Alain Provost für die Stadt Pa-  
ris im Jahre 1992



Abbildung 16: Wassertreppenausschnitt im Parc André  
Citroën





Parc de Bercy, Paris

Entwurf von Ian Le Caisne & Philippe Raguin für die Stadt Paris in den Jahren 1992-97

Abbildung 17: Wassertreppe im Parc de Bercy



Parc André Citroën, Paris

gestaltet von Gilles Clément & Alain Provost für die Stadt Paris im Jahre 1992

Abbildung 18: Flache Wassertreppe im Parc André Citroën



Parc André Citroën, Paris

gestaltet von Gilles Clément & Alain Provost für die Stadt Paris im Jahre 1992

Abbildung 19: Steile Wassertreppe im Parc André Citroën



Parc Joan Miró, Paris,  
gestaltet von Liliane Grünig-Tribel & Francois Tribel  
für die Stadt Paris im Jahre 1993

Abbildung 20: Wassertreppe im Parc Joan Miró

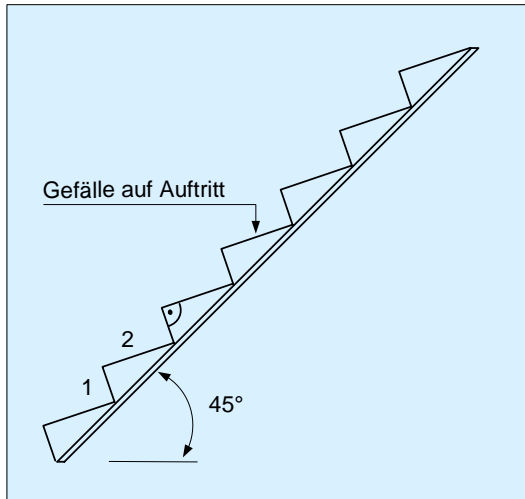
Detaillierte Beschreibungen zu diesen Anlagen befinden sich im Kapitel 9.1 (Anhang zu Kapitel 2.3, S. 213 ff.).

Die Tabelle 6 gibt einen Überblick über verschiedene Bauformen von Wassertreppen  
Es wird in Gefälle auf dem Auftritt und Neigung der gesamten Treppe unterschieden.

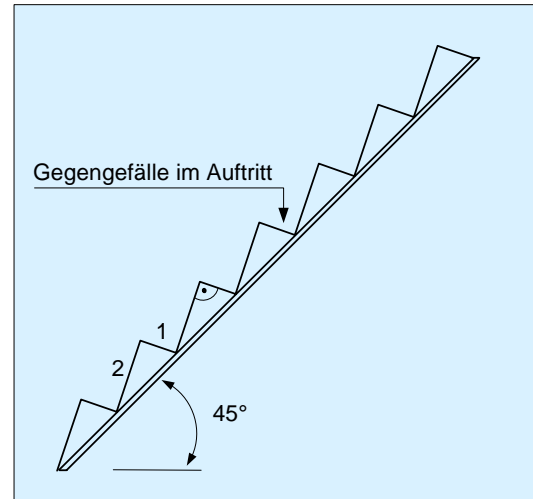
Abb.	Objektbeispiel	Treppentyp	Material	Stufenhöhe (cm)	Auftritt (cm)	Gefälle im Auftritt (%)	Neigung der Steigung (°)	Wasserfilmhöhe (mm)
7	Invalidenpark, Berlin	gestuft	hellgrauer Granit	1	27	25		3
8	Zürich-Haus, Hamburg	gestuft	weißer Granit	25 davon 5 cm freier Fall	35	0 - 2	-	3-4
9	Hapag-Lloyd-Hof, Hamburg	gestuft	grünlicher Krakauer Sandstein	16	nicht bestimmt	-	-	5
10	LBS-Württemberg, Stuttgart	gestuft	hell- und dunkelgrauer Granit	15	187	-	-	10
11	Reiherbrunnen Allianz-Versicherung, Stuttgart	gestuft, gewölbte Auftritte	grauer Granit	12	37,6	3	-	5
12	Felsenbrunnen, München	geschwungen	graugrüner Quarzit	variabel	nicht bestimmt	-	nicht bestimmt	5
13	Rindermarkbrunnen, München	gestuft	Tessiner Maggia-Gneis	25-27	100-150			wenige cm
14	Weltkugelbrunnen, Berlin	gewandelt	roter Granit	16,5	variabel, da gewandelt	Gegengefälle 4,5	-	15-20
16	Parc André Citroën, Paris	steil gestuft	dunkelgrauer Granit	100 geschätzt	2-3 (geschätzt)	-	~ 45	nicht bestimmt
17	Parc de Bercy, Paris	steil gestuft	hell-/dunkelgrauer Granit	18,5	3,1	-	27	15
18	Parc André Citroën, Paris	alternierend	Schiefer	3,6/3,7	28/42, alternierend	-	5	25
19	Parc André Citroën, Paris	geschindelt	nicht erhoben	ca 100	ca 3	-	-	-
20	Parc Joan Miró, Paris	seitwärts gekippt	-	5,5	20,5	Quergefälle 9	-	-

Tabelle 6: Ergebnisse der Messungen an Objekten mit Wassertreppen

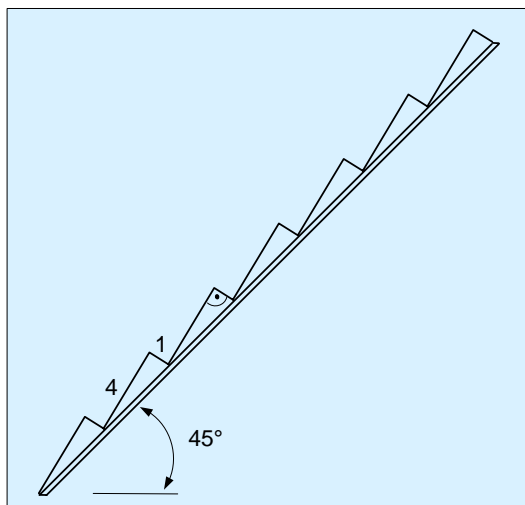
In der Tabelle 6 sind sowohl das Stufengefälle als auch die Stufenneigung angesprochen. Das Stufengefälle gibt das Gefälle auf dem Auftritt in Fließrichtung an (Darstellung 19, 20). Die Stufenneigung gibt die Neigung von Auftritt und Steigung an (Darstellung 21). Die Steigung kann wie bei den meisten begehbaren Treppen senkrecht zur Erdoberfläche erfolgen oder aber in einem anderen Winkel geneigt sein.



Darstellung 20: Prinzipskizze zu Auftritt mit Gefälle in Fließrichtung



Darstellung 21: Prinzipskizze zu Auftritt mit Gegengefälle

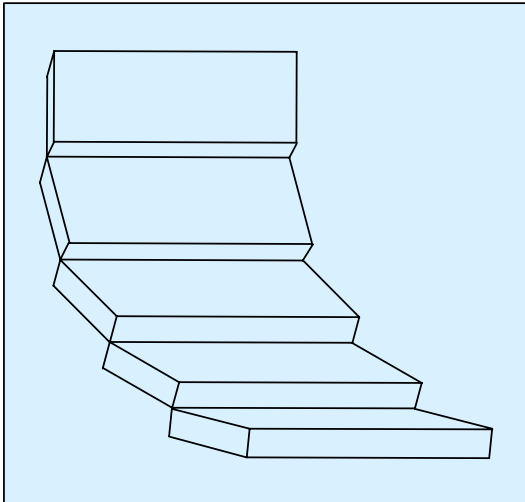


Darstellung 22: Prinzipskizze einer geneigten Treppe

Am Beispiel des Parc André Citroën (vgl. Tabelle 6, Nr.15) bedeutet dies, dass die Steigung nicht in einem 90° Winkel sondern nur in einem 45° Winkel ansteigt (Darstellung 22).

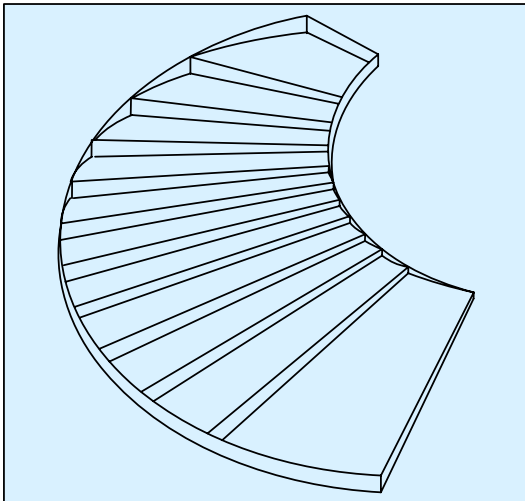
Die Höhen der Wasserfilme differieren von 3–25 mm. Die Mehrzahl liegt allerdings zwischen 5 und 15 mm. Auch die verwendeten Materialien waren unterschiedlich: Es handelte sich sowohl um raues, geschliffenes als auch um poliertes Material. Die Ergebnisse sind somit nicht miteinander vergleichbar, aber es können grundsätzliche Klassifizierungen vorgenommen werden. Die besichtigten Treppen können je nach Ausformung der Treppenstufen in acht unterschiedliche Typen unterteilt werden, die in Prinzipskizzen (Darstellung 23–30) verdeutlicht werden:

1. Unregelmäßige, einen Bogen beschreibende Stufen



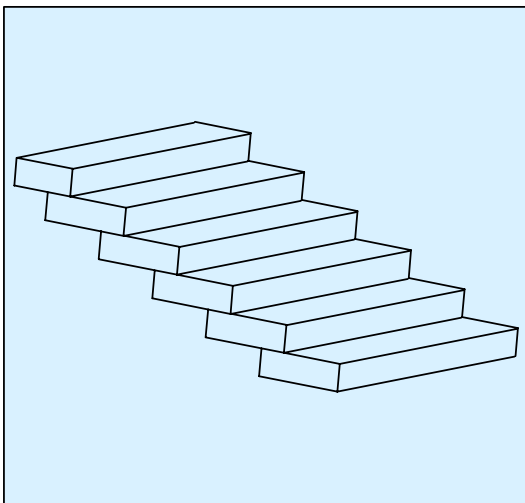
Darstellung 23: Schweizer Platz, München

2. Gewendelte Treppen hier mit Gegengefälle



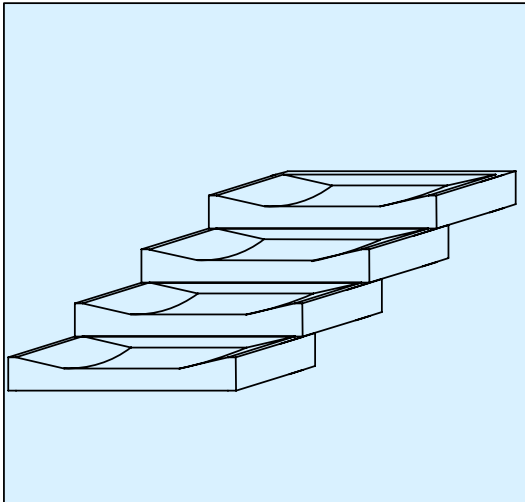
Darstellung 24: Weltkugelbrunnen auf dem Breitscheidplatz, Berlin

3. Getreppte Stufen



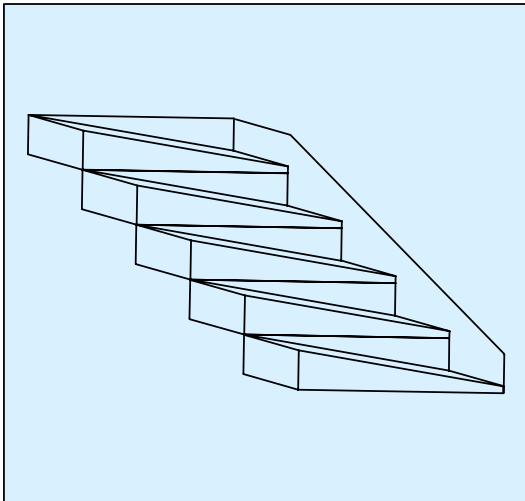
Darstellung 25: Wassertreppe der LBS Stuttgart, Stuttgart

4. Stufen mit ausgewölbten Aufritten



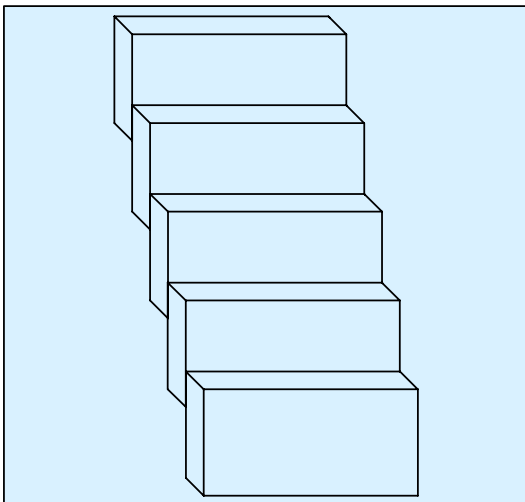
Darstellung 26: Reiherbrunnen, Allianz Stuttgart, Stuttgart

5. Stufen mit einseitigem Gefälle



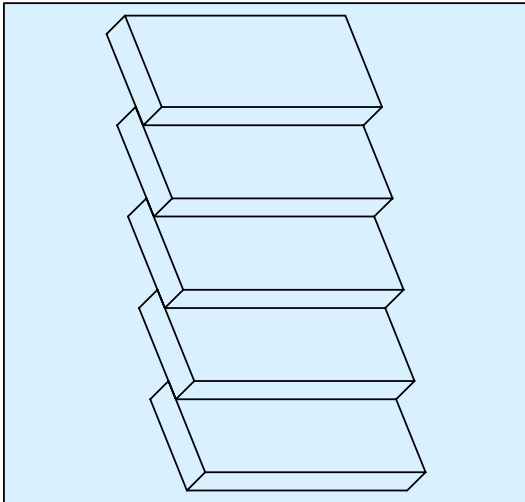
Darstellung 27: Parc Joan Miró, Paris

6. Treppen mit kurzen Aufritten und langen Steigungen



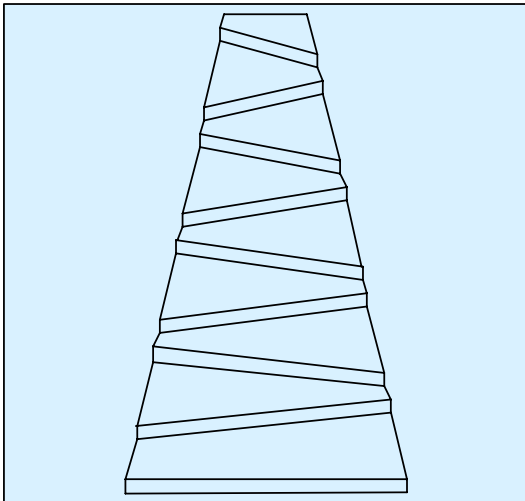
Darstellung 28: Parc de Bercy & Parc André Citroën, Paris

## 7. Getreppte Rampe



Darstellung 29: Cité des Science et de L'Industrie, Paris

## 8. Alternierende Auftrittsfolge



Darstellung 30: Parc André Citroën, Paris

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Wassertreppen in der Praxis zum überwiegenden Teil wie fußläufige Treppen ausgeformt sind. Es wurden aber auch einige Beispiele gefunden, bei denen die Steigung deutlich größer (bis zu einem Vielfachen) als der Auftritt war. Beispielsweise beträgt im Parc André Citroën in Paris die Länge der Steigung etwa 100 cm während der Auftritt nur wenige Zentimeter misst. Das daraus resultierende Wasserbild setzt sich aus fließenden und los gelöst fallenden Abschnitten zusammen. Am Übergangsbereich von Steigung und Auftritt stößt das die Steigung herabfließende Wasser gegen den Auftritt der nachfolgenden Stufe. Dort wird es umgelenkt und springt schäumend über den Absatz hinweg. Nach einigen Zentimetern freien Falls landet es wieder auf der geneigten Steigung und fließt darauf weiter hinab bis zum nächsten Auftritt. Dort springt es erneut.

Ähnlich ist auch die Treppe im Parc de Bercy in Paris aufgebaut, nur dass hier die Steigungen sehr kurz sind und das Wasser dadurch von Steigung zu Steigung springt. Ein weiß schäumendes Wasserbild überdeckt die Stufen.

Eine Besonderheit ist der als Wassertreppe ausgebildete Wasserlauf im Parc André Citroën, Paris. Diese Wasseranlage sieht zunächst wie eine Rampe aus, aufgrund der Konstruktion wird sie aber zu den Treppen gezählt. Die aus der Neigung der Treppe resultierende geringe Fließgeschwindigkeit beeinflusst das Wasserbild. Das Wasser sammelt sich vor den Auftritten, bildet viele Bläschen aus und fließt gleichmäßig. Bei drei baugleichen Treppen in den 'Seriellen Gärten' hat eine der Treppen eine geringere Wasserführung. Das Wasser fließt dort wellenförmig oder auch mäandrierend.

Die Steigungen sind trapezartig ausgeformt, so dass das Wasser an der linken Seite schneller ankommt als an der rechten und bei der nächsten Stufe umgekehrt. Das Wasser fließt in Schlangenlinien die Stufen hinunter und entwickelt eine eigene Dynamik. Diese Bewegungen fallen viel mehr ins Auge, als ein gleichmäßig fließender Wasserfilm, weil das Auge den schäumenden, eher unerwarteten Bewegungen folgt.

Viele Treppen haben auf der ersten oder den ersten beiden Stufen gläserne Wasserschleier ausgebildet, die sich weiter abwärts immer weiter auflösen.

Besonders interessante Wasserbilder scheinen zu entstehen, wenn Steigung und Auftritt in einem Verhältnis stehen, dass ein Mehrfaches des anderen darstellt. Es zeigt sich, dass sowohl die Neigung als auch die Ausbildung der Stufen das Wasserbild beeinflussen.

Für weitere Untersuchungen stellen sich 5 Hauptfragen:

1. Welche Effekte sind auf Wassertreppen erzeugbar?
2. Welche Folgen hat die Veränderung der Wasserfilmhöhe auf das Wasserbild?
3. Welche Rolle spielt die Stufenneigung für das Wasserbild?
4. Welche Rolle spielt die Wasserfilmhöhe auf der ersten Stufe?
5. Welche Voraussetzungen müssen erfüllt sein, um stufenweise kleine Wasserschleier zu erzeugen?

Die Bedeutung der Kenntnis der Rahmenbedingungen für den Bau und Betrieb einer Wasseranlage sind nicht zu unterschätzen. Dies wird in dieser Arbeit nicht weiter vertieft. Aus Gesprächen mit den Betreibern und dem unbefriedigenden Zustand der Anlagen kann geschlossen werden, dass gerade beim Bau von Wasseranlagen eine besonders intensive Abstimmung zwischen wassertechnischen und künstlerischen Arbeiten notwendig ist. So können mögliche Probleme im Vorfeld erkannt und ausgeschaltet werden. Über Nebenkosten für Reinigung, Wasseraustausch, Kalkbeseitigungen und Wartung sollten die Betreiber im Vor-



feld genau informiert werden, um späterem Verdruss vorzubeugen. Bisher scheint dies jedoch nicht ausreichend zu geschehen oder unterbleibt ganz. Auch sollte auf das Geräusch-aufkommen des fließenden Wassers hingewiesen werden. In Paris musste beispielsweise eine große Anlage im Parc Diderot stillgelegt werden, weil sich Mitarbeiter aus umliegenden Büros von den Geräuschen gestört fühlten (vgl. Abbildung 21, 22). Diese Anlage sieht allerdings auch ohne das fließende, schäumende Wasser sehr ansprechend aus. Auch dies sollte immer ein Kriterium in der Planung sein, da es viele Monate im Winterhalbjahr gibt, in denen das Wasser abgestellt wird.



Abbildung 21: Wasserlose Wassertreppen im Parc Diderot



Abbildung 22: Detail der Wassertreppe im Parc Diderot

Die Sichtung der Objektbeispiele war wichtig, um einen Einblick in die Gestaltungsvielfalt zu bekommen.

Anhand der Ergebnisse der untersuchten Anlagen zeichnet sich eine Vielzahl von Möglichkeiten ab, wie Überlaufkörper und Wassertreppen ausgeformt sein können. Anhand der unterschiedlichen baulichen Ausbildung sowie der differierenden Wasserfilmhöhen ist es allerdings nicht möglich, die Überlaufkörper und die Treppen miteinander zu vergleichen oder Aussagen über Gesetzmäßigkeiten abzuleiten.

Aus diesem Grund soll eine Versuchsanlage gebaut werden, die möglichst viele Erscheinungsformen unter standardisierten Bedingungen untersucht.



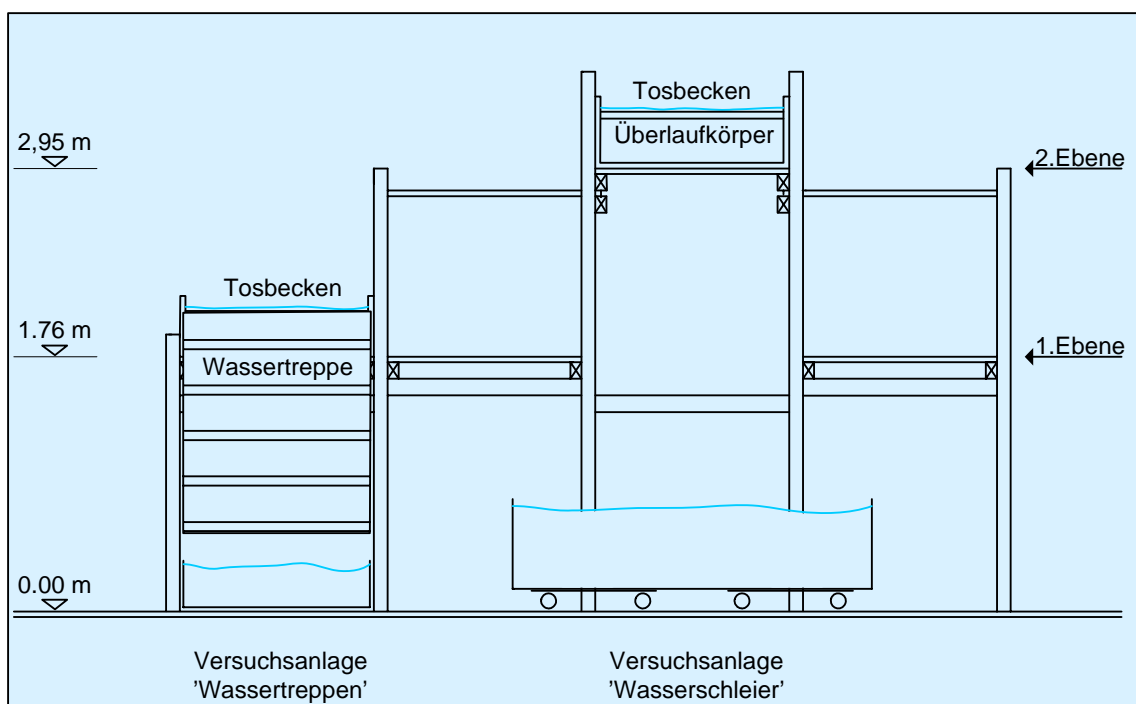
### 3 VERSUCHSAUFBAU

Die Konstruktion der Versuchsanlage ist so ausgelegt, dass Versuche an Überlaufkörpern und Wassertreppen gegebenenfalls gleichzeitig durchgeführt werden können.

Untersuchungsbedingungen wie Wasserfilmhöhen, Durchflussmengen und Fallhöhen werden definiert. Für die Untersuchungen zu Wasserbildern an Überlaufkörpern und an Wassertreppen werden die maximale Wasserfilmhöhe auf 3 cm und die Durchflussmenge auf 15 l/s begrenzt.

#### 3.1 Versuchsanlage

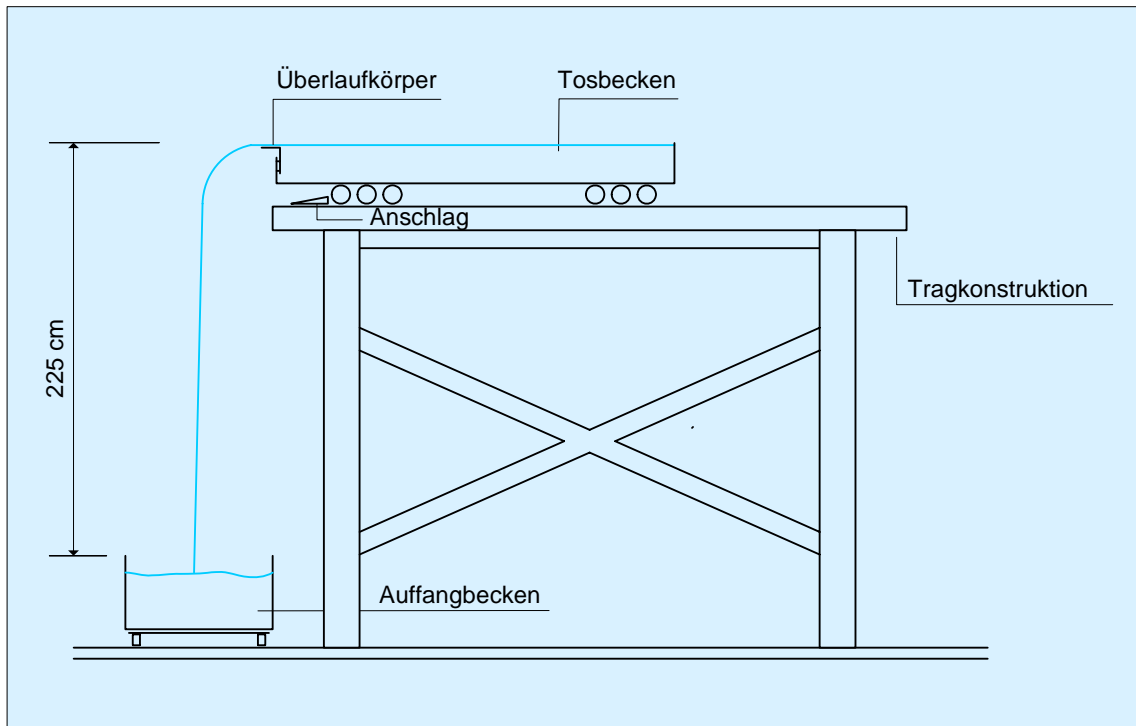
Die Versuchsanlage (Darstellung 31) besteht aus einer gemeinsamen Tragkonstruktion für die beiden getrennt voneinander laufenden Versuchsblöcke.



Darstellung 31: Prinzipskizze der Tragkonstruktion zum Versuchsaufbau 'Wasserschleier' und 'Wassertreppen'

Die Versuchsanlage zur Untersuchung von Wasserschleiern (Darstellung 32) besteht aus je einem Tos- und einem Auffangbecken. Weiterhin gehören Tauchpumpen mit Schläuchen, die den Wasserkreislauf ermöglichen, austauschbare Überlaufkörper und eine Messapparatur zum Fixieren von Messpunkten dazu. Die Tragkonstruktion ist so aufgebaut, dass zwischen der Krone des Überlaufkörpers und der Oberkante des Auffangbeckens 225 cm liegen. Diese Obergrenze wird gewählt, da größere Fallhöhen einen höheren Wasserfilm benötigen, wenn ein zusammenhängender Wasserfilm entstehen soll. Dadurch erhöhen sich auch

die umlaufenden Wassermengen und die Gefahr der Abdrift würde steigen. Ihr müsste wiederum mit größeren Auffangbecken begegnet werden. Insgesamt steigt der Wartungs- und Pflegeaufwand mit der Höhe der Wasseranlage.



Darstellung 32: Prinzipschnitt durch die Versuchsanlage 'Wasserschleier'

Die Versuchsanlage zur Untersuchung von Wassertreppen besteht aus einem Tos- und zwei Auffangbecken, einer schwenkbaren Auflagekonstruktion und zehn Wassertreppen.

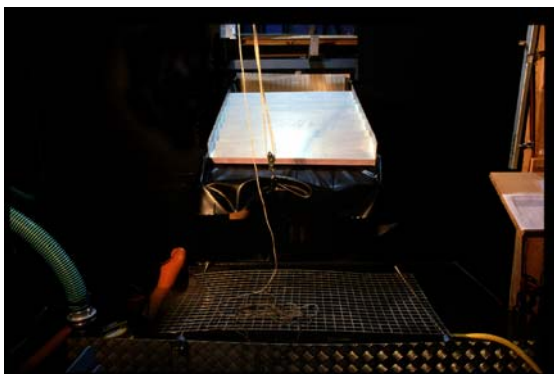
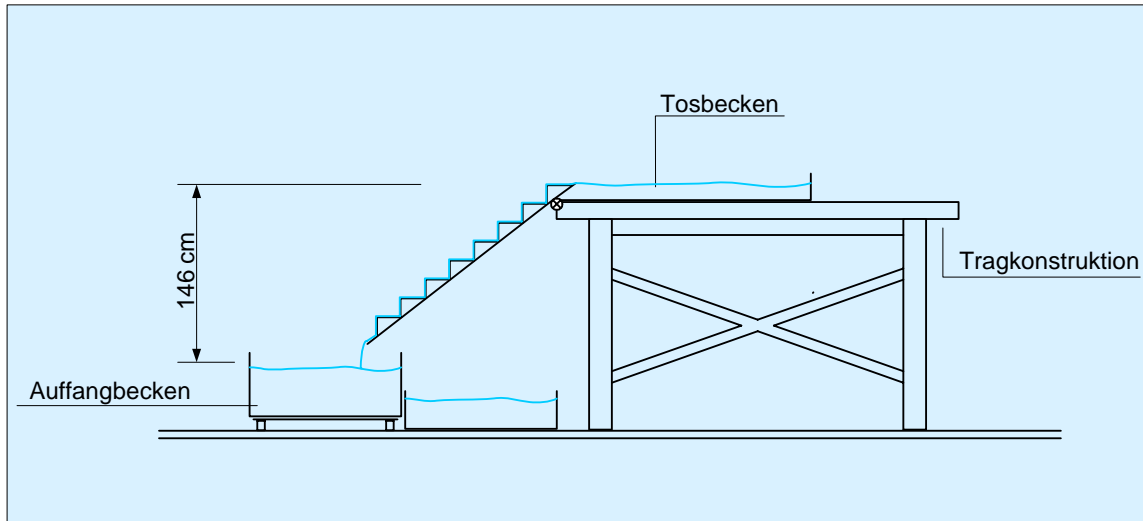


Abbildung 23: Ansicht der Versuchsanlage 'Wassertreppe' mit Flaschenzug im Vordergrund

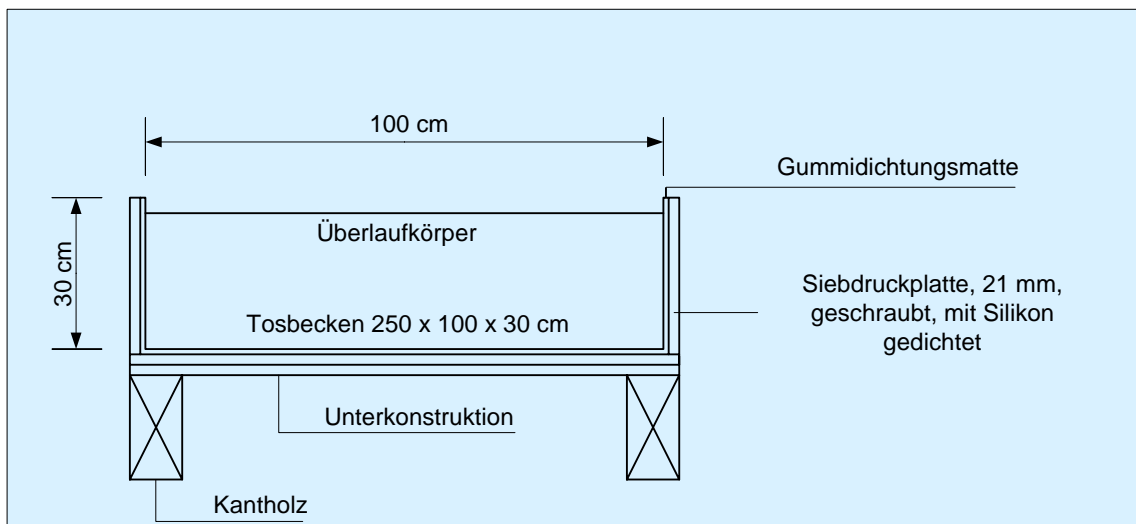
Drei Tauchpumpen mit Schläuchen fördern das Wasser aus dem Auffangbecken in das Tosbecken. Als Hilfsmittel für die Versuchsdurchführung werden ein Flaschenzug zur Erleichterung des Schwenkens der Auflagekonstruktion (vgl. Abbildung 23) und eine seitliche Feinjustierung zur Ausrichtung der Oberkante der Wassertreppe eingesetzt.

Das Tosbecken für die Versuchsreihe 'Wassertreppen' ruht auf der 1,76 m hohen ersten Ebene. Der Abstand zwischen dem höchsten Punkt der obersten Stufe der Treppenkonstruktion und der Oberkante des Auffangbeckens beträgt 146 cm. Diese Höhe ist gewählt worden, um jeweils eine Treppenproportion mit mindestens fünf Stufen untersuchen zu können (vgl. Darstellung 33).



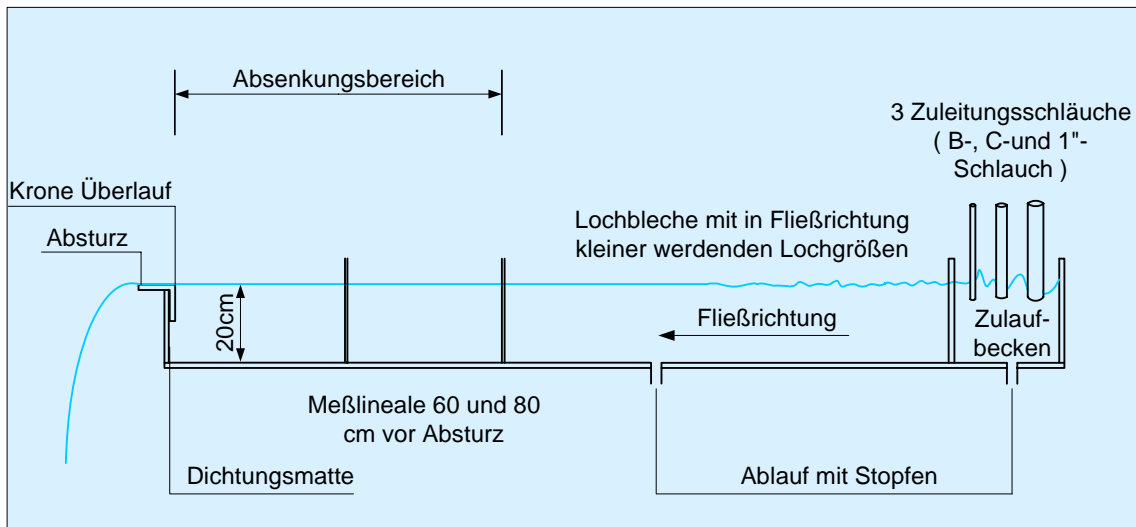
Darstellung 33: Prinzipschnitt durch die Versuchsanlage 'Wassertreppen'

### 3.1.1 TOSBECKEN



Darstellung 34: Querschnitt durch das Tosbecken für die Versuchsreihe 'Wasserschleier'

Das Tosbecken für die Versuchsreihe 'Wasserschleier' wurde zweimal den Anforderungen der Untersuchungen angepasst: Anfangs war es 150 x 100 x 35 cm groß (Darstellung 34). Da bei Durchflussmengen über 2 l/s keine ausreichende Beruhigung des Wassers zu erreichen war, wurde das Tosbecken um einen Meter auf 250 x 100 x 35 cm verlängert (Darstellung 34, 35). Da bei größeren Durchflussmengen jedoch immer noch eine unruhige Strömung im Becken verbleibt, wurde es zur Durchführung von Messreihen mit Durchflussmengen von 3-15 l/s, durch ein zusätzliches Tosbecken mit den Maßen 140 x 70 x 78 cm zur Vorberuhigung ergänzt.



Darstellung 35: Längsschnitt durch das Tosbecken der Versuchsreihe 'Wasserschleier'



Abbildung 24: Zusätzliches Tosbecken im Hintergrund und Tosbecken im Vordergrund

Das zusätzliche Tosbecken dient zur Einleitung und Beruhigung des über einen B-Schlauch ( $\varnothing$  75 mm) einströmenden, turbulent fließenden Wassers. Über einen gerundeten Überlaufkörper (vgl. Abbildung 24) gelangt das Wasser in das eigentliche Tosbecken und durchfließt es bis zur Absturzkante des Überlaufes.

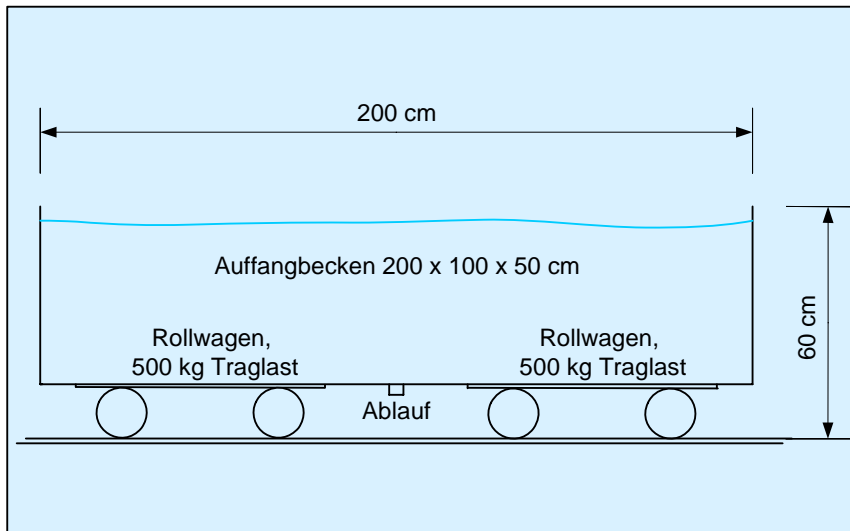
Am Zulauf der Schlauchzuleitungen in das Tosbecken ist eine Kammer zur Gleichstellung (Beruhigung der Strömung) des einströmenden Wassers vorgeschaltet. Hier hat es die Möglichkeit zur Beruhigung, ehe es über ein Schott in den größeren Teil des Tosbeckens gelangt und dieses bis zur Absturzkante des Überlaufes durchfließt.

Beide Tosbecken sind auf Rollen gelagert und so horizontal verschiebbar. Während der Untersuchungen wird das Tosbecken jeweils 50 cm über die Vorderkante der Tragkonstruktion hinausgezogen, um den Wasserschleier zu hinterlüften und somit den von ORTMAIR (1974) beschriebenen Unterdruck hinter dem Wasserschleier zu verhindern. Diese Versuchsanordnung hat sich schon in den vorlaufenden Versuchsreihen von AHNER & SEEGERT (1997) bewährt. Für Umbauarbeiten am Überlauf sowie Messungen sind die Tosbecken an drei Seiten umgehbar.

Das Tosbecken für die Versuchsanlage 'Wassertreppen' ist 180 x 100 x 38 cm groß und ebenso aufgebaut wie das große Tosbecken der Versuchsreihe 'Wasserschleier'. Als Abschluss des Tosbeckens zur Absturzkante dient der obere Teil der schwenkbaren Auflagekonstruktion, so dass die Oberkante der Treppe und Auflagekonstruktion gleichzeitig den Überlauf des Tosbeckens darstellt.

### 3.1.2 AUFFANGBECKEN

Das Auffangbecken am Boden hat ein Fassungsvermögen von 1000 l und reicht auch bei Durchflussmengen bis zu 15 l/s problemlos als Wasserreservoir aus. Es lagert auf Rollwagen, kann zwischen den beiden Versuchsständen hin und her geschoben werden und kommt bei beiden Versuchsanlagen zum Einsatz (Darstellung 36).



Darstellung 36: Längsschnitt durch das Auffangbecken mit 1000 l Fassungsvermögen

In der Versuchsreihe 'Wassertreppen' wird mit einem weiteren Auffangbecken gearbeitet. Während bei flachen Neigungen der Treppe von 10-40° das große Auffangbecken zum Einsatz kommt, reicht ab 50° Neigung ein Becken mit 300 l Fassungsvermögen aus. Da dabei nur Durchflussmengen bis 5 l/s benötigt werden, kann mit dem Beckeninhalte der Wasserkreislauf sichergestellt werden. Beide Becken werden hintereinander aufgestellt (vgl. Darstellung 33).

### 3.1.3

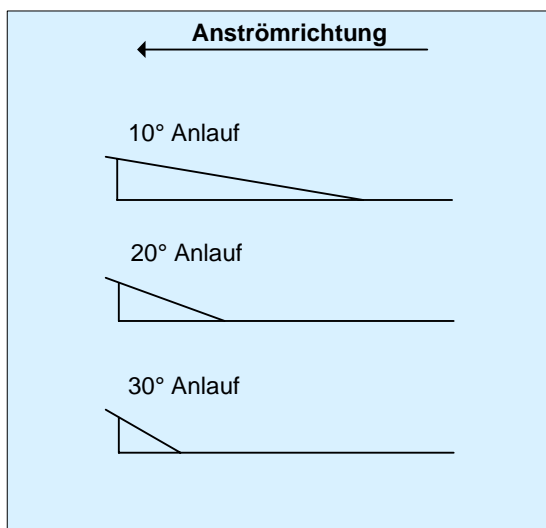
## VORBAUTEN: ÜBERLAUFKÖRPER UND WASSERTREPPEN



Vierzehn verschiedene Überlaufkörper (Abbildung 25), die entweder aufgrund eigener Untersuchungen (AHNER & SEEGERT 1997) als besonders geeignet erachtet werden oder in der Literatur als 'bester' Überlaufkörper beschrieben sind, werden nacheinander unter gleichen Bedingungen eingebaut und untersucht.

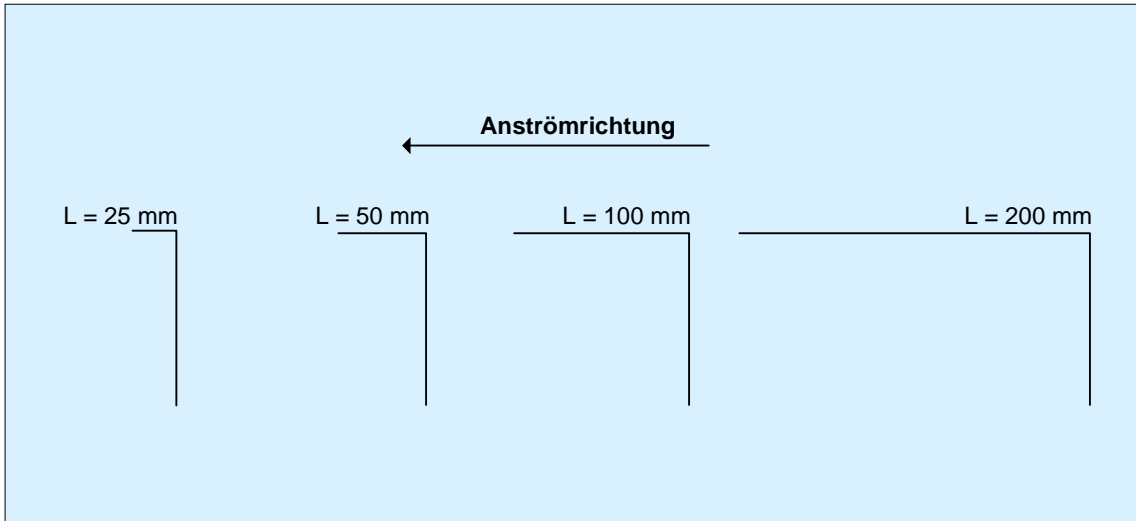
Abbildung 25: Überlaufkörper der Versuchsreihen ÜK (Überlaufkörper)

Die nachfolgenden Darstellungen 37-41 zeigen Schnitte und Maße der einzelnen Überlaufkörper.

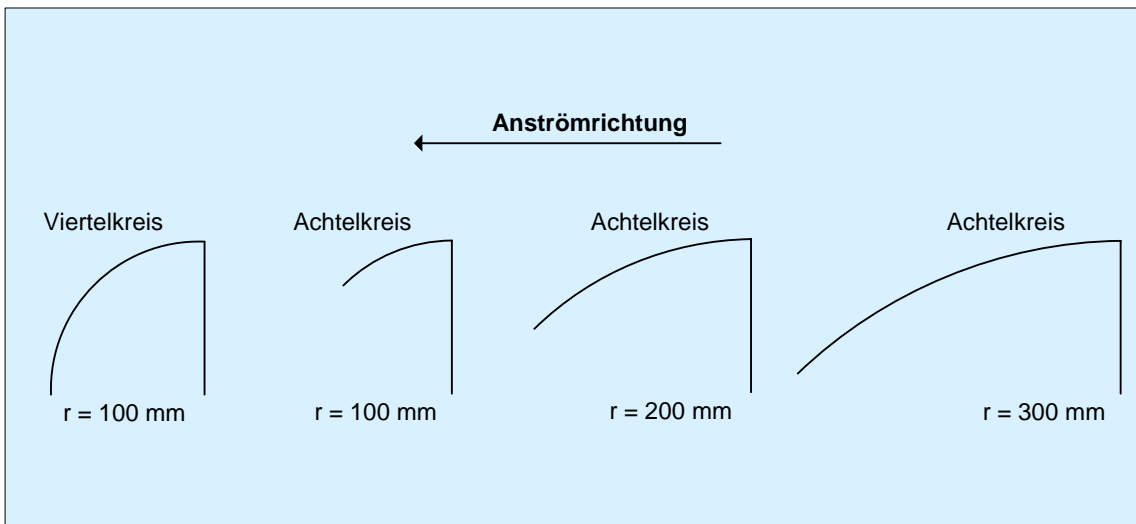


Darstellung 37: Überlaufkörper mit 10, 20 und 30° Anlauf

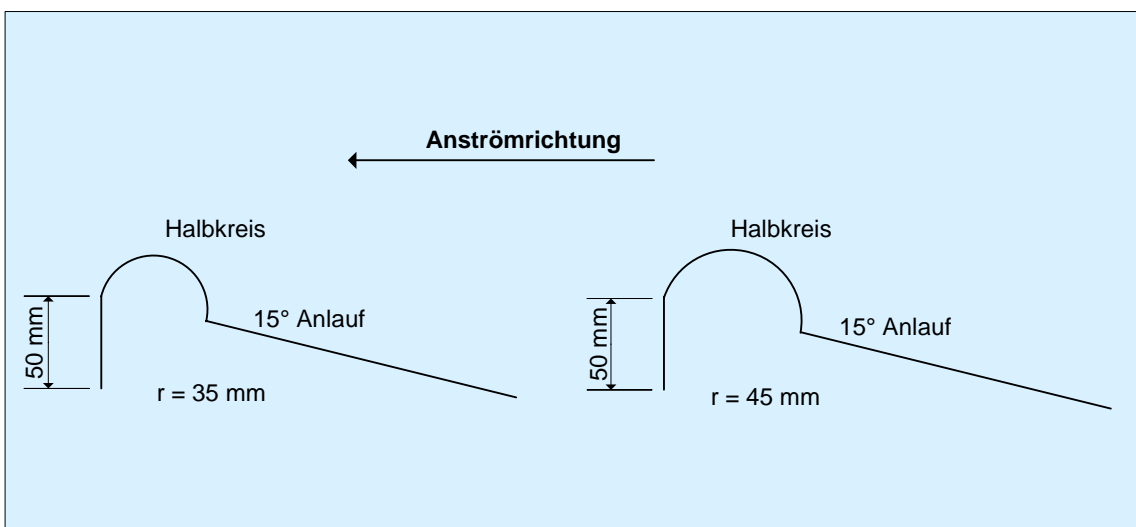




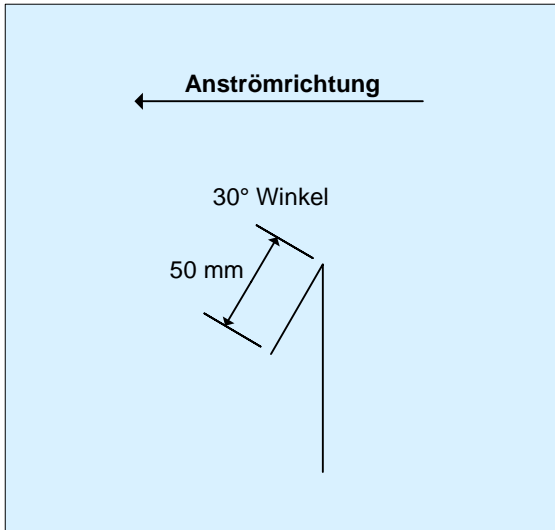
Darstellung 38: Überlaufkörper mit rechten Winkeln



Darstellung 39: Gerundete Überlaufkörper mit Viertelkreis und Achtelkreisen



Darstellung 40: Gerundete Überlaufkörper mit Halbkreisen und Anläufen



Darstellung 41: Überlaufkörper mit 30° Winkel und 50 mm Schenkellänge

Jeder Überlaufkörper hat eingebaut und verschraubt eine Überlaufhöhe von 20 cm. Sie werden von der Innenseite des Tosbeckens her mit Flachrundschauben an der Vorderkante der Beckenkonstruktion verschraubt und bilden somit jeweils die Abschlusskante des Aufstaus. Als Dichtung zwischen Überlaufkörper und Tosbeckenüberlauf dient eine Gummimatte von 2 mm Dicke. Der Montagebereich liegt 5 cm unter der Wasseroberfläche, damit die Schrauben nicht in der Nähe der Absturzkante zu Verwirbelungen führen.



Abbildung 26: Treppenmaterial der Versuchsreihe WT 1  
Prop. 1:1, 1:2, 1:4, 1:8 von rechts nach links

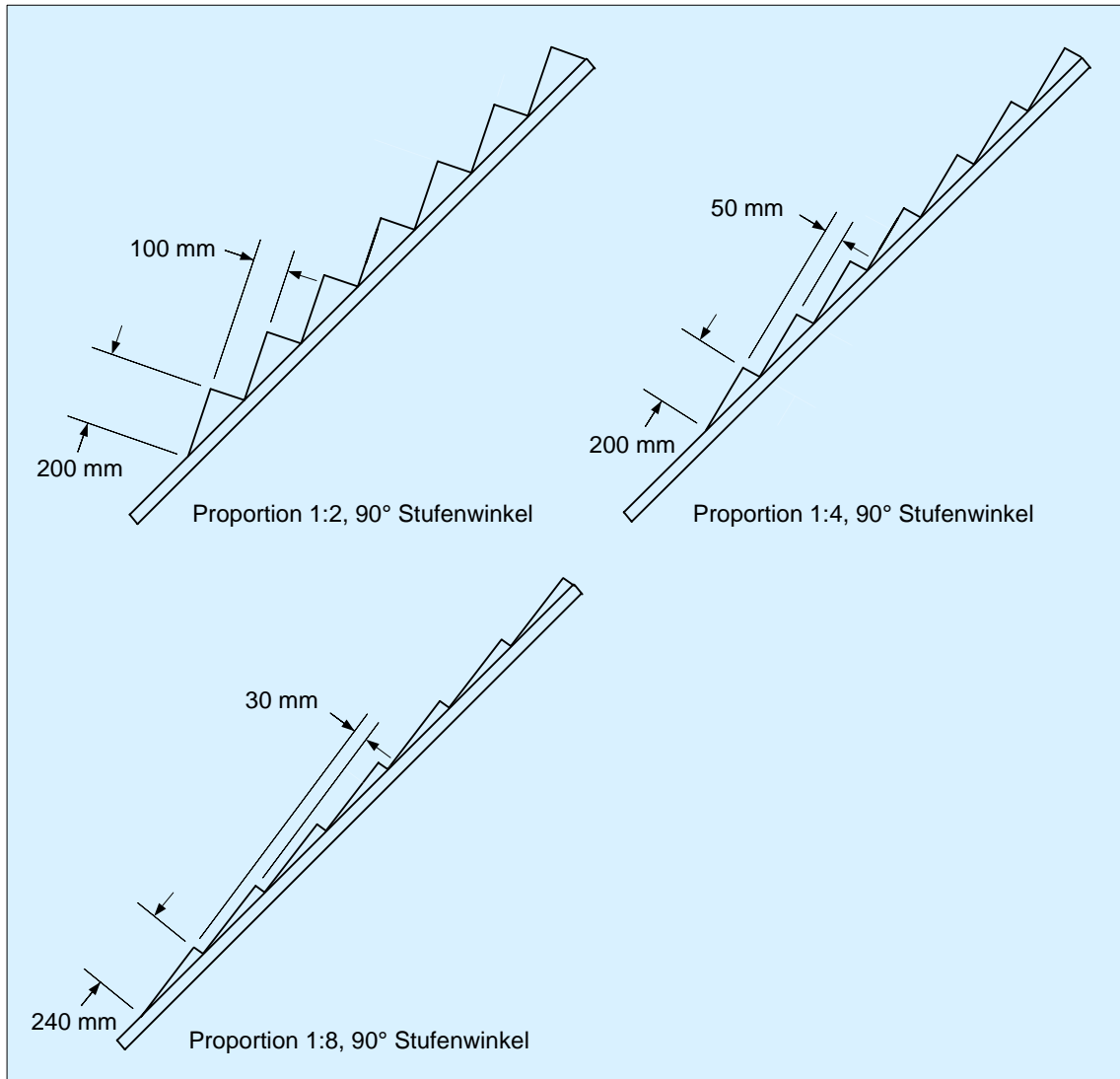
In der Versuchsreihe 'Wassertreppen' (WT 1, Abbildung 26) werden vier Treppenkonstruktionen mit den Proportionen 1:1, 1:2, 1:4 und 1:8 verwendet. Die Treppen können auch umgekehrt in die Konstruktion eingehängt werden, so dass der Versuch um die Proportionen 2:1, 4:1 und 8:1 (Abbildung 27) erweitert wird.



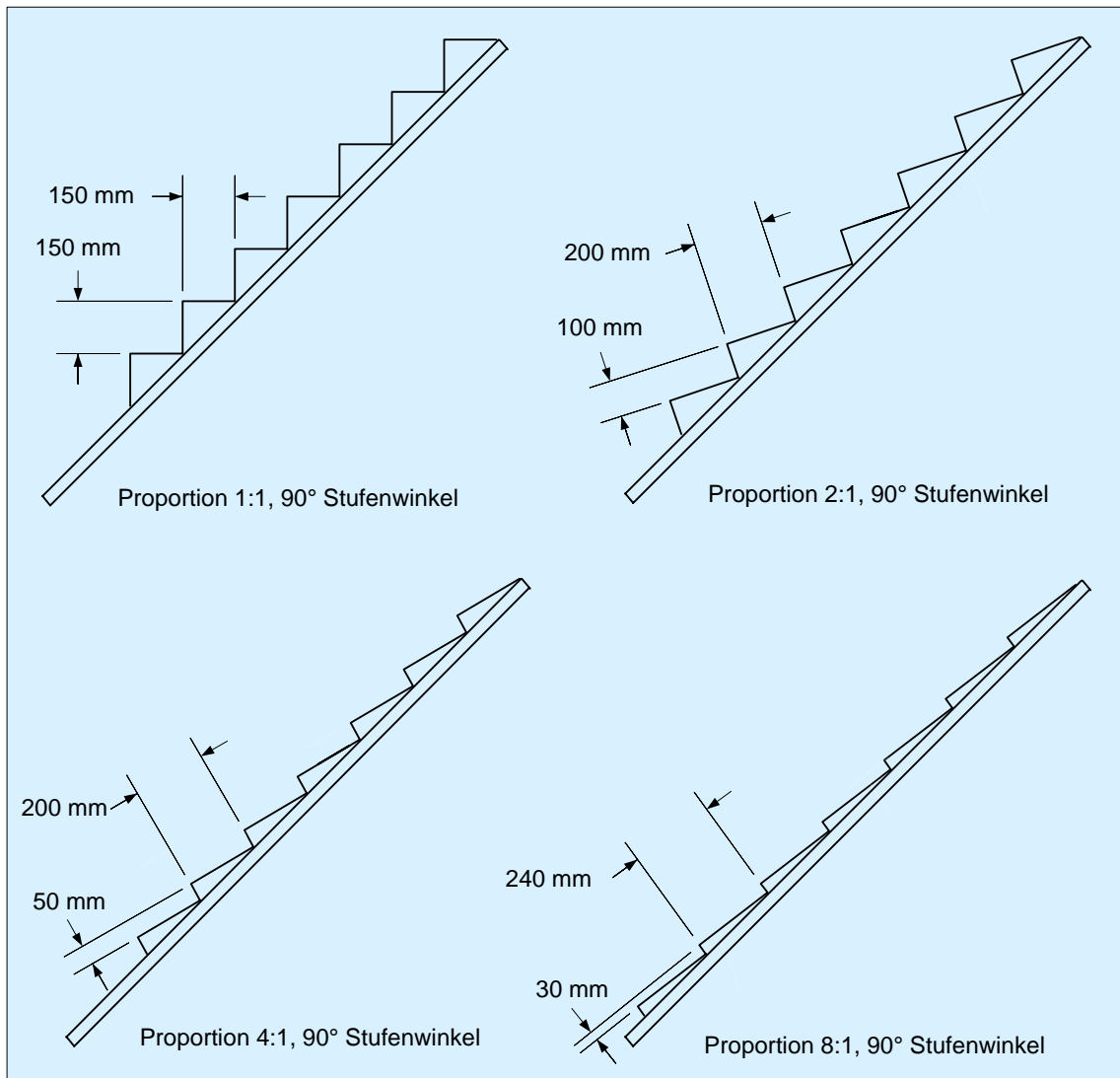
Abbildung 27: Treppenmaterial der Versuchsreihe WT 2  
Prop. 1:1, 2:1, 4:1, 8:1 von rechts nach links

Beispielsweise wird so aus der Proportion 1:4 die Proportion 4:1. In der praktischen Anwendung bedeutet das: Einmal wird eine Treppe mit 50 mm langen Aufritten und 200 cm hohen Steigungen untersucht, im umgedrehten und auf den Kopf gestellten Fall werden 200 mm lange Aufritte mit Steigungen von 50 mm untersucht.

Im Rahmen der gewählten Proportionen werden die Steigungs- und Auftrittmaße auf die Materiallänge abgestimmt. Als Orientierung dienen die Ergebnisse der Objektbeispiele, bei denen die Steigungen zwischen 25 und 250 mm liegen. Die gesamte Treppe sollte mindestens fünf Stufen haben (vgl. Darstellung 42-44).

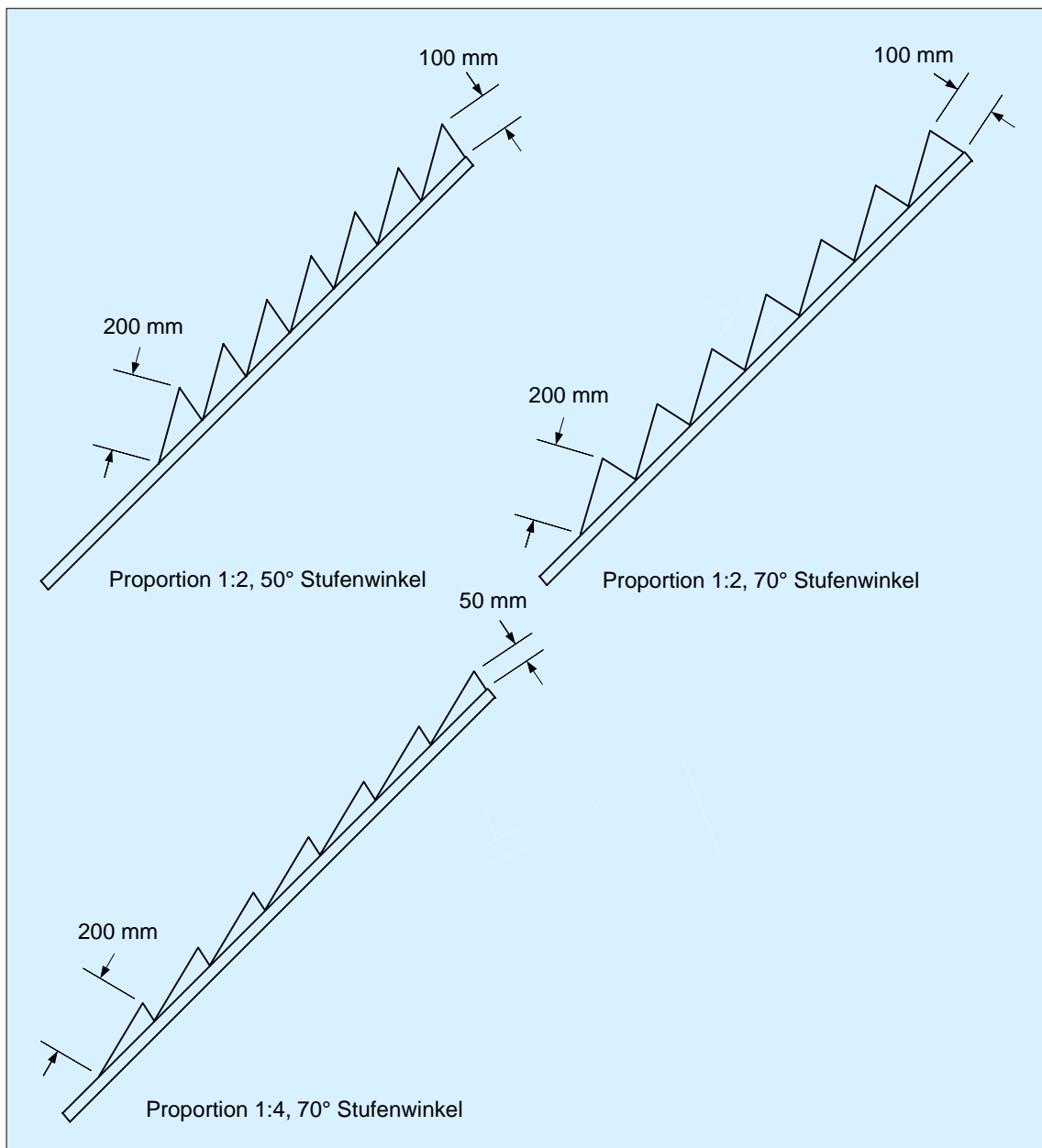


Darstellung 42: Treppen mit kurzen Aufritten und langen Steigungen der Versuchsreihe WT 1



Darstellung 43: Treppen mit langen Aufritten und kurzen Steigungen der Versuchsreihe WT 2

Bei drei zusätzlichen Treppen werden die Winkel zwischen Auftritt und Steigung verändert: Die Proportion 1:2 wird mit den Winkeln 50 und 70° gefertigt. Dies war ebenfalls für die Proportion 1:4 und 1:8 vorgesehen, konnte aus fertigungstechnischen Gründen jedoch nicht realisiert werden. Lediglich bei der Proportion 1:4 konnte der Winkel von 70° gekantet werden.



Darstellung 44: Treppen der Proportion 1:2 mit Stufenwinkeln von 50 und 70° und der Proportion 1:4 mit einem Stufenwinkel von 70° der Versuchsreihe WT 3

Als Material wurde Aluminiumblech verwendet. Es ist leicht an einer Abkantbank in die gewünschte Form zu bringen, hat eine glatte und unempfindliche Oberfläche, ist wasserfest, gut zu fotografieren und farbneutral, wenn beispielsweise Effekte mittels gefärbtem Wasser verdeutlicht werden sollen.

Die Treppenlängen sind auf die Materiallänge abgestimmt. Jede Aluminiumtafel hat ein Maß von 1000 mm Breite x 2000 mm Länge. Die Stufenanzahl und die Proportionen werden so gewählt, dass aus einer Blechlänge von 2000 mm die gesamte Treppe mit mindestens fünf Aufritten und Steigungen abgekantet werden kann. Wenn es die Materiallänge zulässt, werden aber auch mehr Stufen gekantet. Eine Treppenverlängerung wird nicht in Betracht gezogen, da das Ansetzen eines neuen Bleches das Wasserbild beeinträchtigen würde.

Da sich nach einigen Testläufen herausstellt, dass die Wassertreppen ohne Seitenwände nicht genügend Stabilität aufweisen, müssen fest mit der Treppe verbundene Seitenwände nachgerüstet werden. Dabei wird darauf geachtet, dass sich jede einzelne Stufe quer zur Fließrichtung absolut in der Waagerechten befindet, um gleichmäßige Wasserbilder innerhalb der Stufen erzeugen zu können. Deshalb wird jede einzelne Stufe präzise in Quer- und Längsrichtung ausnivelliert, bevor die Seitenwangen befestigt werden. Die Fugen werden von beiden Seiten mit Silikondichtstoff verschlossen. Die Silikonschicht an der Oberseite zwischen Seitenbegrenzung, Auftritt und Steigung ist so flach und schmal wie möglich gehalten, damit sie nicht zu Beeinflussungen des Wasserbildes führt.

Die Treppenformen werden von der Innenseite des Tosbeckens her mit Flachrundschrauben befestigt. Als Dichtung dient wieder eine Gummimatte von 2 mm Dicke. Obwohl die Schrauben in der Nähe der Absturzkante Verwirbelungen erzeugen, konnte der Montagebereich nicht wie bei den Überlaufkörpern mindestens 5 cm unter der Oberkante der Treppe positioniert werden. Aus versuchstechnischen Gründen liegen die Verschraubungen bei sehr steilen Neigungen nur 1 cm unter der überströmten Oberkante bzw. unter der Wasseroberfläche. Dies führt teilweise zu Störungen im Wasserbild.

Zur Montage der einzelnen austauschbaren Treppen muss das Wasser nicht aus dem Tosbecken abgelassen werden. Bei jedem Treppenwechsel werden die Seitenbegrenzungen an der Oberkante der Wassertreppe jeweils mit Silikon abgespritzt, damit das Wasser an dieser Stelle nicht unkontrolliert entweichen kann.

Es bedarf des Vorlaufs, damit die auszuspritzenden Flächen abtrocknen können. Bei jedem Einbau und Dichten einer neuen Treppe oder eines Überlaufkörpers müssen Wartezeiten eingehalten werden, damit das Silikon abbinden kann. Pro Umbau müssen 12-24 h Rüstzeit einkalkuliert werden.

#### **3.1.4 SCHWENKBARE AUFLAGEKONSTRUKTION**

Da die Treppen in Neigungen von 10-80° gemessen werden, lagern sie auf einer schwenkbaren Auflagekonstruktion. Diese besteht aus einer hölzernen Grundplatte, einer vormontierten Aluminiumplatte von 1500 x 1000 mm und aus je einer seitlichen Begrenzung von 20 cm Höhe. Mittels einer an der Rückseite der Grundplatte befestigten, 25 mm dicken Stahlstange wird die schwenkbare Auflage vor das Tosbecken gehängt. Da zur Untersuchung von Wassertreppen eine waagerechte Ausrichtung Grundvoraussetzung ist, wird an der schwenkbaren Konstruktion eine Feinjustierungsmöglichkeit vorgesehen. Die Verbindung zwischen Auflagekonstruktion und Tosbecken wird durch Folie hergestellt, die flexibel eingebaut wird (vgl. Beschreibung des Tosbeckens der Versuchsreihe Wassertreppen).

### **3.1.5 PUMPEN, SCHLAUCHZULEITUNGEN UND DURCHFLUSSMENGEN**

Die Wasserversorgung für beide Untersuchungsreihen wird durch einen Wasserkreislauf sichergestellt: Drei Tauchpumpen wälzen bei einer Steighöhe von 3 m und einer Schlauchlänge von 20 m und Durchflussleistungen von 2 l/s, 2,7 l/s und 5,4 l/s Wasser aus dem Auffangbecken in das Tosbecken um. Die Zusammenstellung der Pumpen folgt pragmatischen Gesichtspunkten. Die Pumpen werden so eingesetzt, dass die erste Messung mit 2 l/s durchgeführt wird. Die zweite Messreihe wird mit einer Durchflussmenge von 4,7 l/s (Kombination aus zwei Pumpen), die dritte mit einer Durchflussmenge von 10 l/s (Kombination aus drei Pumpen) untersucht. Eine weitere mit einer Durchflussmenge von 5,4 l/s folgt ergänzend.

Je nach Versuchsreihe fließt das Wasser über den Überlaufkörper oder die schwenkbare Auflagekonstruktion und die Treppenstufen zurück ins Tosbecken.

Die Pumpen werden so an die entsprechende Fördermenge angepasst, dass sie möglichst wenig gedrosselt werden müssen. Zwei kleinere Pumpen sind jeweils an einen C-Schlauch ( $\varnothing$  52 mm) und einen 1,5 Zoll Schlauch ( $\varnothing$  38,1 mm) angeschlossen. Die Pumpe mit der größten Fördermenge ist an einen B-Schlauch ( $\varnothing$  75 mm) angeschlossen. Ein Verteiler mit Schiebern führt die geförderte Wassermenge in einem B-Schlauch zusammen.

Da sich in den ersten Untersuchungen herausstellt, dass durch Spannungsschwankungen im Stromnetz und schwankende Wasserstände im Auffangbecken immer wieder unterschiedliche Förderleistungen auftreten, wird nachträglich ein Durchflussmesser zur exakten Bestimmung der geförderten Wassermenge in das Zuleitungssystem integriert.

Alle Zuleitungen münden mittels Verteiler in einem B-Schlauch, bevor der Durchflussmesser durchströmt wird. Per Schieber ist die Durchflussmenge exakt regulier- und kontrollierbar.

### **3.1.6 SONSTIGE HILFSMITTEL**

Als Messlineale werden Edelstahllineale mit 0,4 mm Dicke benutzt. Sie werden in Fließrichtung mit der schmalen Seite in den Wasserfilm gehalten, so dass das Wasser trotz Adhäsion nicht nennenswert am Material hochsteigt.

Weitere Hilfsmittel sind fluoreszierende Farbstoffe für Strömungsnachweise und Styroporkügelchen zur Fließgeschwindigkeitsmessung mittels Stoppuhr.

### **3.1.7 FOLIENKASCHIERUNGEN**

Hinter dem Wasserschleier wird die Konstruktion mit einer schwarzen Folie kaschiert, um jeglichen rückwärtigen Windeinfluss auszuschließen. Positiv wirkt sich dies auch auf Foto- und Videoaufnahmen aus, die so nur die Details des Wasserschleiers erfassen und nicht mit Randinformationen der Konstruktion vom Wasserbild ablenken. Um auch seitlich den Blick

gegen die Umgebung abzuschirmen, werden zwei mobile Stellwände (300 x 150 cm) mit Folie kaschiert und nach Bedarf aufgestellt.



## 4           METHODEN

Die Rahmenbedingungen für die Durchführung der Versuchsreihen an Überlaufkörpern und Wassertreppen werden im Verlauf der Untersuchungen optimiert. So wird das Tosbecken mehrmals angepasst, der Windeinfluss minimiert und die Durchflussmessung technisch präzisiert (Kapitel 4.1). Zielsetzungen und Methoden zu den drei Versuchsreihen an Überlaufkörpern werden in Kapitel 4.2, zu den drei Versuchsreihen an Wassertreppen in Kapitel 4.3 formuliert.

### **4.1           *Optimierung der Versuchsbedingungen***

Auf den Fall des Wassers in Form eines Wasserschleiers wirken verschiedene Faktoren ein. Je nach Intensität dieser Faktoren kann aus einem ruhigen Wasserfilm ein rauer, stark strukturierter Wasserfilm werden. Es gilt folglich, die Haupteinflussfaktoren wie Beruhigung im Tosbecken, Windeinfluss und Durchflussmenge innerhalb der Versuchsreihen möglichst konstant zu halten, um gleichmäßige Versuchs- und Vergleichsbedingungen zu schaffen. Vorab sind Rahmenbedingungen zu klären, für die in der Literatur keine Angaben zu finden sind, die aber nach eigenen Erfahrungen von Bedeutung sind. Zu den besonders wichtigen Rahmenbedingungen zählt die Ausformung des Tos- und Beruhigungsbeckens. Es wird zunächst geklärt, welche Art der Beruhigung im Tosbecken notwendig ist und wie sie am effektivsten eingesetzt werden kann.

#### **4.1.1           DIMENSIONIERUNG DES TOSBECKENS**

Es müssen bestmögliche Voraussetzungen für die Erzeugung einer laminaren Strömung (gleichförmige Strömung ohne Verwirbelung) im Beruhigungsbecken geschaffen werden, um am Absturz einen glatten, klaren Wasserschleier erzeugen zu können. Besondere Priorität hat die Frage, welche Bedingungen das Tosbecken dafür erfüllen muss, denn die Wasserberuhigung soll im Becken selbst erfolgen.

Die Grundvoraussetzung ist ein Schott, das das turbulent einströmende Wasser von dem eigentlichen Beruhigungsbereich des Tosbeckens trennt.

Es konnte nicht in Erfahrung gebracht werden, welche Tosbeckengröße zur Beruhigung bestimmter Durchflussmengen notwendig ist. So wurde ein Tosbecken mit den Maßen 150 x 100 x 30 cm gewählt, das sich schon in den vorangegangenen Untersuchungen 1997 bewährt hatte. Dies musste jedoch mehrmals angepasst werden, da es für die Untersuchungen mit Durchflussmengen bis zu 10 l/s zu gering dimensioniert war.

Im Wasserbau werden Röhren zur Erzeugung einer laminaren Strömung verwendet (Fachbegriff aus dem Wasserbau: Gleichstellung von Gerinnen). Aufgrund der geringeren Was-

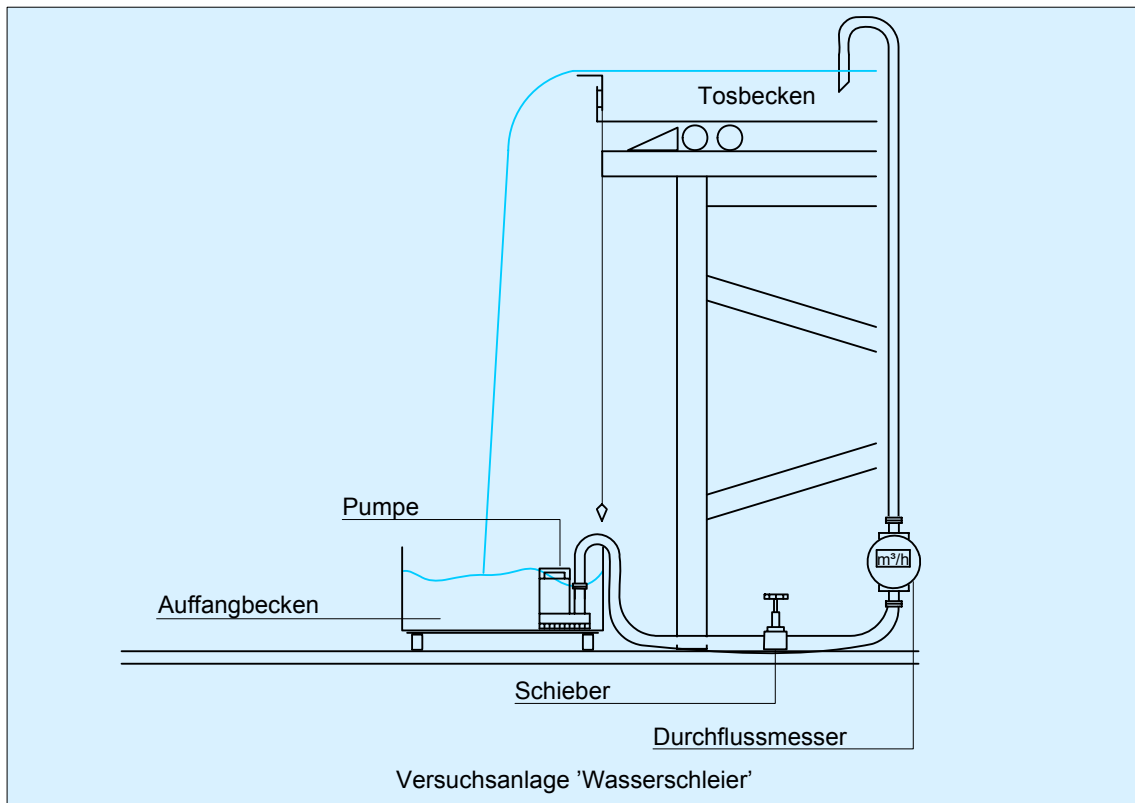
serstände und Durchflussmengen in der eigenen Versuchsreihe, können diese nicht angewendet werden. In Vorversuchen wird mittels Lochblechen mit 25-4 mm Lochweite, die in abnehmender Größenstufung durchflossen werden, versucht, den gleichen Effekt der Beruhigung herzustellen. Sechs Lochbleche reichen aus, um eine laminare Strömung im Becken zu erreichen.

#### **4.1.2 WINDEINFLUSS**

Nach den ersten Messreihen an Überlaufkörpern wird der Versuchsstand mit einem Folienhaus von 6 x 8 m Grundfläche und 4 m Höhe umbaut. Dadurch werden störende Windeinflüsse ausgeschaltet und vergleichbare Versuchsbedingungen geschaffen. Die Messungen an Überlaufkörpern im Außenraum werden zum Vergleich im Innenraum des Folienhauses wiederholt.

#### **4.1.3 DURCHFLUSSMESSUNG**

Das Freigelände der Universität weist je nach Stromabnahme Spannungsschwankungen im Stromnetz auf. Diese Schwankungen haben differierende Durchflussmengen zur Folge. Schwankungen der Durchflussmengen werden im Display des elektronischen Messgerätes sichtbar (vgl. Darstellung 45) und können durch einen Schieber korrigiert werden. Ebenso kann auf Schwankungen des Wasserspiegels im Auffangbecken und damit einhergehende Veränderungen in der Durchflussmenge reagiert werden.



Darstellung 45: Prinzipskizze Pumpe im Versuchsaufbau 'Wasserschleier'

## 4.2 Untersuchungen an Überlaufkörpern

Drei Hauptfragen sollen anhand der Versuchsreihen an Überlaufkörpern geklärt werden (vgl. Kapitel 2.3, S. 40, 71).

Zuerst soll geklärt werden, wie der Überlaufkörper ausgeformt sein sollte, um einen möglichst glatten Wasserschleier zu erzeugen, welche minimale Wasserfilmhöhe dafür notwendig ist und wie das Aufreißen des Wasserschleiers und somit die Auflösung des zusammenhängenden Wasserfilms verzögert werden kann (Versuchsreihe ÜK 1).

Des Weiteren soll geprüft werden, ob es mit Hilfe von lenkenden Blechen vor dem Absturz möglich ist, die Verjüngung des Wasserschleiers zu verzögern und somit eine konstante Wasserschleierbreite zu erzielen (Versuchsreihe ÜK 2). Diese Versuchsreihe wird mit dem für einen glatten klaren Wasserschleier am besten geeigneten Überlaufkörper durchgeführt.

Auch die Frage inwieweit Wasserschleierbreiten und -längen durch Steigerung der Durchflussmenge verändert werden können und welche minimalen Wasserfilmhöhen für welche geschlossenen Wasserschleierlängen benötigt werden, soll an dem am besten geeigneten Überlaufkörper der vorangegangenen Untersuchungen geklärt werden (Versuchsreihe ÜK 3).

Drei Versuchsreihen werden zum Thema 'Wasserschleier' durchgeführt:

Versuchsreihe ÜK 1 - Überlaufkörper

- Untersuchungen ohne Windschutz
- Untersuchungen mit Windschutz
- Wasserfilmhöhen in pragmatischen Abstufungen

Versuchsreihe ÜK 2 - Wasserschleierbreite

Versuchsreihe ÜK 3 - Durchflussmenge

#### 4.2.1 ÜBERLAUFKÖRPER

Als erstes werden die Untersuchungen ohne Windschutz durchgeführt. Der Versuchsstand steht in einem Mauergarten und ist somit nicht direkt Wind exponiert.



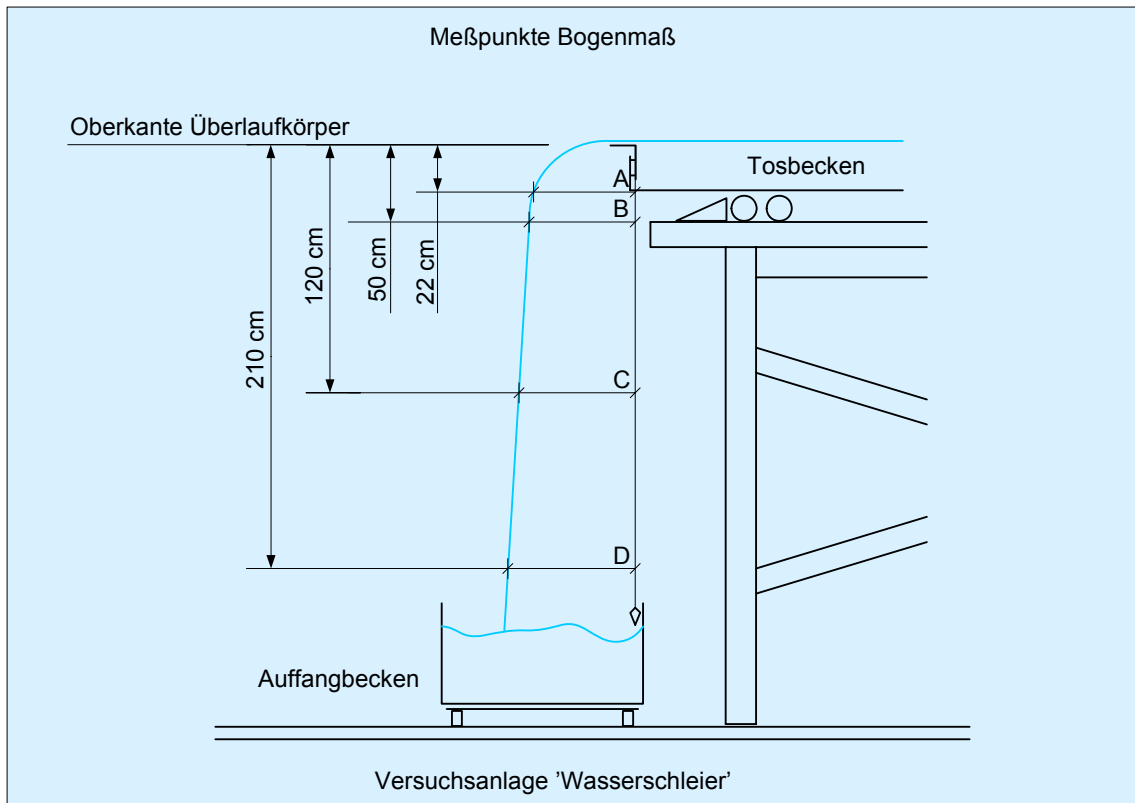
Abbildung 28: Übersicht über  
alle Überlaufkörper

Bei einer Durchflussmenge von 2 l/s werden 14 ausgewählte Überlaufkörper untersucht (vgl. Kapitel 3.1.3, Darstellung 37-41, Abbildung 28).

Um Gesetzmäßigkeiten ableiten zu können und die Eigenheiten jedes Überlaufkörpers ermitteln zu können, werden der Bogenverlauf, die Verjüngung des Wasserschleiers sowie die Länge des Wasserschleiers bis zum Aufriss vermessen.

Ein Lot, das auf Höhe der Krone des Überlaufkörpers an die Seitenbegrenzung des Versuchsaufbaus gehängt wird, bildet den Bezugspunkt für den Beginn des Bogenverlaufs auf der Krone des Überlaufes.

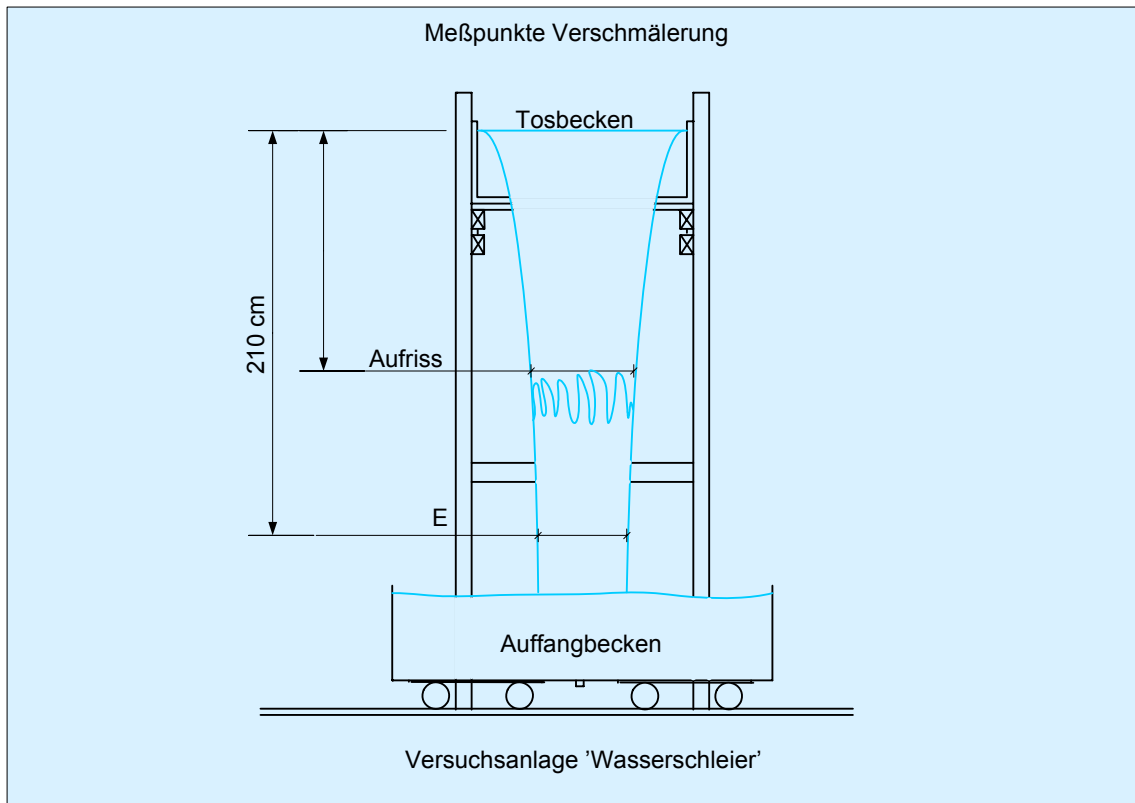
Der Bogenverlauf wird ermittelt, indem der Abstand zwischen Lot und Wasserschleier an vier pragmatischen Messpunkten erfasst wird: An der Unterkante des Tosbeckens (Messpunkt A: 22 cm unterhalb der Krone), an der Oberkante der Tragkonstruktion (Messpunkt B: 50 cm unterhalb der Krone), 120 cm unterhalb der Krone des Überlaufkörpers (Messpunkt C) und bei 210 cm unterhalb der Krone des Überlaufkörpers (Messpunkt D), (vgl. Darstellung 46). Mit Wasserwaage und Gliedermaßstab werden die Entfernungen zum Lot gemessen.



Darstellung 46: Messpunkte, an denen der Bogenverlauf eines jeden Schleiers erfasst wird

### Untersuchung ohne Windschutz

Die Verjüngung des Wasserschleiers wird erfasst, indem der Abstand zwischen der Messapparatur und dem Rand des Wasserschleiers gemessen wird. Dieser Wert wird von der Anfangsbreite des Wasserschleiers subtrahiert, um die Breite des Wasserschleiers sowohl am Aufriss als auch bei 210 cm (Messpunkt E, vgl. Darstellung 47) zu erfassen. Die Breite des Wasserschleiers und seine Aufrisslänge werden notiert.



Darstellung 47: Messpunkte zur Erfassung der Wasserscheierlänge, -breite und Aufrisshöhe

Besondere Auffälligkeiten, die vor allem den visuellen Eindruck des Wasserschleiers betreffen, werden protokollarisch erfasst und fotografisch dokumentiert.

### Untersuchungen mit Windschutz

Obwohl der Versuchsstand im Mauergarten nicht exponiert ist, werden die Messergebnisse durch Windeinwirkung so beeinflusst, dass eine Wiederholung der Messungen unter abgeschirmten Bedingungen sinnvoll erscheint. So wird die Versuchsreihe ÜK 1 im windgeschützten Folienhaus wiederholt. Die bekannten Überlaufkörper werden in herkömmlicher Weise (Bogenverlauf, Wasserscheierbreiten, Wasserscheierlängen, Fließgeschwindigkeiten) erneut vermessen. Die Ergebnisse werden denen der ersten Messungen ohne Windschutz (jeweils 56 Messungen in 4 Fließgeschwindigkeiten) gegenübergestellt. Zur weiteren Auswertung werden allerdings nur die Messwerte im Folienhaus herangezogen.

#### **4.2.1.1 Fließgeschwindigkeiten**

Zur Messung der Fließgeschwindigkeit dienen Styroporkugeln, die in einer gemessenen Zeit eine bestimmte Distanz passieren. Diese Untersuchungen können im Freien nicht zufriedenstellend durchgeführt werden, da der Wind die Kugeln teilweise der Fließrichtung entgegen weht, und so Messergebnisse verfälscht werden. Deshalb werden die Messungen unter windgeschützten Bedingungen wiederholt. So ergibt sich eine gute Reproduzierbarkeit innerhalb einer Messreihe. Bei der Mittelwertbildung werden die minimalen und maximalen Messwerte ausgeschlossen. Jede der vier Durchflussmengen bedingt jeweils eine Messreihe mit je zwölf Messungen, die für jeden Überlaufkörper durchgeführt werden.

Somit werden 48 Messungen pro Überlaufkörper und Strecke (126 und 36 cm) ausgeführt. Diese 96 Messwerte werden für jeden der 14 Überlaufkörper erhoben, so dass insgesamt 1344 Messungen durchgeführt werden.

Da geklärt werden soll, ob unterschiedliche Anströmgeschwindigkeiten zum Überlaufkörper ein Grund für unterschiedliche Längen des Wasserschleiers sein können, werden die Fließgeschwindigkeiten für zwei festgelegte Distanzen für jeden Überlaufkörper ermittelt. Zur Messung der Fließgeschwindigkeit wird die Zeit gestoppt, die Styroporkugeln ( $\varnothing$  3 mm) benötigen, um die jeweilige Distanz zu überwinden (126 und 36 cm bis zur Absturzkante). Das Maß von 126 cm ist bautechnisch bedingt durch die Blechlänge des Überlaufkörpers mit 10° Anlauf, da nicht mitten auf, sondern direkt vor dem Blech mit der Messung begonnen werden soll. Zur Vergleichbarkeit wird es auch für alle anderen Überlaufkörper angesetzt. Das Maß von 36 cm entspricht dem Bereich, der sich schon optisch in Tastversuchen durch eine deutliche Erhöhung der Anströmgeschwindigkeit zum Überlaufkörper hin auszeichnet. Die Beschleunigung auf der Strecke baut sich nicht linear auf, die Werte werden deshalb nicht gegeneinander gestellt und bauen nicht aufeinander auf.

Die Fließgeschwindigkeitsmessungen werden in gleicher Weise auch in Versuchsreihe ÜK 3 durchgeführt.

#### **4.2.1.2 Wasserspiegelabsenkung**

Die Fragen, ob die Absenkung des Wasserspiegels einen Einfluss auf das Erscheinungsbild des Wasserschleiers hat, wo die Absenkung beginnt und ob sie je nach Überlaufkörper differiert, sollen durch Vergleiche geklärt werden. Wie in der Literaturlauswertung skizziert, gibt es unterschiedliche Ansichten über den Beginn der Wasserspiegelabsenkung (Strahlabsenkung) im Tosbecken. Bei einer Entfernung vor dem Überlaufkörper, die drei- oder viermal der Aufstauhöhe von 20 cm entspricht, werden Messpunkte im Tosbecken festgelegt, an denen die Wasserfilmhöhe bzw. der Wasserstand gemessen werden. Diese Punkte liegen in 60

und 80 cm Entfernung vor der Absturzkante (vgl. Darstellung 14: Wasserspiegelabsenkung, Kapitel 2.1.3) und werden für jeden Überlaufkörper und jede Durchflussmenge erfasst.

#### **4.2.2 WASSERFILMHÖHEN**

Es wird der Frage nachgegangen, wie sich das Gesamterscheinungsbild des Wasserschleiers bezüglich Bogenverlauf und Wasserschleierlänge aber auch in den visuellen Kriterien wie Glätte und Klarheit verändert, wenn die Durchflussmenge und damit auch die Wasserfilmhöhe verändert werden.

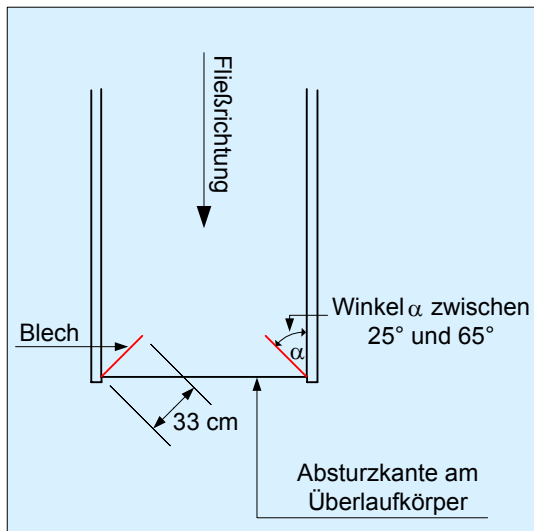
Jeder Überlaufkörper wird bei den Durchflussmengen von 2 l/s, 4,7 l/s, 5,4 l/s und 10 l/s in der zur Versuchreihe ÜK 1 beschriebenen Weise hinsichtlich Bogenverlauf, Aufrisshöhe und Breite an den genannten Messpunkten untersucht.

#### **4.2.3 WASSERSCHLEIERBREITE**

CROCKER (1987) schlägt eine fertigungstechnisch sehr aufwändige Lösung vor, der Verjüngung des Wasserschleiers durch Absenkung der beiden Überlaufkörperseiten vorzubeugen (vgl. Kapitel 2.1.2, Darstellung 9, Seite 25). Es soll geklärt werden, ob es noch weitere Möglichkeiten gibt, dem Zusammenziehen des Wasserschleiers entgegenzuwirken. Durch die Darstellung CROCKERS (Kapitel 2.1.2) wird deutlich, dass die Dicke des Wasserfilms im Randbereich durch Hilfsmittel verstärkt werden muss.

In der Versuchsreihe ÜK 2 wird getestet, ob dieses mit Hilfe zweier Bleche möglich ist. Die Messreihen werden am Überlaufkörper mit 10° Anlauf untersucht. In Tastversuchen werden mit Blechdicken von 0,5; 1,0; 1,5 und 2 mm und Blechmaßen von 16,5 x 33 cm Bereiche eingegrenzt, in denen Auswirkungen auf die Wasserschleierbreite zu erwarten sind. Das Blech wird mit seiner Vorderkante in die Ecke des Überlaufkörpers gestellt und grenzt somit den Winkel  $\alpha$  mit der Seitenwand des Beruhigungsbeckens ein (Darstellung 48). Der rechtwinklig gemessene Abstand zwischen der Seitenbegrenzung und der Hinterkante des Bleches beträgt in den Tastversuchen 14–32 cm (vgl. Tabelle 7). Damit soll der Bereich eingegrenzt werden, in dem die größten Auswirkungen erzielt werden.





Darstellung 48: Blechaufstellung gegen die Verjüngung des Wasserschleiers im Tastversuch

Durchflussmenge: 21 /s								
Überlaufkörper mit 10° Anlauf								
Blechdicke	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0	2,0
Blechmaße	33 x 16,5	16,5 x 33	33 x 16,5	16,5 x 33	33 x 16,5	16,5 x 33	33 x 16,5	16,5 x 33
14	52	49,5	49	49	49	48,5	49	48,5
16	49,5	49	48,5	48,5	48,5	48,5	48	48,5
18	48,5	48,5	48	47,5	48	48,5	48	48
20	48	48	47,5	47,5	47,5	48	47,5	47,5
22	47,5	47,5	47	47	47	46,5	47,5	46,5
24	46,5	46,5	46,5	46	46,5	46	46,5	45,5
26	46	45,5	46	45	45,5	45	45,5	43
28	45	45	45	44,5	45	44,5	44,5	42,5
30	44	44	44	44	44,5	44	44	42
32	43,5	44	43	43,5	43,5	44	42,5	43

Tabelle 7: Dokumentation der Tastversuche am Überlaufkörper mit 10° Anlauf

In den Tastversuchen wurde festgestellt, dass die Dicke des Bleches in diesen Millimeterbereichen nahezu keinen Einfluss hat, jedoch seine Länge. Aus diesem Grund wird in Steigerungsversuchen mit Blechlängen von 20, 30, 40, 50 und 60 cm weiter geforscht.

Die Bleche werden zunächst direkt an die Seitenbegrenzung montiert. Sie werden mit sich entgegen der Fließrichtung öffnenden Winkeln positioniert. Die einzelnen Winkel von 25-65° werden auf dem 10° Anlauf des Überlaufkörpers in 5°-Abstufungen untersucht.

Nachdem sich wider Erwarten herausstellt, dass der Wasserschleier völlig anders reagiert, wenn beide Seiten an der Absturzkante beeinflusst werden, wird die Versuchsreihe ÜK 2 mit den Blechlängen 20, 40 und 60 cm mit den Winkeln 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 und 65° erneut durchgeführt (81 Messungen).

In weiteren Messungen werden der Blechlängenbereich und die Aufstellwinkel mit ihren positiven Auswirkungen von Messreihe zu Messreihe immer mehr eingegrenzt. Deshalb werden die Messungen mit Blechlängen von 20, 30, 40 und 50 cm und Winkeln von 35, 40 und 45° fortgesetzt (36 Messungen).

Abschließend wird untersucht, welchen Einfluss Bleche von 20, 30 und 40 cm Länge und 40-45° Winkelaufstellung auf den Wasserschleier ausüben, die in Abständen von 0, 1, 3 und 5 cm zum Seitenrand und 5 und 10 cm zur Absturzkante des Überlaufkörpers aufgesetzt werden (144 Messungen).

Alle Versuchsreihen werden jeweils mit den Durchflussmengen 2 l/s, 4,7 l/s und 10 l/s erfasst. Die Durchflussmenge von 5,4 l/s wird nicht weiter untersucht, da sie sich kaum von der Versuchsreihe der Durchflussmenge 4,7 l/s unterscheidet.

#### **4.2.4 STEIGERUNG DER DURCHFLUSSMENGE**

Um zu ermitteln, welche minimale Wasserfilmhöhe für welche geschlossene Wasserschleierlänge benötigt wird, wird ein weiterer Versuch am Überlaufkörper mit 10° Anlauf durchgeführt. Die Durchflussmenge wird von 1-15 l/s in 1-Liter-Schritten gesteigert. Zu diesem Zweck wird eine zusätzliche Pumpe mit einer maximalen Durchflussleistung von 12 l/s für die Untersuchungen eingesetzt. Sie wird mit einer zweiten Pumpe kombiniert, so dass Durchflussmengen bis 15 l/s gemessen werden können.

### **4.3 *Untersuchungen an Wassertreppen***

Es soll geklärt werden, welche Wasserbilder an Wassertreppen entstehen können, welche technischen Voraussetzungen sie bedingen, welche Einflussfaktoren auf sie wirken und wie sie beeinflusst werden können (vgl. Kapitel 2.3.2, S. 52).

Es werden systematische Messreihen mit abgestuften Durchflussmengen und Neigungen durchgeführt. Wie die Beobachtungen an den Objektbeispielen gezeigt haben, wirkt sich das Verhältnis von Auftritt zu Steigung auf das Wasserbild aus. Deshalb werden in den nachfolgenden Untersuchungen sieben Treppen mit unterschiedlichen Proportionen untersucht, bei denen die Stufen rechtwinklig untereinander angeordnet sind. Weiterhin werden drei Treppen untersucht, deren Stufen nicht rechtwinklig angeordnet sind, sondern Stufenwinkel von 50 und 70° aufweisen.

Es werden drei Versuchsreihen durchgeführt:

Versuchsreihe WT 1	Treppen mit kurzen Aufritten und langen Steigungen
Versuchsreihe WT 2	Treppen mit langen Aufritten und kurzen Steigungen
Versuchsreihe WT 3	Treppen mit Stufenwinkeln von 50, 70 und 90°

Alle Versuchsreihen werden mit acht bzw. sechs Durchflussmengen in acht Neigungen der Treppe (10-80°) untersucht. Auf 90° Neigung kann verzichtet werden, da hier immer glatte Wasserschleier an der ersten Stufe entstehen, die bis ins Auffangbecken reichen. Somit gibt es keinen Wasserabfluss auf der Treppenoberfläche, der untersucht werden könnte.

Jede Messung erfasst die Wasserfilmhöhen auf Auftritt und Steigung an jeder Stufe, Besonderheiten, sowie die Messung der Aufstauhöhe (falls vorhanden) und Längen und Höhen von Walzen. Alle Versuchsreihen werden mit Foto und Video dokumentiert. Auch Strukturmerkmale auf Steigung und Auftritt sowie seitliche Beobachtungen werden anhand einer Checkliste protokolliert (Kapitel 9.2, 4.2 Auswertungsprotokolle zu Wassertreppen, S.226 ff.).

In den Versuchsreihen WT 1 und WT 2 ergeben sich 265 und 240 einzelne Wasserbilder, die teils häufig, teils aber auch nur vereinzelt zu beobachten sind. Um eine Ordnung in den Bilderkatalog zu bringen, werden zunächst die Proportionen einer Versuchsreihe miteinander verglichen. Dazu werden alle Bilder einer festgelegten Durchflussmenge, die sich in den Neigungen von 10-80° ergeben haben, nebeneinander gestellt. Für jede Versuchsreihe werden alle Proportionen von 1:1, 1:2, 1:4 bis 1:8 (Versuchsreihe WT 1) oder alle Proportionen von 1:1, 2:1, 4:1 bis 8:1 (Versuchsreihe WT 2) in einer Spalte untereinander aufgelistet, so dass beispielsweise alle Bilder mit 10° Neigung untereinander stehen. In der nächsten Spalte folgen alle mit 20° Neigung und so weiter. In vier Zeilen stehen jeweils die Wasserbilder in acht Spalten mit den Neigungen von 10-80° nebeneinander.

Auf diese Weise ist gut erkennbar, welche Bilder sich so stark ähneln, dass sie in einer Kategorie zusammengefasst werden können.

In der Versuchsreihe WT 3 werden die Wasserbilder den zuvor gebildeten Kategorien zugeordnet. Dabei wird verglichen, welche Veränderungen im Wasserbild auftreten, wenn sich der Stufenwinkel ändert.

#### **4.3.1 TREPPEN MIT KURZEN AUFTRITTEN UND LANGEN STEIGUNGEN**

In der Versuchsreihe WT 1 werden Proportionen mit kurzen Aufritten und mit unterschiedlich langen Steigungen untersucht. Die Stufen sind jeweils rechtwinklig ( $90^\circ$ ) abgekantet.

4 Proportionen: 1:1, 1:2, 1:4 und 1:8  
8 Durchflussmengen: 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5 und 10 l/s  
8 Neigungen: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 und  $80^\circ$

Die Auswahl der Durchflussmengen basiert auf den Erfahrungen vorangegangener Untersuchungen. Als minimaler Durchfluss werden 0,5 l/s gewählt, als maximaler 10 l/s.

Insgesamt werden 265 Messungen durchgeführt.

#### **4.3.2 TREPPEN MIT LANGEN AUFTRITTEN UND KURZEN STEIGUNGEN**

In der Versuchsreihe WT 2 wird in ähnlicher Weise verfahren. Es werden Stufen mit unterschiedlich langen Aufritten und kurzen Steigungen untersucht. Auch hier sind die Stufen jeweils rechtwinklig ( $90^\circ$ ) abgekantet.

4 Proportionen: 1:1, 2:1, 4:1 und 8:1  
6 Durchflussmengen: 1, 2, 3, 4, 5 und 10 l/s  
8 Neigungen: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 und  $80^\circ$

Auf einen Durchfluss von 0,5 l/s und 1,5 l/s wird verzichtet, da die Abstufungen mit einem Durchfluss von 0,5 l/s eine zu geringe Auswirkungen haben. Aus diesem Grund wird in der Versuchsreihe WT 2 ebenfalls darauf verzichtet. Die Ergebnisse der Proportion 1:1 mit 48 Messungen aus der Versuchsreihe WT 1 werden deshalb in die Versuchsreihe WT 2 übernommen. Insgesamt werden 192 Messungen durchgeführt.

#### **4.3.3 TREPPEN MIT STUFENWINKELN VON 50, 70 UND 90 GRAD**

In der Versuchsreihe WT 3 soll die Frage geklärt werden, ob die Ausbildung des Winkels zwischen Auftritt und Steigung einer Stufe einen Einfluss auf das Wasserbild hat. Dies wird beispielhaft an Proportionsverhältnissen mit kurzen Aufritten im Verhältnis zu den Steigungen (1:2 und 1:4) untersucht. Für die Proportion 1:2 wird mit Abkantungswinkeln von  $50^\circ$ ,  $70^\circ$  und  $90^\circ$  und in der Proportion 1:4 wird aufgrund fertigungstechnischer Einschränkungen mit Abkantungswinkeln von  $70^\circ$  und  $90^\circ$  gearbeitet.

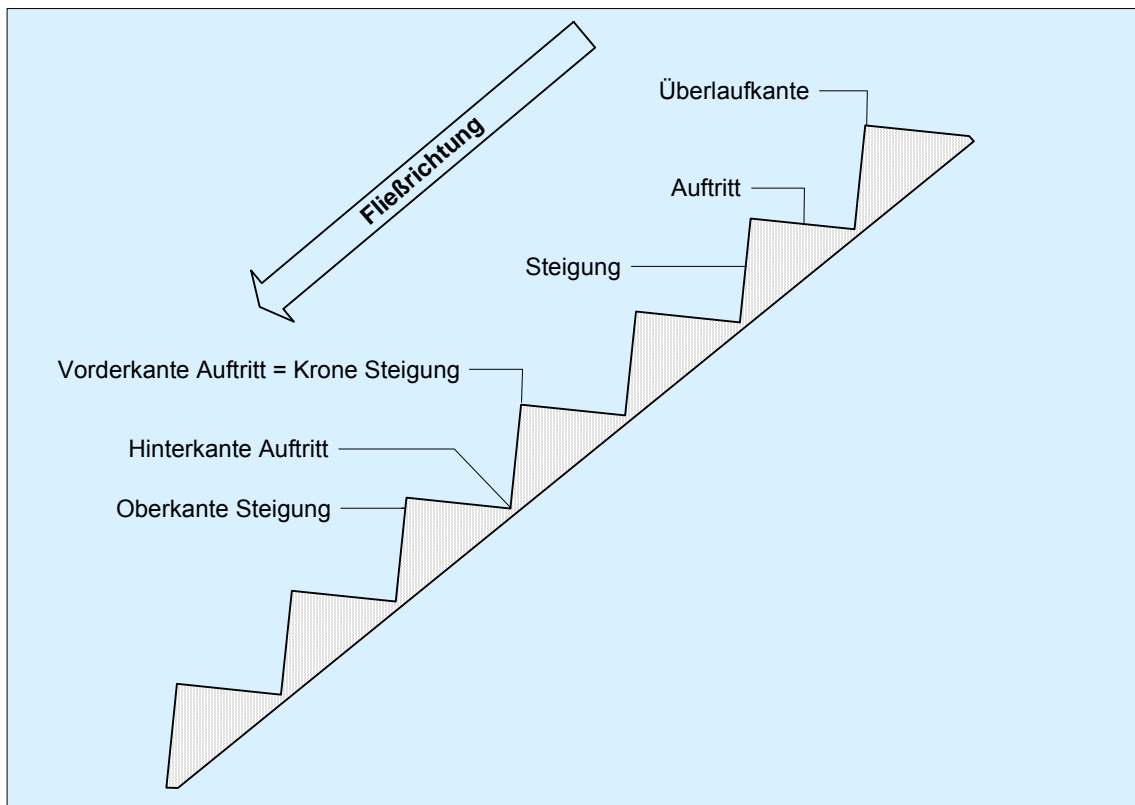
3 Proportionen: 1:2 -  $90^\circ$ , 1:2 -  $70^\circ$  und 1:2 -  $50^\circ$   
2 Proportionen: 1:4 -  $90^\circ$  und 1:4 -  $70^\circ$   
8 Durchflussmengen: 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5 und 10,0 l/s  
8 Neigungen: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 und  $80^\circ$

Zwei der Messergebnisse (Prop. 1:2 - 90° und 1:4 - 90°) aus Versuchsreihe WT 1 werden hier nicht erneut erhoben, sondern in die Auswertung übernommen. Somit werden 192 Messungen durchgeführt.

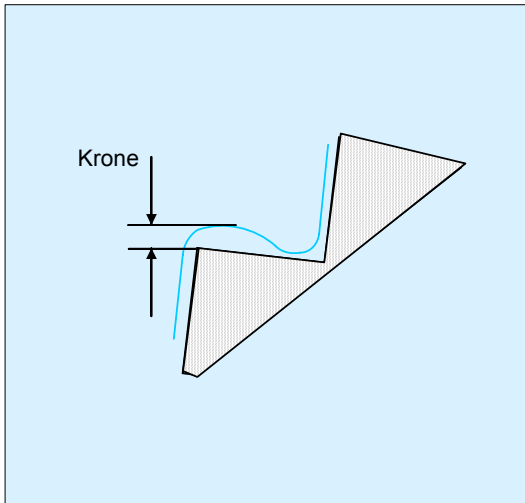
#### 4.3.4 WASSERFILMHÖHEN

Der Vergleich der Treppen beginnt mit der Erfassung der Wasserfilmhöhen. Sie werden auf jeder Stufe der einzelnen Treppen in allen Neigungen und für jede Durchflussmenge gemessen.

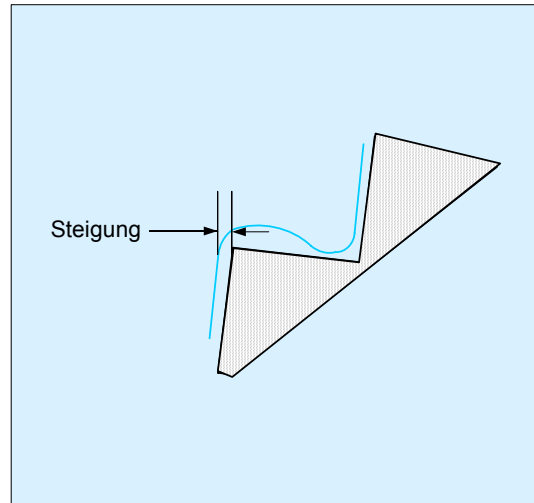
Zur besseren Übersicht der Darstellung 49 wird pro Stufe nur ein Messpunkt eingezeichnet.



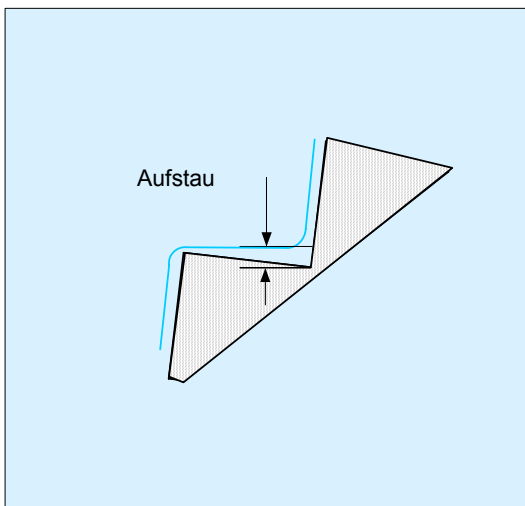
Darstellung 49: Schnitt durch die Wassertreppe mit Lagepunkten zur Messung der Wasserfilmhöhen



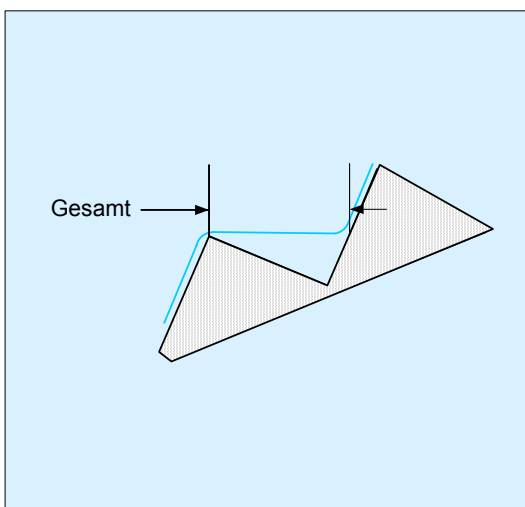
Darstellung 50: Messweise für den Wasserfilm auf der Krone der Steigung



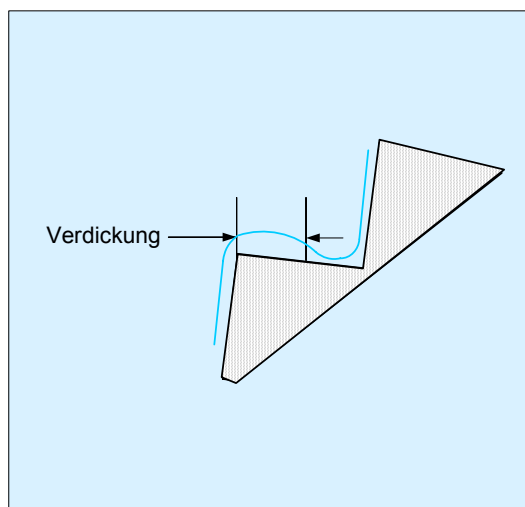
Darstellung 51: Messweise für den Wasserfilm auf der Steigung



Darstellung 52: Messweise für die Aufstauhöhe des Auftritts, gemessen an der Hinterkante



Darstellung 53: Messweise des aufgestauten Wassers zwischen Krone und rückwärtiger Steigung



Darstellung 54: Lage und Messweise der Verdickung im vorderen Bereich des Auftritts

Die Messpunkte der Wasserfilmhöhen auf den Aufritten (vgl. Darstellung 50) liegen auf den Kronen der Steigungen. Die Messpunkte für die Wasserfilmhöhe an der Steigung liegen an der Oberkante jeder Steigung (Darstellung 51). Die Aufstauhöhe wird an der Hinterkante des Auftritts gemessen (vgl. Darstellung 52). Die Breite der Verdickung, das heißt der aufgewölbte Wasserfilm im vorderen Bereich des Auftritts, wird von der Hinterkante des Auftritts aus ermittelt (vgl. Darstellung 54). Der Messwert von der Hinterkante bis zur Vorderkante der Verdickung wird von der gemessenen Gesamtlänge des Auftritts abgezogen, um die Breite der Verdickung ermitteln zu können.

Die Gesamtlänge wird in der Waagerechten gemessen und ist somit die waagerechte Strecke (parallel zur Wasserlinie) zwischen der Vorderkante und der Hinterkante des Auftritts (vgl. Darstellung 52). Dieses Maß ist nicht mit dem bautechnischen Maß des Auftritts identisch.

Nach Messung aller Wasserfilmhöhen auf jeder Stufe, in jeder Proportion und in allen Neigungen wird die durchschnittliche Wasserfilmhöhe für die gesamte Treppe ermittelt. Da die Wasserfilmhöhe auf der Krone der obersten Stufe sehr deutlich von den anderen abweicht, werden die Messwerte der ersten Stufe nicht in die Berechnung der durchschnittlichen Wasserfilmhöhe einbezogen.

Besondere Effekte, die nicht in jeder Versuchsreihe auftreten, werden ebenfalls messtechnisch erfasst.

#### **4.4            *Dokumentation der Untersuchungen und Auswertung***

Zur Erfassung der Wasserbilder werden ein Fotoapparat und eine Videokamera eingesetzt, um sowohl laufende Bilder als auch akustische Effekte dokumentieren zu können. Mit Hilfe der Aufnahmen können Ergebnisse verschiedener Proportionen verglichen werden, die aus versuchstechnischen Gründen nicht nebeneinander gestellt oder zum direkten Vergleich nacheinander durchgeführt werden können. Fotoaufnahmen heben Details hervor oder 'frieren ein', was aus den laufenden Bildern der Videoaufnahmen nicht erfasst werden kann. So wird die Auswertung der Versuche erleichtert.

Das gleiche gilt für Wasserschleier. Auch hier können einzelne Sequenzen später nebeneinander gestellt und so besser verglichen werden.

Anhand einer Checkliste in Tabellenform (Anhang 4) werden die Wasserbilder für jeden Durchfluss, jeden Überlaufkörper, jede Proportionen und in allen Neigungen schriftlich, fotografisch und mit Video dokumentiert.





## 5 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse gliedern sich in einen Ergebnisteil zum ruhigen, klaren Wasserbild des Wasserschleiers (Kapitel 5.1) und einen Ergebnisteil zu den strukturarmen bis strukturreichen Wasserbildern an Wassertreppen (Kapitel 5.2).

### 5.1 *Wasserbilder an Überlaufkörpern*

Die Ergebnisse der Untersuchungen an Überlaufkörpern gliedern sich in fünf Schwerpunkte: Zunächst werden die Möglichkeiten zur Optimierung des Tosbeckens vorgestellt, da die Beruhigung des Wassers und seine Zuführung an die Überlaufkörper einen entscheidenden Einfluss auf das Wasserbild haben (Kapitel 5.1.1). Anschließend werden die direkten und indirekten Auswirkungen des Windes auf einen Wasserschleier dargestellt (Kapitel 5.1.2).

Mit Bildmaterial und ästhetischen Bewertungen wird dokumentiert, wie sich unterschiedlich ausgebildete Überlaufkörper auf die Ausformung des Wasserschleiers auswirken. Die Messergebnisse werden tabellarisch aufgeführt. Beide Ergebnisse münden in eine Gesamtbewertung (Kapitel 5.1.3).

Des Weiteren wird eine Möglichkeit vorgestellt, auf die Breite eines Wasserschleiers Einfluss zu nehmen und der Verjüngung entgegen zu wirken (Kapitel 5.1.4).

Abschließend werden die Steigerung der Durchflussmenge von 1-15 l/s und ihre Auswirkung auf das Wasserbild visuell bewertet, Messergebnisse werden tabellarisch dargestellt und das Ergebnis statistisch verrechnet (Kapitel 5.1.5).

#### 5.1.1 **WASSERBERUHIGUNG IM TOSBECKEN DURCH LOCHBLECHE**

Das Einströmen des Wassers in das Tosbecken und das Durchfließen des Beruhigungsbeckens sind für die Ausbildung eines glatten Wasserfilms auf dem Überlaufkörper besonders wichtig. Je besser das Wasser nach dem Einströmen in das Tosbecken beruhigt werden kann, desto ruhiger fließt es an den Überlaufkörper heran. Dadurch werden die besten Voraussetzungen geschaffen, einen glatten, klaren Wasserschleier zu erzeugen. Das Maß der Beruhigung wird durch einen Farbfadenversuch nachgewiesen (ausführlichere Darstellung in Kapitel 6.1.1).

Es gibt zwei Möglichkeiten, eine optimale Wasserberuhigung zu erreichen: Zum einen können große Tos- und Beruhigungsbecken gewählt werden, in denen das Wasser auf einer langen Strecke von einer turbulenten Strömung wieder in eine laminare übergeht. Dazu werden bei einer Durchflussmenge von 3 l/s mindestens 3 m, bei höheren Durchflussmengen entsprechend mehr Meter benötigt. Als effektivere Lösung hat sich das Aufteilen des Beckens in Beruhigungsbereiche erwiesen. Dies wird durch einen abgetrennten Tosbeckenbe-

reich erzielt. Das Wasser strömt turbulent in einen Tosbereich ein, der durch ein Schott vom Beruhigungsbereich abgetrennt wird. Das Wasser passiert das Schott durch Über- oder Unterströmen. In den Versuchen hat sich gezeigt, dass ein Unterströmen effektiver ist, da keine zusätzlichen Turbulenzen beim Eintauchen des Wassers von einem zum anderen Beckenbereich erzeugt werden.

Im Beruhigungsbecken wird das Wasser auf kurzer Distanz in laminare Strömung umgewandelt, indem es mehrere hintereinander gestaffelte Lochbleche passiert. Diese sind größen- gestuft aufzustellen, so dass das Wasser zunächst durch Löcher mit 25 mm Lochweite fließt und in Fließrichtung immer kleinere Löcher passiert. In den Versuchsreihen haben sich sechs Lochbleche von 25-4 mm Lochweite bewährt. Ab einer Durchflussmenge von 10 l/s reicht diese Art der Beruhigung allerdings nicht mehr aus, um eine laminare Strömung zu erreichen. Die Turbulenzen des brodelnd einströmenden Wassers übertragen sich dann auf das gesamte Tosbecken. Aus diesem Grund wird ein weiteres Tosbecken zur Vorberuhigung hinzugenommen. Große Wassermengen können hier einströmen und werden durch ein senkrecht vor der Überlaufkante stehendes Lochblech in ihrer Strömungsrichtung gleichgerichtet. Von dort aus gelangt das Wasser in das eigentliche Tos- und Beruhigungsbecken. Das Beruhigungsbecken bleibt somit von den größten Turbulenzen unberührt. Dennoch ist auch hier die Unterteilung des Beckens mit einem Schott zwingend erforderlich. Mittels dieser optimierten Beruhigungsstufen gelingt es, auch mit einer Durchflussmenge von 10 l/s und mehr eine laminare Strömung an den Überlaufkörper heranzuführen. In Abbildung 28 und 29 liegt das zusätzliche Tosbecken zur Vorberuhigung hinter dem grünen B-Schlauch. Über einen gerundeten Überlaufkörper, der die Überleitung des Wassers mit minimalen Absturzhöhen ermöglicht, gelangt das Wasser in das Beruhigungsbecken. In Abbildung 29 strömt es mit einem Durchfluss von 3 l/s sehr ruhig aus dem zusätzlichen Tosbecken in das eigentliche Tosbecken. Bei einem Durchfluss von 10 l/s fließt es leicht schäumend und bildet in Fließrichtung Streifen auf dem gerundeten Überlaufkörper aus (Abbildung 30).

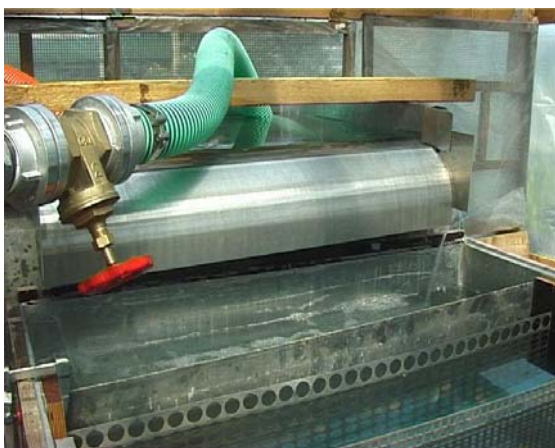


Abbildung 29: Überfluss ins Tosbecken bei 3 l/s



Abbildung 30: Überfluss ins Tosbecken bei 10 l/s

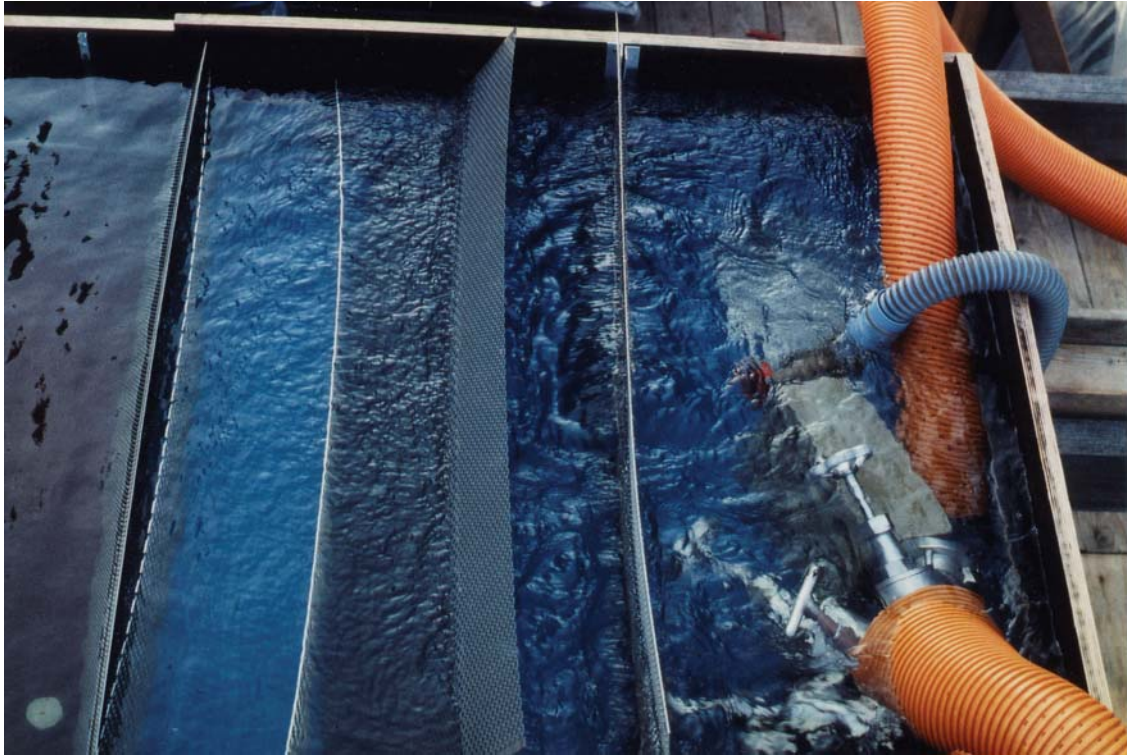


Abbildung 31: Tosbeckenkammer mit Schott und Lochblechen

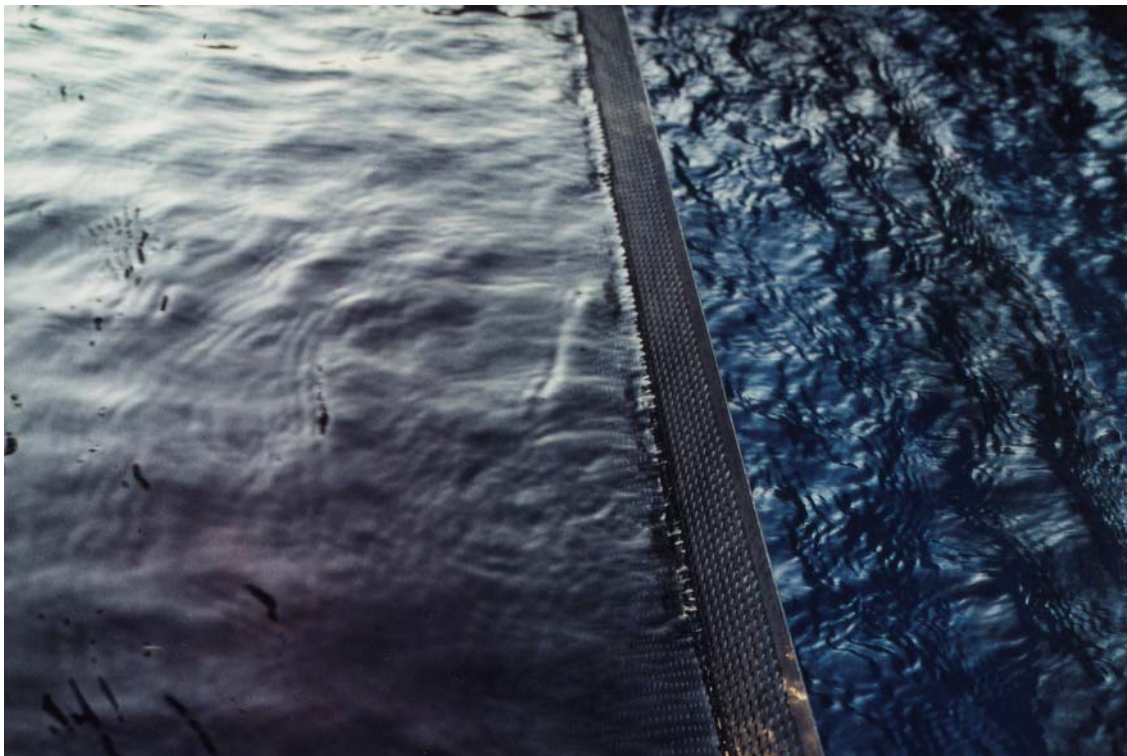


Abbildung 32: Beruhigung mittels Lochblech. Fließrichtung von rechts nach links

Das in das Beruhigungsbecken einströmende Wasser wird durch ein weiteres, in Kammern unterteiltes Becken mit unterseitigem Durchlass geführt. In der Tosbeckenkammer mit Schott und Lochblechen ist rechts im Bild gut sichtbar (Abbildung 31), wie turbulent das Wasser in der ersten Kammer des Tosbeckens ist und wie sehr die Unterführung zur Beruhigung des



Wassers beiträgt. Durch die Passage von sechs verschiedenen Beruhigungsbereichen mit Größen gestuften Lochblechen wird das Wasser immer weiter beruhigt. Die Auswirkungen der Durchquerung des Lochbleches sind in Abbildung 32 gut erkennbar. Ab 13 l/s Durchfluss kommt noch ein weiterer Einflussfaktor hinzu. Das abstürzende Wasser des Wasserfilms setzt das Auffangbecken in Schwingungen. Diese übertragen sich auf die Tragkonstruktion des Versuchsstandes und somit auch auf die zwei Tosbecken nebst Überlaufkörper. Dies hat wiederum Beeinträchtigungen in der Beruhigung und der Ausbildung des Wasserschleiers zur Folge.

### 5.1.2 Wasserschleier unter Windeinfluss

Wasserschleier im Freiraum werden unmittelbar durch ihre Exponiertheit zum Wind beeinflusst. Je nach Windintensität kann sich das Erscheinungsbild des Wasserschleiers völlig verändern. Zum einen kann der Wind den Bogenverlauf des Wassers modifizieren, zum anderen kann er auch zu einem früheren Aufreißen des Wasserschleiers führen, indem er den Wasserfilm dehnt und so die Wasserfilmdicke verringert. Der sichtbarste Einfluss von böig oder stetig wehendem Wind zeigt sich an der Instabilität eines Wasserschleiers, wie er auf Abbildung 33 erkennbar ist.



Abbildung 33: Wasserschleier unter Windeinfluss, Bildfolge von links nach rechts: 1,2,3

Ein zuvor klarer Wasserschleier (1) wird von einer Windböe erfasst (2), vom Wind aufgebläht und zerreißt aufgrund seiner Bewegungen viel früher (3).

Der Wind beeinflusst den Wasserschleier allerdings auch indirekt. Bläst er beispielsweise auf das Beruhigungsbecken, wird die Fließgeschwindigkeit dadurch erheblich verändert. Die kleinen Wellen auf der Oberfläche des Wassers im Becken übertragen sich auf den Wasserschleier und lassen diesen wiederum früher aufreißen als gewöhnlich.

Um bei den Versuchsreihen den Einflussfaktor Wind weitgehend auszuschalten und eine Vergleichbarkeit der einzelnen Versuchsreihen sicher zu stellen, wird um den Versuchsstand ein Folienhaus gebaut.

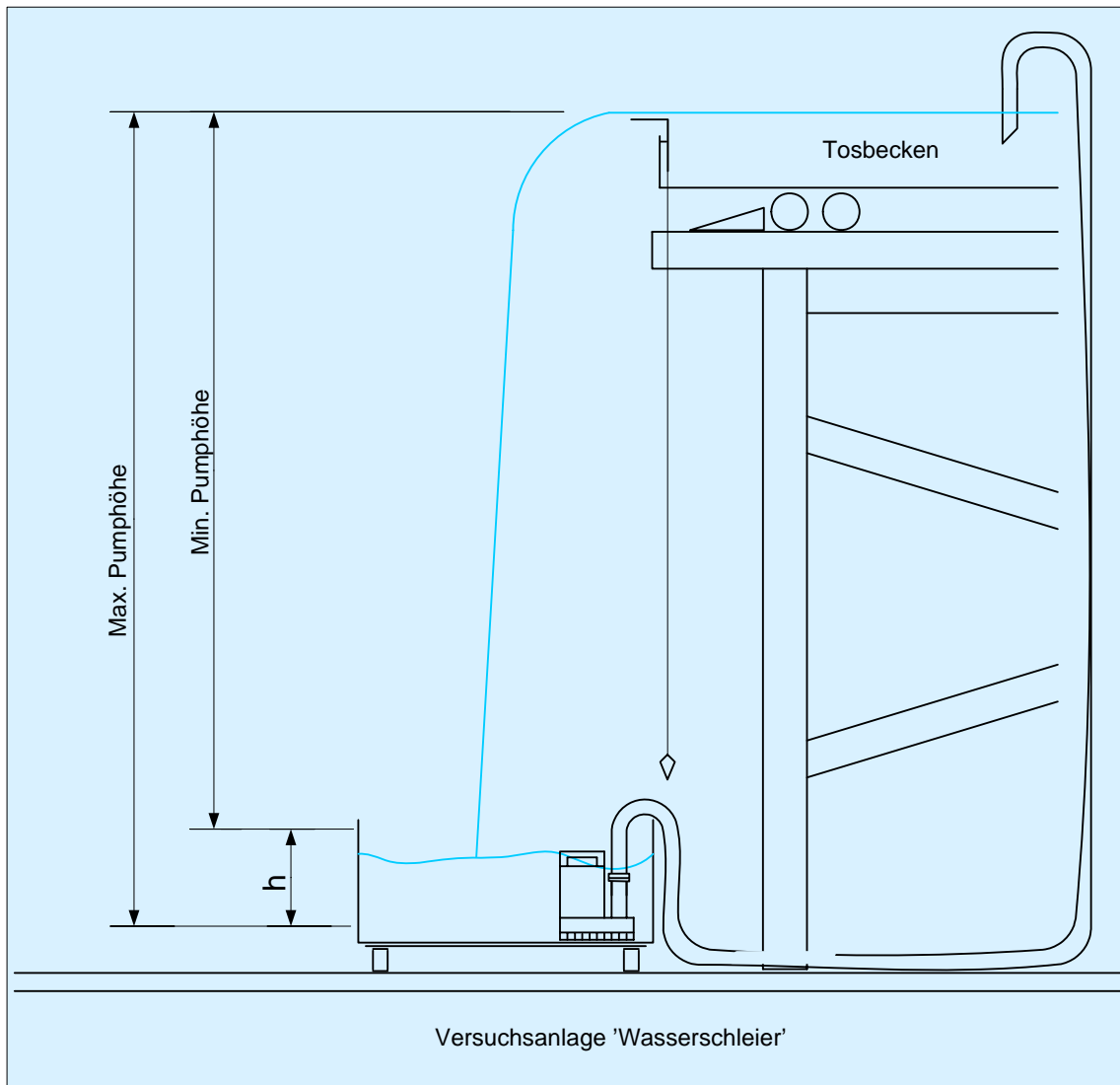
### **5.1.3 WASSERSCHLEIER AN UNTERSCHIEDLICHEN ÜBERLAUFKÖRPERN**

An 14 verschieden ausgeformten Überlaufkörpern wurden die entstehenden Wasserschleier untersucht (vgl. Kapitel 4.2.1). Dabei ergeben sich unterschiedlich ausgebildete Wasserschleier. Folgende Messergebnisse werden ausgewertet: die Wasserschleierlänge und -breite, der Bogenverlauf, die Absenkung des Wasserfilms und die Wasserfilmhöhe über dem Überlaufkörper. In die ästhetischen Bewertungen fließen Merkmale wie Glätte, Klarheit oder Strukturen auf dem Wasserfilm ein. Aus beiden Ergebnissen wird eine Gesamtbewertung gebildet. Die Ergebnisse werden aus den zuvor beschriebenen, optimierten Reihen unter windgeschützten Bedingungen zusammengestellt.

Die Versuchsreihen im Außenraum werden nicht weiter diskutiert, da Messergebnisse mit Windeinwirkungen nicht zuverlässig replizierbar sind. Im Verlauf der Untersuchungen stellt sich heraus, dass für eine konstante Pumpleistung ein gleich bleibender Wasserspiegel im Auffangbecken notwendig ist. Die Wasserschleierlängen werden durch die jeweilige minimale oder maximale Pumphöhe beeinflusst. Dazu ein Beispiel: Bei 20 cm Füllstand im Auffangbecken (vgl. Darstellung 55) beträgt die gemessene Wasserfilmhöhe auf der Krone 0,55 cm und die Wasserschleierlänge bis zum Aufriss 145 cm.

Im Vergleich dazu beträgt bei 50 cm Füllstand im Auffangbecken die Wasserfilmhöhe auf der Krone 0,65 cm und die Aufrissslänge des Wasserschleiers 175 cm.

Die Protokolle der Untersuchungen der Innenraummessungen befinden sich im Anhang zu Kapitel 5.1.



Darstellung 55: Pumphöhe im Versuchsstand zur Untersuchung von Wasserschleiern

### 5.1.3.1 Messergebnisse

Es hat sich gezeigt, dass bei der gewählten 100 cm breiten Absturzkante eine Durchflussmenge von 1 l/s nicht ausreicht, um einen geschlossenen Schleier zu erzeugen. Aus diesem Grund werden die Untersuchungen mit einer Durchflussmenge von 2 l/s durchgeführt. So entsteht ein Schleier, der je nach Form der Absturzkante eine Länge von 160-180 cm und eine Breite von 31,5-61 cm aufweist (vgl. Tabelle 8).

Die Messpunkte für die Breite liegen zur besseren Vergleichbarkeit bei einem festgelegten, vertikalen Abstand von 210 cm von der Überlaufkrone.

Die längsten geschlossenen Wasserschleier werden an den Überlaufkörpern mit rechten Winkeln von 25 und 50 mm Schenkellänge (je 180 cm) sowie an den Überlaufkörpern mit 10° Anlauf und mit Achtelkreisen mit 100 und 300 mm Radius (jeweils 175 cm) erzielt.

Der Überlaufkörper mit einem rechten Winkel von 100 mm Schenkellänge hat den breitesten Wasserschleier (68 cm), gefolgt von den Überlaufkörpern mit 20 und 30° Anlauf (je 67 cm). Der Überlaufkörper mit Viertelkreis und 100 mm Radius hat mit 41 cm Breite den schmalsten Wasserschleier (vgl. Tabelle 8).

Messungen an Wasserschleiern bei einem Durchfluss von 2 l/s														
Überlaufkörper	10° Anlauf	20° Anlauf	30° Anlauf	90° Winkel, L= 25 mm	90° Winkel, L= 50 mm	90° Winkel, L= 100 mm	90° Winkel, L= 200 mm	1/8 Kreis, r= 300 mm	1/4 Kreis, r= 100 mm	1/8 Kreis, r= 100 mm	1/8 Kreis, r= 200 mm	15° Anlauf, r= 35 mm	15° Anlauf, r= 45 mm	30° Winkel, L= 50 mm
Wfh über Krone	0,4	0,4	0,5	0,9	1	1,1	1,15	0,9	0,9	0,9	1,1	0,9	0,9	0,9
Wfh 80 cm vor Absturz	21,4	21,7	22,2	21,3	21,5	21,5	22	21,7	21,1	21	21,5	23,7	25,7	21,1
Wfh 60 cm vor Absturz	21,2	21,4	22	21,2	21,4	21,4	21,6	21,6	20,9	20,9	21,4	23,5	25,5	21
Ws-länge bis Aufriss	175	170	170	180	180	170	170	175	165	175	170	160	170	170
Ws-breite am Aufriss	63	67	67	59	61	68	66	63	52	62	62	49	63	62
Ws-breite bei 210 cm	57	60	55	53	56	61	58	56	41	56	54	31,5	52	55

Tabelle 8: Zusammenstellung der Messwerte im Vergleich der Überlaufkörper bei 2 l/s im Innenraum, Wfh= Wasserfilmhöhe, Ws= Wasserschleier, L= Schenkellänge, r= Radius, alle Angaben in cm

Zur Interpretation der Wasserspiegelabsenkung in Tabelle 8 ist Folgendes zu bemerken: Die Messpunkte zur Erfassung der Wasserspiegelabsenkung in 60 und 80 cm Entfernung zum Überlaufkörper erfassen den gesamten Wasserspiegel im Tosbecken. Die Krone des Überlaufkörpers ist immer 20 cm über dem Tosbeckenboden eingebaut. Somit setzen sich die Messwerte zur Absenkung des Wasserspiegels aus 20 cm Aufstauhöhe im Tosbecken und dem Wasserfilm über der Krone des Überlaufkörpers zusammen. Dieser wird durch die Durchflussmenge bestimmt. Auf der Krone des Überlaufes werden nur die Wasserfilme gemessen. Um zu ermitteln, wie sich der Wasserfilm vom ersten über den zweiten Messpunkt bis zur Krone des Überlaufes absenkt, müssen beim Messwert über der Krone des Überlaufkörpers noch einmal 20 cm addiert werden, um alle drei Werte miteinander vergleichen zu können (Tabelle 8). Eine Ausnahme bilden die Überlaufkörper mit 15° Anlauf und einem Radius von 35 und 45 mm. Aus technischen Gründen wurden sie 20 mm (r= 35 mm) und 40 mm (r= 45 mm) höher eingebaut. Hier müssen folglich auf die Wasserfilmhöhe über der Krone jeweils 22 und 24 cm addiert werden, um die Messwerte vergleichen zu können.

Aus der Differenz des Messwertes am Messpunkt, der 80 cm vor dem Überlaufkörper liegt und dem Messwert auf der Krone ergibt sich Tabelle 9.

Wasserspiegelabsenkung vom Tosbecken in 80 cm Entfernung des Überlaufes bis zur Krone des Überlaufkörpers														
Überlaufkörper Durchfluss 2 l/s	10° Anlauf	20° Anlauf	30° Anlauf	90° Winkel, L= 25 mm	90° Winkel, L= 50 mm	90° Winkel, L= 100 mm	90° Winkel, L= 200 mm	1/4 Kreis, r = 100 mm	1/8 Kreis, r = 100 mm	1/8 Kreis, r = 200 mm	1/8 Kreis, r = 300 mm	15° Anlauf, r = 35 mm	15° Anlauf, r = 45 mm	30° Winkel, L= 50 mm
Gesamtabsenkung des Wasserfilms (cm)	1,05	1,3	1,7	0,4	0,45	0,4	0,85	0,2	0,05	0,4	0,8	0,8	0,8	0,2

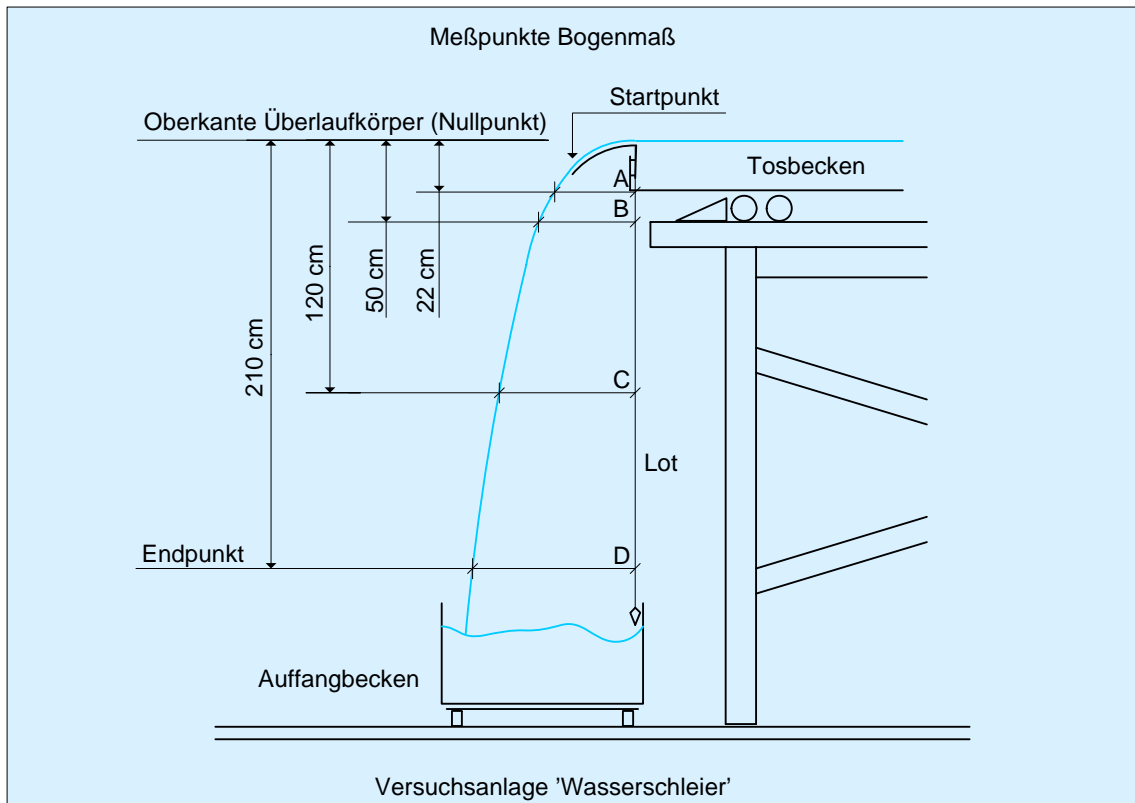
Tabelle 9: Absenkung des Wasserspiegels an 14 Überlaufkörpern, L= Schenkellänge, r= Radius

Die Absenkung des Wasserspiegels ist bei einem Überlaufkörper mit Achtelkreis bei einem Radius von 100 mm am geringsten (0,05 cm) und bei einem Überlaufkörper mit 30° Anlauf am höchsten (1,7 cm) (vgl. Tabelle 9). Es spielt eine Rolle, wie groß die Oberfläche des überströmten Überlaufkörpers ist. Wird die Strecke länger, die ein Wasserfilm auf dem Überlaufkörper bis zum Absturz fließt, nimmt die Absenkung des Wasserspiegels zu und somit auch die Fließgeschwindigkeit. Dies wird besonders bei Betrachtung der Überlaufkörper mit Anläufen deutlich.

Aus den Untersuchungen lässt sich feststellen, dass der Absenkungsbereich zwischen 60 und 80 cm vor dem Überlaufkörper liegt, die Entfernung drei- bis maximal viermal der Überlaufkörperhöhe von 20 cm entspricht (vgl. RÖSSERT 1969, SCHRÖDER 1994, DRACOS 1990).

Werden die Bogenverläufe der Wasserschleier betrachtet, kann ein sehr unterschiedlicher Bogenverlauf, je nach Überlaufkörper, festgestellt werden. Dies ist schon aus Versuchen (AHNER & SEEGERT 1997) bekannt. Der Startpunkt des Bogens liegt in Fließrichtung gesehen in den meisten Fällen vor dem Endpunkt des Bogens, bevor er ins Auffangbecken eintaucht.

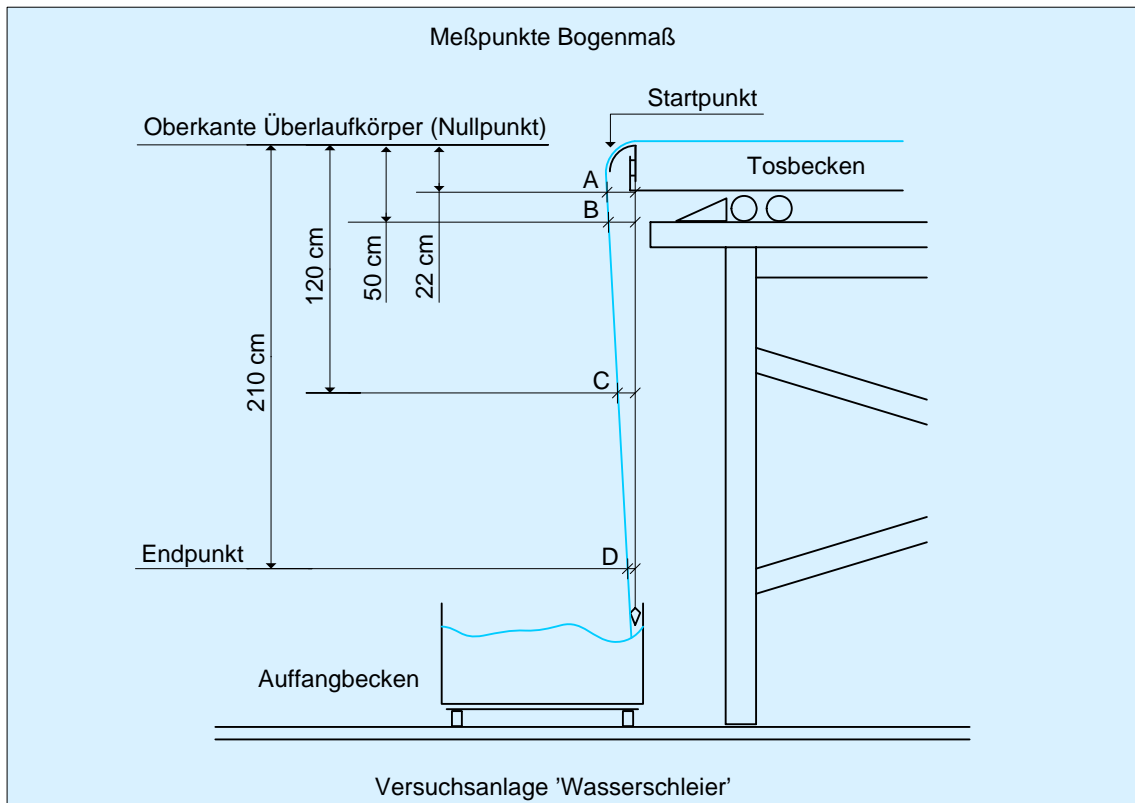




Darstellung 56: Bogenverlauf des Wasserschleiers mit Überlaufkörper mit Achtelkreis und 300 mm Radius

Die Bogenmaße wurden jeweils vom Lot aus gemessen, das den Nullpunkt an der Vorderkante des Beruhigungsbeckens markiert. Je nach Ausbildung des Überlaufkörpers sind die Startpunkte unterschiedlich. Deshalb werden als Startpunkt (vgl. Tabelle 10; Darstellung 56) zwei Werte genannt: Der erste benennt die Entfernung vom Anfang des Überlaufkörpers bis zum Absturz in Fließrichtung (horizontal). Der zweite Wert gibt an, wie weit dieser Punkt in Fallrichtung (vertikal) von dem Nullpunkt der Messung entfernt ist.

Der Bogen des Wasserschleiers am Überlaufkörper 'Viertelkreis' (Tabelle 10) verläuft anders als die anderen. Der Endpunkt des Wasserschleierbogens liegt hinter seinem Startpunkt, er ist somit rückwärts gerichtet (vgl. Darstellung 57).



Darstellung 57: Bogenverlauf des Wasserschleiers am Überlaufkörper mit Viertelkreis

Ein ähnlicher Bogenverlauf ist bei den Überlaufkörpern mit  $15^\circ$  Anlauf und 35 mm Radius zu beobachten. Auch hier landet der Schleier 2,5 cm hinter dem Startpunkt. Vergrößert sich der Radius dieses Überlaufkörpers um 10 mm auf 45 mm Radius, ist dieses Phänomen nicht mehr zu beobachten.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Überlaufkörper mit Viertelkreis und derjenige mit  $15^\circ$  Anlauf und einem Radius von 35 mm einen rückwärts gerichteten Bogen beschreiben, während der Überlaufkörper des rechten Winkels mit 25 mm Schenkellänge und der Überlaufkörper mit  $30^\circ$  Anlauf einen fast senkrechten Fall haben. Alle anderen Überlaufkörper beschreiben einen in Fließrichtung verlaufenden Bogen.

Den größten Bogen bilden die Achtelkreise aus, danach kommt der Überlaufkörper mit  $30^\circ$  Winkel und der Rechte Winkel mit 10 cm Schenkellänge. Mit zunehmender Schenkellänge werden die Bögen beim rechten Winkel immer größer. Im Gegensatz dazu bleiben die Bögen über den Überlaufkörpern mit  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  und  $30^\circ$  Anlauf konstant und gehen durchschnittlich nur 10 cm über den Startpunkt hinaus.

Es ist möglich den Bogenverlauf vorherzusagen, weil er die Strömungsrichtung auf dem Überlaufkörper in einem parabelartigen Bogen fortsetzt. Bögen entstehen, wenn Überlaufkörper lang und horizontal verlaufen. Sie werden größer, wenn Überlaufkörper lang und ge-

neigt sind. Ist die Länge des Überlaufkörpers wie bei den Anläufen sehr kurz, fällt der Bogen gerade herab (vgl. Tabelle 10).

Messpunktlage						
Ausbildung des Überlaufkörpers	Bogenbeginn/ Startpunkt (cm)	22 cm	50 cm	120 cm	210 cm	Bogen (cm)
10° Anlauf	11,75/ 0	10,5	14,5	17	21	9,25
20° Anlauf	6,6/ 0	8,5	12,5	16,5	18	11,4
30° Anlauf	3,55/ 0	10	11,5	11	13	9,45
90° Winkel, L= 25 mm	2,5/ 0	5,5	9	9,5	9,5	7
90° Winkel, L= 50 mm	5,0/ 0	7,5	13	14	20	15
90° Winkel, L= 100 mm	10,0/ 0	16,5	20	23,5	28,5	18,5
90° Winkel, L= 200 mm	20,0/ 0	23,5	29,5	30	32,5	12,5
1/4 Kreis, r= 100 mm	10/ 10	9	7,5	6	1,5	- 8,5
1/8 Kreis, r= 100 mm	7,1/ 2,9	13	23,5	29	37,5	30,4
1/8 Kreis, r= 200 mm	14,2/ 5,9	21,5	32	37	54	38,8
1/8 Kreis, r= 300 mm	21,3/ 8,75	26,5	48	49,5	56	34,7
15° Anlauf, r= 35 mm	6,0/ 1,5	6	4,5	4	3,5	- 2,5
15° Anlauf, r= 45 mm	7,0/ 0,5	9,5	12,5	13,5	17,5	10,5
30° Winkel, L= 50 mm	2,4/ 4,35	6	12	16	22,5	20

Tabelle 10: Bogenmaße der Wasserschleier an unterschiedlichen Überlaufkörpern

### 5.1.3.2 Ästhetische Bewertung

Der Wasserschleier als gestalterisches Element soll auch ästhetische Ansprüche erfüllen. Als optimaler Wasserschleier wird ein solcher angesehen, dessen Oberfläche klar, glatt oder gläsern ist, der keine Rillen oder Rauten auf seiner Oberfläche aufweist und möglichst lang und breit ist. Diese Punkte werden als Qualitäten definiert. Als Beeinträchtigung wird unter anderem gewertet, wenn seine Oberfläche seidenmatt, der Hintergrund des Wasserschleiers nur verzerrt zu erkennen ist oder Störungen an den Rändern auftreten (vgl. Tabelle 11).

Die Bezeichnung klarer Wasserschleier wird nur dann eingesetzt, wenn er nicht in sich getrübt oder seidenmatt ist. Glatt ist ein Wasserschleier wenn sich auf der Oberfläche keine Rillen, Rautenmuster oder sonstige Strukturen befinden. Eine Ausnahme bilden die randparallelen Rillen, die durch die Art der Dichtung zwischen Überlaufkörper und Seitenbegrenzung entstehen. Auch wenn randparallele Rillen vorhanden sind, wird ein Wasserschleier in mehreren Fällen als glatt, klar und gläsern bewertet.

Ein Wasserschleier ist gläsern, wenn der Hintergrund eines Wasserschleiers unverzerrt zu erkennen ist, beispielsweise wenn die Schrauben am Tosbecken in ihren Konturen unverzerrt durch den Wasserschleier zu sehen sind.

In den Untersuchungen hat sich gezeigt, dass der Überlaufkörper mit 10° Anlauf am ehesten das gewünschte Bild liefert. Hingegen treten bei dem Überlaufkörper mit 35 mm Radius und 15° Anlauf die meisten Beeinträchtigungen im Wasserscheier auf (vgl. Tabelle 11).

Kriterien zur ästhetischen Bewertung von gläsernen Wasserscheiern bei einem Durchfluss von 2 l/s (Optimum)																		
		Überlaufkörper																
		10° Anlauf	20° Anlauf	30° Anlauf	90° Winkel, L= 25 mm	90° Winkel, L= 50 mm	90° Winkel, L= 100 mm	90° Winkel, L= 200 mm	1/4 Kreis, r= 100 mm	1/8 Kreis, r= 100 mm	1/8 Kreis, r= 200 mm	1/8 Kreis, r= 300 mm	15° Anlauf, r= 35 mm	15° Anlauf, r= 45 mm	30° Winkel, L= 50 mm			
<b>Qualitäten</b>	keine Rauten	•	•	•														
	keine Rillen	•	•															
	unverzerrte Abbildung des Hintergrundes	•			•													
	glatt	•	•					•										
	klar	•	•	•	•	•	•	•		•	•							
	gläsern	•				•	•											
	keine Bewegung im Wasserscheier	•																
	längster Wasserscheier					•												
	kürzester Wasserscheier													•				
	breitester Wasserscheier								•									
	schmalster Wasserscheier													•				
	<b>Beeinträchtigungen</b>	leichte Verzerrungen		•					•	•	•	•	•		•	•	•	
starke Verzerrungen													•					
Störungen durch Rillen an den Rändern		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Rautenmuster im Wasserfilm								•		•	•	•	•	•	•	•		
seidenmatter Wasserscheier										•				•	•			
leichte Bewegung im Wasserscheier			•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Rillen auf dem Wasserscheier					•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Vorwölbung in der Mitte						•	•	•										
Rückwölbung in der Mitte				•			•		•									
Wasserscheier zur Rückwand tendierend					•									•	•			
orangenhautartige Struktur des Wasserfilms													•					
Seitenschleier klebt an den Seiten								•		•		•		•				

Tabelle 11: Qualitäts- und Beeinträchtigungsliste zur Wasserscheierbewertung

Alle Wasserscheier dieser Versuchsreihe weisen Längsrillen im äußersten Randbereich auf. Dies hat technische Gründe. Die Anlage mit austauschbaren Überlaufkörpern bedingt Fugendichtungen mit Dichtstoffen, in diesem Fall mit Silikon. Der Einfluss der Fugendichtung auf den Wasserscheier ist unterschiedlich hoch. Je kürzer die Strecke ist, die der durchschnittlich 9-10 mm hohe Wasserfilm auf dem Überlaufkörper zurücklegt, desto weniger Einfluss kann die Fugendichtung auf das Wasserbild nehmen. Bei den Überlaufkörpern mit An-

läufen reduzieren sich die Einflüsse, da erst direkt vor dem Absturz, das Silikon den Wasserfilm beeinträchtigen kann.

Der klarste Wasserschleier entsteht an Überlaufkörpern mit einem Anlauf von 10 oder 20° (vgl. Tabelle 11). Das Optimum der Anströmung liegt im Bereich zwischen 10 und 20°. Wird die Steigung des Anlaufes erhöht, wird das Wasserbild strukturreicher und unruhiger. Zudem ist der Wasserschleier durchschnittlich 5 cm länger als bei 20 und 30° Anlauf. Das Erscheinungsbild dieser Wasserschleier ist klar, glatt und gläsern.

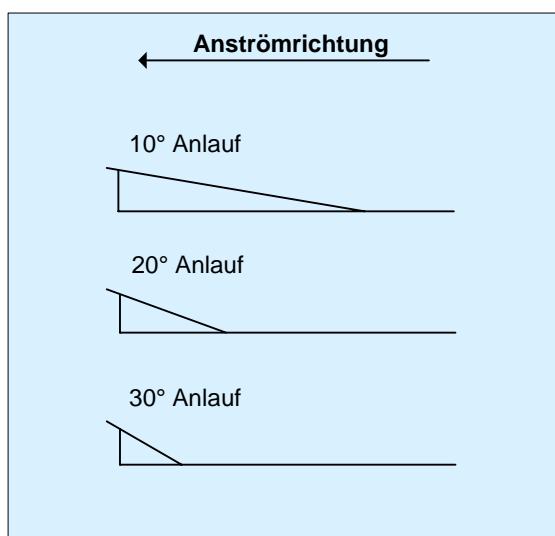
Ein klares Wasserbild wird auch mit den Überlaufkörpern mit rechtem Winkel von 25-50 mm Schenkellänge erzielt. Störungen auf dem Wasserfilm sind bei 25 mm Schenkellänge nicht erkennbar. Der visuelle Eindruck des Überlaufkörpers mit Achteck mit einem Radius von 100 mm ist ebenfalls gut, wenngleich er sehr schnell schmal zusammenläuft und betont v-förmig erscheint.

Die folgenden Überlaufkörper sind weniger geeignet einen glatten, klaren und gläsernen Wasserschleier zu erzielen: Der Viertelkreis, die Achteckkreise mit Radien von 200 und 300 mm sowie die gerundeten Überlaufkörper mit Anläufen und Halbkreisen mit 35 und 45 mm Radien. Hier ist der Wasserfilm mehr oder weniger stark strukturiert. Ein sehr regelmäßiges rautenförmiges Muster weist dabei der Achteckkreis mit 300 mm Radius auf.

Die ästhetischen Merkmale werden in den nachfolgenden Abschnitten bildlich dargestellt und ihre wichtigsten Eigenschaften aufgeführt (Abbildung 34-62).

#### 5.1.3.2.1 Überlaufkörper mit Anläufen

Die Überlaufkörper mit Anläufen haben 10, 20 oder 30° Steigung zur Abrisskante. Sie haben am Ende einen glatten Abschluss. Das Wasser fließt somit auf einer Rampe bis zum Absturz und fällt von dort in das Tosbecken (Darstellung 58).



Darstellung 58: Überlaufkörper mit 10, 20 und 30° Anlauf

## 10° Anlauf



Abbildung 34: Überlaufkörper mit 10° Anlauf

### Ästhetische Merkmale

- keine Rauten oder Rillen auf dem Wasserschleier, nur wenige parallel zum Rand verlaufende Rillen
- glatter, klarer Wasserschleier
- der Wasserfilm hat ein gläsernes Erscheinungsbild
- keine Wasserbewegung erkennbar
- der Hintergrund wird exakt nachgezeichnet
- auch von hinten durchgeschaut gibt es nur minimale Verzerrungen



Abbildung 35: Detail - Überlaufkörper mit 10° Anlauf

### Maße

- Aufrissslänge: 175 cm
- Aufrisbreite: 63 cm

## 20° Anlauf



Abbildung 36: Überlaufkörper mit 20° Anlauf

### Ästhetische Merkmale

- keine Rauten, einige nur parallel zum Rand verlaufende Rillen
- glatter, klarer Wasserschleier
- Wasserbewegungen erkennbar
- es gibt ganz leichte Verzerrungen, die allerdings nur schräg von der Seite betrachtet erkennbar sind
- auch schräg von hinten ist der Wasserschleier relativ klar, aber verzerrter als bei 10° Anlauf



Abbildung 37: Detail - Überlaufkörper mit 20° Anlauf

### Maße

- Aufrissslänge: 170 cm
- Aufrisbreite: 67 cm

### 30° Anlauf



Abbildung 38: Überlaufkörper mit 30° Anlauf

### Ästhetische Merkmale

- die Rillen sind nur in den Spiegelungen an der Rückwand sichtbar
- der Wasserschleier ist klar und mit Ausnahme des Randbereichs glatt
- leichte Bewegungen im Wasserschleier
- der mittlere Bereich des Wasserschleiers ist leicht nach innen gewölbt
- es gibt leichte Verzerrungen, die allerdings nur schräg von der Seite betrachtet erkennbar sind



Abbildung 39: Detail - Überlaufkörper mit 30° Anlauf

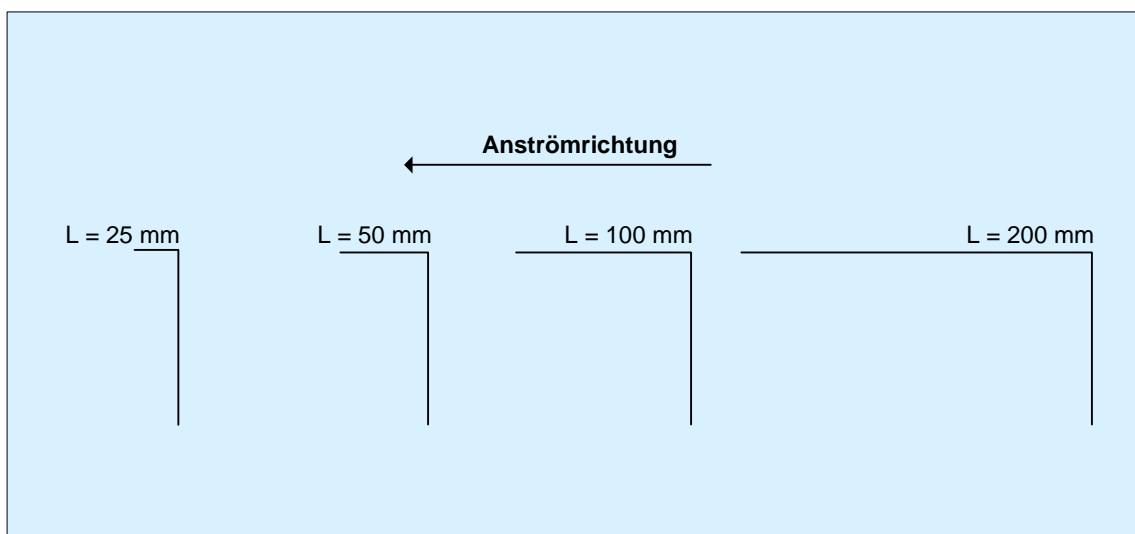
### Maße

- Aufrisslänge: 170 cm
- Aufrissbreite: 62 cm

### **5.1.3.2.2 Überlaufkörper mit rechten Winkeln**

Der Überlaufkörper mit rechtem Winkel wird in vier unterschiedlichen Längen untersucht. Die Schenkellängen betragen 25, 50, 100 und 200 mm.

Ein besonderes Phänomen tritt bei 200 mm Schenkellänge auf. Hier entstehen sichtbare Wellen auf dem Überlaufkörper. Der resultierende Wasserschleier ist deutlich unruhiger ausgebildet. Weitere Details werden im Anschluss dieser Ergebnisreihe dargestellt.



Darstellung 59: Überlaufkörper mit rechten Winkeln



## Rechter Winkel mit 25 mm Schenkellänge



Abbildung 40: Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 25 mm

### Ästhetische Merkmale

- der Wasserschleier ist klar und liefert ein scharfes Wasserbild
- an den Seiten treten randparallele Rillen auf
- von vorn betrachtet gibt es keine Verzerrung des Hintergrundes
- von der Seite betrachtet erscheinen leichte Längsrillen



Abbildung 41: Detail - Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 25 mm

### Maße

- Aufrisslänge: 180 cm
- Aufrisssbreite: 59 cm

## Rechter Winkel mit 50 mm Schenkellänge



Abbildung 42: Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 50 mm

### Ästhetische Merkmale

- der Wasserschleier ist klar und gläsern
- es tritt eine tiefe breite Seitenrinne an jeder Seite auf, die stärker ausgebildet ist als bei 2,5 cm
- feine Streifen an der Seite werden am Rand sehr deutlich
- der Wasserschleier wölbt sich im mittleren Bereich vor, an der Seitenbegrenzung ist die Vorwölbung 6 cm breit
- längster Wasserschleier



Abbildung 43: Detail - Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 50 mm

### Maße

- Aufrisslänge: 180 cm
- Aufrisssbreite: 61 cm



## Rechter Winkel mit 100 mm Schenkellänge



Abbildung 44: Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 100 mm

### Ästhetische Merkmale

- der Wasserschleier ist klar und gläsern mit leichten Strukturen und Rautenmuster auf dem Wasserfilm
- an den Rändern Störungen in Form von Rillen durch Seitenanschlüsse
- leichte Verzerrungen, wenn von hinten schräg durch den Wasserschleier geschaut wird
- 3 cm breite Vorwölbung an der Seite, 4-5 cm Innenwölbung in der Mitte



Abbildung 45: Detail – Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 100 mm

### Maße

- Aufrisslänge: 170 cm
- Aufrisbreite: 66 cm

## Rechter Winkel mit 200 mm Schenkellänge



Abbildung 46: Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 200 mm

### Ästhetische Merkmale

- der Wasserschleier ist glatt, aber nicht so gläsern wie vorige
- an den Seiten deutliche Rillen, einige Blasen am Rand
- leichte Verzerrungen durch randparallele Rillen
- zu Beginn des Überlaufkörpers entstehen wellenförmige Bewegungen (siehe Abbildung 47)



Abbildung 47: Detail - Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 200 mm

### Maße

- Aufrisslänge: 170 cm
- Aufrisbreite: 68 cm

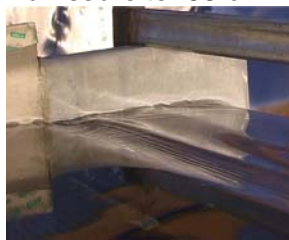
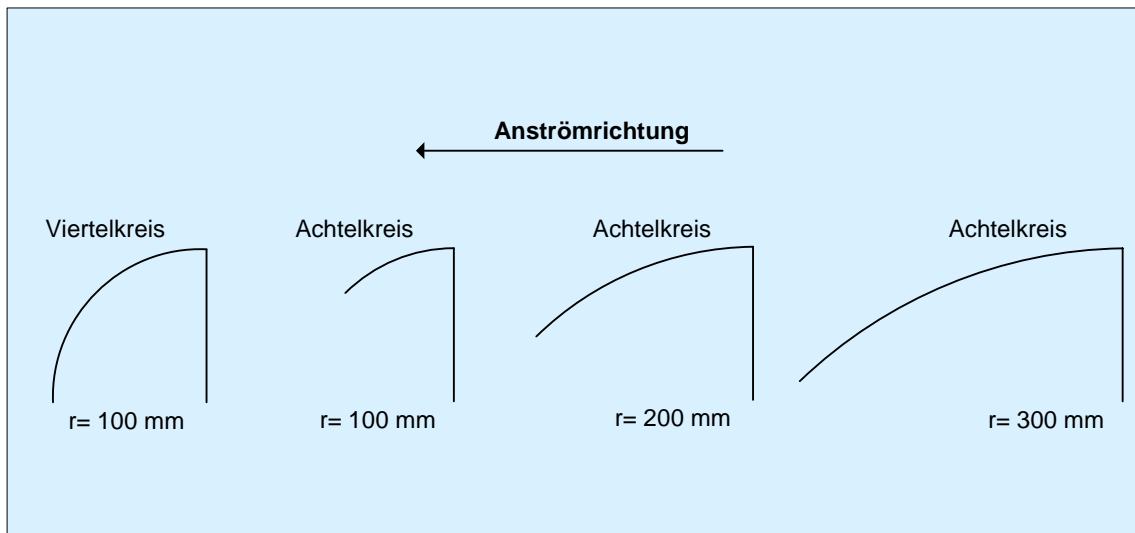


Abbildung 48: Wellen auf der Krone

### 5.1.3.2.3 Gerundete Überlaufkörper

Bei diesen Überlaufkörpern handelt es sich um einen Viertel- und verschiedene Achtelkreise und zwei Überlaufkörper mit Anläufen von 35 und 45 mm Radius, die in der Literatur besonders empfohlen werden. Besonderheiten werden im direkten Vergleich aufgezeigt (vgl. Darstellung 60).



Darstellung 60: Gerundete Überlaufkörper mit Viertelkreis und Achtelkreisen

#### Viertelkreis mit einem Radius von 100 mm



Abbildung 49: Überlaufkörper mit Viertelkreis,  $r=100$  mm

#### Ästhetische Merkmale

- weist auf seiner Wasserfilmoberfläche ein rauhenförmiges Muster auf, das sich von der Seite betrachtet, als Rillen zeigt
- der Wasserschleier ist seidenmatt
- der Wasserfilm löst sich direkt an der Abrisskante von der Seitenbegrenzung ab
- er ist am Tosbeckenboden nur noch 92 cm breit
- der Wasserschleier ist windanfälliger als die anderen



Abbildung 50: Detail - Überlaufkörper mit Viertelkreis,  $r=100$  mm

#### Maße

- Aufrisslänge: 165 cm
- Aufrisbreite: 52 cm

### Achtelkreis mit einem Radius von 100 mm

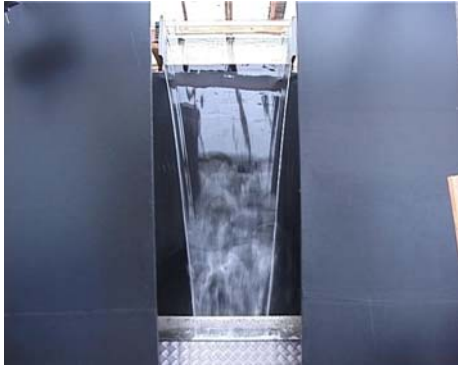


Abbildung 51: Überlaufkörper mit Achtelkreis,  $r= 100$  mm

#### Ästhetische Merkmale

- deutliche Rauten im Wasserschleier, mit vielen feinen seitlichen Rillen
- leichte Verzerrungen in Längsstreifen
- der Wasserschleier ist klar
- von hinten durchgeschaut zeigt sich der Wasserschleier klar aber mit feinen Rillen
- der Wasserschleier ist 5 mm unter der Seitenbegrenzung auf einer Länge von 3,5 cm herausgewölbt



Abbildung 52: Detail - Überlaufkörper mit Achtelkreis,  $r= 100$  mm

#### Maße

- Aufrissslänge: 175–180 cm
- Aufrisbreite: 62 cm

### Achtelkreis mit einem Radius von 200 mm



Abbildung 53: Überlaufkörper mit Achtelkreis,  $r= 200$  mm

#### Ästhetische Merkmale

- feines, deutlich plastisches Rautenmuster
- zahlreiche randparallele Rillen an der Abrisskante
- der Wasserschleier ist klar
- von der Seite betrachtet sind leichte Rillen und minimale Verzerrungen des Hintergrundes erkennbar
- der Wasserfilm ist auf der Krone so gleichmäßig, dass fast kein Fließen erkennbar ist



Abbildung 54: Detail - Überlaufkörper mit Achtelkreis,  $r= 200$  mm

#### Maße

- Aufrissslänge: 170 cm
- Aufrisbreite: 62 cm

## Achtelkreis mit einem Radius von 300 mm



Abbildung 55: Überlaufkörper Achtelkreis,  $r = 300 \text{ mm}$

### Ästhetische Merkmale

- die Oberfläche des Wasserschleiers hat eine orangenhautartige Struktur
- tiefe plastische Rautenmuster mit dicken Rillen, die sich bis zum Aufriss fortsetzen
- von der Seite sind tiefe Furchen zu erkennen
- aus der Reihe der gerundeten Überlaufkörperformen ist dieser Wasserschleier der Strukturreichste
- die Umkantung beträgt an der Unterkante des Tosbeckens 4,5 cm, reicht bis zum Tragbalken

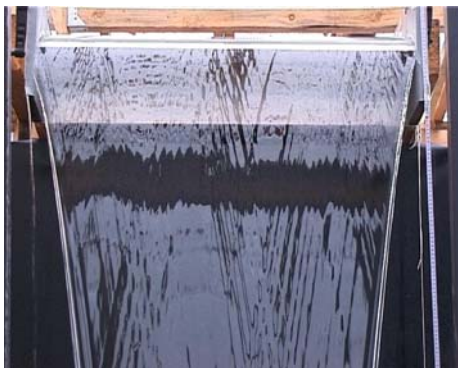


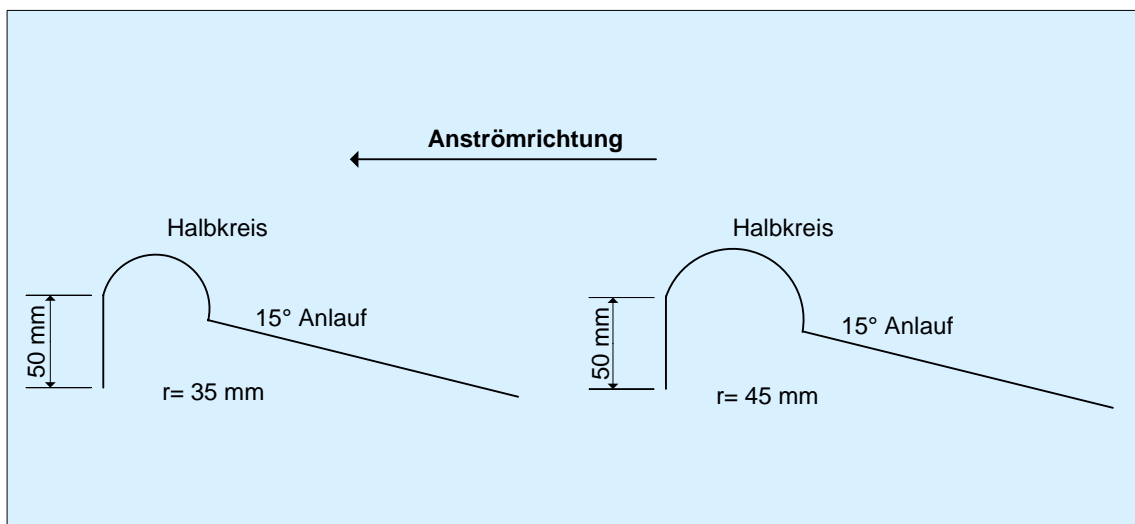
Abbildung 56: Detail - Überlaufkörper mit Achtelkreis,  $r = 300 \text{ mm}$

### Maße

- Aufrisslänge: 175 cm
- Aufrissbreite: 63 cm

Überlaufkörper mit  $15^\circ$  Anlauf  $r = 35 \text{ mm}$

Überlaufkörper mit  $15^\circ$  Anlauf  $r = 45 \text{ mm}$



Darstellung 61: Gerundete Überlaufkörper mit Anläufen und Radien von 35 und 45 mm

### 15° Anlauf mit einem Radius von 35 mm

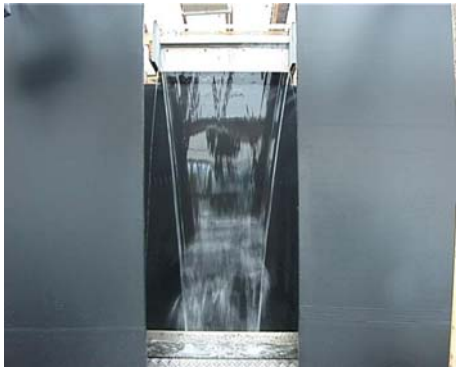


Abbildung 57: Überlaufkörper mit 15° Anlauf, r= 35 mm

#### Ästhetische Merkmale

- weiche Rillen unterhalb der Abrisskante
- leichte Verzerrungen von der Seite
- der Wasserschleier ist seidematt
- der Wasserschleier fällt etwas nach hinten in Richtung Rückwand zurück
- das Wasserbild weist weniger Rauten auf als jenes des Überlaufkörpers mit einem Radius von 45 mm
- kürzester und schmalster Wasserschleier



Abbildung 58: Detail - Überlaufkörper mit 15° Anlauf, r= 35 mm

#### Maße

- Aufrissslänge: 160 cm
- Aufrisbreite: 49 cm

### 15° Anlauf mit einem Radius von 45 mm



Abbildung 59: Überlaufkörper mit 15°Anlauf, r= 45 mm

#### Ästhetische Merkmale

- zahlreiche plastische Rillen, die am Absturz beginnen und sich verkehrt v- förmig fortsetzen, teilweise bilden sie Rauten
- der Wasserschleier ist seidematt und sieht wie gefurcht aus, auch von der Seite sind deutliche Höhenunterschiede erkennbar
- der Wasserfilm klebt an Seitenbegrenzungen



Abbildung 60: Detail - Überlaufkörper mit 15° Anlauf, r= 45 mm

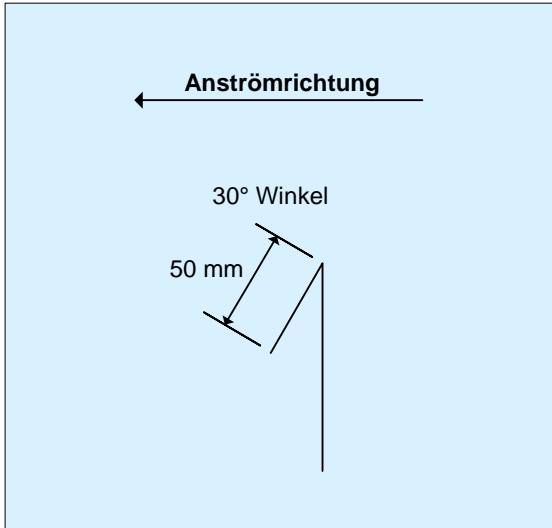
#### Maße

- Aufrissslänge: 170 cm
- Aufrisbreite: 63 cm



#### 5.1.3.2.4 Überlaufkörper mit 30° Winkel

Der Überlaufkörper mit 30° Winkel wird von AURAND (1991) besonders favorisiert (Kapitel 2.1.1) und wird deshalb in die Untersuchungen einbezogen.



Darstellung 62: Überlaufkörper mit 30° Winkel

#### 30° Winkel, L = 50 mm



Abbildung 61: Überlaufkörper mit 30° Winkel, L=50 mm

#### Ästhetische Merkmale

- der Wasserschleier ist klar, hat aber Rillen in der Mitte
- am Rand sind die Rillen deutlich erkennbar, ebenso von der Seite
- von vorn sind sie nur in den Spiegelungen sichtbar
- mittig ist der Wasserschleier leicht zur Rückwand hin gewölbt



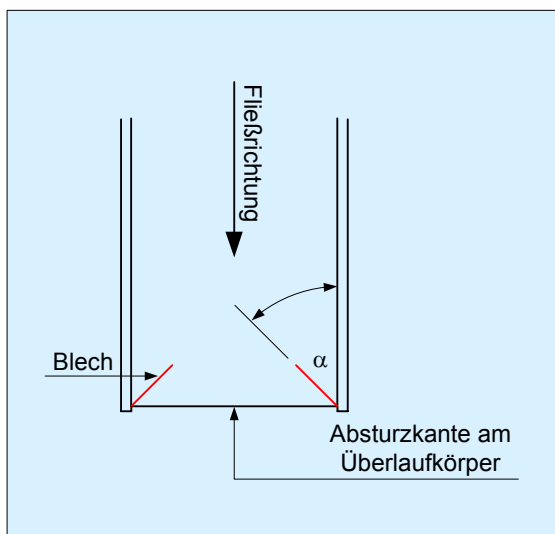
Abbildung 62: Detail - Überlaufkörper mit 30° Winkel, L= 50 mm

#### Maße

- Aufrisslänge: 170 cm
- Aufrissbreite: 62 cm

#### 5.1.4 OPTIMIERUNG DER BREITE VON WASSERSCHLEIERN

Wie die Ergebnisse in Kapitel 5.1.3.1 gezeigt haben, kommt es bei geringen Durchflussmengen sehr schnell zu einer Verjüngung des Wasserschleiers. Um diese Verjüngung zu verzögern, ist es nötig, auf der Krone des Überlaufkörpers mehr Wasser an die Seitenbereiche zu leiten. Dies ist möglich, indem zwei Winkelbleche im Seitenbereich des Überlaufkörpers so aufgestellt werden, dass sie den Wasserfilm zu den Seiten lenken. Die Bleche werden in einem Winkel  $\alpha$  von 40-45° aufgestellt (vgl. Darstellung 63). Die optimale Länge der Winkelbleche bewegt sich zwischen 30 und 40 cm. Es ist so möglich, bei 210 cm Messhöhe und einem Durchfluss von 2 l/s die ursprüngliche Wasserschleierbreite von 55 auf 65 cm zu verbreitern.



Darstellung 63: Aufstellung der Winkelbleche am Beispiel 45° und 30 cm Blechlänge

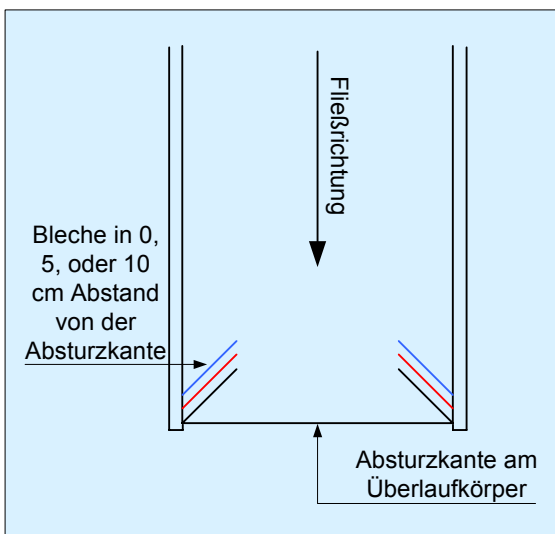
Allerdings muss angemerkt werden, dass jegliche Verbreiterung den ästhetischen Eindruck verändert und sich glatte, gläserne Wasserschleier nicht mehr verwirklichen lassen. Durch lenkende Winkelstücke vor der Absturzkante nehmen die Beeinflussungen durch Rillen im Seitenbereich sichtbar zu. Aus diesem Grund kann der Einsatz dieser Hilfsmittel nur für eine Durchflussmenge von 2 l/s empfohlen werden. Bei höheren Durchflussmengen sind die Beeinträchtigungen des Gesamterscheinungsbildes des Wasserschleiers derart stark, dass glatte Wasserschleier nicht mehr erzeugt werden können. Ist es jedoch nicht das Ziel, einen gläsernen Wasserschleier zu erzeugen, kann es durchaus sinnvoll sein, lenkende Bleche einzusetzen, um der Verjüngung entgegen zu wirken. In der nachfolgenden Abbildung 63 ist ein eingefärbter Wasserschleier zu sehen, der mit lenkenden Blechen erzeugt wurde und bei einer Durchflussmenge von 10 l/s entsteht. An den Rändern und auf der Oberfläche des Wasserschleiers sind deutliche Störungen erkennbar. Die Bleche mit einer Blechlänge von 30 cm wurden mit einem 45° Winkel an der Absturzkante aufgesetzt.



Abbildung 63: Einfluss lenkender Bleche auf die Verjüngung des Wasserschleiers

Es ist am effektivsten die Winkelbleche direkt an der Absturzkante zu platzieren. Erfolgt die Aufstellung in 5 cm Entfernung zur Absturzkante (vgl. Darstellung 64, rotes Blech), so wird je nach Aufstellwinkel nur eine Wasserschleierbreite von 61 (40°) bis 63 cm (45°) erreicht, im Vergleich zu 65 und 67 cm bei Aufstellung direkt an der Absturzkante (vgl. Tabelle 14).

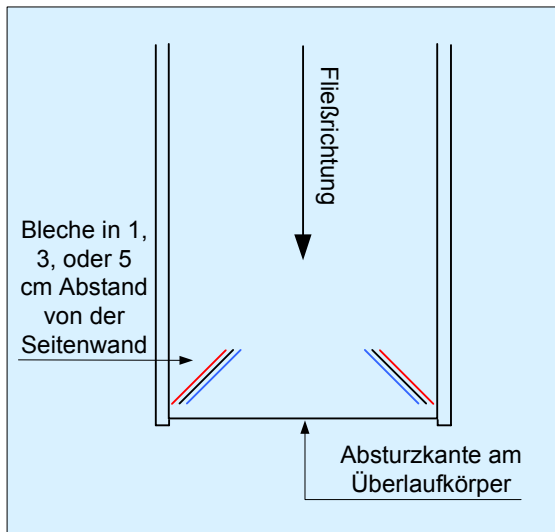
Bei 10 cm Entfernung (vgl. Darstellung 64, blaues Blech) ist nur eine Breite von 57 (40°) bis 61 cm (45°) zu erzielen.



Darstellung 64: Anordnung der Winkelbleche in Abstand zur Absturzkante, Schwarz= 0 cm, Rot= 5 cm, Blau= 10 cm Abstand.



Werden die Bleche nicht direkt an der Seitenbegrenzung eingefügt, sondern mit einem Abstand von 1-5 cm (Darstellung 65), so erfolgt keine nennenswerte Verbreiterung des Wasserschleiers.



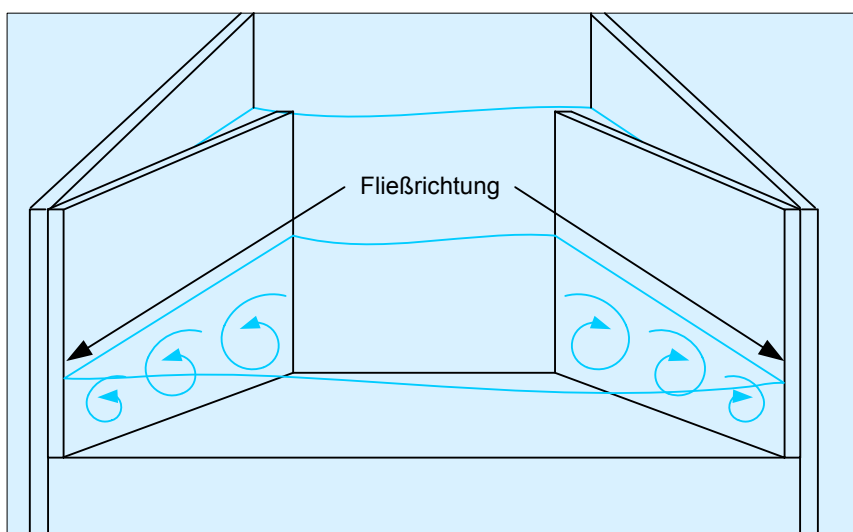
Darstellung 65: Anordnung der Winkelbleche, am Beispiel 45°

mit verschiedenen Abständen zur Seitenwand, Rot= 1 cm, Schwarz= 3 cm, Blau= 5 cm Abstand

Insgesamt ist festzustellen, dass der Einsatz von Winkelblechen zwar der Verjüngung des Wasserschleiers entgegen wirkt, dafür aber seine ästhetische Qualität beeinflusst.

Die Verwendung eines Winkelbleches zur Verhinderung der Verjüngung kann aus gestalterischer Sicht nicht uneingeschränkt empfohlen werden, da die visuellen Ergebnisse schlechter sind als bei einem unbeeinflussten Wasserschleier.

Die längs des Bleches erzeugten Wirbel sind der Grund für die Beeinträchtigungen. Sie wirken sich als Rillen auf dem Wasserfilm aus, die mit zunehmender Durchflussmenge und Fließgeschwindigkeit deutlicher hervortreten (vgl. Darstellung 66).



Darstellung 66: Prinzipskizze Wirbelbewegung

Die genauen Werte von Wasserschleierbreiten mit und ohne Bleche und ihre Aufrisshöhe können Tabelle 12 entnommen werden. Die exemplarisch dargestellten Messreihen variieren den Winkel von 25-60° bei einer Blechlänge von 40 cm.

Wasserschleierbreite ohne und mit 40 cm Blechen bei einem Durchfluss von 2 l/s						
Winkel (°)	25	35	45	55	65	60
Wasserschleierbreite ohne Bleche bei 210 cm (cm)	55	55	55	55	55	55
Wasserschleierbreite mit Blechen bei 210 cm (cm)	59	61	67	62	62	61
Aufrisshöhe (cm)	180	180	180	175	170	170

Tabelle 12: Ergebnistabelle der Wasserschleierbreite mit und ohne 40 cm Bleche, Aufstellwinkel von 25-60°,

In Steigungsversuchen wurde festgestellt, dass der optimale Winkelbereich für die Montage der Bleche zwischen 40 und 45° liegt. Mit diesen beiden Winkeln wurden Blechlängen von 20-50 cm untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass Blechlängen von 30–40 cm am besten geeignet sind, der Verjüngung des Wasserschleiers entgegen zu wirken (vgl. Tabelle 13, 14). Dabei werden die Bleche ohne Abstand zum Überlaufkörper und zu den Seiten aufgestellt.

Wasserschleierbreite mit 30 cm Blechen bei einem Durchfluss von 2 l/s		
Winkel (°)	40	45
Wasserschleierbreite in 210 cm Messhöhe (cm)	63	65
Aufriss (cm)	180	180

Tabelle 13: Ergebnistabelle der Wasserschleierbreite mit 30 cm Blechen, Aufstellwinkel von 40-45°

Wasserschleierbreite mit 40 cm Blechen bei einem Durchfluss von 2 l/s		
Winkel (°)	40	45
Wasserschleierbreite in 210 cm Messhöhe (cm)	62	67
Aufriss (cm)	180	180

Tabelle 14: Ergebnistabelle der Wasserschleierbreite mit 40 cm Blechen, Aufstellwinkel von 40-45°

### **5.1.5 STEIGERUNG DER DURCHFLUSSMENGE**

Die Steigerung der Durchflussmenge wird am Überlaufkörper mit 10° Anlauf durchgeführt. Sie hat eine Veränderung des Wasserschleiers in seiner Länge, Breite, im Bogenverlauf und in seinem ästhetischen Gesamterscheinungsbild zur Folge.

Ab einer Durchflussmenge von 2 l/s entsteht ein Wasserschleier, dessen Länge durch Erhöhung der Fördermenge stetig verlängert werden kann. Ebenso zeichnet sich mit steigender Durchflussmenge auch eine kontinuierliche Reduzierung der Verjüngung des Wasserschleiers ab. Auch die Fließgeschwindigkeiten erhöhen sich mit steigender Durchflussmenge (vgl. Tabelle 15).

#### **5.1.5.1 Messergebnisse**

Ab einer Durchflussmenge von 2 l/s hat der Wasserschleier eine geschlossene Länge von 175 cm bis zum Aufriss. Bei einem Durchfluss von 5 l/s beträgt die Wasserschleierlänge 200 cm, bei 10 l/s steigert sich der Wasserschleier auf 225 cm und bei 15 l/s auf mindestens 250 cm Länge.

Ebenso nimmt auch die Verjüngung des Wasserschleiers ab.

Während sich der Wasserschleier bei einer Durchflussmenge von 2 l/s von 100 auf 57 cm Breite verringert (gemessen in 210 cm Abstand zur Absturzkante), verjüngt er sich bei einer Durchflussmenge von 15 l/s nur auf 90 cm (vgl. Tabelle 15).

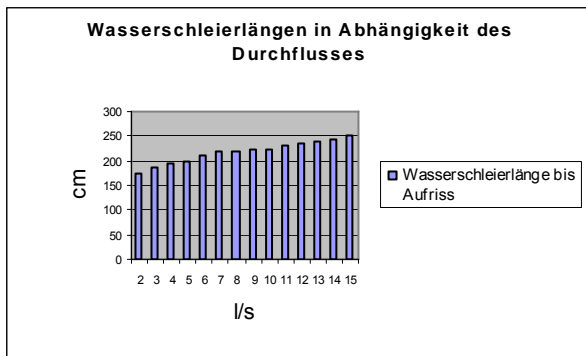
Die Fließgeschwindigkeiten erhöhen sich mit zunehmender Fördermenge. So errechnet sich für eine Durchflussmenge von 2 l/s eine Geschwindigkeit von 0,29 m/s auf der Krone des Überlaufkörpers. Bei einer Durchflussmenge von 15 l/s strömt das Wasser mit 0,63 m/s über die Krone des Überlaufkörpers.

Steigerung der Durchflussmenge mit einem Überlaufkörper mit 10° Anlauf															
Durchflussmenge (l/s)	WFH über. Krone des Überlaufkörpers (cm)	WFH 60cm vor Überlaufkörper (cm)	WFH 80 cm vor Überlaufkörper (cm)	Bogenmaß bei 22 cm (cm)	Bogenmaß bei 50cm (cm)	Bogenmaß bei 120 cm (cm)	Bogenmaß bei 210 cm (cm)	Bogenmaß am Aufriss (cm)	Wasserschleierbreite bei 50 cm (cm)	Wasserschleierbreite bei 120 cm (cm)	Wasserschleierbreite bei 210 cm (cm)	Wasserschleierbreite am Aufriss (cm)	Wasserschleierlänge bis Aufriss (cm)	Zeit für 126 cm Fließstrecke (min)	Zeit für 36 cm Fließstrecke (min)
2	0,7	21,1	21,4	11	16,5	19,5	23	22,5	84	68	57	64	175	1.19,69	0.07,96
3	0,8	21,4	21,6	12	20	24,5	31	30	87	78	65	68	185	0.52,60	0.05,47
4	1,0	21,6	21,8	13	22	28,5	36,5	36	90	83	71	72	195	0.37,03	0.04,42
5	1,2	21,8	22	14	23,5	30	38	38	91,5	85	75	74	200	0.32,97	0.03,63
6	1,4	22,1	22,3	14,25	24	30,5	39,5	40	92	86	77	76	210	0.25,52	0.03,13
7	1,5	22,4	22,5	15	25	32	42	43	93	88	80	77	220	0.24,32	0.02,81
8	1,65	22,5	22,7	15,5	26	32,5	42,5	43,5	95	89	82	78	220	0.20,33	0.02,56
9	1,8	22,7	22,9	16	27,5	34,5	44	45,5	95	90	82	79	225	0.16,84	0.02,54
10	1,9	22,85	23,05	16	28,5	35,5	45	49,5	95,5	90	83	82	225	0.17,38	0.02,15
11	2,2	23,1	23,3	16,5	28,5	37,5	47,5	49,5	96	92	85	82	230	0.14,52	0.02,01
12	2,1	23,3	23,5	17	29	37,5	49	51	98	92	86	86	235	0.13,06	0.01,90
13	2,2	23,4	23,6	17	30	38	49,5	52,5	98	93	88	87	240	0.12,86	0.01,87
14	2,3	23,55	23,75	17	30	39	50	53,5	98	94	89	87	245	0.12,18	0.01,7
15	2,4	23,7	23,9	17,5	30,5	39,5	50,5	55	98	94	90	88	250	0.11,28	0.01,58

Tabelle 15: Messergebnisse mit Durchflussmengen zwischen 2 und 15 l/s, Wfh= Wasserfilmhöhe

Im Vergleich zu Versuchsreihe ÜK 1 (Überlaufkörper) muss angemerkt werden, dass in dieser Versuchsreihe die Wasserfilmhöhe in 80 cm Entfernung vom Überlaufkörper um 3,5 mm von derjenigen der Versuchsreihe 1 abweicht. Es ist davon auszugehen, dass beim Einbau des Überlaufkörpers mit 10° Anlauf ein Fehler unterlaufen sein könnte, der dieses Ergebnis zur Folge hat.

Da dieser Fehler allerdings für die gesamte Messreihe gilt, hat er keinen Einfluss auf die Vergleichbarkeit der Messergebnisse.

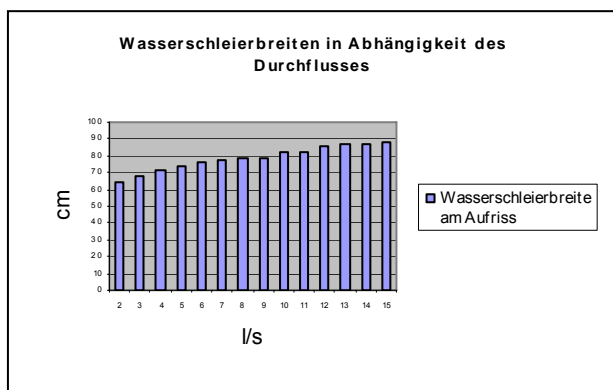


Darstellung 67: Veränderung der Wasserschleierlängen bei 2-15 l/s

Mit zunehmender Durchflussmenge ist eine Steigerung der Wasserschleierlängen zu beobachten. Der Anstieg erfolgt bis zu einem Durchfluss von 7 l/s fast durchgängig in 10 cm-Schritten, während er ab einem Durchfluss von 8 l/s nur noch in kleineren Schritten erfolgt.

So liegen bei Durchflussmengen von 2-7 l/s Differenzen in der Länge des Wasserschleiers bis zum Aufriss von 45 cm vor. Dagegen beträgt bei Durchflussmengen zwischen 8 und 15 l/s die Differenz 35 cm. Die Veränderungen erfolgen nicht proportional. Die Erhöhung der Durchflussmenge ist bis 7 l/s effizienter. Unter optimalen Bedingungen sind mit Durchflussmengen von 2-5 l/s geschlossene Wasserschleierlängen von 155–200 cm zu erreichen (vgl. Darstellung 67).

Mit Durchflussmengen von 5–10 l/s werden geschlossene Wasserschleierlängen von 200–225 cm erreicht, mit Durchflussmengen von 10–15 l/s sogar 225–250 cm.

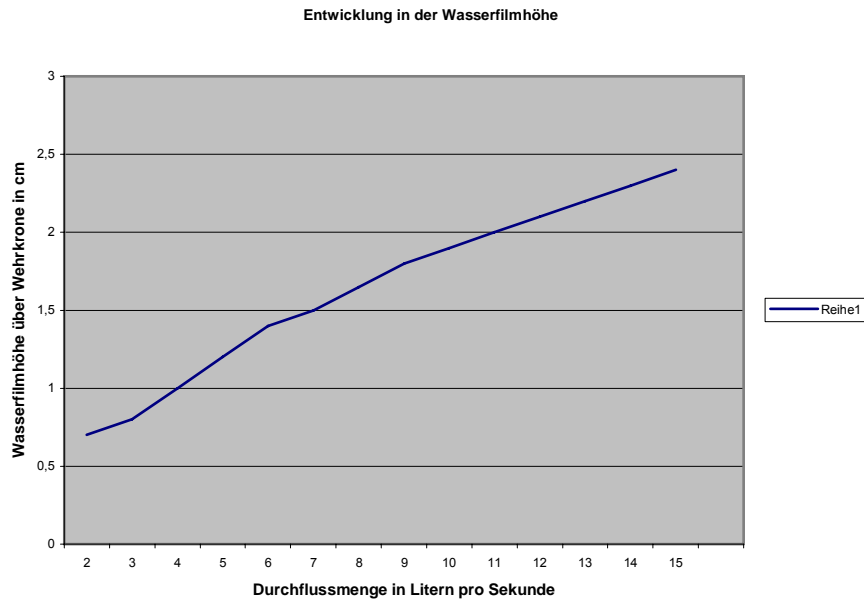


Darstellung 68: Veränderung der Wasserschleierbreiten bei 2-15 l/s

Auch bei der Wasserschleierbreite am Aufriss ist deutlich zu erkennen, dass die Breite des Wasserschleiers bis 7 l/s schneller ansteigt als bei den folgenden Literzahlen. Zu Anfang nimmt die Wasserschleierbreite in 4 cm-Schritten zu, während sie bei höheren Durchflussmengen nur noch in kleineren Schritten erfolgt.

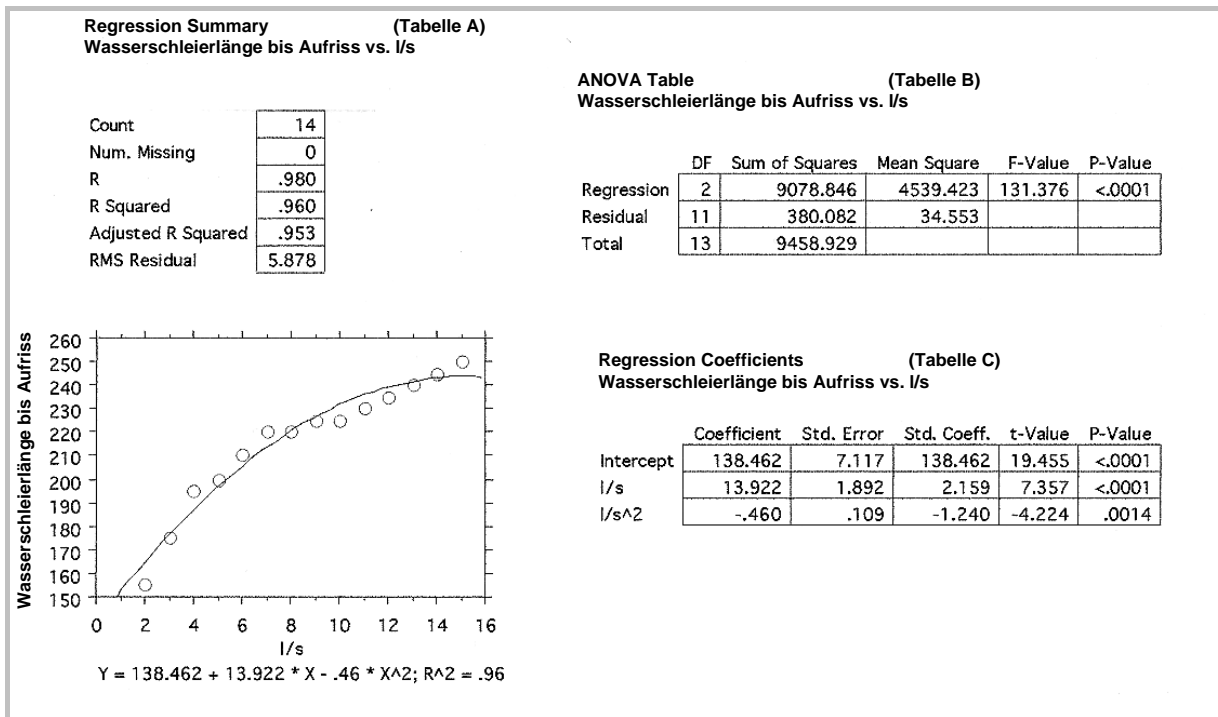
Selbst mit einer Durchflussmenge von 15 l/s war es nicht möglich, einen Wasserschleier zu erzeugen, der an der Abrisskante genauso breit ist wie an der Aufrissstelle (vgl. Darstellung 68).

Die nachfolgende Darstellung zeigt die Entwicklung der Wasserfilmhöhe in Abhängigkeit von der Durchflussmenge, die nahezu linear ansteigt (Darstellung 69).

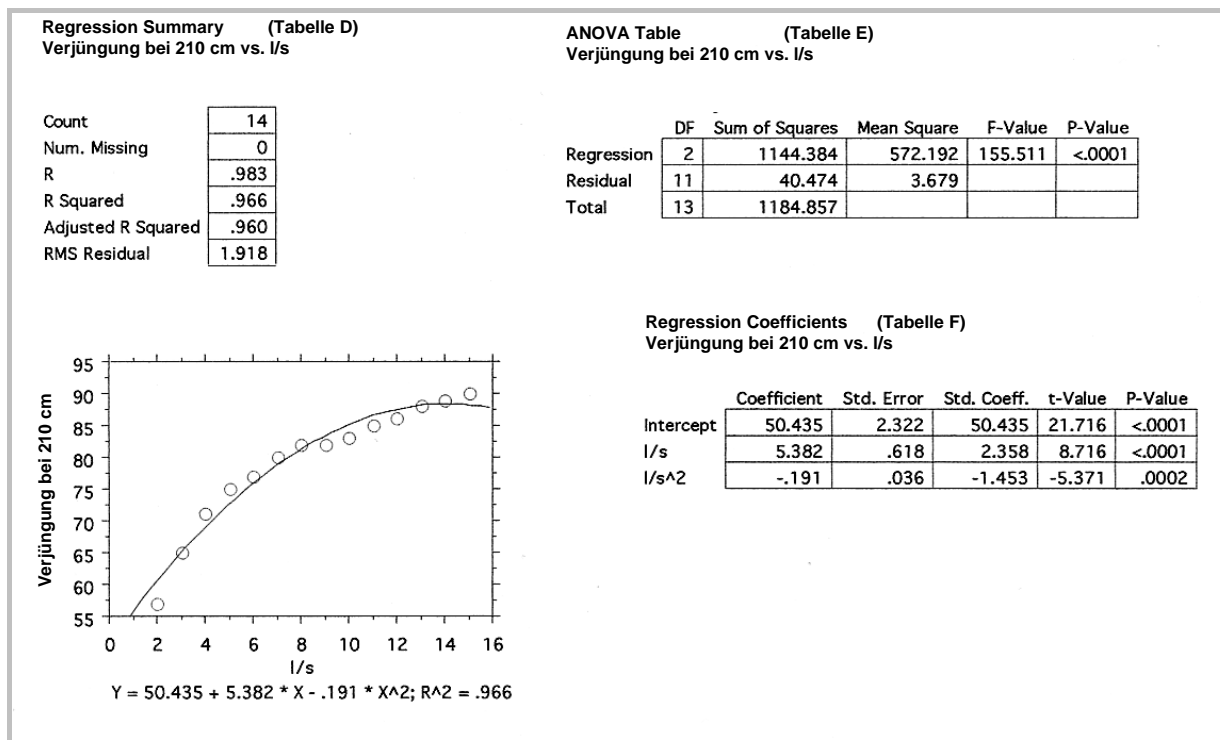


Darstellung 69: Anstieg der Wasserfilmhöhe im Verhältnis zur Durchflussmenge

Nach statistischer Auswertung durch Frau Dr. Kötter, Universität Bremen, ergibt sich eine Formel, mit der aus einer gegebenen Durchflussmenge die Länge und Breite des Wasserschleiers am Messpunkt bei 210 cm errechnet werden kann (vgl. Darstellung 70, 71).



Darstellung 70: Statistische Auswertung der Ergebnisse zu Wasserschleierlängen



Darstellung 71: Statische Auswertung der Ergebnisse zur Verjüngung

## Erläuterung zu den statistischen Begriffen in den Tabellen A bis F

Regression:	beschreibt die Art der Zusammenhänge zwischen zwei oder mehr Merkmalen (Variablen, z.B. Durchfluss zu Wasserscheitlänge). Sie kann eine unabhängige Variable voraussagen und zeigen, wie die verschiedenen Variablen zusammenhängen und ob es sich um ein lineares oder nichtlineares Verhältnis handelt. Ist das Verhältnis zwischen den Variablen linear, so wird eine Variable größer, wenn die andere auch größer wird.
Freiheitsgrad:	Für die Regression wird immer die Anzahl der Freiheitsgrade (DF= degrees of freedom) angegeben. Die Ziffer hinter der Regression gibt die Zahl der Freiheitsgrade an. Besteht die Formel aus einem x, ist der Freiheitsgrad 1. Dies trifft bei linearen Funktionen zu. Handelt es sich um nichtlineare Funktionen, muss ein $x^2$ in die Formel eingefügt werden und es handelt sich dann um zwei Freiheitsgrade.
R <sup>2</sup> :	Der Wert hinter R <sup>2</sup> zeigt an, wie viel Prozent der Variation der abhängigen Variablen durch die Unabhängige erklärt werden. Beispiel: R <sup>2</sup> = 0,96 (Tabelle A) sagt aus, das 96 % aller Werte durch die Formel wiedergegeben werden, d.h. die abhängige Variable durch die unabhängige Variable erklärt werden. R= Variationsbreite oder Streubreite.
Anova-Table:	Es handelt sich um ein statistisches Prüfverfahren in Form der Varianzanalyse. Hier werden in den Tabellen die Werte der Regression, der Residien und der Summe aus beiden angegeben. Dabei werden nach Gauß die kleinsten Quadrate, die Summe der Quadrate, die F-Verteilung und der P-Wert angegeben.
Intercept:	Benennt den y-Wert, bei dem die Gerade die x-Achse schneidet.
Residual:	Der Abstand zwischen interpolierter Linie und dem wahren gemessenen Wert wird als Residual bezeichnet.
P-Wert:	Liegt der P-Wert unter 0,05, so sind zwei Variablen signifikant miteinander korreliert. Liegt sie darüber ist die Korrelation nicht signifikant.
F-Wert:	Aus einer normal verteilten Gesamtmenge werden zwei Stichproben genommen mit den dazugehörigen Varianzen. F wird als das Verhältnis von Varianz 1 zu Varianz 2 errechnet.

Das statistische  $R^2$  beträgt hier bei der Wasserschleierlänge 0,96 (Darstellung 70, Tabelle A) und bei der Verjüngung 0,966 (Darstellung 71, Tabelle D). Dies bedeutet, dass die abhängige Variable, also die Wasserschleierlänge und die Verjüngung des Wasserschleiers in der vorangehenden Tabelle zu 96 % durch die unabhängige Variable, hier die Durchflussmenge, erklärt wird. Da der P-Wert unter 0,005 liegt (Darstellung 70, Tabelle B und Darstellung 71, Tabelle E), bezeichnet er das Verhältnis zwischen der Variablen 'Wasserfilmhöhe' und der Variablen 'Durchflussmenge' als signifikant. Die Formel kann somit zur Errechnung der Wasserschleierlänge herangezogen werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sowohl die Wasserschleierlänge bis Aufriss als auch die Breite des Wasserschleiers am Messpunkt 210 cm errechenbar ist.

Die Formel für die Verjüngung ( $Y$ ) lautet:

$$Y = 50.435 + 5.382 * x - 0.191 * x^2$$

Die Formel zur Errechnung der Wasserschleierlänge  $Y$  lautet:

$$Y = 138.462 + 13.922 * x - 0.46 * x^2$$

$X$  steht in diesen Formeln jeweils für die Durchflussmenge gemessen in Litern pro Sekunde.



### 5.1.5.2 Ästhetische Bewertung

Nach den Kriterien, die schon bei der Untersuchung zu den Überlaufkörpern angewendet wurden, wird auch diese Versuchsreihe untersucht.

Die Untersuchungen zeigen, dass Wasserschleier bis zu einer Durchflussmenge von 8 l/s gläsern sind.

Mit zunehmender Durchflussmenge weist der Wasserschleier deutlich mehr Rillen auf seiner Oberfläche auf und sieht nicht mehr klar, sondern seidenmatt aus.

Als weiterer Nebeneffekt nimmt die Geräuschentwicklung des Wasserschleiers kontinuierlich bis 11 l/s Durchflussmenge zu. Bei einer Durchflussmenge von 5-7 l/s ist in unmittelbarer Nähe des fallenden Wassers ein Gespräch in normaler Lautstärke schwer möglich. Ab einer Durchflussmenge von 11 l/s taucht der Wasserschleier komplett geschlossen ins Auffangbecken ein, daher steigert sich die Lautstärke nicht weiter. Die Beurteilung der Lautstärke erfolgt subjektiv, da keine Messungen vorgenommen werden.

Im folgenden Abschnitt werden die Wasserschleier für die einzelnen Durchflussmengen neben den entsprechenden Abbildungen (64-95) detailliert beschrieben.

#### Durchflussmenge 1 Liter pro Sekunde

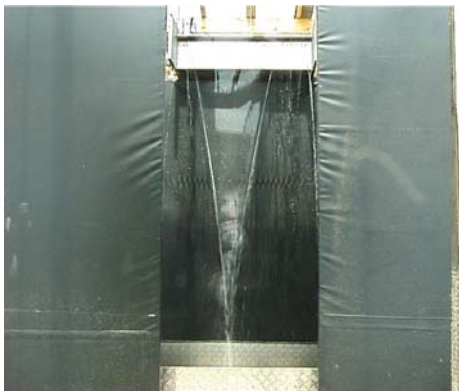


Abbildung 64: Wasserschleier bei 1 l/s

Bei einem Durchfluss von 1 l/s und 3 m Förderhöhe entsteht ein Wasserschleier, der nur zwei Drittel der Breite des Überlaufkörpers abdeckt, und sich sehr schnell zu einem Strahl zusammenzieht. (vgl. Kapitel 2, Wasserfilmhöhe, Kohäsion, Adhäsion). Da dies nicht dem gewünschten Wasserbild entspricht, werden keine weiteren Messungen durchgeführt.



Abbildung 65: Detail - Wasserschleier bei 1 l/s

## Durchflussmenge 2 Liter pro Sekunde



Abbildung 66: Wasserscheier bei 2 l/s

### Ästhetische Merkmale

- keine Rauten oder Rillen auf dem Wasserschleier, nur wenige parallel zum Rand verlaufende Rillen
- der Wasserschleier ist klar, glatt und gläsern
- keine Wasserbewegung erkennbar
- der Hintergrund wird exakt nachgezeichnet
- auch von hinten durchgeschaut gibt es nur minimale Verzerrungen

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 0,7 cm
- Aufrisslänge: 155 cm
- Aufrissbreite: 64 cm



Abbildung 67: Detail - Wasserscheier bei 2 l/s

## Durchflussmenge 3 Liter pro Sekunde



Abbildung 68: Wasserscheier bei 3 l/s

### Ästhetische Merkmale

- keine Rauten oder Rillen auf dem Wasserschleier, nur wenige parallel zum Rand verlaufende feine Rillen
- der Wasserschleier ist klar, glatt und gläsern
- Wasserbewegungen erkennbar, der Wasserschleier schwankt unruhig 1 cm nach vorn bzw. nach hinten
- Seitenstrahlen setzen sich trotz Aufriss der Kanten des Wasserschleiers fort

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 0,8 cm
- Aufrisslänge: 175 cm
- Aufrissbreite: 68 cm



Abbildung 69: Detail - Wasserscheier bei 3 l/s

## Durchflussmenge 4 Liter pro Sekunde



Abbildung 70: Wasserschleier bei 4 l/s

### Ästhetische Merkmale

- die Rillen an der Seite nehmen zu, werden deutlicher
- der Wasserschleier ist glatt und gläsern
- Bewegungen im Wasserschleier sind erkennbar
- das Geräuschaufkommen wird stärker
- dicke Wassertropfen landen bis in 150 cm Entfernung außerhalb des Auffangbeckens



Abbildung 71: Detail - Wasserschleier bei 4 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 1 cm
- Aufrisslänge: 195 cm
- Aufrissbreite: 72 cm

## Durchflussmenge 5 Liter pro Sekunde



Abbildung 72: Wasserschleier bei 5 l/s

### Ästhetische Merkmale

- es entstehen deutlich sichtbare Rillen an den Seitenrändern des Wasserschleiers
- Wasserschleier ist glatt und gläsern
- der Geräuschpegel ist höher
- eine Unterhaltung in Nähe des Wasserschleiers ist gerade noch möglich



Abbildung 73: Detail - Wasserschleier bei 5 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 1,2 cm
- Aufrisslänge: 200 cm
- Aufrissbreite: 74 cm

## Durchflussmenge 6 Liter pro Sekunde

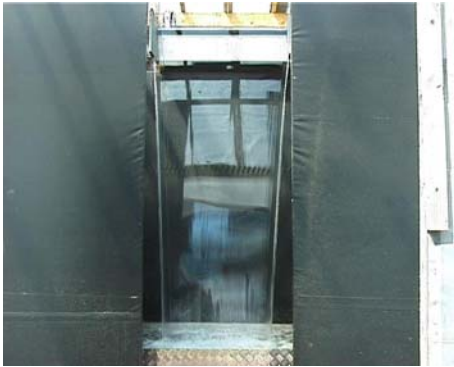


Abbildung 74: Wasserschleier bei 6 l/s

### Ästhetische Merkmale

- es entstehen deutlich sichtbare Rillen an den Seitenrändern des Wasserschleiers
- Wasserschleier ist glatt und gläsern
- es ist ein deutlich gerader Fall erkennbar
- das Auftreffen des Wassers im Auffangbecken ist sehr laut knatternd, das Auffangbecken ist sehr bewegt
- dicke Tropfen spritzen aus dem Auffangbecken



Abbildung 75: Detail - Wasserschleier bei 6 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 1,4 cm
- Aufrislänge: 210 cm
- Aufrisbreite: 76 cm

## Durchflussmenge 7 Liter pro Sekunde



Abbildung 76: Wasserschleier bei 7 l/s

### Ästhetische Merkmale

- es bilden sich erste sichtbare Rillen in der Mitte des Wasserschleiers
- Wasserschleier ist gläsern
- das Wassergeräusch ist sehr laut und knatternd (die Stimme muss noch in 4 m Entfernung erhoben werden, um die Videosequenzen zu besprechen)
- aus dem Auffangbecken spritzen dicke Tropfen heraus



Abbildung 77: Detail - Wasserschleier bei 7 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 1,5 cm
- Aufrislänge: 220 cm
- Aufrisbreite: 77 cm



## Durchflussmenge 8 Liter pro Sekunde

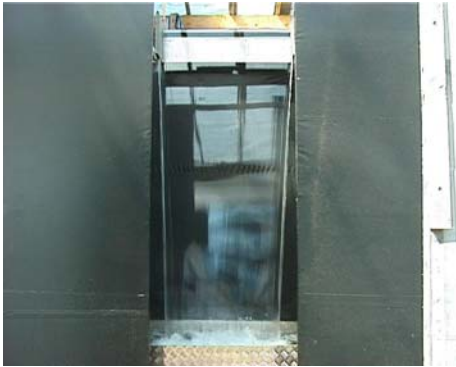


Abbildung 78: Wasserschleier bei 8 l/s

### Ästhetische Merkmale

- feine Rillen sind über den ganzen Wasserschleier verteilt
- deutliche Rillen sind auch an den Seitenrändern sichtbar
- Wasserschleier ist gläsern



Abbildung 79: Detail - Wasserschleier bei 8 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 1,65 cm
- Aufrissslänge: 220 cm
- Aufrisssbreite: 78 cm

## Durchflussmenge 9 Liter pro Sekunde



Abbildung 80: Wasserschleier bei 9 l/s

### Ästhetische Merkmale

- feine Rillen sind über den ganzen Wasserschleier verteilt
- Rillen an den Seitenrändern deutlich sichtbar
- der Wasserschleier ist seidenmatt



Abbildung 81: Detail - Wasserschleier bei 9 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 1,8 cm
- Aufrissslänge: 225 cm
- Aufrisssbreite: 79 cm

## Durchflussmenge 10 Liter pro Sekunde



Abbildung 82: Wasserschleier bei 10 l/s

### Ästhetische Merkmale

- der Wasserschleier ist durch noch mehr Rillen gekennzeichnet, die sich über den ganzen Wasserschleier verteilen
- der Wasserschleier ist seidenmatt
- in der Nähe des Wasserschleiers muss sehr laut gesprochen werden, um sich verständigen zu können



Abbildung 83: Detail – Wasserschleier bei 10 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 1,9 cm
- Aufrissslänge: 225 cm
- Aufrisbreite: 82 cm

## Durchflussmenge 11 Liter pro Sekunde



Abbildung 84: Wasserschleier bei 11 l/s

### Ästhetische Merkmale

- Rillen sind über den gesamten Wasserschleier verteilt
- die Rillen sind bis zum Eintauchen des Wasserschleiers in das Auffangbecken erkennbar
- der Wasserschleier ist seidenmatt
- Schleier reißt vor dem Eintauchen im Auffangbecken nicht mehr auf
- ab dieser Literzahl gibt es keine Steigerung des Geräuschpegels mehr, er bleibt bis einschließlich 15 l/s konstant hoch



Abbildung 85: Detail - Wasserschleier bei 11 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 2 cm
- Aufrissslänge: 230 cm
- Aufrisbreite: 82 cm

## Durchfluss 12 Liter pro Sekunde

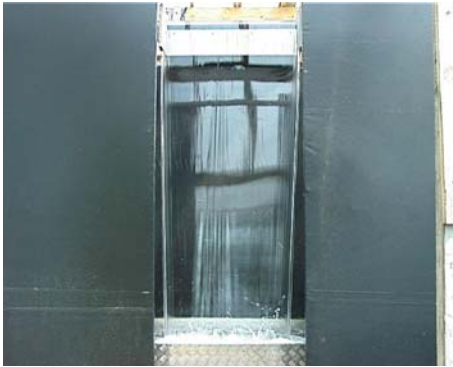


Abbildung 86: Wasserschleier bei 12 l/s

### Ästhetische Merkmale

- der Wasserschleier ist durch tiefe Rillen gekennzeichnet
- Rillen sind an den Seitenrändern und über den ganzen Wasserschleier verteilt sichtbar
- der Wasserschleier ist seidenmatt
- Schleier reißt vor dem Eintauchen im Auffangbecken nicht mehr auf. Das gleiche gilt für die nachfolgenden Durchflussmengen bis 15 l/s



Abbildung 87: Detail - Wasserschleier bei 12 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 2,1 cm
- Aufrissslänge: 235 cm
- Aufrisbreite: 86 cm

## Durchfluss 13 Liter pro Sekunde



Abbildung 88: Wasserschleier bei 13 l/s

### Ästhetische Merkmale

- der Wasserschleier ist durch tiefe Rillen gekennzeichnet
- Rillen sind an den Seitenrändern und über den ganzen Wasserschleier verteilt sichtbar
- der Wasserschleier ist seidenmatt mit vielen deutlichen Längsrillen



Abbildung 89: Detail - Wasserschleier bei 13 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 2,2 cm
- Aufrissslänge: 240 cm
- Aufrisbreite: 87 cm

## Durchfluss 14 Liter pro Sekunde

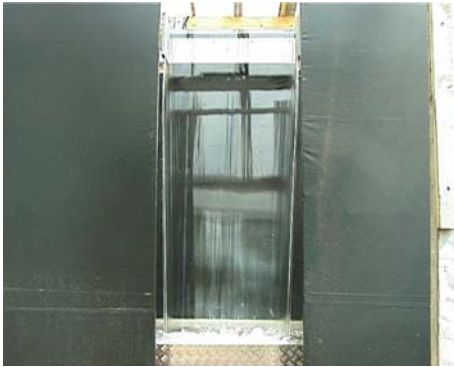


Abbildung 90: Wasserscheier bei 14 l/s

### Ästhetische Merkmale

- über den gesamten Wasserschleier verteilen sich sehr viele Rillen
- Rillen sind an den Seitenrändern stärker ausgeprägt
- der Wasserschleier ist seidenmatt

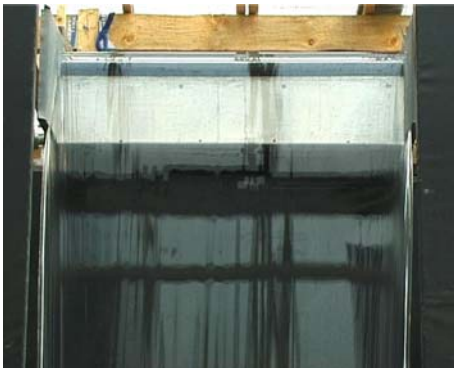


Abbildung 91: Detail - Wasserscheier bei 14 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 2,3 cm
- Aufrissslänge: 245 cm
- Aufrisbreite: 87 cm

## Durchfluss 15 Liter pro Sekunde



Abbildung 92: Wasserscheier bei 15 l/s

### Ästhetische Merkmale

- der Wasserschleier hat viele tiefe Rille auf seiner Oberfläche, die den Gesamteindruck prägen
- Rillen sind auch auf dem Überlaufkörper deutlich sichtbar
- der Wasserschleier ist seidenmatt, kann aber dennoch gut durchschaut werden
- die Lautstärke ist hoch



Abbildung 93: Detail - Wasserscheier bei 15 l/s

### Maße

- Wasserfilmhöhe: 2,4 cm
- Aufrissslänge: 250 cm
- Aufrisbreite: 88 cm



## 5.2 *Wasserbilder an Wassertreppen*

In Wasserbildern an Wassertreppen bilden sich prägnante Strukturmerkmale heraus, die im Einzelnen anhand von Abbildungen und Beschreibungen vorgestellt und neben der entsprechenden Abbildung (94-113) beschrieben werden (Kapitel 5.2.1).

Die beobachteten Wasserbilder setzen sich aus Kombinationen verschiedener Merkmale zusammen, so dass 14 verschiedene Wasserbilder unterschieden werden können. Diese werden in Kapitel 5.2.2 dargestellt.

Im Anhang wird ab Tabelle 57 (S. 241 ff.) zusammengestellt, bei welchen Durchflussmengen, Neigungen, Proportionen und dazugehörigen Wasserfilmhöhen die nachfolgenden Wasserbilder entstehen.

Der Einfluss von Durchflussmenge und Ausbildung der Stufen auf das Wasserbild wird in den Kapiteln 5.2.3 und 5.2.4 beschrieben. Ebenso werden die Veränderungen aufgezeigt, die Durchflussmenge, Neigung und Proportion haben, wenn jeweils nur ein Einflussfaktor verändert wird (Kapitel 5.2.5).

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 5.2.6.

### 5.2.1 STRUKTURMERKMALE DER WASSERBILDER



Abbildung 94: Alternierende Wasserschleier

#### ALTERNIERENDE WASSERSCHLEIER

entstehen, wenn sich kleine Wasserschleierabschnitte von den Steigungen lösen und auf die Auftritte treffen. Dort lösen sich je links und rechts Schweife ab, die wiederum einen Wasserschleier an der Steigung erzeugen. Die Lage der Wasserschleier ist von vorne betrachtet an jeder Steigung zur vorhergehenden versetzt.

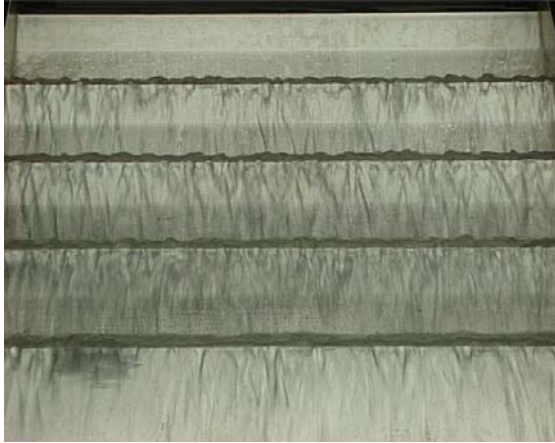


Abbildung 95: Aufwölbungen

### AUFWÖLBUNGEN

sind plastisch hervortretende Bereiche im vorderen Bereich des Auftritts. Sie ziehen auf den Steigungen Schweife nach sich.

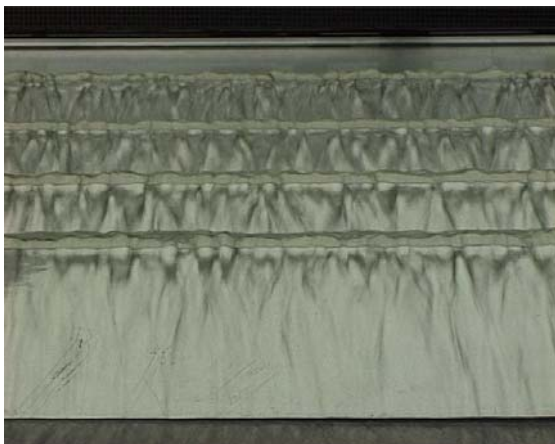


Abbildung 96: Dreiecke und Schweife

### DREIECKE UND SCHWEIFE

Dreiecke sind verdickte Strukturen an der Oberkante der Steigung. Unterhalb der Strukturen bilden sich an den Steigungen Schweife aus.



Abbildung 97: Feine Strukturen

### FEINE STRUKTUREN

Der Wasserfilm beginnt sich zu teilen und in sehr feine Strahlen aufzulösen.



Abbildung 98: Hinterstau

### HINTERSTAU

ist die Bezeichnung für einen Effekt, bei dem das von der Stufe abfließende Wasser Luft hinter dem Schleier mitreißt und der entstehende Unterdruck das Wasser hinter dem Schleier hochsaugt (ähnlich einer Spritze, die aufgezogen wird). Wird dieser Bereich belüftet, fließt das Wasser komplett ab.

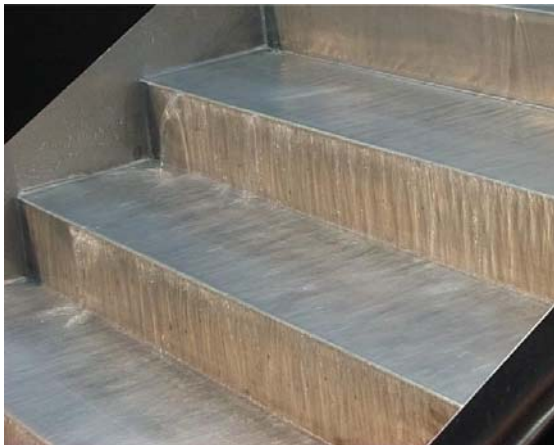


Abbildung 99: Längsstreifen

### LÄNGSSTREIFEN

sind streifenartige Verdickungen des Wasserfilms auf den Steigungen.



Abbildung 100: Mäusezähnen

### MÄUSEZÄHNCHEN

sind winzige kleine Aufwölbungen an der Oberkante der Steigung.

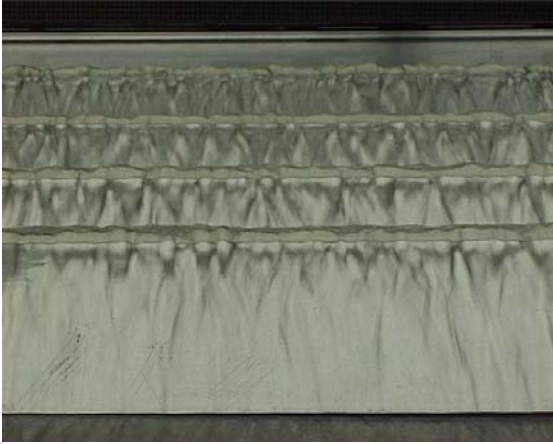


Abbildung 101: Plastische Dreiecke

### PLASTISCHE DREIECKE

entstehen an der Oberkante der Steigung, sind deutlich aufgewölbt und etwas unregelmäßig. Auch hier sind feine Schweißlinien sichtbar.



Abbildung 102: Plastische Rautenmuster

### PLASTISCHE RAUTENMUSTER

entstehen durch ineinander fließende plastische Schweißlinien auf den Auftritten.

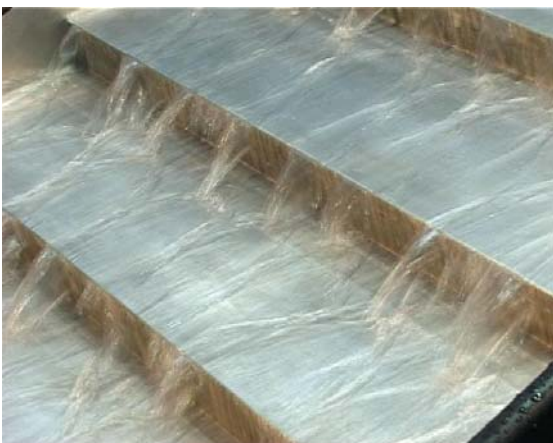


Abbildung 103: Plastische Schweißlinien

### PLASTISCHE SCHWEIßLINIEN

sind deutlich über dem restlichen Wasserfilm aufgewölbte Schweißlinien.





Abbildung 104: Quellen und Wölkchen

### QUELLEN UND WÖLKCHEN

sind als Strukturen im Aufstaubereich eines Auftritts zu verstehen. Sie werden erkennbar, wenn die Wassertreppe von oben betrachtet wird.



Abbildung 105: Wasserklumpen

### WASSERKLUMPEN

sind verdickte Wassergebilde, die an der Oberkante entstehen und einen Teil der Steigung überdecken.



Abbildung 106: Losgelöste Strahlen

### LOSGELÖSTE STRAHLEN

sind Wasserstrahlen, die sich von den Steigungen ablösen. Sie werden oft erst dadurch sichtbar, dass die Treppe von der Seite aus betrachtet wird.



Abbildung 107: Längsstreifen auf der Steigung

### LÄNGSSTREIFEN AUF DER STEIGUNG

entstehen als feine Strukturen auf Steigung.



Abbildung 108: Rautenmuster

### RAUTENMUSTER

werden durch sich kreuzende Schweife gebildet. Sie entstehen auf den Aufritten, selten auch auf der Oberfläche eines Wasserschleiers.



Abbildung 109: Rillen, Strahlen & Losgelöste Strahlen

### RILLEN, STRAHLEN &

### LOSGELÖSTE STRAHLEN

Von der Seite betrachtet sind Rillen und Strahlen erkennbar, sie können entweder mit dem Wasserfilm verhaftet sein oder sich als einzelne Strahlen ablösen.

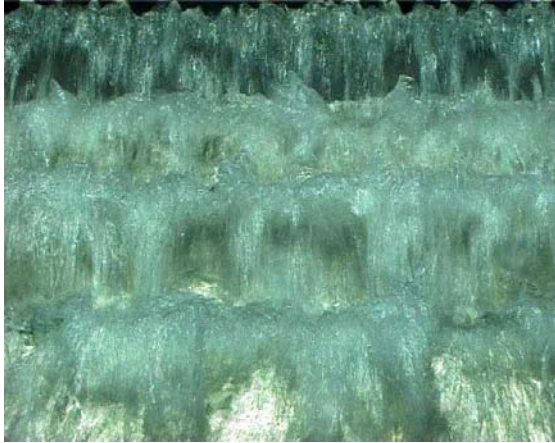


Abbildung 110: Schäumende Strahlen

### SCHÄUMENDE STRAHLEN

enthalten große Mengen an Luftbläschen. Sie entstehen bei hohen Durchflussmengen oder bei höheren Neigungen.



Abbildung 111: Schweife

### SCHWEIFE

sind v-förmige Aufwallungen des Wasserfilms, die sowohl an den Steigungen als auch auf den Aufritten entstehen können. Von oben betrachtet sind sie besonders deutlich.



Abbildung 112: Schweife auf Auftritt

### SCHWEIFE AUF AUFTRITT

An den Steigungen bilden sich Wasserschleier und Strahlen. Daraus resultieren lange Schweife, die auf den Aufritten besonders gut erkennbar sind, wenn die Treppe steil geneigt ist.



### WALZEN IM AUFSTAUBEREICH

Wird die Fließrichtung nach Herabfließen der Steigung auf den Auftritt umgelenkt, kommt es zu Aufwölbungen des Wasserfilms auf der Steigung.

Abbildung 113: Walzen im Aufstaubereich



## 5.2.2 WASSERBILDER IN 14 VARIATIONEN

Die nachfolgend vorgestellten Wasserbilder setzen sich aus einem oder mehreren Merkmalen zusammen, die im Kapitel 5.2.1 beschrieben werden. Die Vielzahl der Bilder werden in 14 Kategorien zusammengefasst, die von sehr gleichförmig fließenden bis schäumenden Erscheinungsformen reichen. Die 14 Kategorien werden neben den entsprechenden Abbildungen (116-143) beschrieben.

### STRUKTURARM



Abbildung 114: Kategorie 'Strukturarm'

Bei der Kategorie 'Strukturarm' sind auf den Steigungen in der Vorderansicht nur sehr wenige feine Strukturen sichtbar. Nur aus der Nähe betrachtet werden einzelne feine Strukturen auf Auftritt und Steigung erkennbar. Das Fließen des Wassers ist teilweise nicht oder nur durch unregelmäßige Wasserfilmhöhen auf dem Auftritt erkennbar.

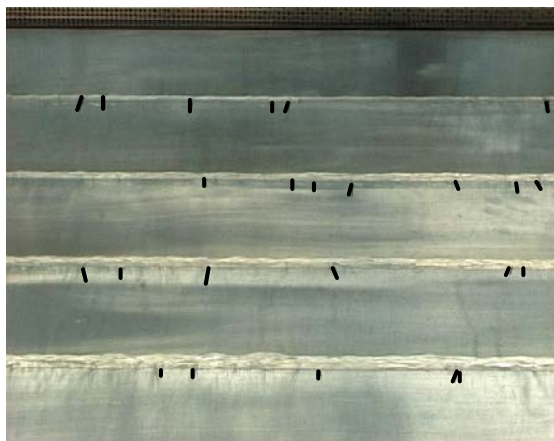


Abbildung 115: Merkmale der Kategorie 'Strukturarm'

#### Merkmale

- Längsstreifen, Mäusezähnen, Dreiecke und Schweife an den Steigungen
- Rillen auf den Steigungen
- Orangenhautähnlicher, blasenfreier Aufstau mit quellenartiger Verdickung
- Aufstauparallele Rillen
- Teilweise Walzen im Aufstaubereich
- Ruhiges und unspektakuläres Wasserbild

#### bei Versuchsreihe 2 - Treppen mit langen Auftritten und kurzen Steigungen zusätzlich:

- Schweife und Rautenmuster auf den Auftritten
- Quellenartige Verdickung in den Aufstaubereichen
- Seitlich betrachtet weiche Rillen

## FEINSTRAHL



Abbildung 116: Kategorie 'Feinstrahl'

Das Wasserbild besteht teilweise aus Rillen an den Steigungen, teilweise aber auch nur aus feinen Strahlen. Das gesamte Wasserbild hat eine milchige Struktur.



Abbildung 117: Merkmale der Kategorie 'Feinstrahl'

### Merkmale

- zahlreiche Längsstreifen, Schweife und Mäusezähnen an den Steigungen, weiter abwärts auch Wasserklumpen und Strahlen
- Plastische Schweife auf dem Auftritt
- Treppe nicht komplett überspült
- Rillen, Strahlen und losgelöste Strahlen von der Seite
- besonders deutlich von vorn und oben

## V-FÖRMIGR FEINSTRAHL



Abbildung 118: Kategorie 'V-förmiger Feinstrahl'

Klare feine bis feinste Strahlen mit seitlichen Wasserschleiern, die treppabwärts v-förmig zulaufen, bestimmen dieses Wasserbild.

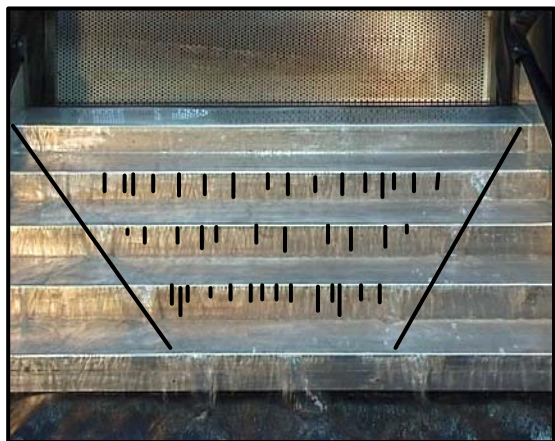


Abbildung 119: Merkmale der Kategorie 'V-förmiger Feinstrahl'

### Merkmale

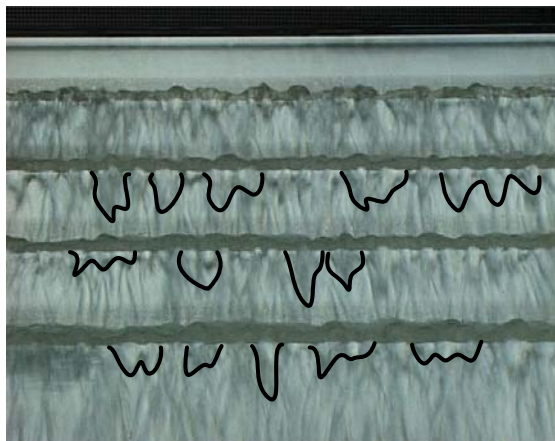
- Mäusezähnnchen und Schweife liegen dicht nebeneinander
- V-förmiges Muster durch seitliche Wasserschleier
- seitlich der Wasserschleier setzen sich Mäusezähnnchen und Schweife fort

## PLASTISCHE STRUKTUREN



Abbildung 120: Kategorie 'Plastische Strukturen'

Auf den Steigungen sind unterschiedliche Wasserfilmhöhen erkennbar. Die einzelnen Strukturen laufen v-förmig von der Oberkante der Steigung bis zu deren Unterkante zusammen. Das Wasserbild mit plastischen Strukturen fließt rhythmisch und pulsierend und ist von vorn und von oben betrachtet besonders deutlich.



### Merkmale

- Aufwölbungen (auch plastisch) auf den Steigungen, zumeist auf Wasserfilm aufliegend
- Plastische Längsstreifen, Wasserklumpen, Dreiecke und Schweife
- Quellen- oder walzenartige Verdickung, oft blasenarmer Aufstau
- Rillen von der Seite, teilweise auch plastisch
- Klare Muster mit gerundeten Formen

Abbildung 121: Merkmale der Kategorie 'Plastische Strukturen'

## DREIECKSTRUKTUREN MIT SCHWEIFEN

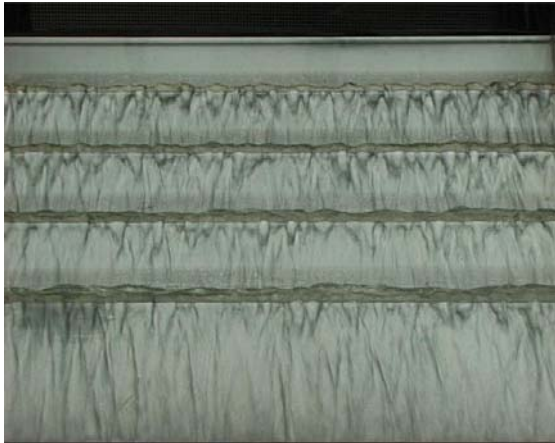


Abbildung 122: Kategorie 'Dreieckstrukturen mit Schweifen'

Jeweils an der Oberkante der Steigung entstehen plastische dreieckige Strukturen, die sich nach unten hin verjüngen und in Schweife übergehen. Das Wasserbild erzeugt rhythmisch fließende Muster.

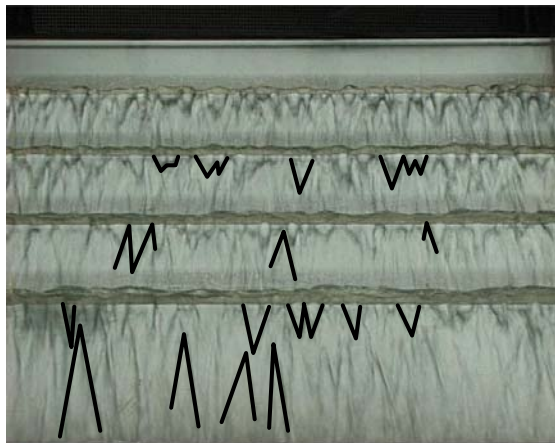


Abbildung 123: Merkmale der Kategorie 'Dreieckstrukturen mit Schweifen'

### Merkmale

- Plastische Dreiecke und Schweife
- Rillen und Dreiecke, zahlreiche Schweife
- Quellen- oder walzenartige Verdickung
- Rillen und Aufwölbungen bzw. Rillen und Strahlen
- Blasenarmer, orangenhautähnlicher Aufstau



## FEINE STRAHLEN & SCHWEIFE



Abbildung 124: Kategorie 'Feine Strahlen und Schweife'

An der obersten Steigung gibt es einen Wasserschleier, an den nachfolgenden löst sich der Wasserfilm in feinste Strahlen oder Tropfen auf. Das Wasserbild wird weiter abwärts immer milchiger.

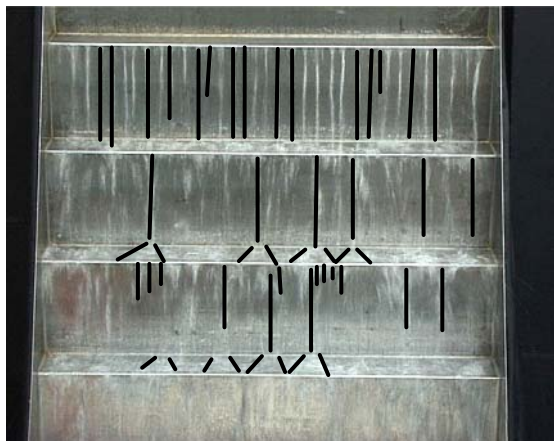


Abbildung 125: Merkmale der Kategorie 'Feine Strahlen und Schweife'

### Merkmale

- Wasserstrahlen, teilweise gläsern und fein
- Teils Wasserschleier, teils Strahlen oder Wasserklumpen
- Seitenränder teilweise unbenässt
- Schweife auf den Aufritten

### In Versuchsreihe 2 zusätzlich:

- Mehrere Wasserschleierstücke im oberen Bereich der Steigungen
- Plastische Schweife auf den Aufritten
- Zahlreiche feine Wasserstrahlen, die auf allen Stufen schäumende Muster erzeugen

## WASSERKLUMPEN



Abbildung 126: Kategorie 'Wasserklumpen'

Wasserklumpen sind Wassergebilde mit ungeordneten, nur selten milchigen Strukturen, teilweise auch losgelösten Strahlen. Jede einzelne Struktur fließt im Prinzip mit v-förmiger Tendenz von der Oberkante bis zur Unterkante der Steigung. Die Strukturen bleiben als einheitlicher Wasserfilm erkennbar.

Das Wasserbild fließt rhythmisch und teils tosend

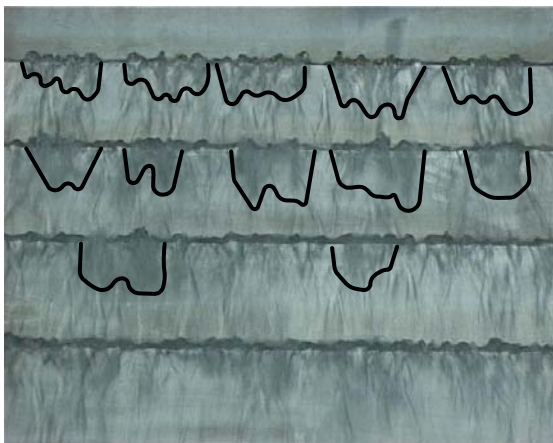


Abbildung 127: Merkmale der Kategorie 'Wasserklumpen'

### Merkmale

- Wasserklumpen, Aufwölbungen, Schweife auf den Steigungen
- Plastische Längsstreifen, losgelöste Wasserstrahlen
- Blasenreicher Aufstau und schäumende Muster
- Rillen, Rippen und Strahlen von der Seite, weiter unten auch losgelöste Strahlen

### in Versuchsreihe 2 zusätzlich:

- Wasserklumpen, Aufwölbungen, Schweife auf den Steigungen über Wasserschleiern mit Hinterstau, teils luftgefüllt, teils komplett gefüllt

## WASSERSTRAHLEN



Abbildung 128: Kategorie 'Wasserstrahlen'

Wasserstrahlen erzeugen im Wasserbild eine lineare Struktur. Die einzelnen Strahlen sind entweder klar oder milchig. Die Strahlform bleibt jedoch immer deutlich erkennbar. Nach dem ersten Drittel setzt ein rhythmisches Fließen mit wellenartigen Mustern auf der Wassertreppe ein.



Abbildung 129: Merkmale der Kategorie 'Wasserstrahlen'

### Merkmale

- Wasserstrahlen, Aufwölbungen und Schweiße, seitlich betrachtet Rillen und Strahlen an den Steigungen
- Wasserschleier mit Rillen, durchzogen mit einzelnen Strahlen oder Sprühern, die das Wasser im Bogen über die Steigung hinwegführen
- Dicke Längsstreifen auf dem ersten Auftritt
- viele aufgewölbte Strahlen als schäumende Muster auf allen Aufritten



## SCHÄUMENDE STRAHLEN



Abbildung 130: Kategorie 'Schäumende Strahlen'

Auf der ersten Stufe ist das Wasserbild klar. Die Einzelstrahlen werden von Treppenstufe zu Treppenstufe höher und milchiger. Das Wasser scheint wie ein schäumender Teppich über die Treppe zu fließen und die einzelnen Strahlen sind als solche nicht mehr erkennbar.



Abbildung 131: Merkmale der Kategorie 'Schäumende Strahlen'

### Merkmale

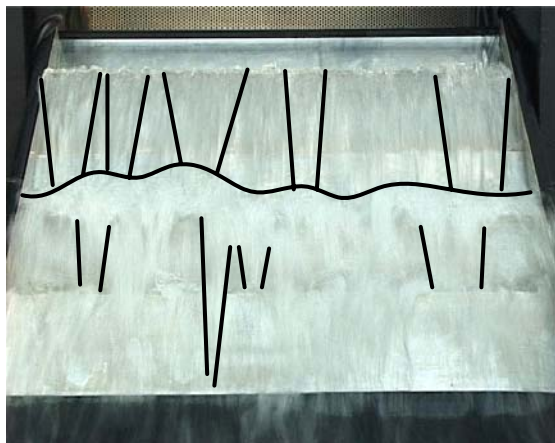
- Aufwölbungen und Schweife
- Plastische gleichmäßige Muster, schäumende Muster und Hinterstau in der Ansicht
- Rillen und dicke schaumige Strahlen sowie losgelöste Strahlen an den Steigungen von der Seite aus betrachtet

## WASSERSCHLEIER & SCHÄUMENDE STRAHLEN



Dieses Wasserbild besteht im oberen Teil der Treppe aus kleinen Wasserschleiern, die sich an der Oberkante der Steigung ablösen und teilweise auch eine Steigung überspringen können. Daraus resultieren Schweife oder Längsstreifen auf den Auftritten. Das Wasserbild wird im unteren Bereich durch schäumende Muster geprägt.

Abbildung 132: Kategorie 'Wasserschleier & Schäumende Strahlen'



### Merkmale

- Wasserklumpen, Wasserschleier und losgelöste Strahlen
- Zahlreiche Aufwölbungen und Schweife

Abbildung 133: Merkmale der Kategorie 'Wasserschleier & Schäumende Strahlen'

## ALTERNIERENDE WASSERSCHLEIER



Abbildung 134: Kategorie 'Alternierende Wasserschleier'

Dicke einzelne Wasserstrahlen oder Wasserschleierstücke auf den Steigungen bedingen bei diesem Wasserbild Schweife auf den Auftritten. Diese führen an der nächsten Steigung wiederum zur erneuten Bildung von Wasserschleiern. Die Lage der Wasserschleier ist somit immer versetzt bzw. an jeder dritten Stufe gleich. Dieses Wasserbild ist in der An- und Aufsicht gleichermaßen reizvoll.



Abbildung 135: Merkmale der Kategorie  
'Alternierende Wasserschleier'

### Merkmale

- Vereinzelt bis zahlreiche kleine Wasserschleier und Wasserstrahlen an den Steigungen
- plastische Schweife auf den Auftritten, die an der nächsten Steigung zu erneuter Bildung von Wasserschleiern führen
- Wasserschleier sind stufenweise stets versetzt

## V-FÖRMIG, WASSERSCHLEIER MIT RILLEN UND STRAHLEN



Abbildung 136: Kategorie 'V-förmig, Wasserschleier mit Rillen und Strahlen'

Das v-förmige Wasserbild ist durch einzelne Wasserschleier auf jeder Stufe gekennzeichnet, die feine Rillen und Rippen aufweisen. Es ähnelt dem Bild der alternierenden Wasserschleier, die Strukturen auf den Steigungen sind allerdings feiner ausgebildet. Das Wasser fließt rhythmisch und das Wassergeräusch wird als sehr laut empfunden.

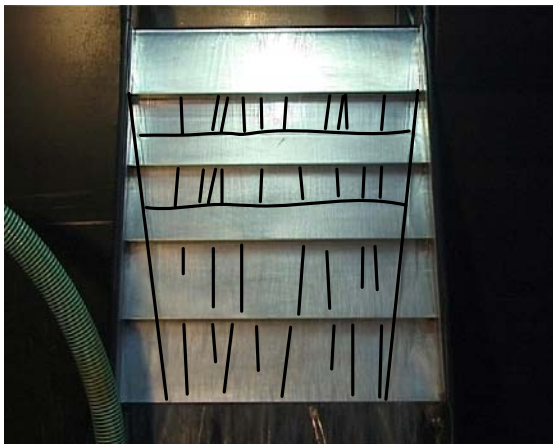


Abbildung 137: Merkmale der Kategorie 'V-förmig, Wasserschleier mit Rillen und Strahlen'

### Merkmale

- Seitlich betrachtet viele Rillen oder Rippen auf den Wasserschleiern
- Längsstreifen und Schweife, teilweise auch plastisch auf den Auftritten
- V-förmig durch Wasserschleier an den Seiten

## V-FÖRMIGE STRAHLEN



Abbildung 138: Kategorie 'V-förmige Strahlen'

Es ähnelt der Kategorie 'V-förmig, Wasserscheiter mit Rillen und Strahlen'. Die Strukturen auf den Steigungen sind allerdings hier feiner ausgebildet. Zahlreiche feine Wasserstrahlen bilden ein v-förmiges Muster, das die gesamte Wassertreppe überspannt. Es können sowohl Wasserscheiter als auch Strahlen beobachtet werden. In der Vorderansicht werden nur die einzelnen Strahlen wahrgenommen.



Abbildung 139: Merkmale der Kategorie 'V-förmige Strahlen'

### Merkmale

- V-förmige Muster und plastische Schweißungen auf den Aufritten
- Treppabwärts lösen sich die Strahlen von den Steigungen ab



## UNTERSCHIEDLICHE WASSERSCHLEIER



Bei diesem Wasserbild entstehen auf jeder einzelnen Stufe verschiedene Wasserschleier. Jede Stufe wird überflossen, wobei die Wasserschleier auf den oberen Stufen klar, auf den unteren schaumig sind.

Abbildung 140: Kategorie 'Unterschiedliche Wasserschleier'



### Merkmale

- Verschieden ausgeformte Wasserschleier auf jeder Stufe: glatt, rau, seidenmatt, milchig, strukturiert, mit Rautenmuster o. ä. untereinander angeordnet

Abbildung 141: Merkmale der Kategorie 'Unterschiedliche Wasserschleier'

## ZUSAMMENFASSUNG

In den Versuchen mit rechtwinkligen Stufenwinkeln werden zwei Versuchsreihen durchgeführt. In der Versuchsreihe 1 haben die Treppen einen kurzen Auftritt und lange Steigungen; es werden die Proportionen 1:2, 1:4 und 1:8 untersucht. In der Versuchsreihe 2 werden die Treppen umgedreht, so dass nun lange Auftritte und kurze Steigungen in den Proportionen 2:1, 4:1 und 8:1 bestehen. Die Proportion 1:1 wird keiner Versuchsreihe zugerechnet, sondern gesondert betrachtet.

In der Versuchsreihe 1 werden acht Wasserbilder der vorgestellten 14 Kategorien beobachtet, in der Versuchsreihe 2 sind es 12. Dabei kommen zwei Kategorien 'Dreiecksstrukturen mit Schweifern' sowie 'Wasserschleier & Schäumende Strahlen' nur in Versuchsreihe 1 vor. Vier Wasserbilder 'V-förmige Strahlen', 'V-förmig, Wasserschleier mit Rillen und Strahlen', 'Unterschiedliche Wasserschleier' sowie 'Alternierende Wasserschleier' werden nur in der Versuchsreihe 2 erzeugt (vgl. Tabelle 16).

Die Wasserbilder der Proportion 1:1 kommen entweder in einer oder beiden Versuchsreihen vor.

		Versuchsreihe 1		Versuchsreihe 2
Proportion		1:2; 1:4; 1:8;	1:1	2:1; 4:1; 8:1
Kategorien	Strukturarm	X	X	X
	Feinstrahl	-	X	X
	V-förmiger Feinstrahl	-	X	X
	Plastische Strukturen	X	X	X
	Dreieckstrukturen mit Schweifern	X	-	-
	Feine Strahlen und Schweife	X	X	X
	Wasserklumpen	X	X	X
	Wasserstrahlen	X	X	X
	Schäumende Strahlen	X	X	X
	Wasserschleier und Schäumende Strahlen	X	-	-
	V-förmige Strahlen	-	-	X
	V-förmig, Wasserschleier mit Rillen und Strahlen	-	-	X
	Unterschiedliche Wasserschleier	-	-	X
	Alternierende Wasserschleier	-	-	X

Tabelle 16: Zusammenstellung der Kategorien nach Versuchsreihen und der Proportion 1:1

### 5.2.3 DER EINFLUSS DER DURCHFLUSSMENGE AUF DIE WASSERBILDER

Es wird untersucht, welchen Einfluss die Durchflussmenge auf das Wasserbild hat. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Treppenproportionen in allen Neigungen mit jeweils einer Durchflussmenge pro Tabelle zusammengefasst. In den oberen Zeilen der Tabellen stehen die Ergebnisse der Versuchsreihe WT 1, in den unteren diejenigen der Versuchsreihe WT 2. Die farbigen Felder stellen die verschiedenen Kategorien dar. Die Werte in den Zellen zeigen die Mittelwerte der Wasserfilmhöhen an, die bei verschiedenen Proportionen und Neigungen erreicht werden. Dabei wird der Wert der obersten Stufe ausgeschlossen, da er eine deutlich höhere Wasserfilmhöhe hat als alle anderen.

Bei einer Durchflussmenge von 1 l/s (Tabelle 17) treten 8 Wasserbilder der in Kapitel 5.2.2 beschriebenen Kategorien auf. Diese sind in den Zellen der Tabelle farblich markiert. Die Durchflussmenge von 1 l/s hat den größten Anteil an schwach strukturierten Wasserbildern. So taucht die Kategorie 'Strukturarm' nur bei dieser Durchflussmenge auf. Sie entsteht bei einem Durchschnittswert von 0,45 cm Wasserfilmhöhe. Je kleiner das Verhältnis von Auftritt zu Steigung, desto stärker kann die Neigung sein, um dieses Wasserbild zu erzeugen. Auffällig ist, dass sich in der Proportion 1:2 das Wasserbild 'Strukturarm' bis einschließlich 50° Neigung ausbildet (vgl. Tabelle 17).

WT 1, 1l/s	10° Neigung	20° Neigung	30° Neigung	40° Neigung	50° Neigung	60° Neigung	70° Neigung	80° Neigung
Prop. 1:1	0,4	0,45	0,41	0,33	0,24	0,23	0,1	
Prop. 1:2	0,51	0,46	0,47	0,48	0,46	0,25	0,21	0,21
Prop. 1:4	0,64	0,56	0,56	0,58	0,48	0,18	0,1	
Prop. 1:8	0,48	0,65	0,58	0,46	0,28	0,2	0,18	0,19

	Strukturarm
	Dreieckstrukturen
	Feinstrahl
	V-förmiger Feinstrahl
	Wasserstrahlen
	Feine Strahlen und Schweiße
	Alternierende Wasserschleier
	v-förmige Strahlen

WT 2, 1l/s	10° Neigung	20° Neigung	30° Neigung	40° Neigung	50° Neigung	60° Neigung	70° Neigung	80° Neigung
Prop. 1:1	0,4	0,45	0,41	0,33	0,24	0,23	0,1	
Prop. 2:1	0,42	0,5	0,24	0,16	0,16	0,1	0,08	0,06
Prop. 4:1	0,4	0,2	0,15	0,18	0,12	0,1	0,1	0,1
Prop. 8:1	0,21	0,15	0,1	0,14	0,13	0,11	0,1	0,1

Tabelle 17: Wasserfilmhöhen und Wasserbilder der Versuchsreihen WT1 und 2 bei einer Durchflussmenge von 1 l/s.  
Prop. = Proportion

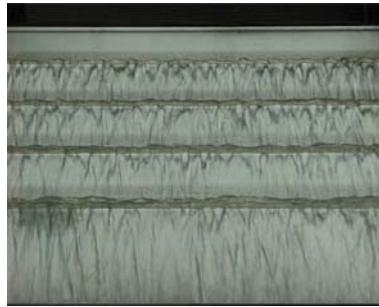
Bei Betrachtung der Wasserfilmhöhen bei 80° Neigung wird deutlich, dass die beiden Kategorien 'V-förmige Strahlen' und 'Feine Strahlen und Schweiße' unterschiedliche Mittelwerte der Wasserfilmhöhen aufweisen. Das Wasserbild 'V-förmige Strahlen' entsteht bei deutlich geringeren Wasserfilmhöhen.



In den nachfolgenden Abbildungen 142-145 ist zur vereinfachenden Darstellung jeweils nur ein Bild mit besonderer Aussagekraft pro Kategorie verwandt worden.



Strukturarm (1:2)



Dreieckstrukturen (1:8)



Feinstrahl (2:1)



V-förmiger Feinstrahl (4:1)



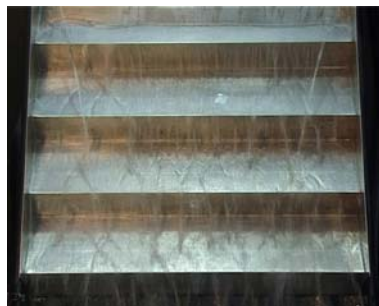
Wasserstrahlen (1:4)



Feine Strahlen & Schweife (1:8)



Alternierende Wasserschleier (4:1)










V-förmige Strahlen (2:1)

Abbildung 142: Wasserbilder, die bei einer Durchflussmenge von 1 l/s entstehen

Bei der Durchflussmenge von 1 l/s werden klare Wasserbilder mit den Kategorien 'Strukturarm', 'Dreieckstrukturen' sowie 'Alternierende Wasserschleier' erzielt, während die Wasserbilder der übrigen Kategorien wie 'Wasserstrahlen', 'Feinstrahl', 'V-förmiger Feinstrahl', 'Feine Strahlen und Schweife' milchige Einnischungen aufweisen.

Sämtliche Wasserbilder weisen ruhige, plastische und gleichmäßige Muster auf. Bei einer Durchflussmenge von 1 l/s wird als Wassergeräusch ein sanftes Plätschern wahrgenommen.

WT 1, 3 l/s	10° Neigung	20° Neigung	30° Neigung	40° Neigung	50° Neigung	60° Neigung	70° Neigung	80° Neigung
Prop. 1:1	0,86	0,81	0,76	0,25				
Prop. 1:2	0,95	0,93	0,98	0,95				
Prop. 1:4	1,05	1,33	0,94	0,6				
Prop. 1:8	1,14	0,88	n.m.					

	Plastische Strukturen
	Wasserklumpen
	Dreieckstrukturen
	Wasserstrahlen
	Unterschiedliche Wasserschleier
	V-förmig, Wasserschleier mit Rillen & Strahlen
	Wasserschleier & Schäumende Strahlen

WT 2, 3 l/s	10° Neigung	20° Neigung	30° Neigung	40° Neigung	50° Neigung	60° Neigung	70° Neigung	80° Neigung
Prop. 1:1	0,86	0,81	0,76	0,25				
Prop. 2:1	0,7	0,68	0,26	0,26	0,22	0,2		
Prop. 4:1	0,53	0,36	0,3	0,25	0,25	0,14	0,1	
Prop. 8:1	0,4	0,31	0,22	0,21	0,2	0,2	0,14	0,18

Tabelle 18: Wasserfilmhöhen und Wasserbilder der Versuchsreihen WT 1 und 2 bei einer Durchflussmenge von 3 l/s, Prop= Proportion

Bei einer Durchflussmenge von 3 l/s treten sieben unterschiedliche Wasserbilder auf. Ab 50° Neigung ist bei Versuchsreihe WT 1 keine Kategorisierung von fließenden Wasserbildern mehr möglich, da das Wasser in einen einzigen fallenden Wasserschleier übergeht. Durchgängige Wasserschleier an Wassertreppen werden in dieser Versuchsreihe nicht untersucht. Auch bei Versuchsreihe WT 2 tritt dieses Phänomen bei stärkeren Neigungen auf (vgl. Tabelle 18).

Bei geringen Neigungen treten vermehrt 'Plastische Strukturen' auf, bei 10° Neigung sind diese sogar ausschließlich anzutreffen.

In Versuchsreihe WT 1 treten zusätzlich ab 20° Neigung sowohl 'Dreieckstrukturen mit Schweifen' als auch 'Wasserschleier und schäumende Strahlen' auf.

In Versuchsreihe WT 2 dominieren 'Plastische Strukturen' und 'Wasserstrahlen' das Wasserbild. Daneben kommen zwei weitere Kategorien vor: 'V-förmige Wasserschleier mit Rillen und Strahlen' und 'Unterschiedliche Wasserschleier'. In Versuchsreihe WT 2 werden Wasserbilder bis in 80° Neigung beobachtet.

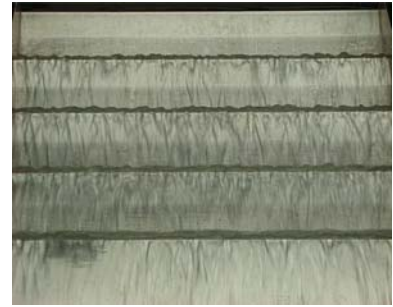
Die Bilder sind klar bis milchig, teils auch strahlartig und schäumend (vgl. Abbildung 143).



Plastische Strukturen 1:1



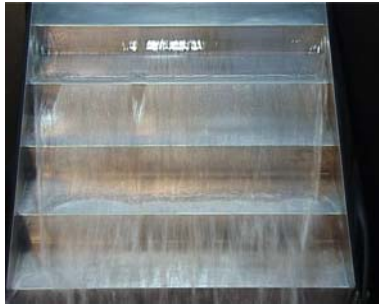
Wasserklumpen 1:4



Dreieckstrukturen 1:2



Wasserstrahlen 1:1



Unterschiedliche Wasserschleier 2:1



V-förmig, Wasserschleier mit  
Rillen & Strahlen 8:1








Wasserschleier & Schäumende Strahlen 1:8

Abbildung 143: Wasserbilder, die bei einem Durchfluss von 3 l/s entstehen

Bei einer Durchflussmenge von 5 l/s hat sich die Anzahl der vorkommenden Wasserbilder auf 5 Kategorien verringert (vgl. Tabelle 19).

WT 1, 5 l/s	10° Neigung	20° Neigung	30° Neigung	40° Neigung	50° Neigung	60° Neigung	70° Neigung	80° Neigung
Prop. 1:1	1,11	1,11	1,09					
Prop. 1:2	1,35	1,36	1,05	1,05				
Prop. 1:4	1,68	1,59	0,91					
Prop. 1:8	2,05	1,28	n.m.					

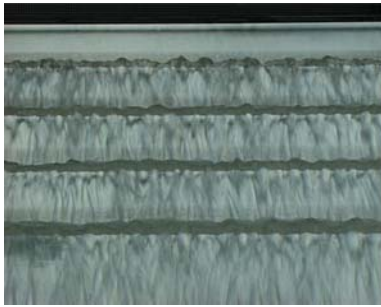
	Plastische Strukturen
	Wasserklumpen
	Wasserstrahlen
	Unterschiedliche Wasserschleier
	Schäumende Strahlen

WT 2, 5 l/s	10° Neigung	20° Neigung	30° Neigung	40° Neigung	50° Neigung	60° Neigung	70° Neigung	80° Neigung
Prop. 1:1	1,11	1,11	1,09					
Prop. 2:1	1,01	0,68	0,55	0,3	n.m.			
Prop. 4:1	0,6	0,38	0,4	0,4	0,33			
Prop. 8:1	0,54	0,4	0,32	0,25	0,28	0,26	0,22	0,24

Tabelle 19: Wasserfilmhöhen und Wasserbilder der Versuchsreihen WT 1 und 2 bei 5 l/s, n.m.= nicht messbar, Prop= Proportion

In Versuchsreihe 1 treten nur 3 Kategorien auf. Es ist eine Entwicklung von 'Plastischen Strukturen' über 'Wasserklumpen' zu 'Schäumenden Strahlen' zu beobachten. Nur in der Proportion 1:8 entfällt die erste Kategorie 'Plastische Strukturen'. Hier beginnt das erste Wasserbild schon etwas belebter mit 'Wasserklumpen'. Alle fließenden Wasserbilder enden bei 30 beziehungsweise 40° Neigung (vgl. Tabelle 19).

Im Vergleich dazu entstehen in der Versuchsreihe 2 vielfältigere Wasserbilder. Klare Wasserbilder entstehen nur bei 10° Neigung. Darauf folgen zunächst schaumige und später milchige Wasserbilder in Form von Strahlen, teils auch Wasserschleiern.



Plastische Strukturen 1:2



Wasserklumpen 1:4



Wasserstrahlen 2:1



Unterschiedliche. Wasserschleier 2:1



Schäumende Strahlen 2:1

Abbildung 144: Wasserbilder, die bei einem Durchfluss von 5 l/s entstehen

Wider Erwarten hat sich die Anzahl der auftretenden Kategorien bei einer Durchflussmenge von 10 l/s nicht weiter verringert. Mit der Kategorie 'Wasserschleier & Schäumende Strahlen' ist noch eine weitere hinzugekommen (Tabelle 20).

WT 1, 10 l/s	10° Neigung	20° Neigung	30° Neigung	40° Neigung	50° Neigung	60° Neigung	70° Neigung	80° Neigung
Prop. 1:1	2,03	2,15	n.m.					
Prop. 1:2	2,36	2,4						
Prop. 1:4	2,78	2,82	2,26					
Prop. 1:8	2,91	2,19	n.m.					

	Plastische Strukturen
	Wasserklumpen
	Wasserstrahlen
	Unterschiedliche Wasserschleier
	Schäumende Strahlen
	Wasserschleier & Schäumende Strahlen

WT 2, 10 l/s	10° Neigung	20° Neigung	30° Neigung	40° Neigung	50° Neigung	60° Neigung	70° Neigung	80° Neigung
Prop. 1:1	2,03	2,15	1					
Prop. 2:1	1,75	1,15	0,95	0,7				
Prop. 4:1	0,83	0,93	0,75	n.m.				
Prop. 8:1	0,83	0,68	0,58	0,5	0,25	0,22	n.m.	n.m.

Tabelle 20: Wasserfilmhöhen und Wasserbilder der Versuchsreihen WT 1 und 2 bei 10 l/s, n.m= aufgrund der schäumenden Strahlen nicht messbar, Prop= Proportion

Während in Versuchsreihe WT 1 die Wasserbilder bei 10° Neigung aus 'Plastischen Strukturen' oder 'Wasserklumpen' bestehen, kommt bei Versuchsreihe WT 2 zusätzlich noch die Kategorie 'Schäumende Strahlen' hinzu.

Die Wasserbilder sind in beiden Versuchsreihen ab 20° Neigung überwiegend schaumig. In Versuchsreihe 1 enden sie bereits bei 30° Neigung.



In Versuchsreihe WT 2 gehen die Lufteinträge in den höheren Neigungen wieder zurück. Das Wasserbild verändert sich von 'Schaumige Strahlen' in 'Wasserstrahlen' (vgl. Tabelle 21, Proportion 4:1 und 8:1).



Plastische Strukturen 2:1



Wasserklumpen 1:8



Wasserstrahlen 4:1



Unterschiedliche WS 2:1



Schäumende Strahlen 1:1



WS & Schäumende Strahlen 1:8

Abbildung 145: Wasserbilder, die bei einem Durchfluss von 10 l/s entstehen, WS= Wasserschleier

Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht, welche Wasserbilder mit unterschiedlichen Proportionen und Durchflussmengen erzeugt werden können (Tabellen 21, 22). Der Übersichtlichkeit halber wurden alle Neigungen einer Proportion zusammengefasst. Bei 4 verschiedenen Proportionen und 4 verschiedenen Durchflussmengen ergeben sich somit 16 Gruppen in der Versuchsreihe WT 1 und WT 2.

Die Kategorien sind so angeordnet, dass sie der Entwicklung des Wasserbildes von klar und durchsichtig zu schäumend folgen.

Versuchsreihe 1	Proportion 1:1				Proportion 1:2				Proportion 1:4				Proportion 1:8			
	1	3	5	10	1	3	5	10	1	3	5	10	1	3	5	10
Durchflussmenge (l/s)																
Strukturarm	x				x				x				x			
Plastische Strukturen		x	x	x		x	x	x		x	x			x		
Dreieckstrukturen						x			x				x			
Wasserklumpen			x	x						x	x	x			x	x
Feinstrahl	x															
V-förmiger Feinstrahl	x															
Feine Strahlen & Schweife	x				x				x				x			
Wasserstrahlen		x							x				x			
Schäumende Strahlen				x				x			x				x	x
Wasserschleier & Schäumende Strahlen								x		x		x		x		x

Tabelle 21: Zusammenfassung der Wasserbilder bei unterschiedlichen Proportionen und Durchflussmengen aus Versuchsreihe 1

In der Versuchsreihe WT 1 sind 'Plastische Strukturen' die häufigsten Wasserbilder, da sie in neun von sechzehn Gruppen vorkommen. Sie treten bei allen Proportionen erst bei einer Durchflussmenge von mindestens 3 l/s auf und sind bei Durchflussmengen bis zu 10 l/s zu finden. Es bleibt sowohl der gestalterischen Absicht, als auch dem wirtschaftlichen Gesichtspunkt überlassen, welche Durchflussmenge bevorzugt wird, um dieses Bild zu erzielen. Es sollte dabei auch der mit der Durchflussmenge steigende Geräuschpegel beachtet werden.

Das Wasserbild 'Wasserklumpen' ist am zweithäufigsten, gefolgt von den Kategorien 'Schäumende Wasserstrahlen' und 'Wasserschleier & Schäumende Strahlen' anzutreffen.

Versuchsreihe 2	Proportion 1:1				Proportion 2:1				Proportion 4:1				Proportion 8:1			
	1	3	5	10	1	3	5	10	1	3	5	10	1	3	5	10
Durchflussmenge (l/s)																
Strukturarm	x				x				x				x			
Plastische Strukturen		x	x	x		x	x	x		x				x		
Wasserklumpen			x	x							x				x	x
Feinstrahl	x				x											
V-förmiger Feinstrahl	x								x							
Alternierende Wasserschleier					x				x				x			
Feine Strahlen & Schweife	x								x							
V-förmige Strahlen					x				x				x			
Wasserstrahlen		x				x	x			x	x	x		x	x	x
V-förmig, Wasserschleier mit Rillen & Strahlen										x				x		
Unterschiedliche Wasserschleier						x	x	x		x						
Schäumende Strahlen				x			x	x			x	x				x

Tabelle 22: Zusammenfassung der Wasserbilder bei unterschiedlichen Proportionen und Durchflussmengen aus Versuchsreihe 2

In Versuchsreihe WT 2 steht die Kategorie 'Plastische Strukturen' erst an zweiter Stelle. 'Wasserstrahlen' sind in dieser Versuchsreihe am häufigsten, da sie in 9 von 16 Gruppen vorkommen. Gefolgt werden diese Wasserbilder von 'Schäumenden Strahlen', die noch in sechs Gruppen vorkommen, während die anderen Wasserbilder nur noch in fünf oder weniger Gruppen vorkommen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Entstehung eines Wasserbildes durch das Zusammenspiel von Durchflussmenge, Neigung und Proportion bestimmt wird. Der Einfluss jedes Faktors ist unterschiedlich stark und jeweils abhängig von der Veränderung der beiden anderen Faktoren. Dies lässt sich an den Tabellen 17-20 ablesen.

In der Versuchsreihe WT 1 mit kurzen Auftritten und langen Steigungen (Proportion 1:2 - 1:8) enden die Wasserbilder annähernd aller Proportionen fast durchgängig in den gleichen Neigungen. Bei einem Durchfluss von 1 l/s werden Wasserbilder bis 80° Neigung erzielt, bei einem Durchfluss von 3 l/s enden sie schon bei maximal 40° Neigung und gehen danach in Wasserschleier über.

In der Versuchsreihe WT 2 mit langen Auftritten und kurzen Steigungen sind Wasserbilder nur bei der Proportion 8:1 durchgängig in allen Neigungen und Durchflussmengen zu erzeugen. Diese Proportion hat die längsten Auftritte im Vergleich zur Steigung. Bei einem Durchfluss von 1 l/s entstehen in allen Proportionen mit langen Auftritten und kurzen Steigungen bis 80° Neigung fließende Wasserbilder. Die weiteren Ergebnisse stufen sich bei einem Durchfluss von 3 l/s mit 70° (Prop. 4:1) und 60° Neigung (Prop. 2:1) ab. In Proportion 2:1 und 4:1 enden die fließenden Bilder bei einem Durchfluss von 5 l/s und 50° Neigung. In denselben Proportionen enden sie bei einem Durchfluss von 10 l/s und 40° Neigung und gehen in zusammenhängende Wasserschleier über (vgl. Tabelle 17–20).

Werden die Durchflussmengen betrachtet, so zeigt sich, dass mit Durchflussmengen von 1 und 3 l/s vielfältigere Wasserbilder (8 und 7 Kategorien) zu erzielen sind als mit höheren Durchflussmengen. Ab 5 l/s entstehen nur noch 5, ab 10 l/s 6 Kategorien und die Wasserbilder gehen schon bei geringen Neigungen in Wasserschleier über.

Bei einem Durchfluss von 1 l/s entstehen eher ruhige und klare bis milchige Wasserbilder. Hingegen treten bei 3 l/s neben klaren Wasserbildern der plastischen Kategorien, wie 'Plastische Strukturen', 'Wasserklumpen' und 'Dreiecksstrukturen mit Schweifen', auch strahlartige Bilder, wie die Kategorien 'Wasserstrahlen', 'Unterschiedliche Wasserschleier', 'V-förmig', 'Wasserschleier mit Rillen und Strahlen' und 'Wasserschleier und Schäumende Strahlen', auf. Der Wasserfilm löst sich bei einem Durchfluss von 5 l/s weiter auf, so dass viele Bilder mit 'Wasserstrahlen und Schäumenden Strahlen' entstehen. Dies steigert sich noch bei einem Durchfluss von 10 l/s.

Grundsätzliche Tendenzen sind für bestimmte Neigungen ablesbar.

In den Neigungen 10 und 20° entstehen ruhige Wasserbilder, die fast durchgängig dahinplätschern, während sich ab 30° Neigung immer mehr Turbulenzen in das Fließen mischen und die Wasserbilder lebhafter werden. Verstärkt wird dies mit zunehmender Durchflussmenge.

In 10° Neigung und einem Durchfluss von 1 l/s sind die Wasserbilder ausschließlich strukturarm, während sie bei 3 l/s Plastizität entwickeln. Beide Wasserbilder zeichnen sich durch klare und zusammenhängende Wasserfilme aus.

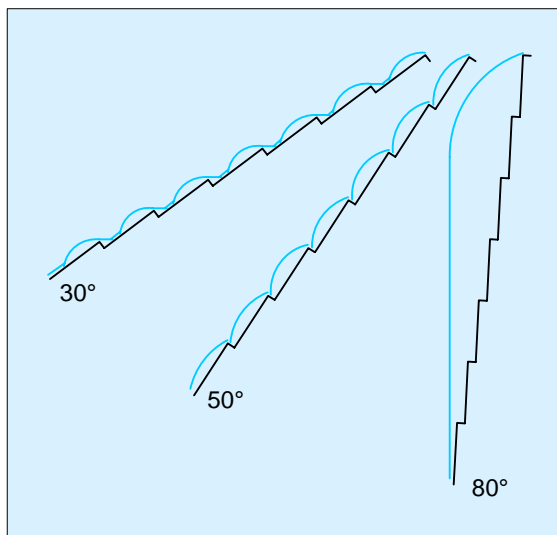
Ab einem Durchfluss von 5 l/s hat auch die Proportion mehr Einfluss. Dort, wo die Steigungslänge das Vierfache des Auftritts nicht übersteigt, entstehen 'Plastische Strukturen' und 'Wasserklumpen'. Letztere stellen eine Steigerung der Kategorie 'Plastische Strukturen' dar, bei denen sich der Wasserfilm zum Teil in einzelne Wasserstücke auflöst. Sie treten bei Proportionen auf, bei denen die Steigung das Achtfache des Auftritts (Prop. 1:8) ausmacht oder auch im umgekehrten Fall, wenn der Auftritt das vier- oder achtfache der Steigung (Prop. 4:1 und 8:1) ausmacht.

Auch bei einem Durchfluss von 10 l/s entstehen dieselben plastischen Bilder, wobei das Wasserbild 'Wasserklumpen' bei Proportion 4:1 in schaumige Strahlen übergeht, sich der Wasserfilm also



in einzelne luftreiche Strahlen aufteilt. Auffällig ist, dass mit Ausnahme der Proportion 4:1 bei einem Durchfluss von 10 l/s in allen anderen Durchflussmengen klare Wasserbilder mit zusammenhängenden Wasserfilmen entstehen, die sich nur durch ihre Plastizität unterscheiden.

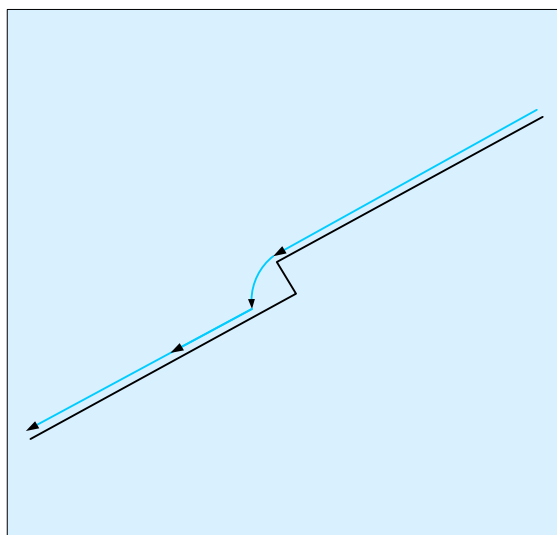
Beim Vergleich der Proportionen wird deutlich, dass bei allen Untersuchungen mit Durchflussmengen von mehr als 1 l/s die Wasserbilder mit kurzen Auftritten und langen Steigungen schon bei 50° bzw. 40° Neigung in einen geschlossenen Wasserschleier übergehen.



Das Wasserbild beschreibt bei steilen Neigungen ab 50° von Stufe zu Stufe einen Bogen, der bei zunehmender Neigung nicht mehr auf den einzelnen Auftritten landet, sondern in einem so großen Bogen fällt, dass die einzelnen Steigungen und Auftritte davon überspannt werden (Darstellung 72).

Hingegen erzeugt die Proportion mit langen Auftritten und kurzen Steigungen, hier vor allem die Proportion 8:1 bei allen Durchflussmengen durchgängig fließende Wasserbilder bis zu einer Neigung von 80° (vgl. Darstellung 73).

Darstellung 72: Prinzipskizze des Fließverhaltens am Beispiel 1:8



Daraus lässt sich folgern, dass lange Auftritte und kurze Steigungen für die Erzeugung von fließenden Wasserbildern von Vorteil sind.

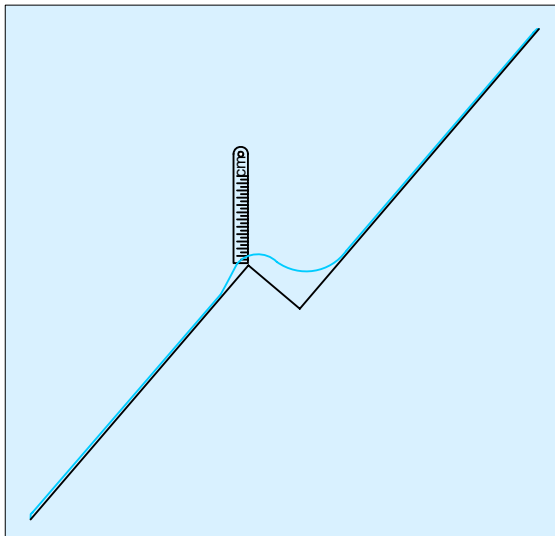
Durch eine geeignete Kombination von Proportion und Neigung kann also ein Wasserbild bei allen Durchflussmengen erzeugt werden. So entsteht z.B. das Wasserbild 'Wasserstrahlen' durchgängig bei unterschiedlichen Treppenproportionen und in allen untersuchten Durchflussmengen.

Darstellung 73: Detail Proportion 8:1

Allerdings fällt auf, dass das Wasserbild 'Wasserstrahlen' an den Proportionen mit kurzen Auftritten und langen Steigungen bei einem Durchfluss von 1 l/s in 50-70° Neigung (Prop. 1:8, 1:4) und bei einer Durchflussmenge von 3 l/s in 40° Neigung (Prop. 1:1) vorkommt. Bei höheren Durchflussmengen tritt es nur noch im umgekehrten Proportionsverhältnis auf.

Ab einer Durchflussmenge von 3 l/s ist das Wasserbild 'Wasserstrahlen' in 20 und 30° Neigung bei allen Proportionen zu finden, in denen der Auftritt länger ist als die Steigung. Bei 5 l/s dominiert dieses Wasserbild die anderen Kategorien und auch bei 10 l/s ist es anteilig hoch.

Die in den Tabellen 17-20 dargestellten Mittelwerte der Wasserfilmhöhen sind verlässlich für alle Proportionen mit langen Aufritten und kurzen Steigungen, da das Wasser dort kontinuierlich über die Stufen abfließen kann. Bei kurzen Aufritten und langen Steigungen gibt es auf den Aufritten der Stufen jeweils einen aufgestauten Bereich (siehe Darstellung 74).



Dadurch stellt sich eine besondere Fließeigenschaft des Wassers ein, die den Wasserfilm auf der Krone des Auftritts beeinflusst. Hier trifft das die lange Steigung herabfließende Wasser auf den Aufstau auf den Aufritten. Die Fließgeschwindigkeit wird abgebremst und die Fließrichtung umgelenkt. Der Wasserfilm an der Hinterkante des Auftritts im Übergang zur Steigung verdrängt das aufgestaute Wasser und ist in diesem Bereich dünner als an der Krone des Auftritts. An der Krone des Auftritts wird die Wasserfilmhöhe mit einem Stahllineal gemessen (vgl. Darstellung 74).

Darstellung 74: Prinzipskizze zur Veränderung des Wasserfilms an kurzen Aufritten

Dieser Effekt lässt sich in der Natur an Versprüngen in der Sohle von Bächen ebenfalls beobachten. Durch diese Aufwölbung ergibt sich ab 20° Neigung ein höherer Wasserfilm als bei 10° Neigung, der dann bei zunehmender Neigung allerdings wieder absinkt. Dieser Effekt beruht auf dem kleiner werdenden Aufstau auf den Aufritten. Das Gegengefälle auf den Aufritten wandelt sich in ein Gefälle in Fließrichtung um, wenn die Neigung der gesamten Treppe größer wird.

Der Wasserfilm erhöht sich mit zunehmender Durchflussmenge, steigt jedoch nicht linear an. So beträgt z.B. die rechnerisch mittlere Wasserfilmhöhe bei einer Durchflussmenge von 1 l/s bei 10° Neigung 0,4 cm (Prop. 1:1) und steigt bei 10 l/s auf 2,03 cm an.

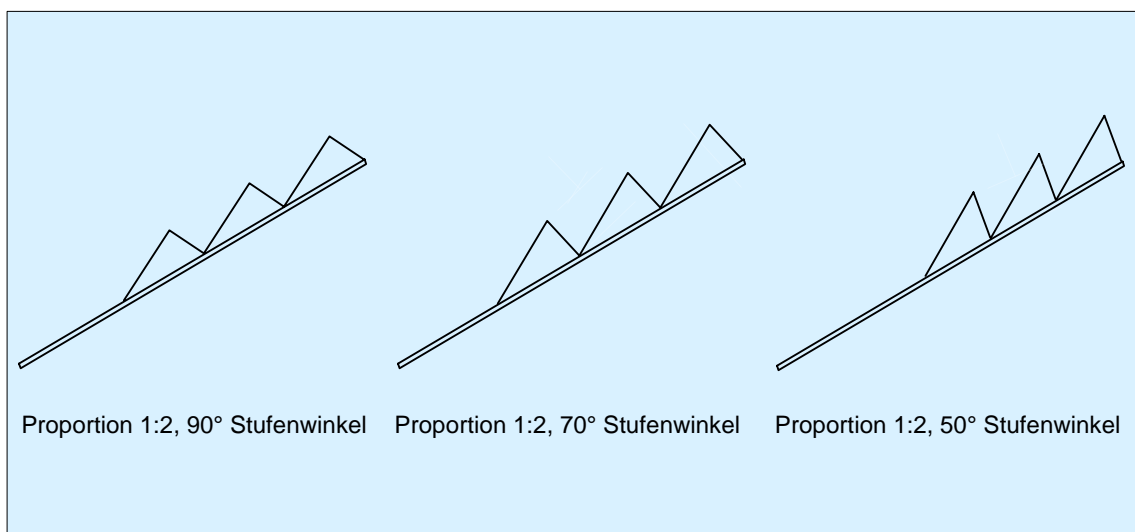
Betrachtet man dazu die Wasserfilmhöhen in 80° Neigung am Beispiel der Proportion 8:1, also der Treppen mit den längsten Aufritten im Vergleich zur Steigung, so misst der rechnerisch mittlere Wasserfilm 0,1 cm bei einer Durchflussmenge von 1 l/s und bei der zehnfachen Wassermenge nicht über 0,2 cm. Ein genauer Wert war hier nicht zu ermitteln, da durch die Luftmischung in den schaumigen Strahlen der genaue Wert nicht ablesbar war. Wird die Reihe von 10-80° Neigung verglichen geht die mittlere Wasserfilmhöhe um 0,2 cm. In hohen Neigungen wirkt sich folglich die Steigerung der Durchflussmenge auf die Wasserfilmhöhe nicht so stark aus.

Wie in den Tabellen 17-20 zu sehen ist, bedingt nicht nur eine bestimmte Wasserfilmhöhe jeweils ein bestimmtes Wasserbild. Vielmehr nimmt auch die Neigung entscheidenden Einfluss auf die Veränderung des Wasserbildes. Als Beispiel ist hier das Wasserbild mit 'Plastischen Strukturen' zu nennen: Bei einer Durchflussmenge von 3 l/s in Proportion 8:1 entsteht es sowohl in 10° Neigung -bei 0,4 cm mittlerem Wasserfilm- als auch in Proportion 1:1 in 30° Neigung -0,75 cm mittlere Wasserfilmhöhe. Ebenfalls taucht es bei Proportion 1:2 aber auch bei einer Durchflussmenge von 5 l/s in 20° Neigung und einem mittleren Wasserfilm von 1,36 cm als auch bei einer Durchflussmenge von 10 l/s und 10° Neigung mit einem mittleren Wasserfilm von 2,36 cm auf.

Es ist nicht möglich, die Entstehung von Wasserbildern pauschal auf eine Wasserfilmhöhe oder eine bestimmte Durchflussmenge zu reduzieren, da die anderen beeinflussenden Faktoren zu berücksichtigen sind.

#### 5.2.4 DER EINFLUSS DES VERRINGERTEN STUFENWINKELS INNERHALB DER TREPPE

In den vorangegangenen Ergebnissen wurde die Vielfalt von Formen und Strukturen unterschiedlicher Wasserbilder an Wassertreppen herausgestellt. In Versuchsreihe WT 3 werden exemplarisch an Treppen mit kurzen Auftritten und langen Steigungen die Unterschiede herausgearbeitet, die durch eine Veränderung des Stufenwinkels entstehen. Aus fertigungstechnischen Gründen wird dazu die Proportion 1:2 mit Stufenwinkeln von 90, 70 und 50° und die Proportion 1:4 mit Stufenwinkeln von 90 und 70° ausgewählt. Wie schon in Versuchsreihe 1 und 2 werden hier alle Neigungen mit den Durchflussmengen 1, 3, 5, und 10 l/s untersucht und miteinander verglichen.



Darstellung 75: Treppen mit der Proportion 1:2 und Stufenwinkeln von 90, 70 und 50°

Beim Vergleich der Proportion 1:2 mit 90, 70 und 50° Stufenwinkel (Darstellung 75) zeigen sich geringfügige Veränderungen der Wasserbilder. Bei Stufenwinkeln, die kleiner als 90° sind, verschiebt sich der Bereich, in dem ein bestimmtes Wasserbild entsteht.

Die Kategorie 'Strukturarm' findet sich bei einem Stufenwinkel von 90 bis einschließlich 50° Neigung (Tabelle 22). Bei einem Stufenwinkel von 70° entsteht diese Kategorie nur noch bis einschließlich 40° Neigung und bei einem Stufenwinkel von 50° nur noch bis 30° Neigung.

Das zusätzliche Wasserbild 'Feinstrahl' tritt bei einem Stufenwinkel von 70 und 50° auf. Dies ist eine Art Vorstufe dessen, was als Wasserbild 'Feine Strahlen und Schweife' bei einem Stufenwinkel von 90° vorkommt (Tabelle 23).

Bei einem Stufenwinkel von 50° gibt es nur die zwei sehr ruhig und klar fließenden Wasserbilder 'Strukturarm' und 'Feinstrahl', während bei einem Stufenwinkel von 70° diese Wasserbilder ab 70° Neigung durch das Wasserbild 'Feine Strahlen und Schweife' abgelöst werden.

Bei einer Verringerung des Stufenwinkels innerhalb einer Proportion erfolgt eine Beruhigung des fließenden Wassers, was einen überwiegend zusammenhängenden Wasserfilm ermöglicht (vgl. Tabelle 23).

Durchfluss 1 l/s								
Neigung (°)								
Proportion	10	20	30	40	50	60	70	80
1:2, 50° Stufenwinkel	Strukturarm			Feinstrahl				
1:2, 70° Stufenwinkel	Strukturarm				Feinstrahl		Feine Strahlen & Schweife	
1:2, 90° Stufenwinkel	Strukturarm					Feine Strahlen & Schweife		

Tabelle 23: Wasserbilder der Proportion 1:2 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 1 l/s

Bei einem Durchfluss von 3 l/s ähneln sich die Wasserbilder stärker. Bis zu einer Neigung von 40° gibt es keine Differenzen in den Wasserbildern durch verschiedene Stufenwinkel (vgl. Tabelle 24). Ab 50° Neigung gibt es allerdings bei 90° Stufenwinkel keine fließenden Wasserbilder mehr, während die 70° Stufenwinkel in einer Neigung von 50° noch einmal ‚Dreieckstrukturen und Schweife‘ entstehen. Sie sind bis zu einer Neigung von 60° zu beobachten. Mit einem Stufenwinkel von 50° entstehen im Vergleich zu den anderen Winkeln deutlich vielfältigere Wasserbilder.

Bei 50°Neigung zeigt sich das Wasserbild 'Wasserklumpen', 'Schäumende Strahlen' und bei 60° und bei 70° das Wasserbild 'unterschiedliche Wasserschleier'.

Durchfluss 3 l/s								
Neigung (°)								
Proportion	10	20	30	40	50	60	70	
1:2, 50° Stufenwinkel	Plastische Strukturen	Dreieckstrukturen & Schweife			Wasserklumpen	Schäumende Strahlen	Unterschiedliche Wasserschleier	
1:2, 70° Stufenwinkel	Plastische Strukturen	Dreieckstrukturen & Schweife						
1:2, 90° Stufenwinkel	Plastische Strukturen	Dreieckstrukturen & Schweife						

Tabelle 24: Wasserbilder der Proportion 1:2 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 3 l/s

Wasserbilder, die bei 5 l/s entstehen, ähneln sich noch stärker. Es entstehen an allen Stufenwinkeln 'Plastische Strukturen' und 'Wasserklumpen'. Zusätzlich ist bei einem Stufenwinkel von 50° das Wasserbild 'Schäumende Strahlen' bei 40 und 50° Neigung (vgl. Tabelle 25) zu beobachten.

Durchfluss 5 l/s							
Neigung (°)							
Proportion	10	20	30	40	50	60	70
1:2, 50° Stufenwinkel	Plastische Strukturen		Wasserklumpen	Schäumende Strahlen			
1:2, 70° Stufenwinkel	Plastische Strukturen		Wasserklumpen				
1:2, 90° Stufenwinkel	Plastische Strukturen		Wasserklumpen				

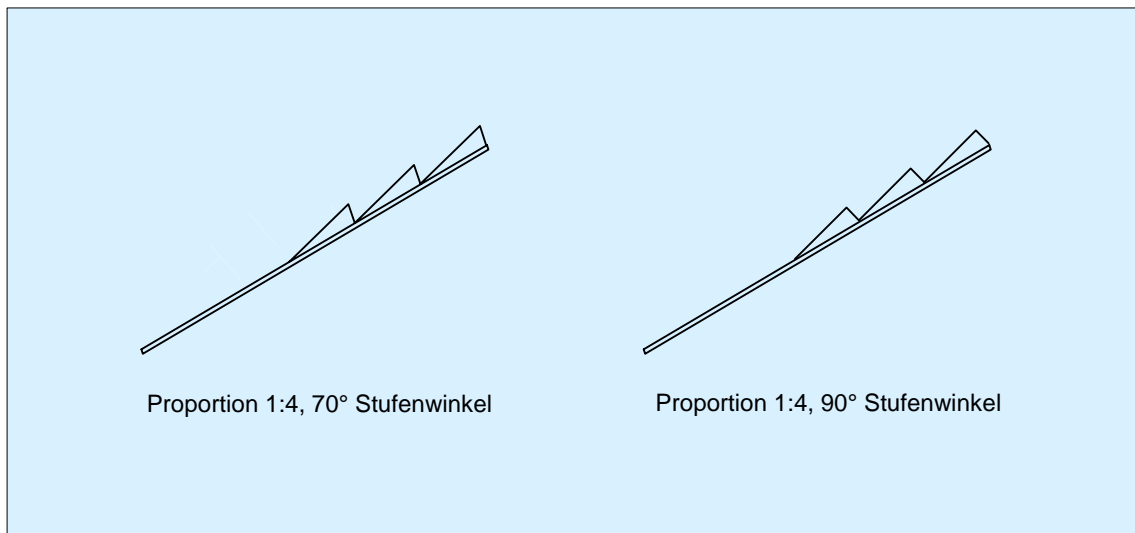
Tabelle 25: Wasserbilder der Proportion 1:2 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 5 l/s

Bei einer Durchflussmenge von 10 l/s hat der Stufenwinkel wieder mehr Einfluss auf die Wasserbilder. Es werden in den Neigungen 10 und 20° 'Plastische Strukturen' und 'Schäumende Strahlen' und bei 50° Abkantung zusätzlich noch 'Wasserschleier und Schäumende Strahlen' erzeugt (vgl. Tabelle 26).

Durchfluss 10 l/s							
Neigung (°)							
Proportion	10	20	30	40	50	60	70
1:2, 50° Stufenwinkel	Plastische Strukturen		Schäumende Strahlen	Wasserschleier & Schäumende Strahlen			
1:2, 70° Stufenwinkel	Plastische Strukturen		Schäumende Strahlen				
1:2, 90° Stufenwinkel	Plastische Strukturen	Schäumende Strahlen					

Tabelle 26: Wasserbilder der Proportion 1:2 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 10 l/s

Werden bei der Proportion 1:4 die Stufenwinkel von 70 und 90° (vgl. Darstellung 76, Tabelle 27) verglichen, entstehen bei 1 l/s Durchfluss fast identische Wasserbilder.



Darstellung 76: Treppen mit der Proportion 1:4 und Stufenwinkeln von 90 und 70°

Bei einem Durchfluss von 3 l/s enden die Wasserbilder bei Proportion 1:4 und 90° Stufenwinkel schon bei 40° Neigung. Bei 70° Stufenwinkel enden sie hingegen erst bei 60° Neigung (vgl. Tabelle 28). Als zusätzliche Kategorie gibt es hier das Wasserbild der 'Schäumenden Strahlen'.

Bei einem Durchfluss von 5 l/s ist die Abstufung in den Wasserbildern dieselbe wie bei 3 l/s, auch hier entsteht eine zusätzliche Kategorie, die 'Wasserschleier und schäumende Strahlen' (vgl. Tabelle 29). Bei den Durchflüssen 3 und 5 l/s gibt es bei der geringeren Stufenwinkeln zusätzlich jeweils die Kategorie 'Wasserschleier und Schäumende Strahlen'.

Bei einer Durchflussmenge von 10 l/s tritt die zusätzliche Kategorie 'Schäumende Strahlen' bei einem Stufenwinkel von 70° auf (vgl. Tabelle 30).

Durchfluss 1 l/s							
Neigung (°)							
Proportion	10	20	30	40	50	60	70
1:2, 70° Stufenwinkel	Strukturarm		Dreieckstrukturen & Schweife			Wasserkumpen	Feine Strahlen und Schweife
1:4, 90° Stufenwinkel	Strukturarm		Dreieckstrukturen & Schweife			Wasserstrahlen	Feine Strahlen und Schweife

Tabelle 27: Wasserbilder der Proportion 1:4 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 1 l/s

Durchfluss 3 l/s							
Neigung (°)							
Proportion	10	20	30	40	50	60	70
1:4, 70° Stufenwinkel	Plastische Strukturen		Wasserklumpen		Schäumende Strahlen	Wasserschleier & Schäumende Strahlen	
1:4, 90° Stufenwinkel	Plastische Strukturen		Wasserklumpen	Wasserschleier & Schäumende Strahlen			

Tabelle 28: Wasserbilder der Proportion 1:4 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 3 l/s

Durchfluss 5 l/s							
Neigung (°)							
Proportion	10	20	30	40	50	60	70
1:4, 70° Stufenwinkel	Plastische Strukturen		Wasserklumpen	Schäumende Strahlen	Wasserschleier & Schäumende Strahlen		
1:4, 90° Stufenwinkel	Plastische Strukturen	Wasserklumpen	Schäumende Strahlen				

Tabelle 29: Wasserbilder der Proportion 1:2 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 5 l/s

Durchfluss 10 l/s								
Neigung (°)								
Proportion	10	20	30	40	50	60	70	80
1:4, 70° Stufenwinkel	Wasserklumpen		Schäumende Strahlen	Ws & Schäumende Strahlen				
1:4, 90° Stufenwinkel	Wasserklumpen		Ws & Schäumende Strahlen					

Tabelle 30: Wasserbilder der Proportion 1:2 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 10 l/s

Abschließend kann festgestellt werden, dass durch Verringerung des Stufenwinkels unter 90° die Vielfältigkeit in den Wasserbildern bei wechselnden Neigungen und Durchflussmengen gesteigert werden kann. Dies wirkt sich ab einem Durchfluss von 3 l/s deutlich aus.

## 5.2.5 VERÄNDERUNG DES WASSERBILDES DURCH EINEN EINZELNEN FAKTOR

Es soll dargestellt werden, welche Einflüsse auf das Wasserbild wirken, wenn jeweils ein Einflussfaktor verändert wird. Dazu werden vier verschiedene Durchflussmengen (Kapitel 5.2.5.1), alle darstellbaren Neigungen (Kapitel 5.2.5.2) und maximal 7 Proportionen (Kapitel 5.2.5.3) jeweils in Bilderzyklen nebeneinander gestellt. In der Zusammenfassung werden die Bilderzyklen und die dargestellten Einflüsse der Einzelfaktoren ausgewertet (Kapitel 5.2.6).

### 5.2.5.1 Veränderung der Durchflussmenge

In den nachfolgenden Bilderzyklen (Abbildung 146-150) sollen die Auswirkungen auf das Wasserbild durch eine Erhöhung der Durchflussmenge im Einzelnen verdeutlicht werden.

Dazu werden beispielhaft für 5 Proportionen in jeweils einer bestimmten Neigung die entstehenden Wasserbilder für Durchflussmengen von 1, 3, 5 und 10 l/s gezeigt.

Es kann in allen Reihen der Wechsel von einem ruhigen zu einem belebten bis schaumigen Wasserbild beobachtet werden.

Es entstehen jedoch nicht in allen Proportionen, Neigungen und Durchflussmengen fließende Wasserbilder.

In der Versuchsreihe WT 1 zum Beispiel, die mit kurzen Auftritten im Vergleich zu langen Steigungen arbeitet, endet der Zyklus unabhängig von der Proportion schon ab 40-50° Neigung. Hier geht das Wasserbild in geschlossene Wasserschleier, also fallende Wasserbilder, über.

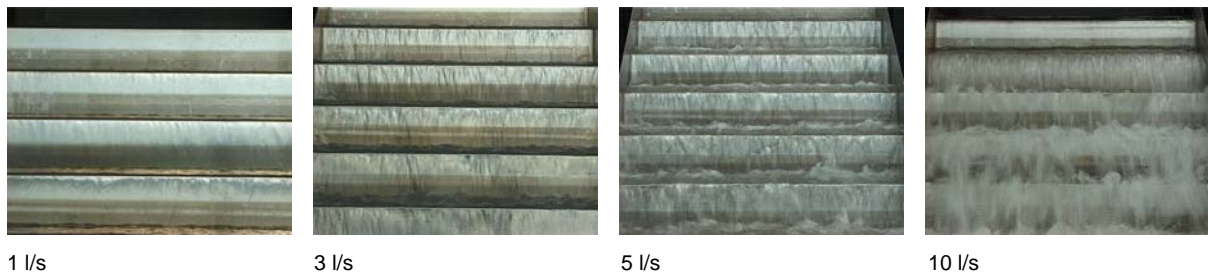
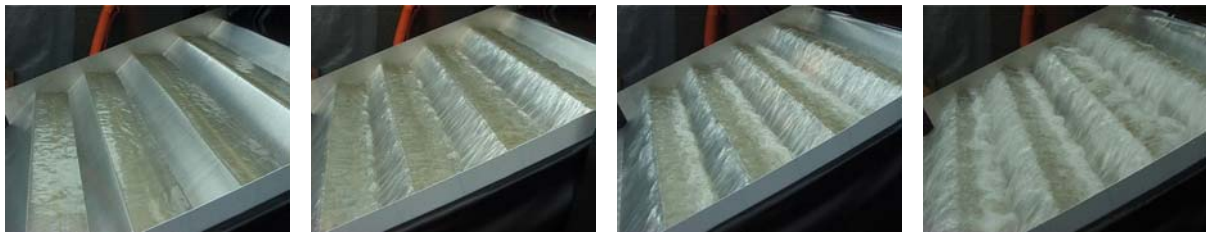


Abbildung 146: Bilderzyklus 1: Steigerung der Durchflussmenge an Proportion 1:1 bei 30° Neigung

Im Bilderzyklus 1 (Abbildung 146) gehört das erste Bild mit einer Durchflussmenge von 1 l/s (alle Bildzyklen sind von links nach rechts zu betrachten) aufgrund der geringen Strukturen auf den Steigungen zu der Kategorie 'Strukturarm'. Bei einer Durchflussmenge von 3 l/s wird das Wasserbild aufgrund seiner Strukturen an den Steigungen der Kategorie 'Plastische Strukturen' zugerechnet. Bei einer Durchflussmenge von 5 l/s wölben sich die Strukturen deutlich an den Steigungen aus dem Wasserfilm hervor, deshalb wird dieses Wasserbild den 'Wasserklumpen' zugerechnet. Das letzte Wasserbild gehört bei einer Durchflussmenge von 10 l/s zur Kategorie 'Schäumende Strahlen'.





1 l/s

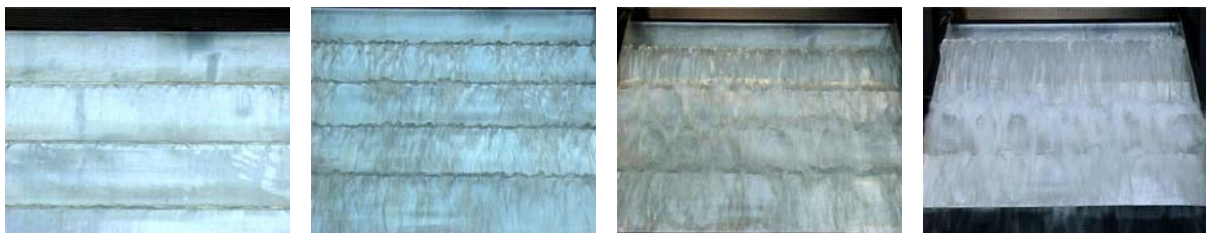
3 l/s

5 l/s

10 l/s

Abbildung 147: Bilderzyklus 2: Steigerung der Durchflussmenge an Proportion 1:2 bei 20° Neigung

Der Bilderzyklus 2 (Abbildung 147) beginnt mit der Kategorie 'Strukturarm' in einer Durchflussmenge von 1 l/s. Bei einer Durchflussmenge von 3 l/s bilden sich plastisch aufgewölbte, dreieckige Strukturen an den Oberkanten der Steigungen, die der Kategorie auch den Namen 'Dreieckstrukturen mit Schweifen' geben. Die Plastizität der Strukturen steigert sich bei 5 l/s zur Kategorie 'Plastische Strukturen'. Bei einer Durchflussmenge von 10 l/s sieht das Wasserbild durch die 'Schäumenden Strahlen' milchig aus.



1 l/s

3 l/s

5 l/s

10 l/s

Abbildung 148: Bilderzyklus 3: Steigerung der Durchflussmenge an Proportion 1:4 bei 30° Neigung

Das erste Wasserbild des Bilderzyklus 3 (Abbildung 148) mit einer Durchflussmenge von 1 l/s gehört zur Kategorie 'Strukturarm', das zweite mit einer Durchflussmenge von 3 l/s zeigt gehäuft Strukturen auf Steigung und Auftritt und gehört zur Kategorie 'Wasserklumpen'. Bei 5 l/s bilden sich 'Schäumende Strahlen', die bei einer Durchflussmenge von 10 l/s zur Kategorie 'Wasserschleier und Schäumende Strahlen' übergehen. Dieser Bilderzyklus zeigt deutlich die Veränderung der Wasserbilder von klar und ruhig fließend zu schäumend springend und fließend mit Erhöhung der Wasserfilmhöhe bzw. der Durchflussmenge.



1 l/s

3 l/s

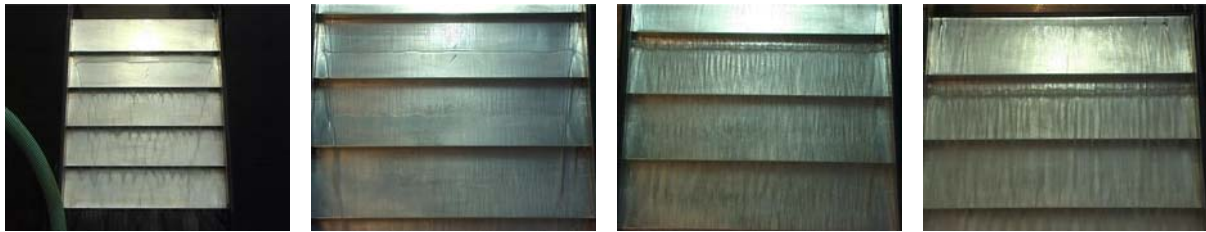
5 l/s

10 l/s

Abbildung 149: Bilderzyklus 4: Steigerung der Durchflussmenge an Proportion 2:1 bei 20° Neigung

Auch der Bilderzyklus 4 (Abbildung 149) beginnt mit der Kategorie 'Strukturarm'. Hier sind kaum Strukturen auf Auftritt und Steigung erkennbar. Das zweite Wasserbild mit einer Durch-

flussmenge von 3 l/s zeigt auf Steigung und Auftritt deutlich mehr Strukturen und gehört zur Kategorie 'Plastische Strukturen'. Zur Kategorie 'Schäumende Strahlen' gehören das dritte und vierte Bild. Es werden zwar in der Milchigkeit des Wasserbildes Unterschiede deutlich, sie gehören jedoch beide derselben Kategorie an.



1 l/s                      3 l/s                      5 l/s                      10 l/s

Abbildung 150: Bilderzyklus 5: Steigerung der Durchflussmenge an Proportion 8:1 bei 60° Neigung

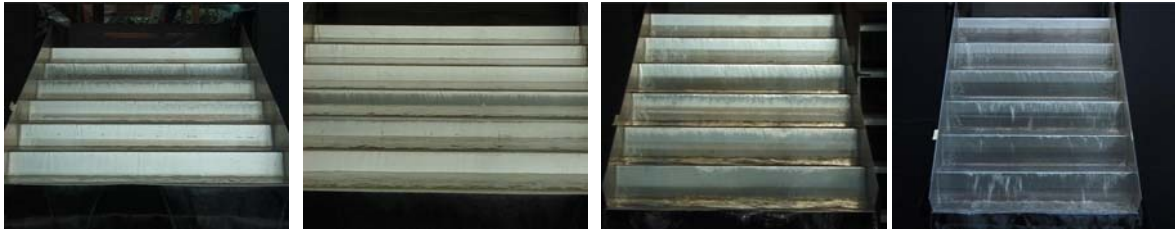
Bei einer Durchflussmenge von 1 l/s im Bilderzyklus 5 (Abbildung 150) entsteht das Wasserbild 'V-förmige Strahlen'. Daraus entwickelt sich bei einer Durchflussmenge von 3 l/s die Kategorie 'V-förmig, Wasserschleier mit Rillen und Strahlen'. Bei Durchflussmengen von 5 und 10 l/s lösen sich die Wasserschleier in 'Wasserstrahlen' auf.

### 5.2.5.2 Veränderung der Neigung

Wie unter Kapitel 5.2.5.1 beschrieben, ist es auch hier nicht möglich, alle Proportionen in den Neigungen 10-80° zu zeigen. Nur in der Proportion 8:1 entstehen bei einer Durchflussmenge von 3 l/s Wasserbilder bis in 80° Neigung (Abbildung 153). Bei den anderen Proportionen gehen sie schon früher in Wasserschleier über (vgl. zusammenfassende Auswertung in den Tabellen 17-20).

Bei den Proportionen 1:1 und 1:4 entstehen fließende Wasserbilder bei einer Durchflussmenge von 1 l/s nur bis 70° Neigung. Bei einer Durchflussmenge von 3 l/s sind fließende Wasserbilder in der Proportion 1:1 bis 40° Neigung zu beobachten.

In den folgenden vier Bilderzyklen werden die Veränderungen aufgezeigt, die sich im Wasserbild ergeben, wenn die Neigungen erhöht werden. Die Beispiele zeigen dies für die Proportionen 1:1 und 1: 4 bei einer Durchflussmenge von 1 l/s und für die Proportionen 1:1 und 8: 1 bei einer Durchflussmenge von 3 l/s.



10° Neigung

20° Neigung

30° Neigung

40° Neigung



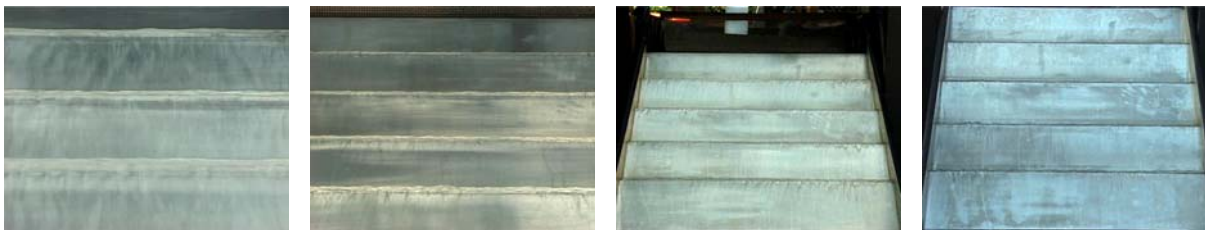
50° Neigung

60° Neigung

70° Neigung

Abbildung 151: Bilderzyklus 6: Steigerung der Neigung an Proportion 1:1 bei 1 l/s

Im Bilderzyklus 6 (Abbildung 151) gehören die ersten 3 Wasserbilder der Neigungen von 10-30° zur Kategorie 'Strukturarm'. Bei 40° Neigung entsteht die Kategorie 'Feinstrahl', bei 50° Neigung folgt die Kategorie 'V-förmiger Feinstrahl' und geht dann bei 60 und 70° Neigung in 'Feine Strahlen und Schweife' über. Das Wasserbild in 80° Neigung entspricht einem Wasserschleier. Dieses Bild ist aufgrund seiner fallenden Eigenschaften nicht kategorisiert worden.



10° Neigung

20° Neigung

30° Neigung

40° Neigung



50° Neigung

60° Neigung

70° Neigung

Abbildung 152: Bilderzyklus 7: Steigerung der Neigung an Proportion 1:4 bei 1 l/s

Anhand des Bilderzyklus 7 (Abbildung 152) ist erkennbar, dass die ersten Wasserbilder von 10 und 20° Neigung zur Kategorie 'Strukturarm' gehören. Die nachfolgenden Neigungen zwischen 30-50° gehören der Kategorie 'Dreieckstrukturen' an. Bei 60° Neigung entstehen 'Wasserstrahlen' und bei 70° 'Feine Strahlen und Schweife': Die Veränderungen der einzelnen Wasserbilder bei 1 l/s sind nicht ganz so deutlich erkennbar wie in höheren Durchfluss-



mengen. Diese geringe Durchflussmenge wurde jedoch gewählt, weil nur bei ihr die Entwicklung der Wasserbilder von 10 80° Neigung gezeigt werden kann.

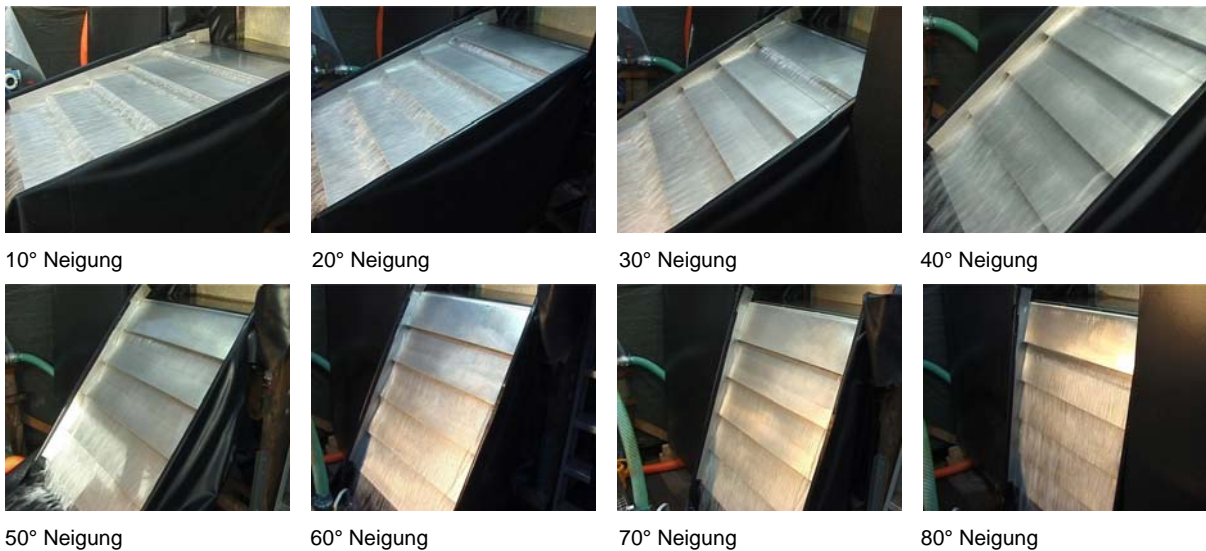


Abbildung 153: Bilderzyklus 8: Steigerung der Neigung an Proportion 8:1 bei 3 l/s

Bilderzyklus 8 (Abbildung 153) zeigt die Veränderung des Wasserbildes bei einer Durchflussmenge von 3 l/s in den Neigungen von 10-80°.

Die einzelnen Veränderungen des Wasserfilms in Anpassung an die jeweilige Neigung werden hier deutlich. Die Entwicklung reicht von 'Plastischen Strukturen' bei 10° Neigung, über 'Wasserstrahlen' bei 20 und 30° Neigung zu 'V-förmig, Wasserschleiern mit Rillen und Strahlen' und abschließend bei 70 und 80° Neigung zu 'Unterschiedliche Wasserschleiern'.

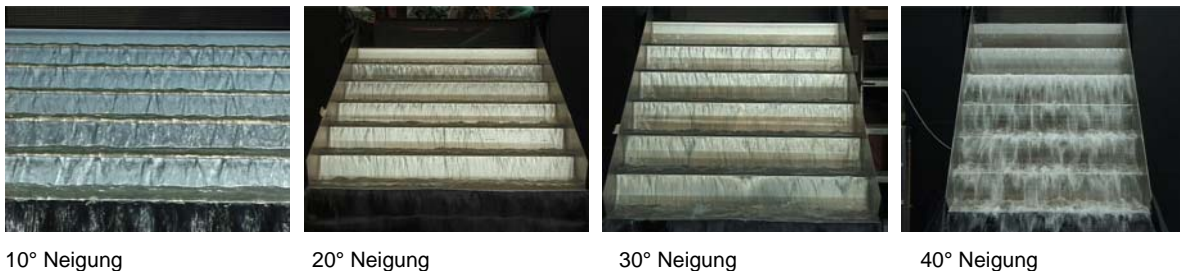


Abbildung 154: Bilderzyklus 9: Steigerung der Neigung an Proportion 1:1 bei 3 l/s

Im Bilderzyklus 9 (Abbildung 154) wird mit der Proportion 1:1 gearbeitet. Allerdings wird hier die Durchflussmenge erhöht, wodurch sich die Wasserbilder im Gegensatz zum vorangehenden Bilderzyklus 6 deutlich verändern. Die ersten 3 Wasserbilder der Neigungen von 10-30° gehören zur Kategorie der 'Plastischen Strukturen'. Bei 40° Neigung entstehen 'Wasserstrahlen'. In größeren Neigungen entsteht das Wasserbild des 'Wasserschleiers'. Auch bei den anderen Proportionen beginnen die Wasserbilder bei Durchflussmengen von 3, 5 oder 10 l/s überwiegend mit den Kategorien 'Plastische Strukturen' oder 'Wasserklumpen', also sehr klaren, ruhig fließenden Kategorien. Nimmt die Neigung zu, geht dieses ruhige Fließen immer in einen bewegteren Zustand über. Bei einer Durchflussmenge von 1 l/s tritt dies ver-

ständlicherweise nicht so früh ein wie bei einer Durchflussmenge von 5 l/s. Die Tendenz ist jedoch immer klar erkennbar.

Es ist von der Proportion abhängig, wie stark das Wasserbild durch die Steigerung der Neigung verändert wird.

### 5.2.5.3 Veränderung der Proportion

In den nachfolgenden Abbildungen werden an 3 Beispielen die Veränderungen aufgezeigt, die entstehen, wenn die Proportion verändert wird. Exemplarisch werden in den Durchflussmengen 1, 3 und 10 l/s die visuellen Unterschiede anhand von Bilderzyklen dargestellt.

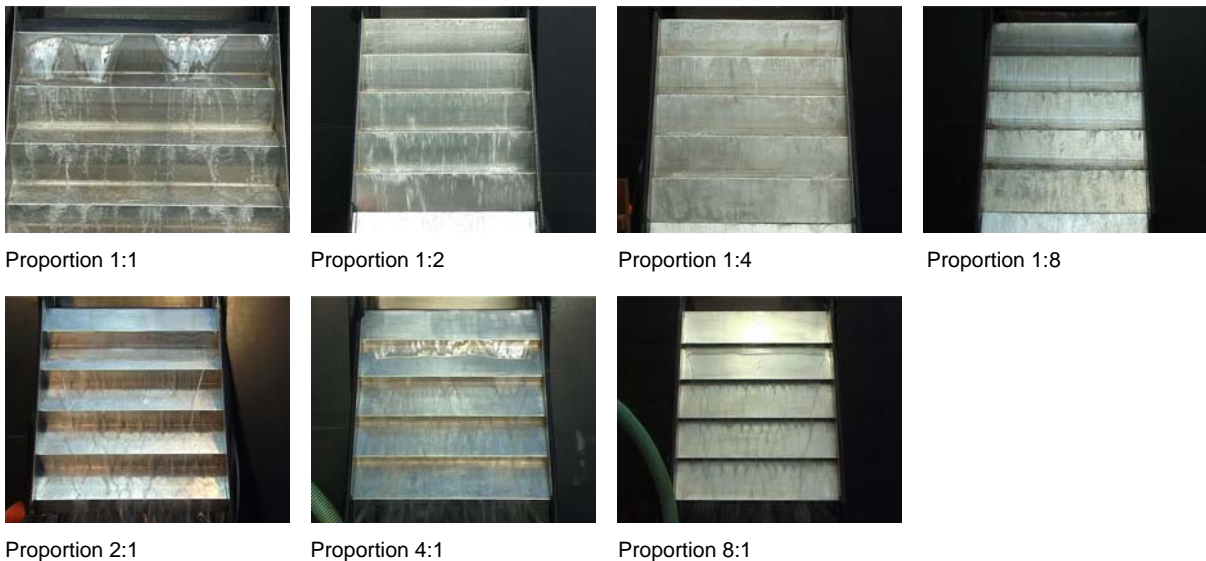


Abbildung 155: Bilderzyklus 10: Veränderung des Wasserbildes durch Änderung der Proportion am Beispiel 60° Neigung und 1 l/s

Im Bilderzyklus 10 (Abbildung 155) bilden sich in einer Neigung von 60° und einer Durchflussmenge von 1 l/s in den Proportionen 1:1 und 1:2 ‚Feine Strahlen und Schweife‘ aus. In den Proportionen 1:4 und 1:8 entstehen ‚Wasserstrahlen‘.

In der Versuchsreihe WT 2 entstehen an Proportion 4:1 ‚Feine Strahlen und Schweife‘ und an den Proportionen 2:1 und 8:1 ‚V-förmige Strahlen‘. Auch hier sind wieder sich ähnelnde Wasserbilder entstanden. Es handelt sich in allen Fällen um strahlartige Wasserbilder.

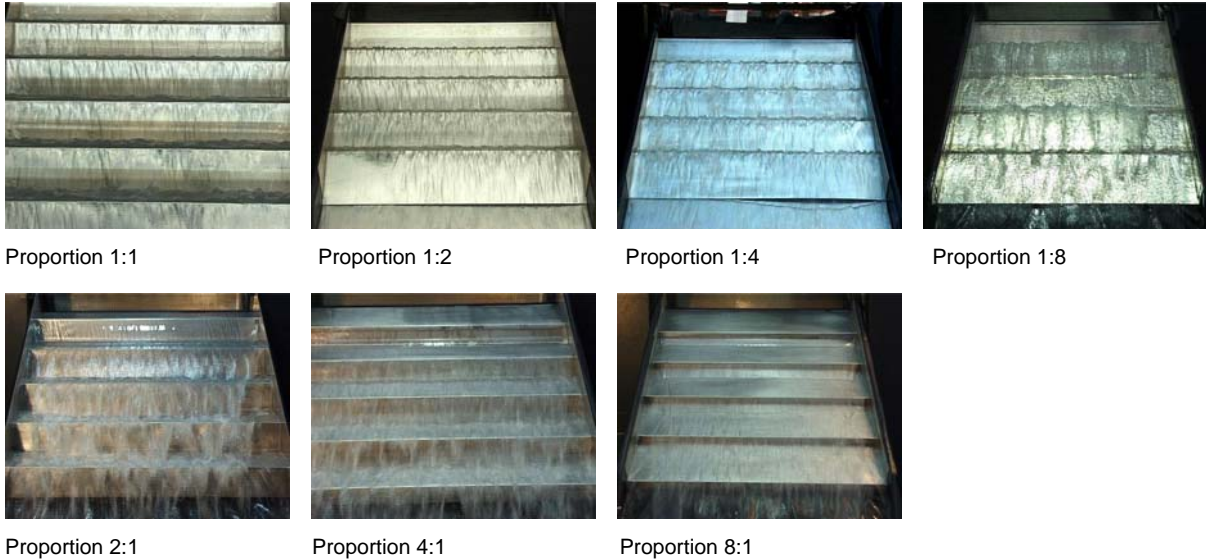


Abbildung 156: Bilderzyklus 11: Veränderung des Wasserbildes durch Änderung der Proportion am Beispiel 30° Neigung und 3 l/s

Bei einer Durchflussmenge von 3 l/s und 30° Neigung entstehen im Bilderzyklus 11 (Abbildung 156) vier verschiedene Wasserbilder an vier unterschiedlichen Proportionen. Von links nach rechts sind zunächst 'Plastische Strukturen', bei Proportion 1:2 'Dreieckstrukturen' erkennbar, darauf folgen bei Proportion 1:4 'Wasserklumpen' und bei Proportion 1:8 'Wasserschleier und Schäumende Strahlen'. In Versuchsreihe WT 1 ist die gesamte Bandbreite von klar fließendem bis losgelöst fallendem Wasser erkennbar. In Versuchsreihe WT 2 entstehen 'Wasserstrahlen' bei den Proportionen 2:1 und 4:1 sowie 'V-förmige Wasserschleier mit Rillen und Strahlen' bei Proportion 8:1. Insgesamt entstehen hier eher strahlartige Bilder.

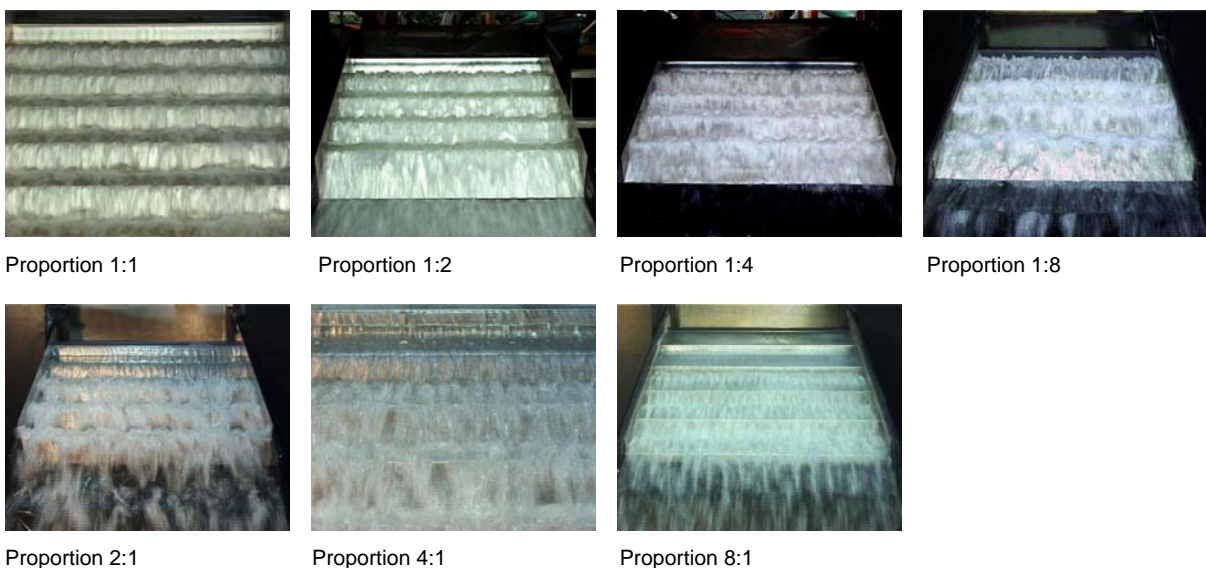


Abbildung 157: Bilderzyklus 12: Veränderung des Wasserbildes durch Änderung der Proportion am Beispiel 30° Neigung und 10 l/s

Bei diesem Vergleich entstehen im Bilderzyklus 12 (Abbildung 159) vier unterschiedliche Kategorien. Es entstehen 'Plastischen Strukturen' bei Proportion 1:1, 'Schäumende Strahlen'

bei den Proportionen 1:2, 1:8, 2:1 und 8:1, 'Wasserklumpen' bei Proportion 1:4 und 'Wasserstrahlen' bei Proportion 4:1. Im Gesamteindruck entsteht ein milchiges Wasserbild.

## 5.2.6 ZUSAMMENFASSUNG

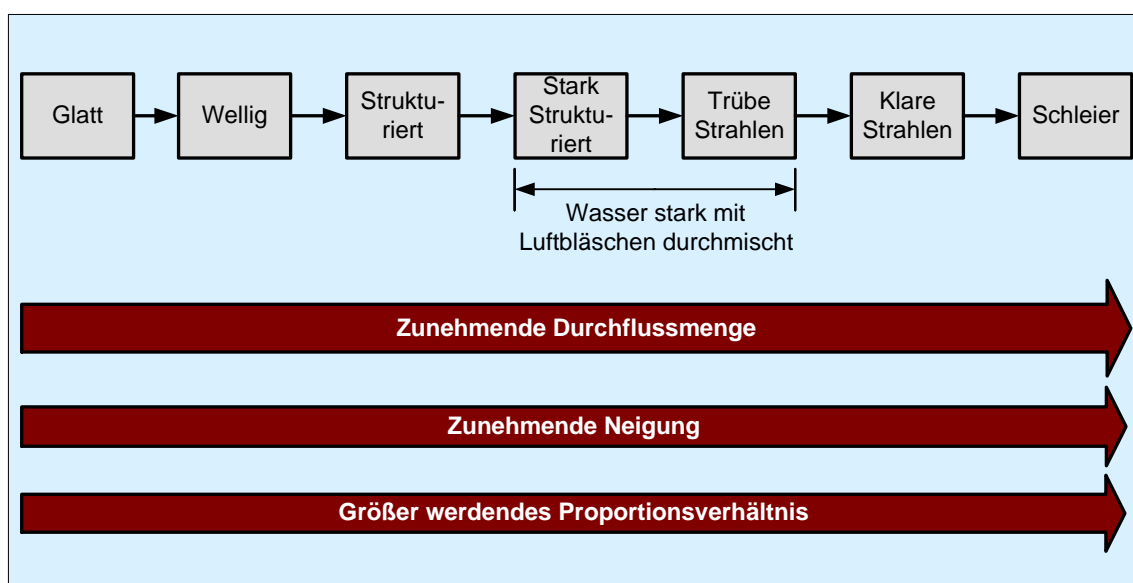
Wird die Entwicklung der Wasserbilder in den Bilderzyklen betrachtet, so sind Abfolgen in den Wasserbildern erkennbar. Es gibt klare Wasserbilder ohne Lufteinmischung sowie milchige oder schaumige Wasserbilder mit reichlich Lufteintrag.

Zu den klaren Wasserbildern zählen die Kategorien: 'Strukturarm', 'Plastische Strukturen', 'Dreieckstrukturen', 'Schweife', 'Wasserklumpen' und 'Alternierende Wasserschleier'.

Zu den milchigen oder schaumigen Wasserbildern zählen: 'Feine Strahlen und Schweife', 'V-förmiger Feinstrahl', 'Feinstrahl', 'Wasserstrahlen', 'Schäumende Strahlen', 'Unterschiedliche Wasserschleier', 'Wasserschleier und Schäumende Strahlen', 'V-förmig, Wasserschleier mit Rillen und Strahlen' sowie 'V-förmige Strahlen'.

Werden die Wassermengen, Neigungen oder Proportionen, z.B. Prop. 1:1 auf 1:8 erhöht, verändert sich das Wasserbild von klar über wellig, strukturiert, in schaumige Wasserbilder, bis es nach noch stärkerer Steigerung wieder in klarere Bilder übergeht und in einem mehr oder weniger geschlossenen Wasserschleier endet.

Anders ausgedrückt: Der zunächst zusammenhängende Wasserfilm gerät immer mehr in Bewegung und Unruhe, bis er sich in einzelne Teile auflöst, dann aber bei weiterer Steigerung der Einflussfaktoren wieder einen geschlossenen Wasserfilm ausbildet (vgl. Darstellung 77). Diese letzte Stufe ist allerdings ein Wasserbild, das in dieser Untersuchungsreihe nicht vertieft werden soll, da Wasserschleier als eigenständiges Thema untersucht werden. Folglich tritt die Kategorie 'Geschlossener Wasserschleier' in den Untersuchungen zu den Wasserbildern an Wassertreppen nicht auf.



Darstellung 77: Einzelne Einflussfaktoren und ihre Auswirkungen auf das Wasserbild

Darstellung 77 zeigt die Reihenfolge, in der sich die Wasserbilder ändern. Es ist der Bereich markiert, in dem das Wasser stark mit Luftbläschen durchsetzt und deshalb nicht klar ist. Die Einflussfaktoren für die Veränderung der Wasserbilder sind als Richtungspfeile dargestellt. Die Pfeile sind entsprechend der Stärke ihrer Auswirkung verschieden dick.



## 6 DISKUSSION

Aus den gewonnenen Erkenntnissen zu Wasserschleiern werden vier in der Literatur strittige Aussagen mit den vorliegenden Ergebnissen diskutiert (Kapitel 6.1).

Aus den Untersuchungen an Wassertreppen werden die vorliegenden Erkenntnisse zur Proportion von Auftritt zu Steigung und zu Wasserfilmhöhen für bestimmte Wasserbilder mit strittigen Aussagen aus der Literatur diskutiert und Zusammenhänge zwischen einzelnen Einflussfaktoren aufgezeigt (Kapitel 6.2).

### 6.1 *Wasserschleiern auf der Spur*

In der Diskussion werden die widersprüchlichen Aussagen der einzelnen Autoren mit den eigenen Ergebnissen verglichen. Dabei werden Überlaufkörper, Wasserschleierlängen, Wasserfilmhöhen und das Verhältnis von Wasserfilmhöhe zu Durchflussmenge und Fließgeschwindigkeit diskutiert.

#### 6.1.1 **Überlaufkörper für glatte Wasserschleier**

Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse der an unterschiedlichen Überlaufkörpern erzeugten Wasserschleier ergibt deutliche Unterschiede hinsichtlich der Abmessungen und den ästhetischen Wirkungen.

Die Ansicht AURANDS (1991: 133), dass gerundete Überlaufkörper die Reibung auf der oberflächennahen Wasserschicht reduzieren und einen glatteren Überfluss erzeugen als rechteckige Überlaufkörper, kann so pauschal nicht bestätigt werden.

Es gibt gerundete Überlaufkörper, an denen Wasserschleier mit guten Messergebnissen und visuellen Eigenschaften entstehen. Es gibt aber auch Überlaufkörper, die mit Hinblick auf das Ziel, einen glatten Wasserschleier zu erzielen, schlechtere Ergebnisse liefern. Zu den letztgenannten gehört der Überlaufkörper mit 15° Anlauf und 35 mm Radius, der von CROCKER (3,1987: 204) favorisiert wird.

An diesem Überlaufkörper entsteht der kürzeste und schmalste Wasserschleier, der sich im ästhetischen Gesamtbild milchig, mit Rillen und Rautenmustern durchsetzt präsentiert. Da an den Überlaufkörpern mit 15° Anlauf und 35 oder 45 mm Radius sowohl die Längen von 160 und 170 cm als auch die Breiten von 31,5 und 52 cm schlechtere Messergebnisse liefern, sind sie auch aus dieser Sicht nicht empfehlenswert. Der Überlaufkörper mit dem Radius von 35 mm erzielt mit 31,5 cm Wasserschleierbreite den geringsten Wert der gesamten Ver-

suchsreihe. Im Vergleich dazu hat der breiteste Wasserschleier am Überlaufkörper des rechten Winkels und 100 mm Schenkellänge mit 61 cm immerhin fast die doppelte Breite.

Auch ein Viertelkreis erzeugt keinen so glatten Wasserschleier wie alle untersuchten Überlaufkörper mit 'Rechtem Winkel'. Der Wasserschleier, der an einem gerundeten Überlaufkörper mit Viertelkreis entsteht, kommt im Vergleich mit den rechtwinkligen Überlaufkörpern weder bei der Wasserschleierlänge noch bei der Wasserschleierbreite an die dort erzielten Werte heran.

Achtelkreise sind von den gerundeten Überlaufkörpern die qualitativ besser geeigneten. Sie erzeugen Wasserschleier, die zu den zweitlängsten gehören und auch von der Breite her im vorderen Drittel rangieren. Der ästhetische Eindruck wird allerdings teilweise durch Rillen an den Seiten und Rautenmustern auf dem Wasserfilm beeinflusst. Dennoch bilden diejenigen mit 100 und 200 mm Radius einen klaren Wasserschleier aus. Es kann somit ORTMAIR zugestimmt werden, dass, wenn gerundete Überlaufkörper eingesetzt werden sollen, ein Achtelkreis zu empfehlen und gegenüber weiter geschlossenen Rundungen vorzuziehen ist.

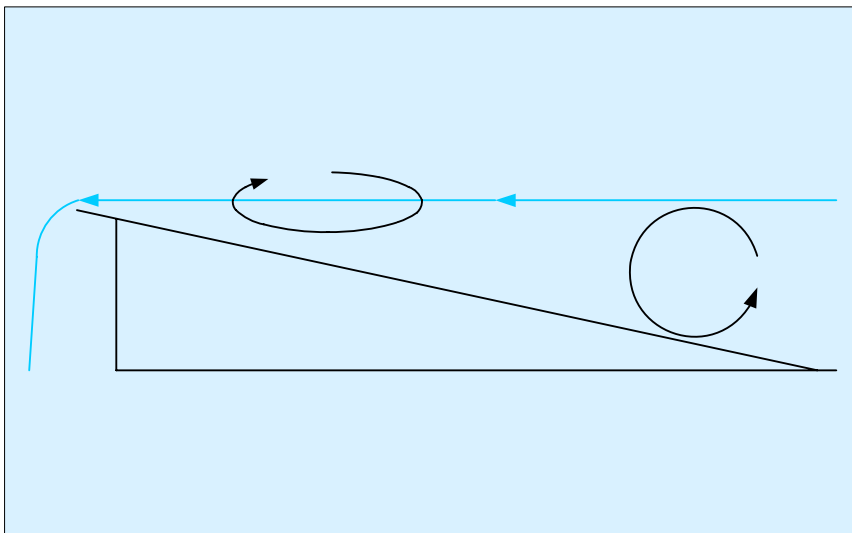
AURAND beschreibt als besonders geeigneten Überlaufkörper einen  $30^\circ$  Winkel, den er den gerundeten Überlaufkörpern vorzieht. Auch in diesem Punkt hat sich im Vergleich der Ergebnisse an den Überlaufkörpern gezeigt, dass es maßlich und ästhetisch besser bewertete Ergebnisse gibt. Der Wasserschleier, der an einem  $30^\circ$  Winkel mit 50 mm Schenkellänge entsteht, weist Rillen auf dem Wasserschleier auf, die es in dieser Form bei Überlaufkörpern mit  $10^\circ$  und  $20^\circ$  Anlauf nicht gibt.

CAMPBELL (1982: 97) beschreibt einen Überlaufkörper mit anschließend am Unterbau ablaufendem Wasserfilm. Diese Form stellt ein anderes gestalterisches, hier nicht untersuchtes Element dar. Aus eigenen Erfahrungen kann jedoch geschlossen werden, dass diese Art des Überlaufkörpers dort sinnvoll zu sein scheint, wo der Wind den Wasserschleier leicht angreifen kann. Hier würde ein frei fallender Wasserfilm gestört werden, zerreißen und spritzen. Es kann folglich durchaus reizvoll sein, diese Möglichkeit der Anhaftkraft zu nutzen.

Abschließend kann festgestellt werden, dass Rundungen auf den Überlaufkörpern den Wasserfilm zwar an den Überlaufkörper binden und auch einen geraden Fall fördern, andere Überlaufkörper aber visuell klarere Ergebnisse erzielen. Entgegen den Auffassungen von AURAND und ORTMAIR kann aus den vorliegenden Ergebnissen nicht der Schluss gezogen werden, dass die Rundung des Überlaufkörpers die Reibung reduziert und zur Glätte des Wasserschleiers beiträgt. Dies lässt sich durch die Strukturen im Wasserfilm des Wasserschleiers beweisen, die durch Reibung auf dem Überlaufkörper hervorgerufen werden. In den Versuchsreihen haben sehr kurze Überlaufkörperflächen, über die das Wasser abstürzt, zu klareren Ergebnissen geführt. Je kürzer die Fläche und je weniger sie in Fließrichtung zum Absturz hin geneigt ist, desto besser ist das Wasserbild.

Die Besonderheit der Überlaufkörper mit Anläufen von 10 und 20° Neigung ist in einem strömungsmechanischen Phänomen begründet, das durch diese besondere Ausbildung des Überlaufkörpers reduziert wird:

Es gibt in fließendem Wasser Wirbelbewegungen, die sich sowohl mit der Strömung zwischen Wasseroberkante und Wasserunterkante drehen, als auch quer zur Fließrichtung dieselben Bewegungen ausführen (Darstellung 78). Dies wurde durch Farbfadenversuche in den vorliegenden Untersuchungen nachgewiesen (Abbildungen 160, 161). Durch das stetige Ansteigen werden die hydrodynamischen Drehungen des Wassers vor allem in Fließrichtung minimiert und somit das Wasser in einen optimalen Beruhigungszustand versetzt.



Darstellung 78: Prinzipskizze der Reduzierung von Wirbelbewegungen an Überlaufkörpern mit Anläufen

Die Wirbel bewegen sich zwischen Wasseroberfläche und der unterseitigen Grenzschicht. Steigt der Überlaufkörper in Richtung Absturz kontinuierlich an, bleibt dem Wasser immer weniger Raum zum Drehen zur Verfügung (vgl. Darstellung 78).



Abbildung 158: Farbfadenversuch vor dem Überlaufkörper mit 10° Anlauf

In Abbildung 158 wird eine Linie mit Farbe quer zur Fließrichtung in das Becken gezogen. Anhand der Farbe wird deutlich erkennbar, dass die Bewegung des Fadens quer zur Fließrichtung verläuft und keine Durchmischung bis zum Tosbeckenboden erfolgt. Deutlicher wird dies noch in der Detailaufnahme des Farbfadenversuchs (Abbildung 159).

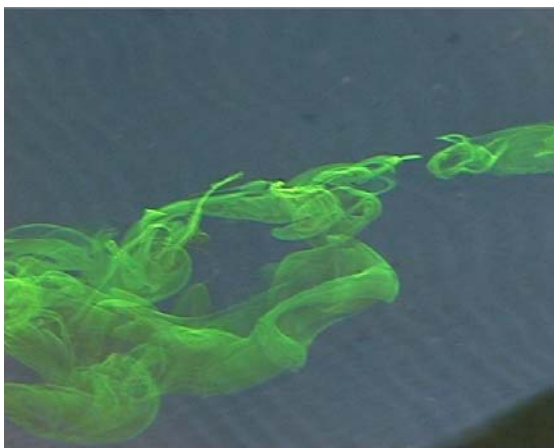
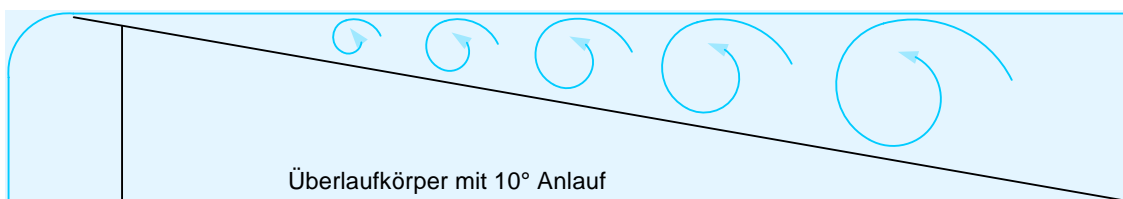


Abbildung 159: Detail des Farbfadenversuchs vor dem Überlaufkörper mit 10° Anlauf

Die Fließrichtung verläuft von links unten im Bild nach rechts oben (Abbildung 159). Es wird sehr deutlich, dass sich der Faden in Fließrichtung um seine eigene Achse dreht.

Die Wirbelbewegung von der Wasseroberfläche bis zum Tosbeckenboden wird durch die Art der Anströmung reduziert und ist in dieser Abbildung quasi nicht mehr vorhanden.

Zur Verdeutlichung der Wirbel dient die Prinzipskizze der Darstellung 79. Durch die Kontraktion der Stauhöhe wird der Einfluss der Turbulenzen reduziert. In Darstellung 79 sind diese kleiner werdenden Wirbel schematisch eingezeichnet.



Darstellung 79: Wirbelverlauf bis zur Absturzkante am Beispiel eines Überlaufkörpers mit 10° Anlauf

Alle bisherigen Publikationen zum Thema Oberflächenbeschaffenheit der Überlaufkörper decken sich mit den Erfahrungen dieser und vorangegangener Untersuchungen. Wasserschleier können optimiert werden, wenn die Oberfläche des Überlaufkörpers so exakt gearbeitet wird, dass es zu keinen zusätzlichen Verwirbelungen kommt. So hat sich zur Optimierung des Wasserschleiers an Überlaufkörpern mit Anläufen ein geschliffenes Stahllineal als Absturzkante bewährt.

### 6.1.2 Wasserschleierlängen

Da die Versuchsreihen erst mit einer Durchflussmenge von 2 l/s durchführbar waren, können die Aussagen von ORTMAIR (1974) und SCRIVENS (9, 1988) bezüglich Durchflussmengen an Wasserschleiern unter einer Durchflussmenge von 2 l/s weder bestätigt noch widerlegt werden.

In dieser Untersuchung werden mit 2 l/s Durchfluss geschlossene Wasserschleier von 160 cm Länge erzeugt (vgl. Tabelle 31). Mit einem Durchfluss von 5 l/s werden schon 200 cm und mit 15 l/s 250 cm Wasserschleierlänge erreicht.

Wasserfilmhöhe (cm)	Durchfluss (l/s)	Wasserschleierlänge (cm)
0,7	2	155
0,8	3	175
1,2	5	200
1,9	10	225
2,4	15	250

Tabelle 31: Wasserfilmhöhen, Durchflussmengen und Wasserschleierlängen bei einem Überlaufkörper mit 10° Anlauf

ORTMAIR beschreibt, dass mit Wasserfilmhöhen von 0,5-1 cm, je nach Form und Glätte der Überlaufkörper, eine geschlossene Wasserschleierlänge von 30-80 cm gewährleistet ist und dass 1-2 cm schon eine Wasserschleierlänge von 80-150 cm zulassen. Wasserfilmhöhen von 2-3 cm ermöglichen geschlossene Wasserschleierlängen bis 230 cm. Da er sich nicht auf ein Material für den Überlaufkörper festlegt, sondern nur einen Bereich nennt, in dem diese Längen zu erzielen sind, ist dem kaum etwas entgegen zu setzen. In den eigenen Versuchsreihen konnten jedoch mit weniger Wassereinsatz dieselben Ergebnisse erzielt werden.

ORTMAIR rät davon ab, mehr als 2-3 cm Wasserfilmhöhe zu erzeugen, da diese hohe Wassermenge hohe Folgekosten nach sich zieht (vgl. Kapitel 2).

Neben diesem durchaus plausiblen Argument sprechen zwei weitere Gründe gegen diese Wasserfilmhöhen. Zunächst wird das ästhetische Erscheinungsbild des Wasserschleiers nicht dadurch gesteigert, dass die Durchflussmenge und damit die Wasserfilmhöhe gesteigert wird. Eher das Gegenteil ist der Fall. Bei einer Durchflussmenge von 9 l/s und einer Wasserfilmhöhe von 1,8 cm entstehen Längsstreifen auf dem Wasserschleier - der visuelle Eindruck wird also beeinträchtigt. Mit steigender Durchflussmenge nehmen diese weiter zu und die ästhetische Qualität des Wasserschleiers nimmt folglich ab.

Des Weiteren spricht das Geräuschaufkommen des tosenden Wassers gegen die Verwendung so hoher Wasserfilmhöhen. Die Steigerung ist akustisch sehr deutlich hörbar, so dass schon weit unter 2 cm Wasserfilmhöhe ein tosendes Wassergeräusch durch den Wasserschleier erzeugt wird. Ein Gespräch in der Nähe des Wasserschleiers ist nur schwer möglich.

Es ist deshalb sehr genau zu prüfen, welche Aufgabe das Wasserspiel haben soll. Sollen andere Geräusche übertönt werden, sind hohe Durchflussmengen sicherlich ein geeignetes Mittel.

Nach ORTMAIRS Aussagen bedarf es einer Durchflussmenge von 3,7 m<sup>3</sup>/h um 0,7 cm Wasserfilmhöhe zu erzeugen. Für 1 cm Wasserfilmhöhe nennt er eine Durchflussmenge von 6,13 m<sup>3</sup>/h. (vgl. Tabelle 31). ORTMAIR stellt auch eine Formel auf, um die Werte berechnen zu können. Nach seinen eigenen Angaben ist sie eine vereinfachte Formel aus dem Wasserbau. So stellt  $Q$  dabei den Durchfluss,  $L_x$  die Breite des Überlaufkörpers und  $h$  die Wasserfilmhöhe dar.

$$Q = L_x \frac{h^{\frac{3}{2}}}{0,57}$$

Der Wert 0,57 ist eine Konstante.

Die Werte und die Formel von ORTMAIR können in der eigenen Versuchsreihe nicht bestätigt werden. Möglicherweise handelt es sich um eine Näherungsformel zur Berechnung der notwendigen Pumpleistung, denn die Strömungsgeschwindigkeit auf dem Überlaufkörper wird außer Acht gelassen.

Die Präzision der Werte (Tabelle 32) aus den vorliegenden Untersuchungen sind mittels elektronischem Durchflussmesser überprüft worden. Es ist also sehr verwunderlich, dass es so große Differenzen gibt. Der Durchflussmesser wurde so kalibriert, dass er den Durchfluss in m<sup>3</sup>/h pro Stunde anzeigt. Ein Umrechnungsfehler kann somit nicht vorliegen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bezüglich des Wasserbedarfs zur Erzeugung einer bestimmten Wasserschleierlänge und einer dazugehörigen Wasserfilmhöhe sind im Ergebnisteil durch statistische Auswertung verifiziert worden. In der nachfolgenden Tabelle werden die Durchflussmengen und erzielbaren Wasserschleierlängen aufgestellt. Die Diskrepanzen zwischen ORTMAIRS und den eigenen Ergebnissen (Tabelle 33) sind in dem Formelansatz zu vermuten.

Wasserfilmhöhe über Krone (cm)	Durchfluss (m <sup>3</sup> /h)	Fließgeschwindigkeit über Krone (m/s)
0,7	7,2	0,286
0,8	10,8	0,375
1,0	14,4	0,4
1,2	18,5	0,417
1,4	21,6	0,429
1,5	25,2	0,467
1,65	28,8	0,485
1,8	32,4	0,5
1,9	36,0	0,526
2,0	39,6	0,55
2,1	43,2	0,571
2,2	46,8	0,590
2,3	50,4	0,609
2,4	54,0	0,625

Tabelle 32: Wasserbedarf und Fließgeschwindigkeiten über der Krone für verschiedene Wasserfilmhöhen

### 6.1.3 Wasserschleierbreiten

Es ist auch mit einer Durchflussmenge von 15 l/s (entsprechend 54 m<sup>3</sup>/h) nicht möglich, einen Wasserschleier zu erzeugen, der an der Abrisskante am Überlaufkörper genauso breit ist, wie an der Aufrissstelle. Die Kohäsionskräfte wirken auch bei 2,4 cm Wasserfilmhöhe so stark, dass der Wasserschleier nicht gleichmäßig breit bleibt.

Diese Versuchsreihe zielt auf eine gestalterisch und technisch leicht umsetzbare Möglichkeit, den Wasserschleier in seiner Breite zu beeinflussen. Zwar kann mit Hilfe von Blechen der Verjüngung der Wasserschleier entgegen gewirkt werden, es ergibt sich jedoch kein visuell zufrieden stellendes Bild.

Der Vorschlag von CROCKER, einer Verjüngung des Wasserschleiers durch Absenkung der äußeren Kanten des Überlaufkörpers entgegen zu wirken, ist sicherlich effektiv. Es besteht allerdings die Gefahr, bei ungenauem Einbau einen schiefen Wasserschleier zu erzeugen, der dann nur schlecht korrigiert werden kann. Außerdem muss genauer geprüft werden, wie der Übergang zur Absenkung ausgestaltet sein muss, damit keine Längsstreifen auf dem Wasserfilm entstehen. Der Wasserfilm reagiert auf Veränderungen im Bereich des Überlaufkörpers ja bekanntermaßen sensibel. Dies sollte auf jeden Fall vor der gestalterischen Umsetzung in Probeläufen untersucht werden. Dabei wäre es von Vorteil, eine leichter nachjustierbare Möglichkeit zu finden. So ist für kürzere Wasserschleier beispielsweise die Abspannung der Wasserschleierseiten mit Seilen denkbar, die beispielsweise aus Edelstahl oder Nylon bestehen und an denen der Wasserschleier haften kann und sich somit nicht zusammen zieht (mündlicher Vorschlag von G. FRAUNBERGER). Diese Möglichkeit wird in einem



Probelauf ausprobiert. Für Wasserschleierlängen von 250 cm, die dieser Versuchsreihe zugrunde liegen, sind sie nicht geeignet. Für kürzere Wasserschleier und einen möglichst gerade fallenden Wasserschleier aber durchaus denkbar. Hier besteht weiterhin Forschungsbedarf.

#### 6.1.4 Das Verhältnis von Wasserfilmhöhe zu Durchflussmenge und Fließgeschwindigkeit

Die Fließgeschwindigkeit des Wassers in m/s über der Krone des Überlaufkörpers wird nach folgender Formel ermittelt.

$$\text{Fließgeschwindigkeit (m/s)} = \frac{\text{Durchflussmenge (m}^3/\text{h)}}{\text{Überlaufkörperbreite (m)} \times \text{Wasserfilmhöhe (m)} \times 3600}$$

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, dass eine dreifache Durchflussmenge notwendig ist, um einen Wasserfilm von 0,7 auf 1,4 cm zu verdoppeln. Dabei erhöht sich die Fließgeschwindigkeit um das Eineinhalbfache.

Wird die Wasserfilmhöhe auf 2,1 cm verdreifacht, muss die Durchflussmenge auf 12 l/s sechsfacht werden und die Fließgeschwindigkeit verdoppelt sich. Wird eine Durchflussmenge von 5 l/s betrachtet mit der dazugehörigen Wasserfilmhöhe von 1,2 cm und eine Fließgeschwindigkeit von 41,7 cm/s, muss die Durchflussmenge verdreifacht werden, um die Wasserfilmhöhe auf 2,4 cm zu verdoppeln. Die Fließgeschwindigkeit steigt wiederum um das Eineinhalbfache (vgl. Tabelle 33).

Idealschleier am Beispiel 10° Anlauf				
Wasserfilmhöhe (cm)	Durchfluss menge (l/s)	Fließgeschwin- digkeit über Kro- ne (cm/s)	Wasserschleier- länge (cm)	Durchschnittliche Fließgeschwindigkeit für 126 cm Fließstrecke (cm/s)
0,7	2	28,57	155	1,6
0,8	3	37,5	175	2,4
1	4	40	195	3,7
1,2	5	41,66	200	3,8
1,4	6	42,86	210	4,9
1,5	7	46,66	220	5,2
1,65	8	48,48	220	6,2
1,8	9	50	225	7,5
1,9	10	52,63	225	7,2
2	11	55,0	230	8,7
2,1	12	57,14	235	9,6
2,2	13	59,09	240	9,8
2,3	14	60,86	245	10,3
2,4	15	62,5	250	11,2

Tabelle 33: Werte für Wasserfilmhöhe, Durchflussmenge, Fließgeschwindigkeit über Krone, Wasserschleierlänge und durchschnittliche Fließgeschwindigkeit

Man kann daraus folgern, dass eine Wasserfilmhöhe in Bereichen zwischen 0,7 und 2,4 cm errechenbar ist. Soll sie verdoppelt werden, muss die Durchflussmenge verdreifacht werden. Soll sie verdreifacht werden muss die Durchflussmenge versechsfacht werden. Wird nun die Regressionsformel (vgl. 5.1.5.1) für die Berechnung der Wasserschleierlänge und Breite hinzugenommen, kann sehr genau geplant werden, welche Rahmenbedingungen zu erfüllen sind, um einen Wasserschleier bestimmter Länge und Breite zu erhalten.

Das Thema 'Glatte Wasserschleier' ist durch die Diplomarbeit von AHNER & SEEGERT (1997) und die hier vorliegende Arbeit umfassend bearbeitet worden. Mit den Ergebnissen sind nicht nur klare, glatte, gläserne Wasserschleier zu erzeugen, sondern auch strukturierte Wasserschleier. Die Formenvielfalt strukturierter Wasserschleier ist in vorangegangenen Untersuchungen von AHNER & SEEGERT (1997) dargestellt worden.

Die Grundlage, solche Wasserbilder zu erzeugen, sollten Überlaufkörper mit Anläufen oder kurzen rechten Winkel bilden. Auch eine Kombination aus beiden eignet sich.

An diesen Überlaufkörpern kann durch eine Strukturierung der Absturzkante jede beliebige Form eingearbeitet werden. In der vorliegenden Arbeit ist diese Möglichkeit mit dreieckigen, rechteckigen und gewellten Formen überprüft worden. Dies hat zu klaren, strukturierten

Wasserschleiern geführt, die im Wasserfilm die Form der jeweiligen Kante nachbilden (vgl. Abbildungen 160-161).



Abbildung 160: Wasserschleier über Rechteckkante



Abbildung 161: Wasserschleier über Dreieckkante

## **6.2 Wasserbildern an Treppen auf der Spur**

Eine genaue Gewichtung der Einflussfaktoren auf Wasserbilder an Treppen ist pauschal nicht möglich. Die Neigung der Treppe und der Durchfluss haben die größte Bedeutung für das Wasserbild, denn mit zunehmender Neigung und Durchflussmenge verändern sich die Wasserbilder deutlich. Der Einfluss der Proportion wird erst deutlicher, wenn in großen Neigungen mit Durchflüssen von 5 oder 10 l/s gearbeitet wird.

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der Proportion und die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Wasserfilmhöhe, Durchflussmenge und Fließgeschwindigkeit für bestimmte Bilder diskutiert.

### **6.2.1 Proportion von Auftritt zu Steigung**

Wasserbilder entstehen an allen untersuchten Proportionen. In Kombination mit verschiedenen Neigungen und Durchflussmengen ergeben sich vielfältige Möglichkeiten, gezielt Wasserbilder zu erzeugen.

Die Aussagen von AURAND (1991: 136,137), der ein maximales Stufenverhältnis von 1:1,25 empfiehlt und SCRIVENS (9,1988: 69), der ein gleichartiges Verhältnis zwischen Auftritt und Steigung oder einen etwas größeren Auftritt empfiehlt, können nicht bestätigt werden. Die eigenen Untersuchungen gehen mit bis zu einem Achtfachen in die eine oder andere Richtung weit darüber hinaus. Dabei hat sich gezeigt, dass Treppen mit langen Aufritten und kurzen Steigungen im Vergleich die vielfältigsten Wasserbilder erzeugen.

Treppen mit kurzen Aufritten und langen Steigungen führen viel eher zur Ablösung des Wasserfilms und zum Übergang in einen Wasserschleier als Treppen mit langen Aufritten und kurzen Steigungen. Im Vergleich bilden sie aber mehr Bilder mit plastischen Strukturen aus als Treppen mit langen Aufritten und kurzen Steigungen. Die Kategorie 'Dreieckstrukturen mit Schweifen', die zu den plastischen Wasserbildern zählt, wird sogar nur in diesen Proportionen ausgebildet.

Es hat sich gezeigt, dass es durch die geeignete Kombination von Proportion, Durchflussmenge und Neigung möglich ist, ein gewünschtes Wasserbild zu erzielen und dabei den Durchflussmengenbedarf zu minimieren. Die Durchflussmenge stellt einen wichtigen Faktor in der Unterhaltung einer Wasseranlage dar, da sie Folgekosten (Wasserbedarf, Beckendimensionierung, Pumpengröße, Stromverbrauch) verursacht.

Letztlich bleibt es aber der gestalterischen Absicht vorbehalten, die Proportion und Neigung mit der sich daraus ergebenden Durchflussmenge vorzugeben.

## 6.2.2 Der Zusammenhang zwischen Wasserfilmhöhe und Wasserbild

Eine bestimmte Wasserfilmhöhe zur Erzielung eines bestimmten Wasserbildes kann nicht pauschal angegeben werden, da es mitunter eine breite Spanne gibt, in der Wasserbilder einer Kategorie erzielt werden.

Dies soll exemplarisch am Wasserbild 'Wasserstrahlen' verdeutlicht werden: Sie sind mit einem Durchfluss von 1 l/s in den Proportionen 1:4 und 1:8 bei Wasserfilmhöhen zwischen 0,18 und 0,28 cm zu erzeugen.

Sie können aber auch mit einem Durchfluss von 3 l/s in den Proportionen 8:1, 4:1, 2:1 und 1:1 bei Wasserfilmhöhen zwischen 0,25 bis 0,36 cm erzielt werden.

Bei einem Durchfluss von 5 l/s und denselben Proportionen liegen die Wasserfilmhöhen zwischen 0,22 und 0,55 cm, bei 10 l/s liegen die Wasserfilmhöhen in den Proportionen 4:1 und 8:1 zwischen 0,22 und 0,75 cm.

Es gibt bei verschiedenen Durchflussmengen somit ein Wasserfilmhöhen – Spektrum zwischen 0,18 und 0,75 cm. Der Zusammenhang zwischen Wasserfilmhöhe und Durchflussmenge wird später noch erläutert. Die alleinige Festlegung auf eine Wasserfilmhöhe ist somit ungünstig, da gleiche Wasserfilmhöhen bei unterschiedlichen Neigungen und Proportionen mit unterschiedlichen Durchflussmengen erzielt werden können. Daraus wird ersichtlich, dass nicht allein die Wasserfilmhöhe für die Entstehung eines bestimmten Wasserbildes ausschlaggebend ist.

AURAND (1991: 136,137) nennt als Mindestwasserfilmhöhen für einen schäumenden wasserfallartigen Effekt auf der ersten Stufe einen 1/8 Inch pro Inch (das entspricht 0,3 cm pro 2,54 cm) Stufenhöhe, mindestens aber 1,27 cm über der obersten Stufe.

SCRIVENS (9,1999: 69) dagegen nennt 10 % der Steigungshöhe, mindestens aber 10 mm für den gleichen Effekt.

Im Vergleich dazu hat sich in der vorliegenden Untersuchung gezeigt, dass die Kategorien 'Schäumende Strahlen' und 'Wasserschleier und Schäumenden Strahlen' mit wasserfallartigem Effekt bei einer Durchflussmenge zwischen 3 und 10 l/s in allen Proportionen bei bis zu 40° Neigung zu erzielen sind - mit Ausnahme der Proportion 2:1.

Die Wasserfilmhöhen liegen je nach Proportion und Neigung zwischen mindestens 0,8 cm (Prop. 1:4, 40° Neigung, 3 l/s) und 3,5 cm (Prop. 2:1, 10° Neigung, 10 l/s) auf der obersten Stufe. Der von AURAND genannte Wert von 1,27 cm taucht in diesen Untersuchungen bei einem Durchfluss von 5 l/s bei der Proportion von 1:4 und 30° Neigung sowie bei der Proportion 1:8 und 20° Neigung auf. Der von AURAND genannte Wert von 1,27 cm kann zum Erzielen des schaumigen Wasserbildes zwar bestätigt werden, eigenen Untersuchungen zur Folge ist dies aber auch schon mit einer Wasserfilmhöhe von 0,8 cm möglich (vgl. Tabelle 34, 35).

Wasserfilmhöhen bei einem Durchfluss von 5 l/s									
Proportion	1:4		1:8			2:1		4:1	
Neigung (°)	30		20			30		20	
Krone 1 Wfh (cm)	1,25-1,3		1,3			nicht messbar		2,5	
Wasserfilmhöhen bei einem Durchfluss von 10 l/s									
Proportion	1:1	1:2	1:8	2:1		4:1		8:1	
Neigung (°)	30	20	20	20	30	10	20	20	30
Krone 1 Wfh (cm)	1,80	1,85	2,15	3,4	2,9-3,0	3,40	2,90	2,50	2,20

Tabelle 34: Wasserfilmhöhen(Wfh) für das Wasserbild 'Schäumende Strahlen'

Wasserfilmhöhe bei einem Durchfluss von 3 l/s				
Proportion	1:4		1:8	
Neigung (°)	40		30	
Krone 1 Wfh (cm)	0,8		nicht messbar	
Wasserfilmhöhe bei einem Durchfluss von 10 l/s				
Proportion	1:4		1:8	
Neigung (°)	30		30	
Krone 1 Wfh (cm)	1,8		1,9–1,95	

Tabelle 35: Wasserfilmhöhen für das Wasserbild 'Wasserschleier und schäumende Strahlen'

Werden die Richtwerte von AURAND und SCRIVEN auf die Proportionen umgerechnet und die von den Autoren genannten Mindestwerte dabei berücksichtigt, dann differieren die Mindestwasserfilmhöhen erheblich (vgl. Tabelle 36).

Aussagen zu Wasserfilmhöhen für wasserfallähnlich Effekte					
Proportion	Steigungsmaß (cm)	Sollwert nach AURAND (cm)	Sollwert nach SCRIVENS (cm)	Niedrigste Nenn- werte 'Wasserschleier und Schäumende Strahlen' (cm)	Niedrigste Nenn- werte 'Schäumende Strahlen' (cm)
1:1	15	1,9	1,5	0,85	1,8
1:2	20	2,5	2,0	-	1,85
1:4	20	2,5	2,0	0,8	1,25-1,3
1:8	24	3,0	2,4	1,9-1,95	1,3
2:1	10	1,27	1,0	2,0	2,9-3,0
4:1	5	1,27	1,0	1,90	2,9
8:1	3	1,27	1,0	-	1,30

Tabelle 36: Soll- und Istwerte von AURAND, SCRIVENS, und SEEGERT zu Wasserfilmhöhen für wasserfallartige Effekte

In Tabelle 36 sind jeweils die niedrigsten Werte angegeben. Der wasserfallartige Effekt kann natürlich auch mit einem deutlich höheren Wasserfilm erzeugt werden wie die vorhergehenden Tabellen 34 und 35 belegen.

Nur bei der Proportion 8:1 deckt sich der prozentuale Wert AURANDS mit dem der eigenen Untersuchungen, ebenso nähern sie sich bei der Proportion 1:1 an.

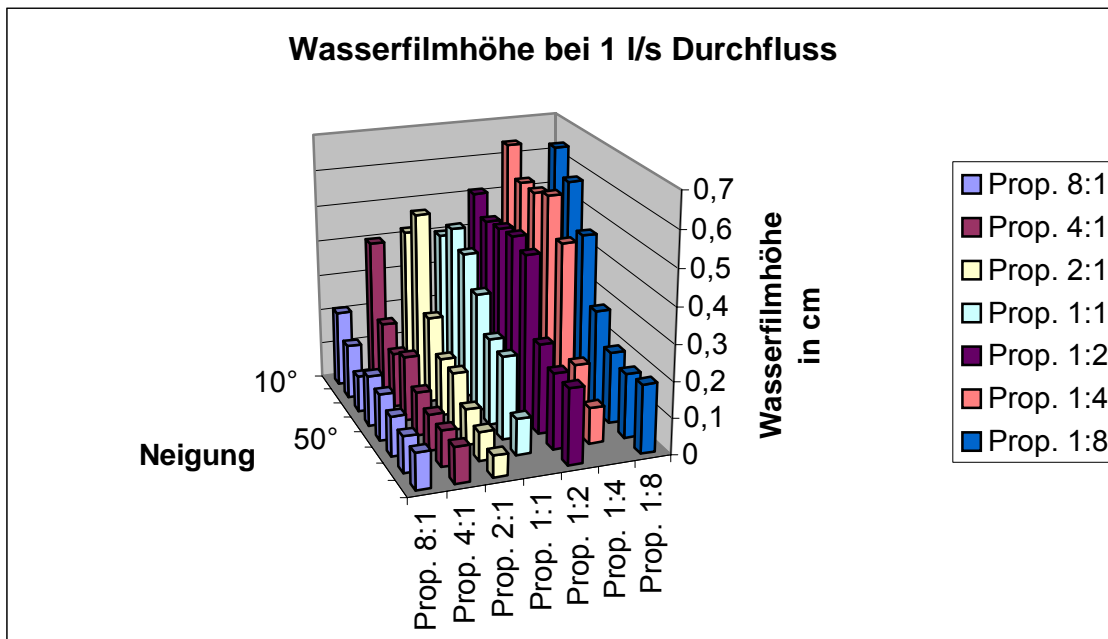
Dafür gibt es einen Erklärungsansatz. Zur Treppenneigung als Rahmenbedingung machen beide Autoren keine Aussage. In der vorliegenden Untersuchung wurden aber alle Neigungen untersucht. Da sich mit zunehmenden Neigungen die Wasserfilmhöhen verändern gibt es verschiedene Wasserfilmhöhen für denselben Effekt.

Eine andere Erklärung liegt in der Oberflächenbeschaffenheit. In diesen Versuchsreihen wurde mit sehr glattem Material gearbeitet. Ob die Aussagen AURANDS und SCRIVENS sich auf rau- es oder glattes Material beziehen, konnte nicht geklärt werden. Es ist zu vermuten, dass das Fließverhalten auf rauem Material ein anderes ist.

### 6.2.3 Der Zusammenhang zwischen Wasserfilmhöhe und Durchflussmenge

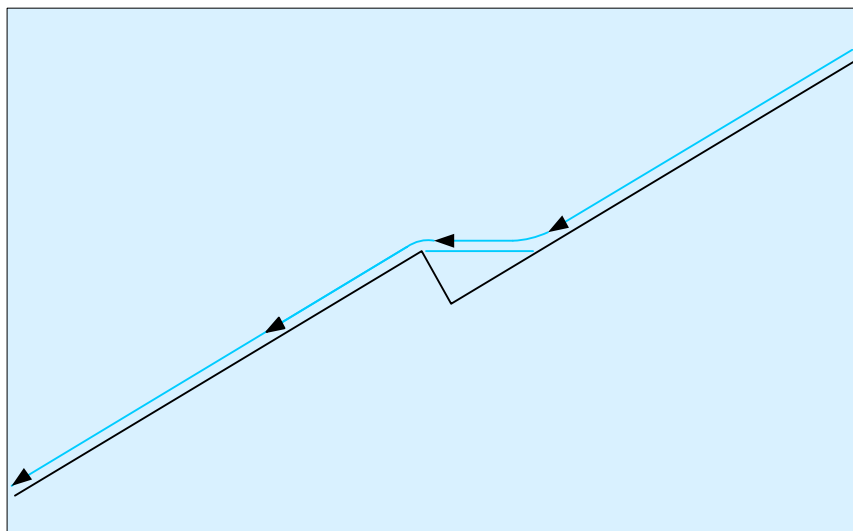
Wie schon im Ergebnisteil erklärt, wird der Mittelwert der Wasserfilmhöhe auf den Stufen ohne Berücksichtigung der obersten Stufe ermittelt.





Darstellung 80: Wasserfilmhöhen aller Proportionen bei 1l/s

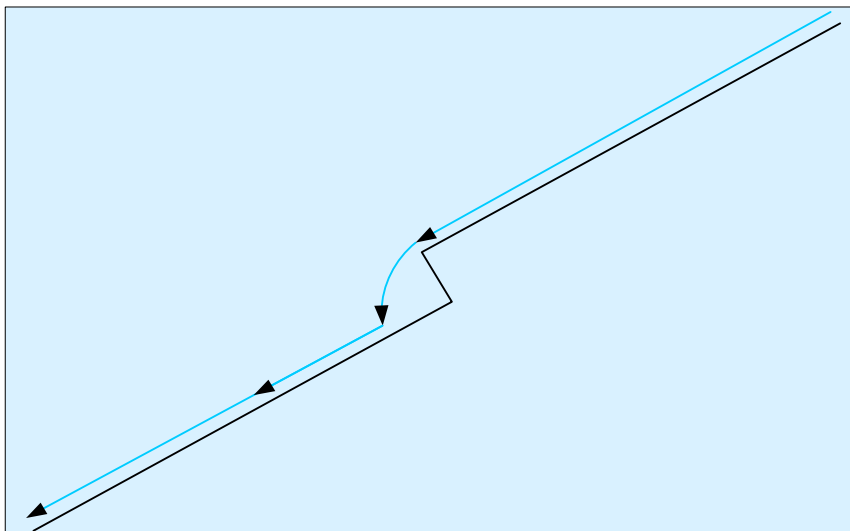
Bei Proportionen mit langen Auftritten und kurzen Steigungen liegen bei einem Durchfluss von 1 l/s die Wasserfilmhöhen in 10° Neigung niedriger als bei denjenigen mit kurzen Auftritten und langen Steigungen. Tendenziell ändert sich das in den folgenden Neigungen auch nicht (vgl. Darstellung 80). Die Wasserfilmhöhen bleiben bei 1:2 und 1:8 bis zuletzt höher als in den anderen Proportionen. Dies lässt sich durch die besondere Form der Treppe erklären.



Darstellung 81: Prinzipskizze der Proportion 1:8

Das Wasser wird im Fließen immer wieder abgebremst und entwickelt keine gleichmäßige Geschwindigkeit. Es fließt erst eine lange Steigung hinab und landet in einem Aufstau. Dort ändert es die

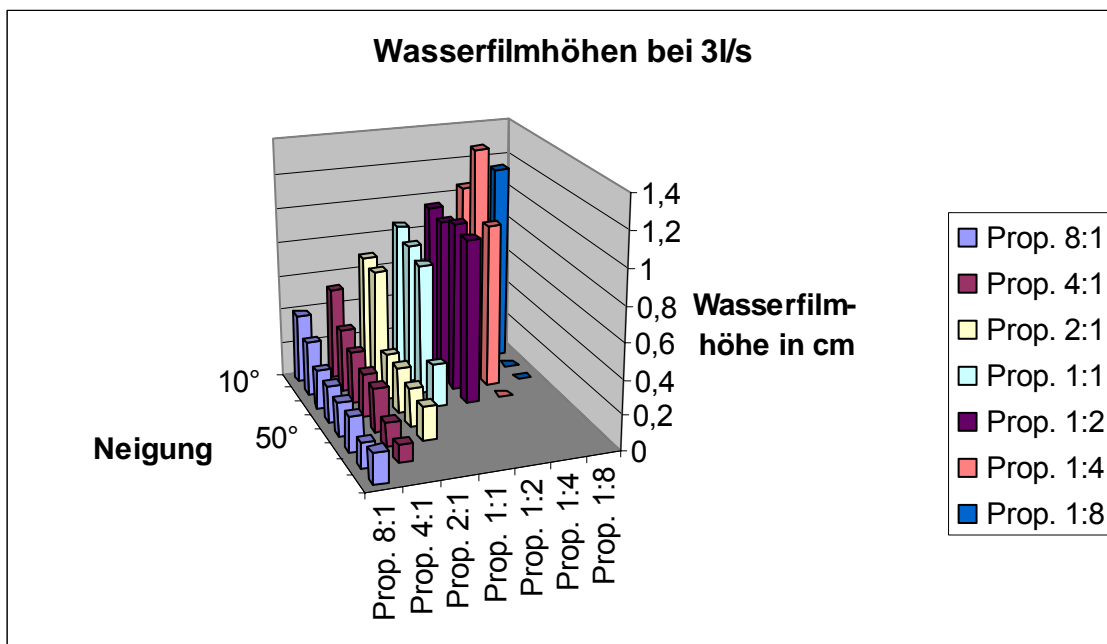
Fließrichtung und fließt eine kurze Strecke horizontal, um dann eine weitere Steigung hinab zu fließen. Daraus entwickelt sich ein Fließrhythmus mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Verlauf der Treppe (vgl. Darstellung 81).



Im Gegensatz dazu fließt das Wasser in der Proportion 8:1 gleichmäßig die Auftritte hinab und wird im Verlauf der Treppe immer schneller. (vgl. Darstellung 82)

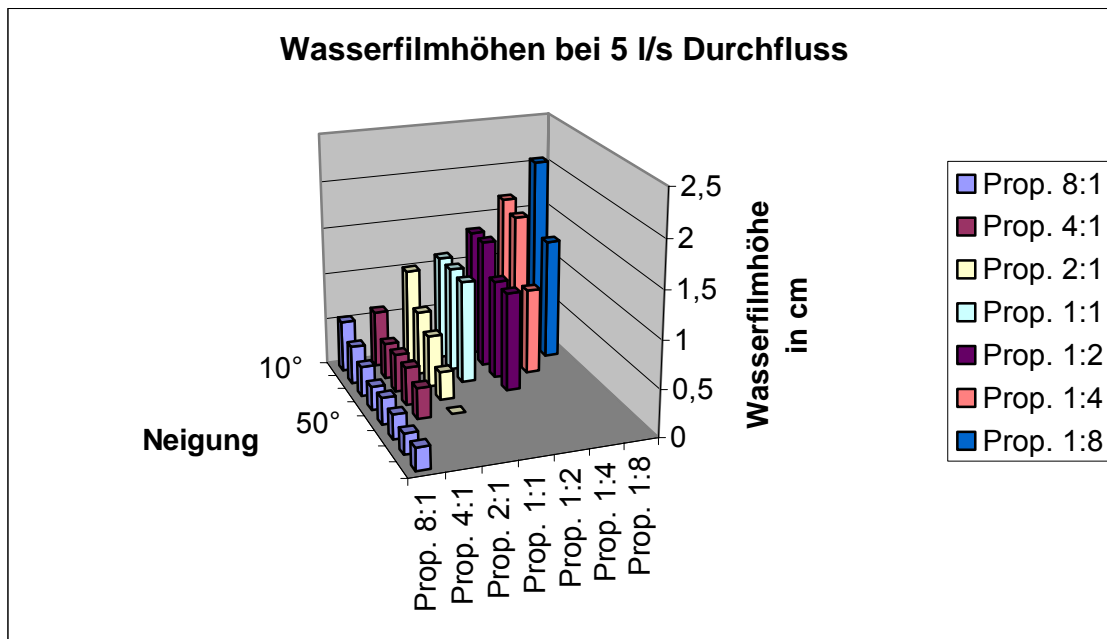
Darstellung 82: Prinzipskizze der Proportion 8:1

Bei einem Durchfluss von 3 l/s (vgl. Darstellung 83) geht das fließende Wasserbild schon viel früher in einen Wasserschleier über, da der Wasserfilm nicht mehr auf dem Auftritt landet und stattdessen einen Wasserschleier ausbildet, während der Wasserfilm in umgekehrter Proportion ab 30° annähernd gleich bleibt.



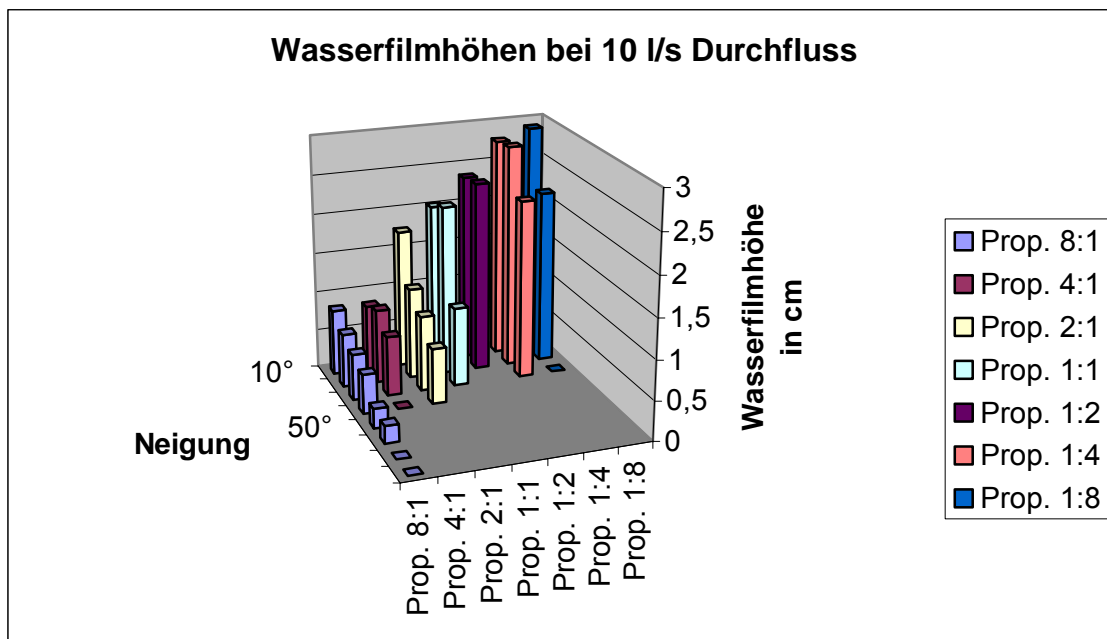
Darstellung 83: Wasserfilmhöhen aller Proportionen in allen Neigungen bei 3l/s

Die Wasserfilmhöhen bauen sich bei einem Durchfluss von 5 l/s (Darstellung 84) mit abnehmender Auftrittslänge immer weiter auf, da die Fließgeschwindigkeiten auf der Treppe immer weiter abnehmen. Allerdings fällt auf, dass bei den Proportionen mit kurzen Aufritten die Wasserbilder immer früher in einen Wasserschleier übergehen und somit nach hoher Wasserfilmhöhe sehr schnell ein Ausfall entsteht. Das ist der Punkt an dem sich der Wasserfilm von den Stufen ablöst und in den freien Fall übergeht.



Darstellung 84: Wasserfilmhöhen aller Proportionen in allen Neigungen bei 5 l/s

In noch deutlicherer Form ist dies bei einem Durchfluss von 10 l/s ablesbar (Darstellung 85). Hier gehen schon ab 30° Neigung die Wasserbilder in Wasserschleier über, wodurch weitere Säulen im Diagramm fehlen.



Darstellung 85: Wasserfilmhöhen aller Proportionen in allen Neigungen bei 10 l/s

Die Wasserfilmhöhen ändern sich sowohl innerhalb der Stufenabfolge als auch mit zunehmendem Durchfluss und veränderten Proportionen.

Die Veränderung ist teilweise nur geringfügig, aber auch geringe Veränderungen im Wasserfilm haben stärkere Auswirkungen auf das Wasserbild. Dies wird wahrscheinlich daran liegen, dass mehr Luft mitgerissen wird und das Wasserbild dadurch sein Erscheinungsbild verändert.

#### 6.2.4 Der Zusammenhang zwischen Wasserfilmhöhen und der Fließgeschwindigkeit

Ein Ansatz zur Klärung des Zusammenhangs zwischen Wasserfilmhöhen und der Fließgeschwindigkeit ist der Vergleich der Fließgeschwindigkeiten auf den Stufen der verschiedenen Proportionen.

Sie errechnet sich aus der Durchflussmenge, der Treppenbreite und der Wasserfilmhöhe. Daraus ergeben sich Tabelle 37-40. Auch hier wird mit mittleren Wasserfilmhöhen auf der Treppe gearbeitet und eine mittlere Fließgeschwindigkeit für die gesamte Treppe errechnet (vgl. Kapitel 4, Ergebnisse Wassertreppen). Die Fließgeschwindigkeit wird in m/s angegeben.

Bei Betrachtung der Tabellen 37-40 fallen, je nach Proportion, sich unterschiedlich entwickelnde Fließgeschwindigkeiten ins Auge:

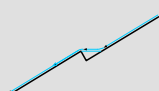
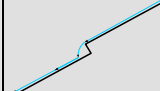
1 l/s							
Neigung (°)	1:8	1:4	1:2	1:1	2:1	4:1	8:1
10	0,21	0,16	0,20	0,25	0,24	0,25	0,48
20	0,15	0,18	0,22	0,22	0,2	0,50	0,67
30	0,17	0,18	0,21	0,24	0,42	0,67	1,00
40	0,22	0,17	0,21	0,3	0,63	0,56	0,71
50	0,36	0,21	0,22	0,42	0,63	0,83	0,78
60	0,50	0,56	0,40	0,43	1,00	1,00	0,91
70	0,56	1,00	0,48	1,0	1,25	1,00	1,00
80	0,53		0,48		1,67	1,00	1,00

Tabelle 37: Fließgeschwindigkeiten für alle Proportionen und Neigungen bei 1 l/s, Angaben in m/s

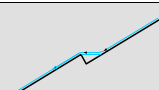
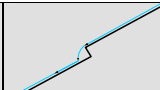
3 l/s							
Neigung (°)	1:8	1:4	1:2	1:1	2:1	4:1	8:1
10	0,09	0,10	0,11	0,35	0,43	0,57	0,75
20	0,11	0,08	0,11	0,37	0,44	0,83	0,97
30	nicht messbar	0,11	0,10	0,39	1,15	1,00	1,36
40		0,17	0,11	1,2	1,15	1,2	1,43
50					1,36	1,2	1,5
60					1,5	2,14	1,5
70						3,3	2,14
80							1,66

Tabelle 38: Fließgeschwindigkeiten für alle Proportionen und Neigungen bei 3 l/s, Angaben in m/s

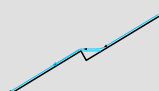
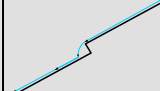
5 l/s							
Neigung (°)	1:8	1:4	1:2	1:1	2:1	4:1	8:1
10	0,05	0,06	0,07	0,45	0,49	0,83	0,93
20	0,08	0,06	0,07	0,45	0,74	1,31	1,25
30	nicht messbar	0,11	0,10	0,46	0,91	1,25	1,56
40			0,10		1,67	1,25	2,00
50						1,51	1,79
60							1,92
70							2,27
80							2,08

Tabelle 39: Fließgeschwindigkeiten für alle Proportionen und Neigungen bei 5 l/s, Angaben in m/s

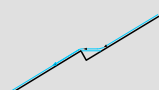
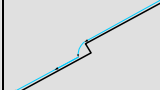
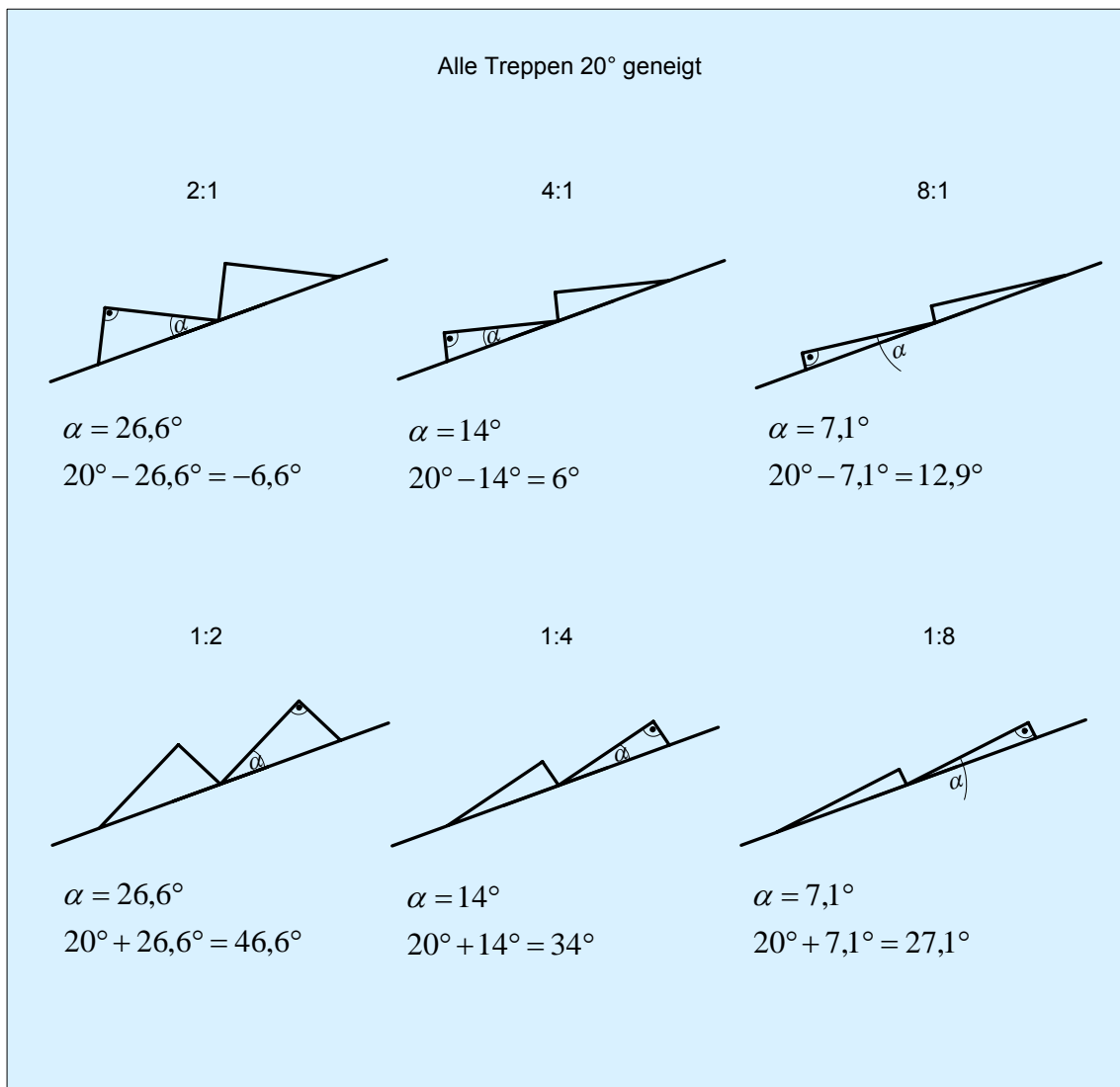
10 l/s							
Neigung (°)	1:8	1:4	1:2	1:1	2:1	4:1	8:1
10	0,03	0,04	0,04	0,49	0,57	1,20	1,20
20	0,05	0,04	0,04	0,47	0,87	1,08	1,47
30	nicht rechenbar	0,04			1,05	1,34	1,72
40					1,43	nicht rechenbar	2,00
50							4,00
60							4,55
70							nicht rechenbar
80							nicht rechenbar

Tabelle 40: Fließgeschwindigkeiten für alle Proportionen und Neigungen bei 10 l/s, Angaben in m/s

Es fällt auf, dass sich die Fließgeschwindigkeit bei den Proportionen mit langen Aufritten, also von Proportion 2:1 über 4:1 nach 8:1, immer weiter erhöht. Innerhalb jeder einzelnen Proportion steigt bei diesem Steigungsverhältnis die Geschwindigkeit mit zunehmender Neigung, da die Treppen dadurch immer steiler werden.

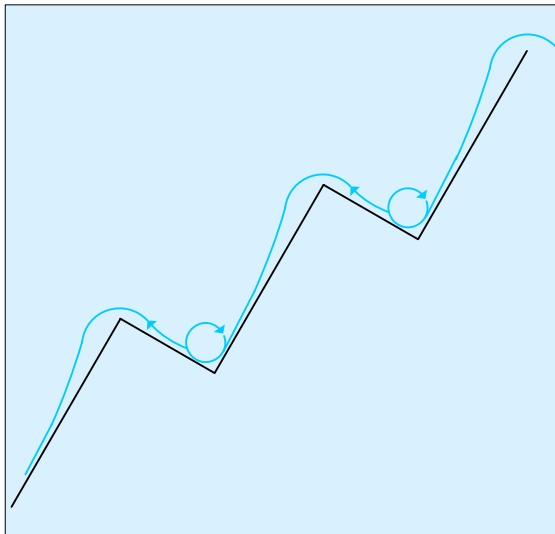
Anders verhält es sich bei den Proportionen mit immer kürzer werdenden Aufritten, also den Proportionen 1:2, 1:4 und 1:8. Die Geschwindigkeit sinkt mit zunehmender Proportion von 1:2 nach 1:8. Dies ist mit Hilfe der Trigonometrie zu erklären. Wichtig ist zu wissen, dass jede Proportion ihre eigene tatsächliche Treppenneigung hat, auch wenn alle auf die jeweils gleich geneigten Auflagekonstruktion montiert werden. Durch die Ausbildung der Proportion von Auftritt zu Steigung müssen die Winkel  $\alpha$  an jeder Stufe entweder der Neigung hinzu gerechnet oder abgezogen werden. So kommt es beispielsweise bei einer Neigung von  $20^\circ$  dazu, dass an der Proportion 1:8 die tatsächlichen Winkel  $20^\circ + \alpha$  betragen. Dies entspricht einem Winkel von  $27^\circ$ . Im Vergleich dazu beträgt bei der Proportion 1:2 der tatsächliche Winkel  $20^\circ + \alpha$ , was einem Winkel von  $47^\circ$  ( $46,6^\circ$ ) entspricht. In der umgekehrten Proportion entsteht ein negativer Winkel von  $7^\circ$ , wodurch auf den Stufen Wasser steht (vgl. Darstellung 86).



Darstellung 86: Tatsächliche Neigungen der Stufen in Abhängigkeit der jeweiligen Proportion

In den Durchflüssen von 3-10 l/s erhöht sich die Geschwindigkeit mit Abnahme des Steigungsverhältnisses nur in geringem Maße. Hier gibt es allerdings viele Ausreißer, so dass nur eine Tendenz ablesbar ist. Sie ist allerdings auch wieder durch unterschiedliche Neigungswinkel erklärbar.





Innerhalb der Proportion wird die Fließgeschwindigkeit mit zunehmender Durchflussmenge geringer!

Das scheint zunächst verwunderlich, ist aber durch die Treppenform erklärbar. Je steiler die Treppe ist, desto mehr wird das Wasser auf dem Auftritt abgebremst.

Dies führt bei höheren Durchflussmengen sogar dazu, dass es sowohl im Kreis als auch weiter treppabwärts fließt (vgl. Darstellung 87).

Darstellung 87: Prinzipskizze des Fließverhaltens bei kurzen Auftritten und langen Steigungen

Bei einem Durchfluss von 1 l/s sind außerdem Unklarheiten erkennbar. Bei 10° Neigung steigt die Geschwindigkeit nicht kontinuierlich von Proportion 1:8 nach 1:2 an.

Unklarheiten in der logischen Abfolge der gesamten Tabellenergebnisse erklären sich vor allem bei höheren Durchflüssen und Neigungen durch die Problematik, dass bei schaumigen Wasserbildern und daraus gemessenen Wasserfilmhöhen auch Luft im Wasserfilm eingeschlossen ist, die den Wasserfilm 'aufbläht' und somit keinen exakten Messwert darstellt. Soweit dies augenscheinlich ist, werden diese Messwerte nicht berücksichtigt. Wenn es sich um losgelöste Strahlen auf den Auftritten handelt, wird der Messwert zur Errechnung der Fließgeschwindigkeit ebenfalls nicht berücksichtigt. Andere Unklarheiten sind teilweise auf Messfehler zurück zu führen, die vor allem dadurch entstehen können, dass sich der Wasserfilm über der Stufe aufwölbt. Somit wird eine Wasserfilmhöhe abgelesen, die nicht der realen Wasserfilmhöhe entspricht, das Luftpolster unter dem Film aber in der Messung auch nicht zu erfassen ist.

Durch die unterschiedlichen realen Winkel erklärt sich auch, weshalb sich die Wasserfilmhöhe trotz Verzehnfachung der Durchflussmenge nur um einen gewissen Prozentsatz erhöht und nicht verzehnfacht. Betrachtet man die Unterschiede zwischen 5 und 10 l/s in den Tabellen (vgl. Tabelle 37-40), so sind diese noch geringer.

### 6.2.5 Wasserschleier an Wassertreppen

In den Ergebnissen werden entweder überwiegend klar fließende Wasserfilme wie in den Kategorien 'Strukturarm', 'Plastische Strukturen', 'Dreieckstrukturen' und 'Schweife' oder 'Wasserkumpen' entwickelt oder aber abgelöste, turbulent fließende Wasserfilme mit Luftbeimischung wie beispielsweise in den Kategorien 'Feine Strahlen und Schweife', 'Feinstrahl', 'Wasserstrahl'

len', 'schäumende Strahlen' oder 'Unterschiedliche Wasserschleier'. Ein Wasserbild, das aus einzelnen klaren Wasserschleiern auf jeder Stufe besteht, kann jedoch nicht erzielt werden. An der obersten Steigung einer Treppe entsteht allerdings in einer Vielzahl der Wasserbilder ein Wasserschleier, der oft glatt und klar ausgebildet ist. Dies lässt sich dadurch begründen, dass ein glatter Wasserschleier jeweils einer Beruhigung des strömenden Wassers bedarf. Das laminar anströmende Wasser fließt optimal beruhigt an die Überlaufkante heran und erzeugt einen glatten Wasserfilm, der sich von der ersten Steigungsoberkante ablöst. Folglich entsteht ein gläserner Wasserschleier.

Landet das Wasser auf dem ersten Auftritt, nimmt die Turbulenz im Wasserfilm zu, denn dort erfährt er diese Beruhigung nicht. An der nächsten Steigung entsteht zwar auch ein Wasserschleier, dieser ist jedoch nicht mehr klar ausgebildet. Es kommt hier zu einer raueren Oberflächenstruktur auf dem Wasserfilm, die von Luftbeimischungen im Wasserschleier herrühren. Die milchige Farbe des Wasserschleiers nimmt treppabwärts zu.

Anhand dieser Versuchsreihe ist es nicht möglich, auf jeder Stufe einen gläsernen Wasserschleier zu erzeugen. Dazu müsste die Ausgestaltung der Wassertreppen so ausgebildet sein, dass in jedem Auftritt ein kleines Beruhigungsbecken mit eingebaut ist, in dem das anströmende, fallende Wasser beruhigt wird. Beweisen lässt sich diese Schlussfolgerung nur durch weitere systematische Untersuchungen. In Ansätzen wurden erste Erkenntnisse gewonnen, in welcher Form Beruhigungsbecken und Überlaufkörper ausgeformt sein sollten. Gläserne Kaskaden als Gestaltungselement zu verwenden haben einen besonderen Reiz, weil sie eine Kombination aus Wassertreppe und Wasserschleier darstellen. Beispielsweise bieten mehrfache, klare, gläserne Wasserschleier, die untereinander angeordnet sind, einen interessanten Gestaltungsaspekt besonders wenn die Spiegelungen auf dem Wasserfilm gestalterisch eingesetzt werden. Auf Spiegelungen ist in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen worden, in der vorangegangener Arbeit von AHNER & Seegert (1997) sind dazu zahlreiche Beispiele zu finden. Es besteht aber auch die Möglichkeit an Kaskaden Wasserbilder mit strukturierten Wasserschleiern entstehen zu lassen.

Einen Einblick in das Thema 'Kaskaden' mit weiterem Forschungsbedarf bieten die Abbildungen 162-165.



Abbildung 162: Kaskade mit 50 cm Fallhöhe und 1,5 l/s



Abbildung 163: Kaskade mit 20 cm Fallhöhe und 1,5 l/s



Abbildung 164: Kaskade mit unterschiedlich strukturierten Wasserschleierschleiern



Abbildung 165: Detailaufnahme einer Kaskade mit strukturierten Wasserschleiern

## 7 ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit geht der Frage nach, welchen Einfluss verschiedene Formen von Überlaufkörpern und Treppen auf die daran entstehenden Wasserbilder haben. Dazu werden Versuchsreihen durchgeführt, in denen sowohl die Gesetzmäßigkeiten im Fließverhalten als auch das ästhetische Erscheinungsbild der verschiedenen Wasserbilder untersucht werden. Ziel ist es, mehr über die baulichen Voraussetzungen zu erfahren, die gewünschte Wasserbilder bedingen, um sie gezielt im Entwurf einsetzen zu können.

In der Untersuchung des Wasserbildes 'Wasserschleier' ist es das Ziel, einen möglichst klaren, glatten und langen Wasserschleiers zu erzeugen. Es wird untersucht, mit welcher Form des Überlaufkörpers dies am besten erreicht wird, wie der Wasserschleier in Länge und Breite optimiert werden kann, welche Wasserfilmhöhen für welche Wasserschleierlängen notwendig sind und welche technischen Voraussetzungen erfüllt sein müssen, um diese Ziele zu erreichen.

An Wassertreppen wird der Frage nachgegangen, welche Effekte auf Wassertreppen erzeugbar sind und welchen Einfluss die Stufenneigung und die Wasserfilmhöhe auf das Wasserbild haben. Es soll die Formen- und Strukturevielfalt aufgezeigt werden, die an Treppen mit unterschiedlichem Verhältnis von Auftritt zu Steigung erzeugt werden kann. Auch wird geprüft, welche Wasserbilder an diesen Treppen mit einer festgelegten Durchflussmenge erzielt werden können.

Bei den Untersuchungen zu 'Wasserschleiern' und 'Wassertreppen' wird mit Wasserfilmhöhen von wenigen Millimetern bis wenigen Zentimetern und einer Versuchsaufbau-Breite von einem Meter gearbeitet. Es werden je drei Versuchsreihen an 14 unterschiedlichen Überlaufkörpern und 10 Wassertreppen mit abgestuften Durchflussmengen durchgeführt. Die Messergebnisse werden ausgewertet und mit den ästhetischen Beurteilungen zu Empfehlungen zusammengefasst.

In dieser Arbeit werden Versuche an Bauformen durchgeführt, die eine sehr glatte Oberfläche haben. Sie sind auf polierte oder geschliffene Baustoffe in der Praxis übertragbar. Raue Oberflächen wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Es hat sich gezeigt, dass glatte, klare Wasserschleier bei 1 m Breite und bis zu 2,5 m Fallhöhe ab einem Durchfluss von 2 l/s zu erzielen sind. Längen und Breiten der Wasserschleier nehmen mit zunehmender Durchflussmenge stetig zu, die gläsernen Qualitäten nehmen dabei jedoch ab. Besonders geeignet zur Erzielung eines glatten, gläsernen Wasserschleiers sind Überlaufkörper mit Anläufen oder mit rechten Winkeln.

Die Messreihen an Wassertreppen ergeben insgesamt 14 verschiedene, reproduzierbare Wasserbilder. Bei geringen Durchflussmengen entstehen sehr ruhige, klare, strukturarme Wasserbilder, die mit höheren Durchflussmengen strukturreicher, bis hin zu schäumend werden. An Wassertreppen mit längeren Auftritten im Vergleich zur Steigung ist die Formenvielfalt größer als an Treppen mit kurzen Auftritten und langen Steigungen.

Es hängt jeweils vom Zusammenspiel der drei Faktoren Durchflussmenge, Neigung und Proportion ab, welches Wasserbild entsteht. Entscheidend ist, dass gleiche Wasserbilder oft mit unterschiedlichen Kombinationen von Durchflussmenge und Neigung erzielt werden können, was gestalterische Freiheiten eröffnet.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bilden eine technische Grundlage und geben Hilfestellung zur gezielten Planung des ruhigen gläsernen Wasserbildes des 'Wasserschleiers' und der strukturreicheren, plastischen bis schäumenden Wasserbilder an 'Wassertreppen'.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

- AHNER, Katja  
SEEGERT, Anke 1997 Wasserbildern auf der Spur, unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung der Universität Hannover
- AHNER, Katja  
SEEGERT, Anke 1998: Wasserbilder – Anregungen aus der Praxis, Nr. 10, S. 724-730  
Wasserbilder – ‚Glatte Wasserschleier‘, Nr.12, S. 892 – 898  
1999: Wasserbilder – ‚Strukturierte Wasserschleier‘, Nr.2, S. 114 – 119  
Wasserbilder – ‚Horizontale und Schiefe Ebene‘, Nr.12, S. 311 – 317
- ARCHER-WILLS, Anthony 1999: DEUTSCHE ÜBERSETZUNG, Die Kraft des Wassers-Gartendesign von der Quelle bis zum Pool. Nicolaische Verlagsbuchhandlung Beermann GmbH, Berlin
- o.A. 1998: Wasserlandschaft am Potsdamer Platz, in: Zeitschrift für Architektur+Baudetail, Sonderdruck aus 7/98
- ALBRING, Werner 1981: Elementarvorgänge fluider Wirbelbewegungen, Akademie-Verlag Berlin,
- ARDELT, Paul o.J: Die Wasserkünste von Sanssouci
- ARNOLD, Françoise 1998: Parc de Bercy in Paris, TOPOS, Nr.22, S. 87-93
- AUER, Gerhard 1997: Die Verlichtung der Stadt, TOPOS, Nr.20, S. 6-14
- AURAND, C. Douglas 1991: Fountains and Pools, 2. Auflage, Van Nostrand Reinhold, New York
- AUTOR unbekannt 1989: Titel unbekannt, GARTEN UND LANDSCHAFT 7/89, S. 42-45
- BALJON, Lodewijk 1997: Paris als Laboratorium für den Park des 21. Jhs, TOPOS, Nr. 19, S. 75-82
- BAROZZI, Jacques 1992 Guide de 400 jardins publics de Paris, Edition Hervas, Paris
- BAUCH-TROSCHKE, Zita 1999: Brunnen, Wasserbecken und Wasserspiele. Verlag Callwey, München
- BAUER, Karl 1994: Mit Schwung durchs Raster, GARTEN UND LANDSCHAFT, 04/94, S. 36/37
- BELANI, H.F.R. o.J: Geschichte und Beschreibung der Fontainen von Sanssouci
- BISTRITZKI, O.J. 1980: Brunnen in München - Lebendiges Wasser in einer großen Stadt. Verlag Callwey München

- BOEMINGHAUS, D. 1980: Wasser im Stadtbild. Verlag Callwey, München
- BOLLRICH, Gerhard  
PREIßLER, Günther 1992: Technische Hydromechanik Band 1, 3. Auflage, Verlag für Bauwesen, Berlin
- BÖSWIRTH, Leopold 1995: Technische Strömungslehre, 2. Auflage, Lehr und Übungsbuch, Vieweg-Verlag, Braunschweig
- BRETSCHNEIDER, Hans  
LECHER, Karl  
SCHMIDT, Martin 1993: Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 7. Auflage, Parey Verlag Hamburg/Berlin
- BRUEL, Anne-Sylvie  
DELMAR, Christophe 1997: Geometrischer Garten in Ivry, TOPOS, Nr.18, S. 20-23
- Bundesgartenschau 1997: Kunst im Kühlturm, Infoblatt
- CAMPBELL, Craig S. 1982: Water in Landscape Architecture, Deutsche Ausgabe, Van Nostrand Reinhold Company
- CLEMENS, Marilyn 1995: Gift from the Sea, LANDSCAPE ARCHITECTURE, 10/95, S. 64-71
- CLEMENS, Marilyn 1989: Industrial Evolution, LANDSCAPE ARCHITECTURE, 01/89, S. 24-30
- COLLINS, Geoffrey 1986: New Parks for Barcelona, LANDSCAPE DESIGN, 12/86, S. 15-17
- CROCKER, Neville 1987: Fountains, First Part, LANDSCAPE AUSTRALIA, 2/87, S. 137-144
- CROCKER, Neville 1987: Fountains, Second Part, LANDSCAPE AUSTRALIA, 3/87, S. 201-206
- CROCKER, Neville 1987: Fountains, Third Part, LANDSCAPE AUSTRALIA, 4/87, S. 324-332
- DIEDRICH, Lisa 1998: Der Invalidenpark in Berlin, TOPOS, Nr. 22, S. 69-74
- DIEDRICH, Lisa 1997: Kathryn Gustafson - Phantasie und Form, TOPOS, Nr.21, S. 16/17
- DIEDRICH, Lisa 1997: Kathryn Gustafson - Phantasie und Form, TOPOS, Nr.21, S. 16-25
- DRACOS, T. 1990: Hydraulik Vorlesungsunterlagen, 3. Auflage, VDF - Verlag der Fachvereine Zürich
- DREISEITL, Herbert,  
GRAU, Dieter  
LUDWIG, Karl H. C. 2001: Waterscapes. Verlag Birkhäuser, Basel
- DUBOYS FRESNEY, Arnauld 1995: Pariser Osten: Die Stadt weiterbauen, TOPOS, Nr.12, S. 55

- DWYER, Gary 1984: Water: To make a Silence, LANDSCAPE ARCHITECTURE 2,3/84, S. 60-64
- DWYER, Gary 1984: Water: To Flow in Cities, LANDSCAPE ARCHITECTURE 2,3/84, S. 65-67
- DWYER, Gary 1984: Water: To Freeze on Walls LANDSCAPE ARCHITECTURE 2,3/84, S. 66-67
- ELVIS, Charlotte 1993: Parc André Citroen, Landscape Architecture, 04/93, S. 60-65
- ERTEL, R.  
ROESNER, E.F. 1988: Hannoversches Brunnenbuch - Wasserspiele und Brunnen in Hannover. Verlag Fackelträger, Hannover
- FILOR, Seamus 1988: Urban Projects in Barcelona, Landscape Design, 10/88, S. 57-61
- FISHER, Adrian 1990: Mazes in the Landscape, LANDSCAPE DESIGN, 11,90, S. 50
- FLUBACHER, K. 1997: Klangwelten des Wassers, LANDSCHAFTSARCHITEKTUR, 04/97, S. 17-19
- GUSTAFSON, Kathryn 1995: Platz der Menschenrechte in Evry, TOPOS, Nr.10, S. 48-50
- HAHNENSTEIN, Anne 1994: Garten der Elemente, LANDSCHAFTSARCHITEKTUR, 04/94, S. 6-8
- HARRIS, C., DINES, N. 1990: Time Saver Standards for LANDSCAPE ARCHITECTURE, ASLA Bookstore
- HEERY, Pat 1996: International garden design, LANDSCAPE ARCHITECTURE Europe, 08/96, S. 77/78
- HERMANN, Günther E. 1994: Wasserbilder, GARTEN UND LANDSCHAFT, 06/94, S. 14/15
- HERMANN, Günther E. 1994: Wasser über alles, GARTEN UND LANDSCHAFT, 07/94, S. 48
- HOLDEN, Robert 1983: An Urban Park for the 21st Century, LANDSCAPE ARCHITECTURE, 07/83, S. 66-68
- HOLDEN, Robert 1986: Tschumi on Villette, LANDSCAPE ARCHITECTURE, 05-06/86, S. 86-87
- HOLDEN, Robert 1992: Green Prosperity for Paris, LANDSCAPE DESIGN, 12/92; 01/93, S. 29-31
- HOLDEN, Robert 1988: Barcelona Revitalized, LANDSCAPE ARCHITECTURE, 01+02/88, S. 60-63
- KRÜGER, B; MÖHRLE H. 1996: Maroni, Maroni, Maroni, GARTEN UND LANDSCHAFT, 04/96, S. 38-39



- KUGEL, Christiane E. 1989: Das Wasser in der Alhambra, GARTEN UND LANDSCHAFT, 07/89, S. 35-39
- LANDSCAPE AUSTRALIA looks abroad 1989: Water Features, LANDSCAPE AUSTRALIA, 2/89, S. 164 – 165
- LANDSCAPE Design 1991: Basking in reflected Glory, Rubrik: Landmarks Landscape Design, 7,8/91, S. 6
- LANGE, Claus 1997: Der Parc Diederot, STADT UND GRÜN, 08/97, S. 555-558
- LENOIR, Richard; FERRY, Jules 1994: Die Boulevards, GARTEN UND LANDSCHAFT, 03/94, S. 37-40
- LOVE, Gilly 2002: Deutsche Übersetzung, Wasser im Garten. Verlag Callwey, München
- LUDWIG, Karl C. 1996: Zwei Gärten vis-à-vis, GARTEN UND LANDSCHAFT, 02/96, S. 9-15
- MEYER, Franz Sales , RIES, Friedrich 1904: REPRINT VON ORIGINALAUSG.: Die Gartenkunst in Wort und Bild. Reprint-Verlag Leipzig
- MILCHERT, Jürgen 1994: Stadtparks in Paris, LANDSCHAFTSARCHITEKTUR, 06/94, S. 36-38
- MODROW, Bernd o.J: Die Wasserkünste und Wasseranlagen im Park Wilhelmshöhe, Gartenkunst, S. 139-152
- MÜLLER, Cornelia 1991: Der Wassergarten, GARTEN UND LANDSCHAFT, 01/91, S. 35/36
- MÜLLER, W.R. 1992: Spielen mit Wasser, LANDSCHAFTSARCHITEKTUR, 04/92, S. 42/43
- NEAL, Peter 1988. Parc de la Villette, LANDSCAPE DESIGN, 02/88, S. 30-34
- PETZOLD, I; DANZER, C. 1989: Wasser zu Nutz und Zier - Stuttgarter Brunnen und Wasserspiele. Edition Stuttgarter Buchkultur im Verlag Weise's Hofbuchhandlung, Stuttgart
- PLUMPTRE, George 1995: Wassergärten, DT. AUSGABE, Deutsche Verlags-Anstalt
- PORTER, Jane 1992: Olympic city, LANDSCAPE DESIGN, 04/92, S. 30
- RÖSSERT, Robert 1969: Grundlagen der Wasserwirtschaft und Gewässerkunde, R. Oldenbourg Verlag München
- SCHADE, Heinz 1989: Strömungslehre, Walter de Gruyter, Berlin/New York,  
KUNZ, Ewald

- SCHÄFER, Robert 1989: Das Wasser erlebbar machen, GARTEN UND LANDSCHAFT, 07/89, S. 40-42
- SCHÄFER, Robert 1993: Parc André Citroen, Paris, TOPOS, Nr.02, S. 76-79
- SCHÄFER, Robert 1996: Ist die Technik poetisch korrekt?, 08/96, S. 7/8
- SCHMIDTKE, Wieland 1998 Bild und Raum, 3 1998, S. 24/25
- SCHRÖDER, Wolfgang 1994: Grundlagen des Wasserbaus, 4. Auflage, Werner-Verlag,  
EULER, Georg Düsseldorf
- SCHNEIDER, Karl
- SCRIVENS, Stephen 1988: Water Features, ARCHITECTS JOURNAL 2/11, S. 67-68
- SCRIVENS, Stephen 1988: Water Features ARCHITECTS JOURNAL 9/11, S. 67-71
- SCRIVENS, Stephen 1988: Water Features, ARCHITECTS JOURNAL 16/11, S. 69-74
- SIEGLOCH, Herbert 1991: Technische Fluidmechanik, VDI-Verlag GmbH, 2. erw. Aufl.  
Düsseldorf *tec 230/ FE 8463,2 a*
- STRAUß, Karl 1991: Strömungsmechanik: eine Einführung für  
Verfahreningenieure, 1. Auflage, VCH Verlagsgesellschaft,  
Weinheim
- STRAUß, Karl 1991: Strömungsmechanik, VCH- Verlagsgesellschaft; 1. Auflage  
Weinheim
- SYMMES, Marilyn Hrsg. 1998: Fountains, Splash and Spectacles, Smithsonian Institution
- SYMMES, Marilyn Hrsg. 1999: Brunnen von der Renaissance bis zur Gegenwart, Deutsche  
Verlags-Anstalt, 1995
- TAYLOR, Gordon 1993: Seville Wrap-up, Landscape Architecture, 01/93, S. 32-33
- TAYLOR, PATRICK 1998: Gärten in Frankreich, Birkhäuser Verlag, S 101
- TREIB, Marc 1987: Water, LANDSCAPE ARCHITECTURE 1,2/87, S. 72-77
- TREIB, Marc 1987: Rock, LANDSCAPE ARCHITECTURE 1,2/87, S. 80-85
- WATABE, K. 1981: Architecture and water space, PROCESS ARCHITECTURE,  
Tokio.
- WEHBERG, H. 1995: Freiräume für Studenten, LANDSCHAFTSARCHITEKTUR, 03/95,  
BRENN, E. S. 37-39
- JUNKER, D.
- o.A. 1995: Lightning Water features, LANDSCAPE ARCHITECTURE 11/95,  
S. 17-19
- ZIELKE, WERNER 1992: Strömungsmechanik für Bauingenieure, Skript zur Vorlesung  
- Teil 1, Uni Hannover, Inst. f. Stömungsmechanik



## **9 ANHANG**

<b>9.1</b>	<b><i>Anhang zu Kapitel 2.3</i></b>	<b>208</b>
	<b><i>Objektbeschreibungen</i></b>	
<b>9.2</b>	<b><i>Anhang zu Kapitel 4.3</i></b>	<b>224</b>
	<b><i>Auswertungsprotokolle zu Wassertreppen</i></b>	
<b>9.3</b>	<b><i>Anhang zu Kapitel 5.1</i></b>	<b>226</b>
	<b><i>Versuchsreihe ÜK 1</i></b>	
<b>9.4</b>	<b><i>Anhang zu Kapitel 5.2</i></b>	<b>241</b>
	<b><i>Tabellarische Auflistung der Kategorien, Proportionen, Wasserfilmhöhen und Durchflussmengen der einzelnen Wasserbilder</i></b>	
<b>9.5</b>	<b><i>Tabellenverzeichnis</i></b>	<b>246</b>
<b>9.6</b>	<b><i>Darstellungsverzeichnis</i></b>	<b>250</b>
<b>9.7</b>	<b><i>Abbildungsverzeichnis</i></b>	<b>254</b>
	<b><i>Danksagung</i></b>	<b>262</b>



## **9.1            *Anhang zu Kapitel 2.3***

### Objektbeschreibungen

1. Kaskaden an der Münchner Freiheit, München
2. Wasserschleier am Parc de la Villette, Paris
3. Wasserschleier im Jardin des Halles, Paris
4. Wassertisch im Parc Moulin de la Pointe, Paris
5. Wassertisch der Vereinigten Transportgesellschaft VTG, Hamburg
6. Wasserschleier am Felsenbrunnen, München
7. Wassertreppe im Invalidenpark, Berlin
8. Wassertreppen im Innenraum der Zürichversicherung, Hamburg
9. Wassertreppe in der Empfangshalle der Hapag-Lloyd, Hamburg
10. Wassertreppe der Landesbausparkasse, Stuttgart
11. Wassertreppe an der Allianz-Lebensversicherung, Stuttgart
12. Wassertreppe am Felsenbrunnen, München
13. Wassertreppe des Rindermarktbrunnens, München
14. Wassertreppe am Europacenter, Berlin
15. Wassertreppe 1 im Parc André Citroën, Paris
16. Wassertreppe im Parc de Bercy, Paris  
    Wasserrampe und Wassertreppe vis-à-vis
17. Wassertreppe 2 im Parc André Citroën, Paris
18. Wassertreppe 3 im Parc André Citroën, Paris
19. Wassertreppe im Parc Joan Miró, Paris

## 1. KASKADEN AN DER MÜNCHNER FREIHEIT

*Münchner Freiheit, München*



Abbildung 167: Gesamtansicht der Kaskade an der Münchner Freiheit



Abbildung 168: Wasserschleier mit Rillen, Münchner Freiheit

Erhard Düwenhögger, Kurt Räder und Joachim Zangenberg haben 1972 diese Wasseranlage entworfen (BISTRITZKI 1980). Eine Materialkombination aus Beton und Naturstein verbindet den Straßenbereich an der Münchner Freiheit mit dem Niveau des U-Bahnausgangs durch mehrere unterschiedlich geformte Stufen und Abstürze. Die Stufenanlagen differieren im Gefälle des Auftritts erheblich, wodurch das über die Stufen fließende Wasser unterschiedliche Gurgelgeräusche erzeugt. Die Art der Geräuschentwicklung hängt davon ab, ob das abstürzende Wasser direkt auf Stein oder auf eine Wasseroberfläche trifft.

Die Stufen mit Gefälle in Fließrichtung haben eine Wasserfilmdicke von 1-1,5 cm. Am Ende der Anlage schließen sich drei Abstürze an, die genauer beobachtet werden.

Die obere Absturzhöhe (Abbildung 167) konnte aufgrund der Lage in der Anlage nicht ermittelt werden. Das Wasser beruhigt sich in einem Sammelbecken und fließt infolge dessen ganz ruhig über die Absturzkante. Dieser Wasserschleier ist gläsern ausgebildet, weist aber deutliche Längsrillen auf.

Die zwei anderen Wasserschleier haben eine Absturzhöhe von 87 cm und sind deutlich unruhiger. Vor allem der eine Wasserschleier wird durch Unterdruck an die Wand an der Ab-

sturzkannte zurückgezogen. Der andere Wasserschleier ist in seinem Gesamterscheinungsbild etwas ruhiger und die Falllinie verläuft annähernd gerade (Abbildung 168). Es scheint so, als würde das Wasserangebot auf dieser Ebene für zwei Wasserschleier nicht ganz ausreichen. Daraus ist vielleicht auch zu erklären, dass der Wasserfilm eines Wasserschleiers eher an die Absturzkante anhaftet. Dieser Effekt ist aus den Versuchen von AHNER & SEEGERT (1997) bereits bekannt und tritt immer dann auf, wenn der Wasserfilm zu gering ist und die Adhäsionskraft den Wasserfilm an die Oberfläche der Absturzkante zieht. An den Abstürzen entwickelt sich eine Art 'Duschgeräusch'.

Der Gesamtzustand der Anlage ist in vielen Bereichen desolat. Der Beton platzt gerade an der Absturzkante vermehrt ab und beeinflusst dadurch die Ausformung der Wasserschleier. Dies wird an den drei großen Abstürzen im Café- und U-Bahnbereich besonders deutlich. Die Wasserschleier sind in diesen Bereichen gerillt, wenngleich sie trotzdem klar sind. Die Kalkablagerungen auf der gesamten Anlage führen durch den Grauton dazu, dass das Wasser sehr blau und frisch wirkt.

## 2. WASSERSCHLEIER AM PARC DE LA VILLETTE; *Avenue Jean-Jaurès, Paris*



Abbildung 169: Wasserschleier im Parc de la Villette



Abbildung 170: Detail des Überlaufkörpers im Parc de la Villette

Auf den Flächen des ehemaligen Viehmarktes im Nordosten von Paris ist dieser Park 1985 entstanden. Er ist sowohl ein Zentrum für Musik als auch Anziehungspunkt durch das Museum für Wissenschaft und Technik geworden (TAYLOR 1998). Der Park wird auch nachts durch zahlreiche Lichteffekte an Bänken, Pflanzungen, unter Bäumen und durch Lichtbänder oder Lichtkegel in Szene gesetzt. Im Parc de la Villette wird mit Höhen gespielt, so auch mit dem Wasserschleier am Musée des Sciences et L' Industrie (Abbildung 169). Er hat eine Absturzhöhe von etwa 3 m.

Der Überlaufkörper ist geschindelt und wellenförmig gebaut (vgl. Abbildung 170). Durch die zahlreichen Stufungen in der Oberfläche ist sehr viel Luft im Wasserfilm enthalten und er macht dadurch einen sehr milchigen Eindruck.



### 3. WASSERSCHLEIER IM JARDIN DES HALLES

*Rue Berger, Paris*



Abbildung 171 : Kaskaden im Jardin des Halles

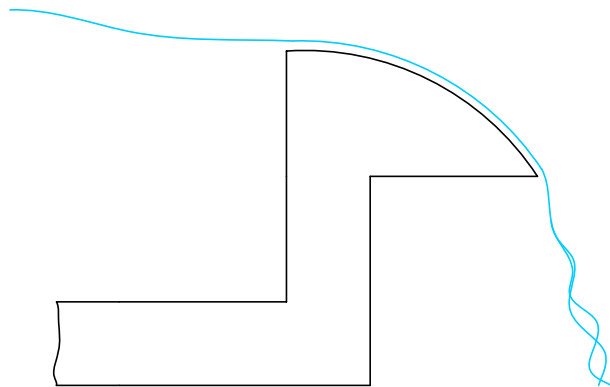


Abbildung 172: Seitenansicht des Wasserschleiers im Jardin des Halles

Dort, wo einmal die gläsernen Markthallen von Paris standen, eingerahmt von dem Forum Les Halles und dem Centre Pompidou, ist 1988 ein neuer Stadtteilpark entstanden (TAYLOR 1998: 95).

Diese große, intensiv gestaltete städtische Grünanlage wurde von Louis ARRETICHE geplant und realisiert (BAROZZI, 1992: 150).

Die in vier Stufen angeordnete Wasseranlage (Abbildung 171) zieht viele Besucher aller Altersklassen an. Sie scheinen sich durch das gleichmäßige Plätschern des Wassers zu zerstreuen oder diesen Platz als Erholungsort in der Mittagspause zu nutzen. Die Wasseranlage besteht aus mehreren Ebenen, teils mit Fontänen ausgestattet. Der Überlaufkörper weist einen ellipsenförmigen Bogen auf, es könnte sich um eine Art Achtelkreis handeln. Dies ist jedoch nicht gesichert.



Darstellung 88: Prinzipskizze Überlaufkörper im Parc les Halles

Der Wasserschleier folgt einem bogenförmigen Verlauf (Darstellung 88) und hat eine Absturzhöhe von 90 cm. Er ist nur im oberen Bereich glatt und bildet schon im mittleren Bereich Wellen (Abbildung 172) und einen vibrierenden Wasserschleier aus. Die Wasserfilmhöhe beträgt auf der Krone des gerundeten Überlaufkörpers 1,5 cm. In keiner der Ebenen gibt es einen glatten Wasser schleier

#### 4. WSSERTISCH IM PARC MOULIN DE LA POINTE

*Avenue d' Italie, Paris*



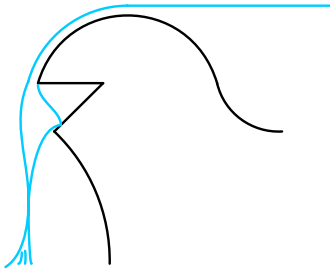
Abbildung 173: Ansicht des Wassertisches im Parc Moulin de la Pointe

Der von Gilles VEXLARD und Laurence VACHEROT 1998–1990 kreierte Park liegt im 13. Arrondissement in Paris (LUDWIG 1996).

Auf dem 1 ha großen Parkgelände (LUDWIG 1996) befindet sich ein Wassertisch mit einer Grundfläche von 4 x 25,5 m (Abbildung 173).

An der einen Seite schließt sich eine 70 cm erhöht liegende Fläche an, die als Aussichtsterrasse dient, an der anderen Seite eine Rasenfläche. Der Wassertisch mit einer Oberfläche aus poliertem schwarzen Granit, ist als Wasserbecken mit einzelnen unregelmäßig angeordneten Quellen in der Mitte ausgeformt und hat eine Wassertiefe von 6 cm. Am Absturz beträgt die Wasserfilmhöhe 0,6–0,7 cm. An den Längsseiten fällt beiderseits ein Wasserschleier herab. Er ist auf gesamter Länge wellig ausgeprägt und reißt unterschiedlich früh auf. An keiner Stelle ist er auf komplett 107 cm Höhe geschlossen. Er bleibt nur etwa auf den ersten 30 cm Wasserschleierlänge geschlossen. Das Becken ist so aufgebaut, dass sich unter dem Boden ein ca. 30 cm tiefes Wasserreservoir befindet. Der Tisch besteht aus einzelnen Granitplatten, die jeweils durch 4 Bolzen gesichert sind. Aus den Plattenfugen quillt das Wasser hoch. Das Wasserreservoir und die gesamte Hülle des Beckens sind aus Bronze gefertigt. Unter dem Überlauftrand gibt es eine Kerbe (vgl. Darstellung 89), die wahrscheinlich als Tropfnase dienen soll. Ein Teil des Wasserschleiers fällt so, dass er genau auf den Rand der Kerbe auftrifft und so den Wasserschleier zum Aufreißen bringt.

Der Überlaufkörper ist an diesem Objekt gerundet und seitlich betrachtet ist der Wasserschleier zur Beckenwand hin eingewölbt.



Darstellung 89: Prinzipskizze Überlaufkörper am 'Wassertisch' im Jardin Moulin de la Pointe

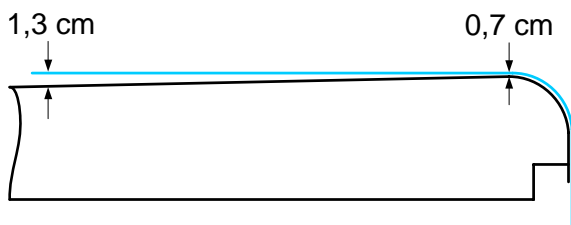
## 5. WASSERTISCH DER VTG HAMMERBROOK

*Nagelsweg 34, Hammerbrook*



Abbildung 174: Wassertisch vor der VTG in Hamburg Hammerbrook

Die Gesamtanlage wurde von Wehberg, Eppinger und Schmidtke 1997 (WEHBERG, mündl.1998) gestaltet. Der Wassertisch aus poliertem Edelstahl befindet sich am Eingang des Unternehmens VTG. Er ist 10 m lang und 2 m breit (vgl. Abbildung 174). Auf der als Rampe ausgebildeten Fläche befindet sich ein 0,7-1,3 cm dicker Wasserfilm (vgl. Darstellung 90). Laut mündlicher Aussagen des Hausmeisters wurde nachträglich eine senkrechte Führung an das Ende des Beckens angeschweißt, um Windverwehungen zu reduzieren. Sichtbare Wasserverluste durch Verwehung gibt es dennoch. Dies wird an der Vernässung außerhalb des Auffangbeckens sichtbar.



Darstellung 90: Prinzipskizze des Wassertisches der VTG

## 6. WASSERSCHLEIER AM FELSENBRUNNEN MÜNCHEN *Schweitzer Platz, München*



Abbildung 175: Felsenbrunnen mit Ansicht der Rückfront der Wassertreppe hinter dem Wasserschleier auf dem Schweitzer Platz, München-Fürstenried, Sept. 1992

Platzgestaltung und Brunnenanlage stammen von der Künstlerin Magdalena Jetélova. Das Ensemble wurde für die Landeshauptstadt München entworfen und 1992 fertig gestellt (Brunnenliste des Baureferates, Bereich Tiefbau, München). Der Schweitzer Platz ist ein großer offener Platz mit einer dreigestaltigen Wasseranlage mit Wasserschleier (Abbildung 175), Wassertreppe und einem lang gestreckten Wasserbecken.

Den Blickpunkt bildet ein etwa 5 m hohes Bauwerk, von dessen Krone auf der Vorderseite ein Wasserschleier und auf der Rückseite eine Wassertreppe beginnt.

Der Wasserfilm des Wasserschleiers bleibt auf den ersten 150 cm geschlossen und löst sich nach einem Übergangsbereich in viele feine Tröpfchen auf. Das klingt in unmittelbarer Nähe wie eine Dusche und ist so laut, dass eine Unterhaltung schwierig wird.

## 7. WASSERTREPPE IM INVALIDENPARK BERLIN *Scharnhorststraße, Berlin*



Abbildung 176 (li): Wasseranlage im Invalidenpark  
Abbildung 177 (re): Detail der Wassertreppe in der Flanke der Rampe

Der 2,7 ha große Invalidenpark wurde von Christophe Girot, Atelier Phusis, gestaltet und zwischen 1993 und 1997 realisiert (DIEDERICH 1998). Im vorderen Bereich des Parkes na-

he der Charité befindet sich ein großes Wasserbecken mit einer langgestreckten Rampe (Abbildung 176). Von ihrem höchsten Punkt mit einem 70 cm auskragenden Überstand aus Wasser über einen rauen Untergrund aus aufgerichteten Schieferplatten fließt das Wasser herab, teils fällt es auch. An der Rückseite des Wasserobjektes gibt es eine begehbare Rampe. In den Flanken der Rampe verläuft jeweils eine schmale Wassertreppe (Abbildung 177). Die Stufen haben eine Höhe von 1 cm, eine Breite von 15 cm und einen Auftritt von 27 cm. Das Gefälle der Stufen beträgt 25%.

## 8. WASSERTREPPE IM INNENRAUM DES ZÜRICHHAUSES

*Dornstr. 17-19, Hamburg*



Abbildung 178: Wassertreppenanlage der Zürichversicherung

Die Wasseranlage liegt in einem Gebäudekomplex mit Wintergarten. Die Grundidee der Architekten Götze, Marquart & Partner war es, einen klimatisierenden Effekt und ein Art ‚Algenklima‘ zu erzielen (SCHMIDTKE 1998). Sie wurde 1992 realisiert.

Die aus weißem Granit gefertigte Brunnenanlage setzt sich aus Wasserbecken und Stufenanlagen zusammen (Abbildung 178). Die Stufen haben eine Neigung von 0–2 % und einen Auftritt von 35 cm. Die Stufenhöhe beträgt 25 cm.

## 9. WASSERTREPPE IN DER EINGANGSHALLE DER HAPAG-LLOYD

*Rosenstraße 17, Hamburg*

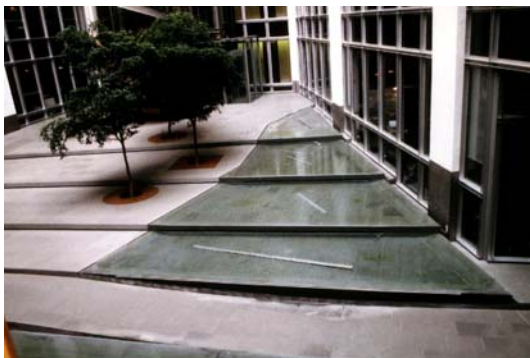


Abbildung 179: Eingangshalle der Hapag Lloyd



Die Architekten Gerkan, Marg & Partner haben eine Art überdachten Innenhof im neuen Teil des Verwaltungsbaus der Hapag-Lloyd entworfen und 1995 fertig gestellt. Die Büros haben zum Innenhof hin Balkone. Der Innenhof dient gleichzeitig als Empfangshalle und Besprechungsraum. Als Material wurde grünlicher Krakauer Sandstein gewählt (Firmenbroschüre der Hapag Lloyd 1998). Lautes Rauschen und Plätschern schluckt die übrigen Umgebungsgerausche. Die Wasserfläche besteht aus 4 lang gezogenen Stufen unterschiedlicher Auftrittshöhe und 16 cm Steigung (Abbildung 179). Die Stufen haben keine Neigung.

## 10. WASSERTREPPE DER LBS

*Jägerstraße 36, Stuttgart*



Diese gleichmäßige Treppe durchquert den Innen- und Außenraum der Landesbausparkasse Württemberg in Stuttgart. Der Künstler Jo Schöpfer entwarf diese Anlage für die LBS, die 1994 fertig gestellt wurde.

Das Wasserspiel aus hell- und dunkelgrauem Granit, Glas und Edelstahl durchzieht sowohl den

Abbildung 180: Wassertreppe an der LBS

gesamten Bürokomplex als auch Teile des Grundstücks. Es verbindet die Dachterrasse mit vier Stockwerken des Innenraumes und den angrenzenden Eingangsbereichen des Außenraumes.

Die 10-stufige Wassertreppe (Abbildung 180) oberhalb der Wasserwand und der Fontänen ist das dominierende Gestaltungselement des abschüssigen Eingangsbereichs an der Jägerstraße. Die Stufenhöhe beträgt jeweils 15 cm bei einer Stufenbreite von 42 cm. Der Auftritt ist 187 cm lang mit einem Gefälle von 3 %. Die Wasserfilmhöhe beträgt 10 mm.

Diese Wassertreppe bildet über ihren gesamten Stufenverlauf an jeder Absturzkante einen gläsernen Wasserschleier aus: Ein Effekt, der bislang so noch nicht zu beobachten war. Die Wasserzuführung der Wassertreppe erfolgt über eine Rinne ohne Gefälle, die Stufen führen das Wasser mit 3% Gefälle in Fließrichtung ab. Direkt an der Absturzkante nimmt die Wasserfilmdicke etwas ab, im Mittel beträgt sie etwa 10 mm.

In der Dunkelheit sind die einzelnen Stufen mit ihren Wasserschleiern durch Lampen, die jeweils 10,5 cm vor jeder Absturzkante in den Seitenwänden installiert sind, beleuchtet.

Die Wasseranlage macht sich akustisch nur durch ein sanftes Plätschern, Gurgeln und Tröpfeln bemerkbar. Es ist zwar deutlich hörbar, doch sehr unaufdringlich.

## 11. WASSERTREPPE AN DER ALLIANZ-LEBENSVERSICHERUNG

*Reinsbergstr. 19, Stuttgart*



Abbildung 181: Wassertreppe der Allianzversicherung

Eine gestufte, gemuldete Wassertreppe gibt es an der Allianz–Lebensversicherung in Stuttgart. Der Künstler Fritz Melis lieferte den Entwurf für den Brunnen, der 1974 fertig gestellt wurde.

Es handelt sich um ein Ensemble aus zwei Wasserflächen und zwei sich daran anschließenden Wassertreppen. Die obere Wasserfläche geht in eine siebenstufige (Abbildung 181), die untere in eine achtstufige Wassertreppenanlage über. Der Name der Anlage, Reiherrbrunnen, leitet sich von den 13 bronzenen Reihern ab, die in den Horizontalflächen im Wasserlauf stehen und durch ihre Füße Wasserstrukturen erzeugen. Der ursprünglich hellgraue geschnittene Granit hat inzwischen eine gelbe Patina angenommen.

Bei dieser Anlage haben die Stufen jeweils eine Höhe von 12 cm, eine Auftrittslänge von 37,6 cm und eine Stufengefälle von 3 %. Der Wasserfilm beträgt 5 mm.

Der Wasserschleier der ersten Stufe der Wassertreppe stürzt glatt ab. Die Falllinie dieses Wasserschleiers ist um 6-7 cm vorgewölbt. Die Wasserfilmhöhe ist auf dieser Stufe mit 7 mm Höhe etwa 2 mm höher als die nachfolgenden. Dies resultiert vermutlich daraus, dass die obere Wasserfläche laut Plan ein Gefälle von 2,2 % hat und die anschließenden Stufen ein Gefälle von 4,5 % aufweisen. Durch die erhöhte Fließgeschwindigkeit reicht der Bogenverlauf der Falllinie der nachfolgenden Wasserschleier etwa 5 cm weiter in den jeweils nachfolgenden Stufenaustritt hinein. Die 160 cm breiten Stufen sind quer zur Fließrichtung konkav ausgeformt und an der niedrigsten Stelle ca. 4,5 cm tief. Der Wasserfilm beträgt auf den weiteren Stufen ca. 5 mm.

## 12. WASSERTREPPE AM FELSENBRUNNEN MÜNCHEN

*Schweitzer Platz, München*



Abbildung 182: Wassertreppe am Schweitzer Platz

Eine geschwungene Wassertreppe steht auf dem Schweitzer Platz in München. Sie wurde von Magdalena Jetélova entworfen und 1992 realisiert (Brunnenkataster der Stadt München). Diese aus grau-grünem, sägerauen Quarzit bestehende Anlage ist schon bei den Wasserschleiern erwähnt worden. Im Osten der monumentalen Steinanlage befindet sich eine eigenwillig gebogene Treppenanlage mit insgesamt sieben Stufen und einer breiten Absturzkante. Die Stufenhöhe scheint bei allen Stufen identisch zu sein, sie war aber vor Ort nicht messbar (Abbildung 182).

## 13. WASSERTREPPE DES RINDERMARKTBRUNNENS

*Rindermarkt München*



Abbildung 183: Wassertreppe am Rindermarktbrunnen



Diese Anlage wurde 1964 von Prof. Josef Henselmann entworfen und ist eine Kombination aus naturalistischer Wassertreppe aus Tessiner Maggia-Gneis und Kunst in Rindergestalt (BISTRITZKI 1980). Die Anlage steht an einer Stelle, an der zuvor Rindermarkt abgehalten wurde (BISTRITZKI 1980). Sie wird sowohl für die mittägliche Brotzeit als auch zum Feierabend rege genutzt. Bei der gerade beendeten Restauration ist festzustellen, dass nicht der gesamte Kaskadenbereich von Wasser überflutet wird, sondern nur der rechte und linke Rand. Dies macht etwa nur ein Viertel der gesamten Fläche aus.

Die von Wasser überflossenen Teile der Anlage sind gelb-bräunlich verkalkt, während an anderen Stellen der Maggia-Gneis herauschaut. Die Stufenvorderkanten dieser Wassertreppenanlage mit ungleichmäßiger Stufenfolge (Abbildung 183) und geringem Gefälle ist aus bruchrauem Material geformt, so dass es keine einheitliche Kante gibt. Es entstehen trotzdem zusammenhängende Wasserschleier, wenngleich sie nicht gläsern sind. In Abhängigkeit des Wasserangebots, das innerhalb der Anlage erheblich differiert, entstehen unterschiedliche Falllinien der Wasserschleier. Teils sind sie deutlich nach außen gewölbt, teils werden sie durch die Adhäsionskräfte an den Stein gebunden.

#### 14. WASSERTREPPE AM BREITSCHIEDPLATZ

*Breitscheidplatz, Berlin*



Abbildung 184: Zweiläufige Treppe ‚Wasserklops‘, München

Der Brunnenanlage am Breitscheidplatz in Berlin/Charlottenburg wurde von Joachim Schmettau, Susanne Wehland, Krusnik & Reith für die Stadt Berlin entworfen und 1983 fertig gestellt (Brunnenkataster der Stadt Berlin). Neben verschiedenen anderen Wasserbildern mit Fontänen gibt es hier eines an einer gewendelten Wassertreppe.

Bei der Wassertreppe handelt es sich um eine zweiläufige gewendelte Treppe (Abbildung 184) über die ein Wasserfilm von 1,5-2 cm geführt wird. Die Stufenhöhen betragen 16,5 cm, die Stufenauftritte differieren aufgrund der Wendelung. Die Stufenneigung ist hier um 4,5 % nach hinten, also entgegen der Fließrichtung, geneigt. So beträgt die Wasserfilmhöhe am Fuß der Steigung 3 cm und an der Krone des Auftritts 1,5 cm.

Innerhalb des Verlaufs der Wassertreppe ändert sich das Wasserbild erheblich. Über die erste Stufe stürzt das Wasser als glatter gläserner Wasserfall ab. Dort beträgt die Wasserfilmdicke allerdings auch noch 2,0-2,5 cm. Schon auf der nächsten Stufe ist das Fließverhalten nicht mehr so gleichmäßig, der Wasserschleier zerreißt an vielen Stellen. An den nun anschließenden Stufen springt das Wasser zusehends mehr über die Stufen. Etwa ab der fünften Stufe sind zwei Hauptlauflinien des Wassers erkennbar, die sich nun auf den folgenden Stufen weiter fortsetzen. Die inneren und äußeren Randbereiche der Treppe sowie die Mitte der gedachten Treppenlauflinie haben eine wesentlich geringere Wasserführung als die sich an die Mitte anschließenden Bereiche. Wird die Wassertreppe abwärts betrachtet, sind die zuvor beschriebenen Unregelmäßigkeiten in der Wasserführung auf der Treppe nicht erkennbar.

Die Neigung der Stufen nimmt nach der untersten Stufe ohne Gefälle treppauf stetig zu. Die Wasserfilmhöhe auf der untersten Stufe wurde mit 5 mm gemessen.

## 15. WSSERTREPPE 1 IM PARC ANDRÉ CITROËN

*Quai André Citroën, Paris*



Abbildung 185: Wassertreppe mit alternierenden Stufen

Eine Wassertreppe mit alternierenden Auftritten gibt es als dritte Treppenvariante im Parc André Citroën. Fünf stilisierte Wasserläufe in Form von Wasserrampen wurden von dem Landschaftsarchitekten Gilles Clement als Trennung zwischen sechs seriellen Gärten eingesetzt. Sie beginnen jeweils auf dem Niveau der kleinen Gewächshäuser an der Westseite

des Parks etwa 3,5 m über den seriellen Gärten. Ein über den Gärten 'schwebender Steg' führt jeweils an einem Marmorquader vorbei, an dessen Fuß der Wasserlauf seinen Anfang nimmt. Das Wasser fließt die Rampe herab (Abbildung 185), ehe es einen fußläufigen Weg unterquert, um kurz danach über Kaskaden in ein Seerosenbecken abzustürzen.

Trotz Baugleichheit ist das Fließverhalten des Wassers nicht in allen Wasserläufen identisch, sondern verändert sich mit der zur Verfügung stehenden Wassermenge und dem Wasserdruck. Geringere Wasserzufuhr bedingt ein wellenartiges, schlangenlinienförmiges, periodisches Fließmuster, höhere Wasserzufuhr ermöglicht das fast gleichmäßige Wasserbild einer Wassertreppe.

Der Wasserlauf liegt eingeschnitten in einer fußläufigen Rampe und ist 135 cm breit und viele Meter lang. Er überwindet einen Höhenunterschied von mehreren Metern und ist wie eine Wassertreppe aufgebaut. Die einzelnen Auftritte sind trapezartig ausgeformt. Es gibt je eine 28 und eine 42 cm breite Auftrittsseite. Breite und schmale Seiten wechseln sich immer ab, so dass zunächst dieser Unterschied in der Auftrittsform unter dem Wasserfilm nicht so sehr ins Auge fällt.

Die Absätze zwischen den Auftritten, die in diesem Fall die Steigungen der Stufen darstellen, betragen 2,5 cm und sind in dem untersuchten Fall identisch mit der Wasserfilmhöhe.

Es ist zu erkennen, dass das Wasser sich gleichmäßig jeweils vor den 'Auftritten' aufstaut. Die Wasserfilmhöhen an den einzelnen Wasserläufen differieren ein wenig, die Stufenlängen und Steigungen sind allerdings identisch.

## 16. WASSERTREPPEN IM PARC DE BERCY

*Boulevard de Bercy, Paris*



Abbildung 186: Schäumendes Wassermuster an der Wassertreppe im Parc de Bercy

Diesen Treppentypus mit steil gestuften Wassertreppen gibt es in Bercy und im Parc André Citroën, beide in Paris.

Der Parc de Bercy am Palais Omnisport in Paris wurde 1992 begonnen und 1997 fertiggestellt. Der Entwurf stammt von Maryléne Ferrand, Jean-Pierre Feugas und Bernard Le Roy in

Zusammenarbeit mit Bernard Huet und dem Landschaftsarchitekten Ian le Caisne (ARNOLD 1998).

Die Wassertreppe ist in eine 8 m hohe Granitstufenanlage integriert, gegliedert durch 3 Podeste und eine 9-reihige Wassertreppe. Auftritt und Steigung der Treppe sind nicht auf den ersten Blick zu erkennen, da der Wasserfilm nicht klar sondern mit viel Luft durchsetzt und milchig sprudelnd darüber hinweg fließt und schäumt (vgl. Abbildung 186). Als Stufenhöhe wurden 18,5 cm gewählt, der Auftritt beträgt dagegen nur 3,1 cm. Das Gefälle beträgt 51 % und die Wasserfilmhöhe 15 mm. Die Wassertreppe setzt sich aus neun einzelnen schmalen Treppen zusammen. Sie haben jeweils eine Breite von 27,6 cm und weisen differierende Wasserbilder auf, obwohl alle baugleich zu sein scheinen. Dazwischen gibt es eine glatte Rampe von 26,4 cm Breite aus schwarzem Granit. In den zwei äußeren Wassertreppen sieht das Wasserbild ruhiger aus als in den mittleren Bereichen, dort sind die Wasserfilme auch 0,5 cm höher.

#### WASSERRAMPE UND WASSERTREPPE VIS-A-VIS IM PARC ANDRÉ CITROËN *Quai André Citroën, Paris*



Abbildung 187: Flache (li) und steile (re) Wassertreppe im Parc André Citroën

Die zweite und dritte Treppe (Abbildung 187) befindet sich im Parc André Citroën im 15. Arrondissement in Paris.

Der Park ist auf dem ehemaligen Werksgelände der Citroenwerke in den Jahren 1985–1993 gebaut worden. Er ist eine Komposition aus zwei Entwurfsideen von Alain Provost, Jean-François Jodry & Partner und Gilles Clément, Patrick Berger, Laurence Fèveille & Janine Galiano (SCHÄFER 1993).

Provost hat den südlichen Teil des Parks mit dem 'Canal' und den 'Nymphées' (Wasserachse und Grotten), dem Parterre als Zentralbereich sowie den 'Jardins Noir und Métamorphoses' (schwarzer Garten und Garten der Veränderung) gebaut, von Clément stammt die Idee der sechs 'Jardins Sériels' (serielle Gärten), in denen jeweils eine Farbe dominiert mit sechs kleinen Glashäusern, dem 'Jardin Blanc' (weißer Garten) und dem Fontänenperistyl mit zwei großen Gewächshäusern.

## 17. WASSERTREPPE 2 IM PARC ANDRÉ CITROËN

*Quai André Citroën, Paris*



Abbildung 188: Wassermuster auf einer geschindelten Wassertreppe

Alain Provost hat einen von ca. 3 m hohen Mauern eingefassten Gartenraum entworfen, der durch lautes Rauschen dominiert wird. Auf der nördlichen Seite befindet sich eine steile Wassertreppe, auf der südlichen Seite eine weniger steile Wasserrampe. Beide Wasseranlagen sind nach Durchqueren des Raumes und Besteigen der Treppenanlage östlich des Gartenraumes auch von oben aus zu betrachten.

Die Versprünge in den einzelnen Teilen der Wasserrampe liegen wie Schuppen in Fließrichtung untereinander. Dadurch entstehen jeweils kleine Absturzkanten, von denen sich das Wasser löst und einen kleinen Wasserschleier bildet.

Das Wasser fließt ruhig über die Fläche herunter. Die Neigung dieser Rampe wird auf 22,5 % geschätzt. Die Effekte des zunächst gleichmäßig, später wellenförmig fließenden Wassers sind je nach Stand der Sonne unterschiedlich gut erkennbar (Abbildung 188).

## 18. WASSERTREPPE 3 IM PARC ANDRÉ CITROËN

*Quai André Citroën, Paris*



Abbildung 189: Detail der steilen Wassertreppe im Parc André Citroën



Bei der steil gestuften Treppe handelt es sich um eine etwa 50 cm lange Steigung, die etwa 40° geneigt ist. Der Auftritt ist mit nur wenigen Zentimetern sehr kurz. Das Wasser fließt jeweils die Steigung hinab und gelangt an den Auftritt der nächst tiefer gelegenen Stufe. Es überfließt den Absatz, wobei es zu schäumen und springen beginnt. Das daraus resultierende Wasserbild ist schäumend (vgl. Abbildung 189).

## 19. WASSERTREPPE IM PARC JOAN MIRÓ

*Avenue d'Italie*



Abbildung 190: Seitlich geneigte Auftritte in der Wassertreppe im Parc Joan Miró

Die seitwärts gekippte Wassertreppe ist gleich zweimal im Parc Joan Miro in Paris anzutreffen. Der Entwurf der Anlage stammt von L. Grünig-Tribel und Francois Tribel, sie wurde 1993 fertig gestellt. Da die Treppenstufen auf einer Seite ein Gefälle aufweisen, das die Fließrichtung des Wassers vorgibt, gibt es nur auf einer Seite der Stufenanlage eine Seitenbegrenzung (Abbildung 190). Die andere Seite der Stufen bleibt von Wasser unbenetzt.

Die Stufen haben eine Höhe von 5,5 cm und eine Auftrittstiefe von 20,5 cm. Die Breite der gesamten Stufenanlage beträgt 90 cm, das Quergefälle innerhalb der Stufen 9 %. Die Messungen an der anderen Treppe wurden durch Wachpersonal unterbunden.

## 9.2 Anhang 4.3

### AUSWERTUNGSPROTOKOLLE ZU DEN MERKMALEN EINES WASSERBILDES AN WASSERTREPPEN

Prop. 1 : 2		30 °		0,5 l/s	1,0 l/s	2,0 l/s	3,0 l/s	4,0 l/s	5,0 l/s	10,0 l/s
Steigung	Längsstreifen									
	Mausezähnnchen									
	Mausezähnnchen + Schweife	x verschwommen								
	Schweife								x	
	Dreiecke + Schweife									
	Plast. Dreiecke + Schweife				x	x				
	Wasserklumpen									
	Wasserstrahlen v oder z								x z	
	Aufwölbungen + Schweife								x	
	Fallschirme									
	wellenartige Muster								x	
	schäumende Muster									x
	rhythmische Muster						x			
	Längsstreifen in Fließrichtung	x								
		Strahlen+Schweife							rauhes WS mit vielen	
Seite	Rillen in den Steigungen	x	x							
	Aufstauparallele Rillen	x								
	Rillen + Dreiecke			x						
	Rillen + Aufwölbungen				x					
	Rillen + Strahlen				x	x	x	x		
	losgelöste Strahlen								x	x schaumig
Aufstau	quellenartige Verdickung		x	x						
	walzenartige Verdickung						x			
	orangerhautähnlicher Aufstau	x	x	im 2. Abschnitt						
	blasenfreier Aufstau	x	x	1	1					
	blasenarmer Aufstau			2,3,4 d=5-8mm						
	blasenreicher Aufstau			2,3,4 d=5-8mm		1 d=3-4mm	1 d=4-7mm			x
Aufstau nur Schaum			z.T.in Verdickung		3,4 d=12-15mm	2,3,4 d=10mm			3,4	
Wasserbild	ruhig + unspektakulär	x	x							
	feine, gleichmäßige Muster									
	plast. gleichmäßige Muster			x	x	x	x			
	rhythmisch fließend			x	x					
	pulsierend fließend					x	x			
	schäumende Muster									x
	klare Muster									
tosend									x	

Tabelle 41: Checkliste zur Erfassung der einzelnen Merkmale im Wasserbild am Beispiel der Versuchsreihe WT1, Proportion 1:2, 30° Neigung

DATENBLATT ZUR ERHEBUNG DER WASSERFILMHÖHEN AM BEISPIEL DER VERSUCHSREIHE WT1 BEI 10° NEIGUNG

Winkel 10°		Proportionen						
Durchflussmenge l/s	Prop. 1:1	Prop. 1:2, 50°	Prop. 1:2,70°	Prop. 1:2	Prop. 1:4,70°	Prop. n1:4	Prop. 1:8	
Wasserfilmhöhe	Krone 1	1,9 - 2,0	2,30	2,10	2,00	2,30	2,20	2,35
	Krone 2	1,9 - 2,3	3-3,8	3-3,4	2,0 - 2,9	2,8 - 3,5	2,8 - 3,3	2,8 - 3,2
	Krone 3	1,8 - 2,2	2,6-2,9	2,2-2,6	2,0 - 2,7	2,4 - 3,0	2,3 - 3,1	2,8 - 3,1
	Krone 4	1,8 - 2,2	2,7-3,1	2,4-3,0	2,0 - 2,7	2,4 - 2,9	2,3 - 3,1	2,6 - 3,3
	Krone 5	1,8 - 2,2	2,7-3,2	2,2-2,6	2,0 - 2,6	2,4 - 3,0	2,3 - 3,2	2,4 - 3,1
	Krone 6	1,8 - 2,3	2,5-3,2	2,6-3,0	-	2,5 - 3,0	-	-
	Krone 7		2,5-3,2	2-2,6	-	2,5 - 3,1	-	-
	Steigung 1	2,2 - 2,7	2,30	2,10	1,90	2,20	2,00	2,3
	Steigung 2	2,2 - 2,7	3,0-3,8	3-3,4	2,4 - 3,2	3,3 - 3,8	3,3 - 3,8	3,2 - 3,6
	Steigung 3	1,8 - 2,4	2,5-2,9	2,3-2,6	2,0 - 2,7	2,3 - 3,2	2,2 - 3,0	2,5 - 3,2
	Steigung 4	2,0 - 2,5	2,7-3,2	2,5-3,0	2,0 - 2,8	2,3 - 3,0	2,3 - 3,1	2,6 - 3,3
	Steigung 5	2,0 - 2,5	2,6-3,1	2,2-2,8	2,0 - 2,8	2,3 - 3,0	2,3 - 3,1	2,5 - 3,2
	Steigung 6	2,0 - 2,5	2,8-3,4	2,2-2,6	-	2,4 - 3,1	-	-
Steigung 7		2,7-3,3	2,2-2,8	-	2,4 - 3,4	-	-	
Aufstauhöhe	Stufe 1	8,00	17,5	13,5	12,00	12,00	9,00	6,0 - 6,5
	Stufe 2	9,50	16,5-17,0	15	12,5 - 13,0	11,50	9,0 - 9,5	6,5 - 7,0
	Stufe 3	9,00	16,5-17,0	15	12,5 - 13,0	11,50	9,0 - 9,5	5,5 - 6,0
	Stufe 4	9,00	16,5-17,0	15	12,5 - 13,0	11,00	9,0 - 9,5	6
	Stufe 5	9,00	16,5-17,0	15	-	11,50	-	-
	Stufe 6		16,5-17,0	15	-	11,0 - 11,5	-	-
Verdickung	Stufe 1	9,00	5,5	6	7,00	4,50	4,50	-
	Stufe 2	nicht vorhanden	-	12	7,25	4,00	4,50	-
	Stufe 3	nicht vorhanden	-	13	7,50	4,50	4,50	-
	Stufe 4	nicht vorhanden	-	12,5	7,50	4,00	4,50	-
	Stufe 5	nicht vorhanden	-	12	-	4,00	-	-
	Stufe 6		-	12	-	4,00	-	-
Gesamt	Stufe 1	15,00	11	13,5	15,00	11,50	10,50	7
	Stufe 2	15,00	8	12	14,50	10,00	10,00	5,5
	Stufe 3	16,50	10	13	14,50	9,00	10,00	6
	Stufe 4	15,50	10	12,5	14,50	10,00	10,00	6
	Stufe 5	15,50	9,5	12	-	10,00	-	-
	Stufe 6	-	9,5	12	-	10,00	-	-

Tabelle 42: Datenblatt zur Erhebung der Wasserfilmhöhen am Beispiel 10° Neigung und 10 l/s



### 9.3 ANHANG ZU KAPITEL 5.1

#### Versuchsreihe ÜK 1 Überlaufkörper

##### Wiederholung des Versuchs unter windgeschützten Bedingungen

Diese Versuchsreihe dient der Überprüfung der Bogenmaße, Aufriszlängen und Fließgeschwindigkeiten bei annähernder Ausschaltung des Windeinflusses.

Der Versuch wird in gleicher Methodik durchgeführt wie die vorher durchgeführte Versuchsreihe.

Es gibt einige Erscheinungsbilder des Wasserschleiers, die hier kurz erklärt werden:

Der Wasserschleier kann sich im Fall vorwölben, das heißt er klebt an den Seitenbegrenzungen am Rand und die Mitte des Wasserschleiers wölbt sich konvex über die gedachte Linie zwischen den beiden Seiten heraus. Es kommt allerdings auch vor, dass der Wasserschleier sich konkav wölbt (Bsp. Viertelkreis). Dabei kann sich eine Art Fischblase bilden. Ein Teil der Blase liegt an der Seitenbegrenzung und setzt sich nach unten fort.

Wie klar und glatt ein Wasserschleier wirklich ist, lässt sich an den bizarren Mustern ablesen, die entstehen, wenn Gegenstände schräg von der Seite durch den Wasserschleier hindurch untersucht werden. Die geringste Verzerrung wurde in diesen Versuchsreihen immer mit einem Durchfluss von 2 l/s erzielt.

Überlaufkörper	Überlaufkörper mit 10°- Anlauf			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	0,35 cm	1,1 cm	1,25 cm	1,7 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,35 cm	1,1 cm	1,25 cm	1,7 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	21,7 cm	21,95 cm	22,65 cm	23,45 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	21,35 cm	21,4cm	22,2 cm	23 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	175 cm	mind. 225 cm	mind. 225 cm	mind. 225 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	63 cm	71 cm	72 cm	81 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	57 cm	72 cm	73 cm	82 cm
Bogenmaß bei 210 cm	21 cm	34 cm	34,5 cm	42,5 cm
Bogenmaß bei 22 cm	10,5 cm	14 cm	14 (+1) cm	14,5 (+3)cm
Bogenmaß bei 50 cm	14,5 cm	22 cm	22,5 cm	26,5 cm
Bogenmaß bei 120 cm	17 cm	26,5 cm	27 cm	31,75 cm
Bogenmaß am Aufriss	19,5 cm	34,5/ 35 cm	35,5 cm	43,5 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	1.28,41	0.36,69	0.32,90	0.19, in m.s
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.07,83	0.04.,12	0.03,72	0.02,40
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Rauten und Rillen auf dem Wasserschleier, nur am Rand die typischen randparallelen Rillen</li> <li>der Wasserschleier ist glatt und gläsern</li> <li>keine Wasserbewegung erkennbar</li> <li>der Hintergrund wird haargenau nachgezeichnet</li> <li>von hinten durchgeschaut gibt es minimale Verzerrungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Rillen, keine Rauten auf dem Wasserschleier, nur am Rand die typischen randparallelen Rillen</li> <li>der Wasserschleier ist glatt und gläsern</li> <li>es gibt leichte Wasserbewegungen</li> <li>der Hintergrund ist minimal verzerrt auch von schräg hinten gesehen</li> <li>von hinten durchgeschaut gibt es minimale Verzerrungen</li> <li>der Wasserschleier ist bis unten geschlossen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Rillen, keine Rauten auf dem Wasserschleier, nur am Rand die typischen randparallelen Rillen</li> <li>der Wasserschleier ist glatt und gläsern</li> <li>es gibt Wasserbewegungen</li> <li>die Gegenstände im Hintergrund des Wasserschleiers werden zu einer Zick-Zackform verzerrt</li> <li>von hinten durchgeschaut gibt es minimale Verzerrungen</li> <li>der Wasserschleier ist bis unten geschlossen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nur geringe Rillen in der Mitte</li> <li>der Wasserschleier ist gläsern wie die anderen Varianten</li> <li>es gibt Wasserbewegungen</li> <li>die Gegenstände im Hintergrund des Wasserschleiers werden zu einer Zick-Zackform verzerrt</li> <li>leichte Verzerrungen von schräg hinten gesehen</li> <li>der Wasserschleier ist bis unten geschlossen</li> </ul>

Tabelle 43: Datenblatt für Überlaufkörper mit 10° Anlauf

Überlaufkörper	Überlaufkörper mit 20°-Anlauf			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	0,4 cm	1,1 cm	1,15 cm	1,8 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,4 cm	1,1 cm	1,15 cm	1,8 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	21,4 cm	22,5 cm	22,6 cm	23,6 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	21,2 cm	22,4 cm	22,5 cm	23,4 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	170 cm	teils 210/ sonst 220 cm	200 cm	mind. 225 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	67 cm	75 cm	74 cm	82 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	60 cm	75 cm	75 cm	83 cm
Bogenmaß bei 210 cm	18 cm	33 cm	34 cm	39,5 cm
Bogenmaß bei 22 cm	8,5 cm	12 (+1,5) cm	11,5 (+1,5) cm	15,5 (0,5) cm
Bogenmaß bei 50 cm	12,5 cm	20,5 cm	20,5 cm	24,5 cm
Bogenmaß bei 120 cm	15,5 cm	25 cm	26 cm	30 cm
Bogenmaß am Aufriss	16,5 cm	33 cm	32 cm	42,5 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	3.59,38	0.52,70	0.51,31	0.26,06
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.28,47	0.07,02	0.03,56	0.07,24
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Rauten und Rillen auf dem Wasserschleier</li> <li>einige randparallele Rillen</li> <li>glatter, klarer Wasserschleier</li> <li>Wasserbewegung vorhanden</li> <li>es gibt nur ganz leichte Verzerrungen, die auch nur schräg von der Seite betrachtet erkennbar sind</li> <li>auch schräg von hinten ist der Wasserschleier relativ klar, aber verzerrter als bei 10°</li> <li>Ränder sind von hinten verzerrt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Rauten und Rillen auf dem Wasserschleier</li> <li>die Rillen sind am Rand etwas breiter</li> <li>glatter, klarer Wasserschleier</li> <li>Schwingungen im Wasserschleier erkennbar</li> <li>leicht streifige Verzerrung des Hintergrundes</li> <li>es gibt nur ganz leichte Verzerrungen, die auch nur schräg von der Seite betrachtet erkennbar sind</li> <li>Ränder sind von hinten verzerrt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Rauten und Rillen auf dem Wasserschleier</li> <li>Rillen sind am Rand noch breiter</li> <li>glatter, klarer Wasserschleier</li> <li>deutliche Schwingungen im Wasserschleier erkennbar</li> <li>es gibt Verzerrungen, die auch nur schräg von der Seite betrachtet erkennbar sind</li> <li>Ränder sind von hinten verzerrt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>leichte Rillen, vor allem in der Mitte erkennbar</li> <li>randparallele Streifen,</li> <li>einige Erhebungen reichen bis etwa 10 cm in den Wasserschleier hinein</li> <li>klarer Wasserschleier</li> <li>der Wasserschleier ist stabiler, allerdings im Ergebnis nicht so gut wie die 10° Variante</li> <li>es gibt nur ganz leichte Verzerrungen, die auch nur schräg von der Seite betrachtet erkennbar sind</li> <li>Ränder sind von hinten verzerrt</li> </ul>

Tabelle 44: Datenblatt für Überlaufkörper mit 20° Anlauf

Überlaufkörper	Überlaufkörper mit 30°-Anlauf			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	0,5-0,55 cm	1,15 cm	2 cm	1,3 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,5-0,55 cm	1,15 cm	2 cm	1,3 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	22,2 cm	22,9 cm	24 cm	23 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	22 cm	22,7 cm	23,8 cm	22,85 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	170 cm	195 cm	mind. 225 cm	teils 200, sonst länger
Wasserschleierbreite am Aufriss	62 cm	74 cm	81 cm	75 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	55 cm	72 cm	82 cm	74 cm
Bogenmaß bei 210 cm	13 cm	31,5 cm	39,5 cm	35 cm
Bogenmaß bei 22 cm	7,5 cm	10 (1) cm	15,0 (+3) cm	12 (1) cm
Bogenmaß bei 50 cm	10 cm	19,5 cm	23,5 cm	21 cm
Bogenmaß bei 120 cm	11 cm	24 cm	30 cm	25,5 cm
Bogenmaß am Aufriss	11,5 cm	30 cm	42 cm	34 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	2.34,59	0.47,18	0.23,84	0.46,59
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.20,95	0.07,53	0.03,94	0.06,69
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>keine Rauten, Rillen sind nur in den Spiegelungen sichtbar</li> <li>der Wasserschleier ist klar</li> <li>Leichte Bewegungen im Wasserschleier</li> <li>mittig ist der Wasserschleier leicht nach innen gewölbt</li> <li>der Wasserschleier ist etwas kürzer als der 10° Schleier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>einige Rillen schon vor der Seitenbegrenzung</li> <li>einige feine Rillen sind auf der Krone des Überlaufkörpers in der Mitte erkennbar</li> <li>der Wasserschleier ist klar</li> <li>viel Bewegung im Wasserschleier</li> <li>keine rückwärtige Aufkantung bei 22 cm –Messpunkt</li> <li>Gegenstände im Hintergrund werden verzerrt abgebildet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>die Rillen ziehen sich vom Rand in Richtung Mitte</li> <li>die Aufwölbung am Tosbeckenboden ist 3 cm tief</li> <li>der Wasserschleier ist stabiler, hat aber auch mehr Rillen, die in der Mitte und an der Seite sichtbar werden</li> <li>der Wasserschleier ist klar</li> <li>viel Bewegung im Wasserschleier</li> <li>viele Rillen werden von der Seite erkennbar</li> <li>Wasserschleier gibt die im Hintergrund liegenden Gegenstände zerfranst wieder</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>viele feine Rillen an der Seite, die direkt an der Absturzkante beginnen</li> <li>in der Mitte gibt es eine Störung mit dicken Rillen</li> <li>der Wasserschleier ist klar</li> <li>viel Bewegung im Wasserschleier</li> <li>der Wasserschleier taucht komplett geschlossen ins Tosbecken ein</li> </ul>

Tabelle 45: Datenblatt für Überlaufkörper mit 30° Anlauf

Überlaufkörper	Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 25 mm Schenkellänge			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	0,9 cm	1,7 cm	2,6 cm	1,85 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,5 cm	0,8 cm	1,2 cm	0,75 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	21,3 cm	22,1 cm	23,1 cm	22,3 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	21,2 cm	22 cm	23 cm	22,2 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	180 cm	190 cm	mind. 225 cm	teils 200 (-225 cm)
Wasserschleierbreite am Aufriss	59 cm	76 cm	82 cm	72 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	53 cm	72 cm	81 cm	73 cm
Bogenmaß bei 210 cm	9,5 cm	35,5 cm	38 cm	35 cm
Bogenmaß bei 22 cm	5,5 cm	9,5 (+1,5) cm	11,5 (+2,5) cm	9 (+3) cm
Bogenmaß bei 50 cm	9 cm	20 cm	23 cm	20 cm
Bogenmaß bei 120 cm	9,5 cm	25 cm	28,5 cm	25 cm
Bogenmaß am Aufriss	9,5 cm	31,5 cm	40 cm	34 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	2.16,57	0.52,63	0.22,79	0.53,08
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.26,99	0.10,50	0.05,32	0.09,23
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• leichte Rillen</li> <li>• der Wasserschleier ist klar</li> <li>• leichte Bewegung im Wasserschleier</li> <li>• scheint sich nach unten zusammenzuziehen und näher am Lot zu sein, als weiter oben</li> <li>• der Hintergrund wird unverzerrt dargestellt</li> <li>• Störungen durch seitliche Rillen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Wasserschleier weist feine randparallele Rillen auf, die allerdings nur von der Seite betrachtet deutlich werden</li> <li>• es gibt weniger Rillen als bei Überlaufkörpern mit 100 und 200 cm Schenkellänge, der Wasserschleier ist klar</li> <li>• leichte Bewegung im Wasserschleier</li> <li>• die Abrisskante ist blasenfrei im Gegensatz zu Überlaufkörpern mit längeren Schenkellängen</li> <li>• die Verzerrungen des Hintergrundes sind geringer als bei Überlaufkörpern mit 100 und 200 cm Schenkellänge</li> </ul>	deutliche Rillen erkennbar, jedoch weniger als bei Überlaufkörpern mit 100 und 200 cm Schenkellänge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es sind Rillen vorhanden</li> <li>• der Wasserschleier ist glatter und klarer als derjenige der mit der 4,7 l/s entsteht</li> </ul>

Tabelle 46: Datenblatt für Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 25 mm Schenkellänge

Überlaufkörper	Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 50 mm Schenkellänge			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	1	1,9	2	2,8
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,4	0,85	0,9	1,6
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	21,45	22,35	22,6	23,4
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	21,35	22,25	22,45	23,2
Wasserschleierlänge bis Aufriss	180 cm	mind. 225 cm	teils 200 cm	mind. 225 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	61 cm	71 cm	75 cm	84 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	56 cm	72 cm	73 cm	81 cm
Bogenmaß bei 210 cm	20 cm	37,5 cm	39,5 cm	46 cm
Bogenmaß bei 22 cm	7,5 (+2,5) cm	13 (+ 2) cm	15,5 (+ 1,5 ) cm	13,5 (+3-3,5) cm
Bogenmaß bei 50 cm	13 (15) cm	23,5 cm	24,5 cm	28 cm
Bogenmaß bei 120 cm	14 cm	29 cm	28,5 (+ 0,5) cm	35 cm
Bogenmaß am Aufriss	17	39 cm	37 cm	43 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	2.08,93	0.57,33	0.53,08	0.22,79
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.23,79	0.10,69	0.09,23	0.05,32
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eine tiefe breite Seitenrinne auf jeder Seite</li> <li>• der Wasserschleier ist klar und gläsern</li> <li>• der Wasserschleier wölbt sich im mittleren Bereich vor</li> <li>• an der Seitenbegrenzung ist die Vorwölbung 6 cm breit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• etwa in der Mitte sind feine Rillen erkennbar</li> <li>• der Wasserschleier ist klar, aber ein wenig verzerrt</li> <li>• die Vorwölbung ist an der Seitenbegrenzung 3 cm breit</li> <li>• das Gesamtergebnis ist schlechter als bei 25 mm Abkantung was die Klarheit betrifft und besser als die 100 und 200 mm Varianten</li> <li>• seitlich betrachtet sind feine Rillen erkennbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es sind nur feine Rillen zu sehen</li> <li>• der Wasserschleier ist klar, aber ein wenig verzerrt</li> <li>• zieht sich auch unter die Begrenzung aber nicht so weit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es gibt zwar viele feine Rillen, jedoch sind sie deutlich schwächer ausgeprägt als die Ergebnisse der nachfolgenden Varianten</li> <li>• Wasserschleier ist klar</li> <li>• zieht sich unter die Seitenbegrenzung</li> </ul>

Tabelle 47: Datenblatt für Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 50 mm Schenkellänge

Überlaufkörper	Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 100 mm Schenkellänge			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	1,1 cm	1,9 cm	2,1 cm	3,2 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,4 cm	1 cm	1 cm	1,85 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	21,5 cm	22,4 cm	22,5 cm	23,8 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	21,4 cm	22,3 cm	22,4 cm	23,65 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	170 cm	200 cm	165 -170 cm	200 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	68 cm	74 cm	82 cm	81 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	61 cm	74 cm	75 cm	80 cm
Bogenmaß bei 210 cm	32,5 cm	53 cm	53 cm	63,5 cm
Bogenmaß bei 22 cm	23,5 (+2,0) cm	24 (+6) cm	24 (+ 6,5) cm	30,5 (+2,5)cm
Bogenmaß bei 50 cm	29,5 cm	35,5 (37,5) cm	38,5 cm	44 cm
Bogenmaß bei 120 cm	30 cm	44 cm	46 cm	52 cm
Bogenmaß am Aufriss	31 cm	51,5 cm	51 cm	61,5 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	0.56,65	0.37,48	0.34,45	0.19,51
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.18,11	0.07,76	0.06,61	0.04,07
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rautenmuster auf dem Wasserfilm</li> <li>• der Wasserschleier ist klar und gläsern</li> <li>• an den Rändern Störungen durch Seitenanschlüsse</li> <li>• leichte Verzerrungen, wenn von hinten schräg durch den Wasserschleier geschaut wird</li> <li>• 3 cm breite Aufwölbung nach vorn</li> <li>• in der Mitte Wölbung etwa 4-5 cm nach innen</li> <li>• Rillen an der Seite</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es bilden sich feine Blasen an der Abrisskante, die Rillen erzeugen</li> <li>• einige feine Rillen befinden sich in der Mitte und an der Seite, die etwa 2/6 der Gesamtbreite einnehmen</li> <li>• der Wasserschleier ist dadurch nicht so gläsern</li> <li>• von der Seite betrachtet sieht der Wasserschleier fein gestreift aus und weist zunehmend mehr Verzerrungen auf wie seine Vorgänger</li> <li>• seitliche Aufwölbung erscheint fast wie eine rechtwinklige Aufkantung</li> <li>• Innenwölbung nur noch minimal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• das Erscheinungsbild ist mit dem bei 4,7 l/s identisch</li> <li>• seitliche Aufkantung bis 11 cm unter Abrisskante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rillen sind klar auf der Abrisskante erkennbar</li> <li>• macht einen rhythmisch fließenden Eindruck</li> <li>• die Rillen werden zunehmend tiefer</li> <li>• von der Seite betrachtet wird der Wasserschleier durch Längsrillen strukturiert</li> <li>• seitliche Aufkantung von 2,5 cm</li> </ul>

Tabelle 48: Datenblatt für Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 100 mm Schenkellänge

Überlaufkörper	Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 200 mm Schenkellänge			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	1,15	1,95	2,2	3,15
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,6	1	1,1	1,65
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	21,6	22,4	22,45	23,5
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	22	22,75	22,9	23,9
Wasserschleierlänge bis Aufriss	170 cm	200 cm	225 cm	225 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	66 cm	73 cm	75 cm	80 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	58 cm	73 cm	76 cm	83 cm
Bogenmaß bei 210 cm	32,5	41 cm	?	53 cm
Bogenmaß bei 22 cm	16,5 cm	18 (+ 1,75) cm	18,5 (+ 2 cm)	25 cm
Bogenmaß bei 50 cm	20	28,5	29	30/36
Bogenmaß bei 120 cm	23,5	35	35,5	53
Bogenmaß am Aufriss	22,5	41,5	44	51
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	2.25,30	0.44,19	0.37,05	0.20,99
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.12,64	0.04,38	0.04,24	0.02,70
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Wasserschleier ist glatt aber nicht so gläsern wie vorige</li> <li>• an den Seiten deutliche Rillen, einige Blasen am Rand</li> <li>• randparallele Ränder mit leichten Verzerrungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wellenartiges Fließen und dadurch unruhigerer Absturz als bei der 100 mm Variante</li> <li>• Luftblasen am Rand und in der Mitte, dort auch mehr Rillen</li> <li>• Verzerrungen des Hintergrundes</li> <li>• auf der Krone des Überlaufkörpers sind 7 Rillen erkennbar, wovon 6 Rillen immer 2 cm hoch sind</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• auf dem Überlaufkörper sind 6 feine Rillen erkennbar, zwischen denen kurze Absenkungen liegen</li> <li>• rhythmisches, wellenartiges Fließen</li> <li>• in der Mitte entsteht eine Längsrille</li> <li>• kleine Blasen auf der Absturzkante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• starke Aufwölbungen auf der Krone des Überlaufkörpers, die vermutlich das rhythmische Fließen verursachen - Wasserschleier scheint zu beben und versetzt das Holzdeck in Schwingungen</li> <li>• von der Seite betrachtet sind viele Längsrillen erkennbar</li> <li>• Hintergrundbilder sehr verzerrt mit Zick-Zackmuster</li> </ul>

Tabelle 49: Datenblatt für Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 200 mm Schenkellänge



Überlaufkörper	Viertelkreis mit einem Radius von 100 mm			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	1 cm	1,6 cm	1,9 cm	2,6 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,05 cm	0,3 cm	0,4 cm	0,65 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	21,1 cm	21,9 cm	22,15 cm	23 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	20,9 cm	21,7 cm	21,95 cm	22,8 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	165 cm	185 cm	180 cm	180 cm/teilw. 160 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	52 cm	73 cm	76 cm	82 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	41 cm	66 cm	72 cm	78 cm
Bogenmaß bei 210 cm	1,5 cm	14 cm	14 cm	17 cm
Bogenmaß bei 22 cm	9 cm	11 cm (+3)	10,5 (+4)cm	11,5 (+6) cm †
Bogenmaß bei 50 cm	7,5 cm	12 cm	12,5 cm	14,5 cm
Bogenmaß bei 120 cm	6 cm	13 cm	13,5 cm	15 cm
Bogenmaß am Aufriss	3,5 cm	14 cm	14 cm	16 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	1.48,02	0.48,65	0.43,86	0.24,23
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.15,56	0.07,91	0.07,05	0.04,10
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Wasserschleier ist nicht so glatt wie die anderen dieser Reihe</li> <li>• er ist am Tosbeckenboden nur noch 92 cm breit und löst sich also auf jeder Seite um 4 cm von der Seitenbegrenzung ab</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Wasserschleier weist Rillen und Randeinflüsse auf dem Wasserschleier auf</li> <li>• es entstehen verkehrt v-förmige Rillen, die den Wasserschleier gliedern</li> <li>• der Wasserschleier hat eine linsenförmige Aufkantung nach vorn, die 3 cm breit und 10 cm lang ist</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Störungen am Absturz durch Rillen</li> <li>• der Wasserschleier wölbt sich unter der Seitenbegrenzung heraus und ist somit breiter als 100 cm</li> <li>• an der Seitenbegrenzung entsteht die zuvor beschriebene Aufkantung in Form einer Linse oder Fischblase</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sehr viele Rillen, die den Wasserschleier in Längsrichtung strukturieren</li> <li>• der Wasserschleier wölbt sich unter der Seitenbegrenzung heraus</li> <li>• die Krone des Überlaufkörpers scheint glatt überflossen zu werden, dennoch bilden sich an der Unterkante starke Rillen, Die Aufkantung nach vorn ist 6 cm breit</li> </ul>

Tabelle 50: Datenblatt für Überlaufkörper mit Viertelkreis und 100 mm Radius

Überlaufkörper	Achtelkreis mit einem Radius von 100 mm			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	0,9 cm	1,7 cm	2 cm	2,7 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,2 cm	0,5 cm	0,6 cm	1 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	20,95 cm	21,85 cm	22,1 cm	22,95 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	20,85 cm	21,65 cm	21,9 cm	22,75 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	175-180 cm	200 cm	190 cm	mind. 225 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	62 cm	74 cm	75 cm	80 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	56 cm	72 cm	73 cm	79 cm
Bogenmaß bei 210 cm	37,5 cm	44 cm	45 cm	46 cm
Bogenmaß bei 22 cm	13 (+ 1,5) cm	14 (+2) cm	14,5 cm	14,5 (+2,0) cm
Bogenmaß bei 50 cm	23,5	27 cm	27,5 cm	28 cm
Bogenmaß bei 120 cm	29 cm	32 cm	34 cm	34,5 cm
Bogenmaß am Aufriss	33 cm	41,5 cm	42 cm	50 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	2.03,06	0.48,34	0.42,57	0.24,64
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.17,85	0.08,07	0.06,79	0.04,00
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Wasserschleier ist 5 mm unter der Seitenbegrenzung auf einer Länge von 3,5 cm herausgewölbt</li> <li>• es sind einige deutliche Rauten im Wasserschleier zu sehen, mit vielen feinen seitlichen Rillen</li> <li>• von hinten durchgeschaut zeigt sich der Wasserschleier schön klar, nur ganz feine Rillen und leichte Verzerrungen in Längsstreifen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• feine Rillen sind von vorn betrachtet erkennbar, allerdings noch stärker von der Seite zu sehen</li> <li>• seitliche Auswölbung von 2 cm an der Unterkante der Seitenbegrenzung</li> <li>• von der Seite gesehen gibt es viele Längsrillen und von hinten geschaut Verzerrungen des Hintergrundes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Längsrillen, aber klar</li> <li>• besser im Ergebnis als bei 4,7 l/s Durchflussmenge</li> <li>• 1,5 cm breite Aufkantung statt seitlicher Auswölbung</li> <li>• wölbt sich leicht nach außen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• in der Mitte und an den Rändern einige lange Rillen, die sich 'tanzend' an der Absturzkante hin und herbewegen</li> <li>• von der Seite sind Rillen am Überlaufkörper gut erkennbar, Längsrillen führen auch zu Verzerrungen des Hintergrundes</li> <li>• seitlich 2 cm breite Auswölbung wie bei 4,7 l/s Durchflussmenge</li> </ul>

Tabelle 51: Datenblatt für Überlaufkörper mit Achtelkreis und 100 mm Radius

Überlaufkörper	Achtelkreis mit einem Radius von 200 mm			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	1,05 cm	1,85 cm	2,1 cm	2,95 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,2 cm	0,4 cm	0,6 cm	0,75 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	21,45 cm	22,4 cm	22,7 cm	23,55 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	21,35cm	22,3 cm	22,5 cm	23,4 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	170 cm	200 - 225 cm	195 cm	mind. 225 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	62 cm	74 cm	76 cm	81 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	54 cm	73 cm	75 cm	82 cm
Bogenmaß bei 210 cm	48 cm	59 cm	58,5 cm	61 cm
Bogenmaß bei 22 cm	21,5 cm	21,5 (+1,5) cm	21,5(+3,) cm	21,5(+3) cm
Bogenmaß bei 50 cm	32 cm	37 cm	37 cm	38,5 cm
Bogenmaß bei 120 cm	37 cm	42,5 cm	44,5 cm	45 cm
Bogenmaß am Aufriss	44,5 cm	57 cm	56 cm	63 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	3.01,57	0.46,84	0.43,79	0.23,12
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.30,29	0.07,85	0.07,33	0.03,96
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>deutliche Rauten mit einem feinen plastischen Rautenmuster erkennbar</li> <li>der Wasserschleier ist klar</li> <li>randparallele Rillen beginnen erst an der Abrisskante des Wasserschleiers</li> <li>der Wasserfilm fließt auf der Krone ganz gleichmäßig und glatt, es ist fast kein Fließen erkennbar</li> <li>von der Seite sind leichte Rillen und minimale Verzerrungen des Hintergrundes erkennbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rillen sind in der Mitte und am Rand erkennbar, sonst ist der Wasserschleier klar</li> <li>sie sind von der Seite sehr gut erkennbar</li> <li>Verzerrungen des Hintergrundes von hinten betrachtet</li> <li>leichte Einflüsse</li> <li>etwas weitere Verbreiterung</li> <li>1,5 cm starke Umkantung nach rückwärts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>klarer, glatter Wasserschleier mit Rillen an den Seiten, die oben auf der Krone beginnen</li> <li>2,5 cm starke Umkantung</li> <li>der Wasserschleier erscheint unruhiger als bei 4,7 l/s</li> <li>Verzerrungen des Hintergrundes</li> <li>zwischen den Rillen ist er allerdings sehr klar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>der Wasserschleier hat nicht viel mehr Rillen als der vorige!</li> <li>Verzerrungen sind nicht so deutlich wie bei 90°Winkel mit 200 mm Schenkellänge</li> <li>der Wasserschleier ist seitlich verbreitert durch Herauswölben unter der Seitenbegrenzung</li> <li>Verbreiterung wie schon bei 4,66 l/s</li> <li>3,0 cm starke Umkantung</li> </ul>

Tabelle 52: Datenblatt für Überlaufkörper mit Achtelkreis und 200 mm Radius

Überlaufkörper	Achtelkreis mit einem Radius von 300 mm			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	0,9 cm	1,55 cm	1,9 cm	2,5 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,15 cm	0,65 cm	0,5 cm	0,9 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	21,7 cm	22,5 cm	22,7 cm	23,6 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	21,6 cm	22,4 cm	22,6 cm	23,5 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	175 cm	195 cm	195 cm	185 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	63 cm	75 cm	75,5 cm	84 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	56 cm	73 cm	74 cm	82 cm
Bogenmaß bei 210 cm	59,5 cm	69 cm	71 cm	73,5 cm
Bogenmaß bei 22 cm	26,5 (+3) cm	29 cm	27,5 (+3) cm	29,5 (+2,5) cm
Bogenmaß bei 50 cm	48/51 cm	53 cm	53,5 cm	54 cm
Bogenmaß bei 120 cm	49,5 cm	55 cm	54,5 cm	57 cm
Bogenmaß am Aufriss	56,5 cm	66,5 cm	67 cm	69 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	1,40,28	0.38,33	0.41,27	0.19,12
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.05,36	0.02,50	0.02,44	0.01,57
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es gibt deutlich plastische Rautenmuster mit dicken Rillen, die sich bis zum Aufriss fortsetzen</li> <li>• die Oberfläche des Wasserschleiers hat eine orangenhautartige Struktur</li> <li>• leichte Bewegung im Wasserschleier</li> <li>• 4,5 cm Umkanntungsbreite an der Unterkante des Tosbeckens</li> <li>• sehr verzerrt von hinten</li> <li>• von der Seite sind die Rillen nur schwach erkennbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• die plastischen Muster verstärken sich</li> <li>• der Wasserschleier ist stark zerfurcht</li> <li>• vereinzelt ziehen wellenartige Bewegungen über den Wasserschleier</li> <li>• an der Unterkante des Tosbeckens ist der Wasserschleier 1,5 cm herausgewölbt</li> <li>• der Wasserschleier klebt bis 7 cm über Unterkante der Seitenbegrenzung am Seitenbrett</li> <li>• weniger Rillen an der Seitenbegrenzung als bei 2 l/s Durchflussmenge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mehr Rillen als bei 10 l/s Durchflussmenge</li> <li>• kein klarer Schleier</li> <li>• Seiten wie Orangenhaut strukturiert</li> <li>• löst sich bei 5 cm an der Unterkante der Seitenbegrenzung ab</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• löst sich bei 6 cm über der Unterkante der Seitenbegrenzung ab</li> <li>• Rillen werden geringer, Wasserschleier wird trotzdem nicht richtig klar</li> <li>• wölbt sich unter der Seitenbegrenzung heraus</li> <li>• in der Mitte gibt's viele Rillen</li> </ul>

Tabelle 53: Datenblatt für Überlaufkörper mit Achtelkreis und 300 mm Radius

Überlaufkörper	15°-Anlauf mit einem Radius von 35 mm			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	0,9 cm	1,6 cm	2 cm	2,7 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,5 cm	0,5 cm	0,55 cm	1 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	23,7 cm	24,45 cm	24,7 cm	25,6 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	23,5 cm	24,25 cm	24,55 cm	24,45 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	160 cm	175 cm	190 cm	mind. 225 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	49 cm	76 cm	75 cm	79 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	31,5cm	72 cm	74 cm	80 cm
Bogenmaß bei 210 cm	4 cm	11 cm	13,5 cm	10 cm
Bogenmaß bei 22 cm	6 cm	8 cm	7,5 cm	7,5 cm
Bogenmaß bei 50 cm	4,5 cm	8,5 cm	9 cm	8,5 cm
Bogenmaß bei 120 cm	3,5 cm	10 cm	10,5 cm	9 cm
Bogenmaß am Aufriss	3 cm	10,5 cm	12 cm	-
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	Messungszettel fehlt		Messungszettel fehlt	
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)		Messungszettel fehlt		Messungszettel fehlt
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• es gibt weniger Rauten als bei der Variante mit 45 mm Radius</li> <li>• der Wasserschleier ist etwas milchig</li> <li>• weiche Rillen unter der Abrisskante erkennbar</li> <li>• geringe Verzerrungen von der Seite erkennbar</li> <li>• fällt in Richtung Rückwand</li> <li>• der Wasserschleier fällt etwas nach hinten</li> <li>• das Ergebnis ist besser als der Wasserschleier am Überlaufkörper mit Halbkreis von 45 mm Radius</li> <li>• kürzester und schmalster Wasserschleier</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mehr Rillen als Rauten</li> <li>• Rillen laufen rhythmisch ab und wandern dabei nach rechts und links</li> <li>• Wasserfilm ist streifig und flackert ganz auffällig</li> <li>• der Wasserfilm fällt fast senkrecht nach unten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mehr Rillen als Rauten</li> <li>• vgl. 4,7 l/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• viele feine Rillen zeichnen sich im Wasserschleier ab</li> <li>• er ist schlechter als der Überlaufkörper mit 45 mm Radius und hat ein bisschen mehr Rillen</li> <li>• weist viele Rillen und Verzerrungen von der Seite her betrachtet auf</li> </ul>

Tabelle 54: Datenblatt für Überlaufkörper mit 15° Anlauf und 35 mm Radius

Überlaufkörper	15°-Anlauf mit einem Radius von 45 mm			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	0,9 cm	1,7 cm	1,9 cm	2,55 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,25 cm	0,5 cm	0,5 cm	0,85 cm
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	25,7 cm	25,35 cm	25,7 cm	26,3 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	25,5 cm	25,2 cm	25,5 cm	26,2 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	170 cm	195 cm	185 cm	195 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	62 cm	73 cm	76 cm	81 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	52 cm	72 cm	73 cm	81 cm
Bogenmaß bei 210 cm	17,5	21 cm	18,5 cm	17 cm
Bogenmaß bei 22 cm	9,5	10,5 cm (+2)	10,5 cm (+4) (12 cm lang)	10 cm (+ 2)
Bogenmaß bei 50 cm	12,5	14,5 cm	14 cm	13 cm
Bogenmaß bei 120 cm	13,5	15,5 cm	15 cm	14 cm
Bogenmaß am Aufriss	15	20,5 cm	17,5 cm	16,5 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	0.15,24	0.51,32	0.40,47	0.26,20
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.18,97	0.06,95	0.06,35	0.03,54
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• viele plastische Rillen erkennbar, die am Absturz beginnen, sich verkehrt v-förmig fortsetzen und teilweise Rauten bilden</li> <li>• der Wasserschleier ist nicht klar und nicht glatt</li> <li>• er klebt an den Seiten</li> <li>• Wasserschleier tendiert zur Rückwand hin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• der Wasserschleier hat viele Rauten und Längsrillen</li> <li>• direkt an der Abrisskante sind keine Störungen erkennbar, allerdings werden diese von der Seite her sichtbar</li> <li>• vorgewölbtes Dreieck unter der Seitenbegrenzung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rauten und Rillen unterhalb des Absturzes erscheinen irgendwie weich</li> <li>• nur leicht verzerrt</li> <li>• milchig</li> <li>• von der Seite erkennbar</li> <li>• es scheint, als flackere das Wasser auf der Krone</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• viele feine Rillen, an und unter der Abrisskante beginnend, werden von der Seite her sichtbar</li> <li>• nicht richtig klar</li> <li>• der Hintergrund ist verzerrt und wird dadurch verfremdet</li> <li>• vorgewölbtes Dreieck unter der Seitenbegrenzung</li> </ul>

Tabelle 55: Datenblatt für Überlaufkörper mit 15° Anlauf und 45 mm Radius

Überlaufkörper	30° - Winkel mit einer Schenkellänge von 50 mm			
Durchflussmenge	2 l/s	4,7 l/s	5,4 l/s	10 l/s
Wasserfilmhöhe ü. Krone	0,9 cm	1,3 cm	1,5 cm	2,7 cm
Wasserfilmhöhe am Absturz	0,2 cm	0,5 cm	0,5 cm	-
Wasserfilmhöhe 80 cm vor Überlaufkörper	21,1 cm	21,7 cm	21,85 cm	22,6 cm
Wasserfilmhöhe 60 cm vor Überlaufkörper	21 cm	216 cm	21,75-22 cm	22,45 cm
Wasserschleierlänge bis Aufriss	170 cm	160 cm	155 cm	mind. 225 cm
Wasserschleierbreite am Aufriss	62 cm	78 cm	78 cm	80 cm
Wasserschleierbreite bei 210 cm	55 cm	74 cm	73 cm	81 cm
Bogenmaß bei 210 cm	22,5 cm	25 cm	24 cm	34,5 cm
Bogenmaß bei 22 cm	6 cm	6 (+2) cm	6,5 (+ 1,5) cm	9,5 (+ 2,5) cm
Bogenmaß bei 50 cm	12 cm	25 cm	14,5 cm	21 cm
Bogenmaß bei 120 cm	16 cm	19 cm	17,5 cm	25,5 cm
Bogenmaß am Aufriss	18,5 cm	23,5 cm	21,5 cm	35,5 cm
Zeit für eine Fließstrecke von 126 cm (min)	1.50,26	0.42,84	0.40,39	0.21,20
Zeit für eine Fließstrecke von 36 cm (min)	0.17,41	0.06,92	0.06,45	0.03,66
Besonderheiten Auffälligkeiten	<ul style="list-style-type: none"> <li>plastische Linien ohne Rautenbildung</li> <li>keine Rillen erkennbar</li> <li>feine Streifen von der Seite und Verzerrungen des Hintergrundes erkennbar</li> <li>sehr streifig</li> <li>breite Seiteneinflüsse sichtbar</li> <li>seitlich nicht sehr stark verzerrt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>sehr feine Streifen und Rillen am Abriss erkennbar</li> <li>etwas milchiger, dadurch scheint der Hintergrund nicht gut durch - dieser ist sehr verzerrt</li> <li>pulsierend an der Abrisskante</li> <li>streifiger von hinten</li> <li>früher Aufriss</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>die Wasserfilmoberfläche weist eine orangenhautähnliche Struktur auf</li> <li>der Wasserschleier scheint zu flimmern</li> <li>milchig</li> <li>direkt am Abriss sind keine Rillen erkennbar, sie bilden sich erst tiefer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>besonders streifig</li> <li>der Wasserschleier schießt über die Kante, (weshalb auch keine Wasserfilmhöhe am Abriss messbar ist) zieht sich aber teilweise wieder an die Überlaufkörper heran und schließt dabei Luft ein, die sich als große Luftlinsen unter dem Wasserschleier an der Abrisskante abzeichnen</li> <li>sie erzeugen große Rillen</li> <li>der Wasserschleier pulsiert und ist milchig, auch verzerrt er die Gegenstände im Hintergrund</li> </ul>

Tabelle 56: Datenblatt für Überlaufkörper mit 30° Winkel

## 9.4 ANHANG ZU KAPITEL 5.2

### Tabellarische Auflistung der Kategorien, Proportionen, Wasserfilmhöhen und Durchflussmengen und die dazugehörigen Kategorien

In den nachfolgenden Tabellen wird ablesbar, dass es in unterschiedlichen Neigungen, Proportionen und Durchflussmengen möglich ist, das gleiche Wasserbild zu erzielen.

#### STRUKTURARM

Wfh bei 1 l/s	PROP. 1:1			PROP. 1:2					PROP. 1:4		PROP. 1:8	PROP. 2:1		PROP. 4:1	PROP. 8:1
	NEIGUNG	10°	20°	30°	10°	20°	30°	40°	50°	10°	20°	10°	10°	20°	10°
KRONE 1	0,4	0,45	0,4	0,5	0,5	0,45	0,45	0,4	0,5	0,5	0,4	5,6	2,5	1,2	0,6

Tabelle 57: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Strukturarm'

#### FEINSTRAHL

WFH bei 1 l/s	PROP. 1:1	PROP. 2:1
	40°	30°
KRONE 1	0,40	0,70

Tabelle 58: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Feinstrahl'

#### V-FÖRMIGER FEINSTRAHL

WFH bei 1 l/s	PROP. 1:1	PROP. 4:1
	50°	20°
KRONE 1	0,20	0,60

Tabelle 59: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'V-Förmiger Feinstrahl'

#### PLASTISCHE STRUKTUREN

WFH bei 3 l/s	PROP. 1:1			PROP. 1:2	PROP. 1:4		PROP 1:8
	10°	20°	30°	10°	10°	20°	10°
KRONE 1	0,85	0,8 - 0,9	0,80	0,9	1,0	0,9	1,0

WFH bei 5 l/s	PROP. 1:1			PROP. 1:2		PROP. 1:4
	10°	10°		10°	20°	10°
KRONE 1	1,1	1,15	-	1,25	1,2	1,45

WFH bei 10 l/s	PROP. 1:1			PROP. 1:2
	10°	10°	30°	10°
KRONE 1	1,9 - 2,0	-	-	2,0



WFH bei 3 l/s	PROP. 1:1			PROP. 2:1		PROP. 4:1	PROP. 8:1
	10°	20°	30°	10°	20°	10°	10°
KRONE 1	0,85	0,8 - 0,9	0,80	6,00	3,15	1,90	1,30

WFH bei 5 l/s	PROP. 1:1		PROP. 2:1	PROP. 4:1	PROP. 8:1
	10°	20°	10°		
KRONE 1	1,1	1,15	6,50	-	-

WFH bei 10 l/s	PROP. 1:1	PROP. 2:1	
	10°	10°	20°
KRONE 1	1,9 - 2,0	7,50	-

Tabelle 60: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Plastische Strukturen'

### DREIECKSTRUKTUREN MIT SCHWEIFEN

WFH bei 1 l/s	PROP. 1:4			PROP. 1:8		
	30°	40°	50°	20°	30°	40°
KRONE 1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

WFH bei 3 l/s	PROP. 1:2		
	20°	30°	40°
KRONE 1	0,8	0,8	0,8

Tabelle 61: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Dreieckstrukturen mit Schweifern'

### FEINE STRAHLEN & SCHWEIFE

Wfh bei 1 l/s	PROP. 1:2			PROP. 1:4	PROP. 1:8	PROP. 1:1		PROP. 4:1		
NEIGUNG	70°	80°	60°	70°	80°	60°	70°	40°	50°	60°
KRONE 1	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,10	0,50	0,50	0,40

Tabelle 62: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Feine Strahlen und Schweife'

### WASSERKLUMPEN

WFH bei 3 l/s	PROP. 1:4	PROP. 1:8
	30	20°
KRONE 1	0,9	N.M

WFH bei 5 l/s	PROP. 1:1		PROP. 1:2	PROP. 1:4		PROP. 1:8
		30°	10°	10°	20°	30°
KRONE 1	-	1,1	1,45	1,5	1,3	1,00

WFH bei 10 l/s	PROP. 1:1	PROP. 1:4		PROP. 1:8
	20°	10°	20°	10°
KRONE 1	1,90	2,2	2,1	2,35

WFH bei 5 l/s	PROP. 1:1	PROP. 2:1		PROP. 4:1	PROP. 8:1
	30°	10°	20°	10°	10°
KRONE 1	1,00	-	-	2,40	1,80

WFH bei 10 l/s	PROP. 1:1			PROP. 2:1		PROP. 8:1
	10°	20°	30°	10°	20°	10°
KRONE 1	-	1,90	-	-	-	2,9 - 3,0

Tabelle 63: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Wasserklumpen'

## WASSERSTRAHLEN

WFH bei 1 l/s	PROP. 1:4	PROP. 1:8		
	60°	50°	60°	70°
KRONE 1	0,5	0,5	0,5	0,45

WFH bei 3 l/s	PROP. 1:1	PROP. 2:1	PROP. 4:1		PROP. 8:1	
	40°	30°	20°	30°	20°	
KRONE 1	0,70	1,40	1,30	1,20	1,15	

WFH bei 5 l/s	PROP. 2:1	PROP. 4:1	PROP. 8:1						
	30°	30°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
KRONE 1	1,90	1,50	1,55	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00	?-

WFH bei 10 l/s	PROP. 4:1		PROP. 8:1					
	30°	40°	40°	50°	60°	70°	80°	
KRONE 1	2,50	2,30	2,00	1,80	1,70	1,55	1,50	

Tabelle 64: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Wasserstrahlen'

## SCHÄUMENDE STRAHLEN

WFH bei 5 l/s	PROP. 1:1	PROP. 1:4	PROP. 1:8		PROP. 2:1	PROP. 4:1
		30°	20°	30°	20°	20°
KRONE 1	-	1,25-1,3	1,3	N.M.	3,60	1,80

WFH bei 10 l/s	PROP. 1:1	PROP. 1:2	PROP. 1:8	PROP. 2:1		PROP. 4:1		PROP. 8:1	
	30°	20°	-20°	20°	10°	20°	30°	20°	30°
KRONE 1	1,80	1,85	-2,15	4,60	3,40	2,90	2,9 - 3,0	2,50	2,20

Tabelle 65: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Schäumende Strahlen'

## WASSERSCHLEIER & SCHÄUMENDE STRAHLEN

WFH bei 3 l/s	PROP. 1:4		PROP. 1:8	
	40°			30°
KRONE 1	0,8	-	-	N.M.

WFH bei	PROP. 1:1	PROP. 1:2		PROP. 1:4	PROP. 1:8
10 l/s		30°	40°	30°	30°
KRONE 1	-	1,95	1,8	1,9-1,95	N.M.

WFH bei 3 l/s	PROP. 1:1			PROP. 2:1		PROP. 4:1	PROP. 8:1
	10°	20°	30°	10°	20°	10°	10°
KRONE 1	0,85	0,8 - 0,9	0,80	6,00	3,15	1,90	1,30

WFH bei 5 l/s	PROP. 1:1			PROP. 2:1	
	10°	20°		10°	
KRONE 1	1,1	1,15	-	6,50	-

WFH bei	PROP. 1:1			PROP. 2:1	
	10 l/s	10°	20°	30°	10°
KRONE 1	1,9 - 2,0	-	-	7,50	-

Tabelle 66: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Wasserschleier & Schäumende Strahlen'

## ALTERNIERENDE WASSERSCHLEIER

WFH bei 1 l/s	PROP. 2:1		PROP. 4:1	PROP. 8:1		
	40°	50°	30°	20°	30°	40°
KRONE 1	0,60	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Tabelle 67: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Alternierende Wasserschleier'

## V-FÖRMIG, WASSERSCHLEIER MIT RILLEN UND STRAHLEN

WFH bei	PROP. 4:1		PROP. 8:1					
	3 l/s	60°	70°	30°	40°	50°	60°	70°
KRONE 1	0,8-	0,8	1,00	0,85	0,80	0,80	0,7	0,7

Tabelle 68: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'V-förmig, Wasserschleier mit Rillen und Strahlen'

## V-FÖRMIGER FEINSTRahl

WFH bei	PROP. 1:1	PROP. 4:1
	1 l/s	50°
KRONE 1	0,20	0,60

Tabelle 69: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'V-förmiger Feinstrahl'

## V-FÖRMIGE STRAHLEN

WFH bei 1 l/s	PROP. 2:1			PROP. 4:1		PROP. 8:1			
	60°	70°	80°	70°	80°	50°	60°	70°	80°
KRONE 1	0,40	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,35	0,40

Tabelle 70: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'V-Förmige Strahlen'

## UNTERSCHIEDLICHE WASSERSCHLEIER

WFH bei 3 l/s	PROP. 2:1	PROP. 2:1		PROP. 4:1	
	40°	50°	60°	40°	50°
KRONE 1	1,20	1,00	0,90	1,0	0,95

WFH bei 5 l/s	PROP. 2:1		PROP. 8:1	
	40°	50°	30°	40°
KRONE 1	1,30	1,20	1,40	1,30

WFH bei 10 l/s	PROP. 2:1
	40°
KRONE 1	2,50

Tabelle 71: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Unterschiedliche Wasserschleier'

## 9.5 Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Ausbildung des Radius des Überlaufrandes in Abhängigkeit der Wasserfilmhöhe	22
Tabelle 2: Wasserschleierlänge und Wasserbedarf, CROCKER (1987)	31
Tabelle 3: Wasserfilmhöhen (Wfh) und Wasserbedarf, Tabellenauszug, CROCKER (1987: 324)	32
Tabelle 4: Durchflussmengen und Wasserfilmhöhen (Wfh), CROCKER (1987) und ORTMAIR (1974).	32
Tabelle 5: Ergebnisse der Messungen zu Wasserschleiern	40
Tabelle 6: Ergebnisse der Messungen an Objekten mit Wassertreppen	47
Tabelle 7: Dokumentation der Tastversuche am Überlaufkörper mit 10° Anlauf	77
Tabelle 8: Zusammenstellung der Messwerte im Vergleich der Überlaufkörper bei 2 l/s im Innenraum	91
Tabelle 9: Absenkung des Wasserspiegels an 14 Überlaufkörpern	92
Tabelle 10: Bogenmaße der Wasserschleier an unterschiedlichen Überlaufkörpern	95
Tabelle 11: Qualitäts- und Beeinträchtigungsliste zur Wasserschleierbewertung	96
Tabelle 12: Ergebnistabelle der Wasserschleierbreite mit und ohne 40 cm Bleche, Aufstellwinkel von 25-60°	110
Tabelle 13: Ergebnistabelle der Wasserschleierbreite mit 30 cm Blechen, Aufstellwinkel von 40-45°	110
Tabelle 14: Ergebnistabelle der Wasserschleierbreite mit 40 cm Blechen, Aufstellwinkel von 30-45°	110
Tabelle 15: Messergebnisse mit Durchflussmengen zwischen 2 und 15 l/s	112
Tabelle 16: Zusammenstellung der Kategorien nach Versuchsreihen und der Proportion 1:1	147
Tabelle 17: Wasserfilmhöhen und Wasserbilder der Versuchsreihen WT 1 und 2 bei einer Durchflussmenge von 1 l/s	148
Tabelle 18: Wasserfilmhöhen und Wasserbilder der Versuchsreihen WT 1 und 2 bei einer Durchflussmenge von 3 l/s	150
Tabelle 19: Wasserfilmhöhen und Wasserbilder der Versuchsreihen WT 1 und 2 bei einer Durchflussmenge von 5 l/s	152
Tabelle 20: Wasserfilmhöhen und Wasserbilder der Versuchsreihen WT 1 und 2 bei einer Durchflussmenge von 10 l/s	153
Tabelle 21: Zusammenfassung der Wasserbilder bei unterschiedlichen Proportionen und Durchflussmengen aus Versuchsreihe 1	154
Tabelle 22: Zusammenfassung der Wasserbilder bei unterschiedlichen Proportionen und Durchflussmengen aus Versuchsreihe 2.	155

Tabelle 23:	Wasserbilder der Proportion 1:2 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 1 l/s	160
Tabelle 24:	Wasserbilder der Proportion 1:2 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 3 l/s	161
Tabelle 25:	Wasserbilder der Proportion 1:2 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 5 l/s	161
Tabelle 26:	Wasserbilder der Proportion 1:2 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 10 l/s	161
Tabelle 27:	Wasserbilder der Proportion 1:4 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 1 l/s	162
Tabelle 28:	Wasserbilder der Proportion 1:4 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 3 l/s	163
Tabelle 29:	Wasserbilder der Proportion 1:4 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 5 l/s	163
Tabelle 30:	Wasserbilder der Proportion 1:4 mit verschiedenen Stufenwinkeln und Neigungen bei 10 l/s	163
Tabelle 31:	Wasserfilmhöhen, Durchflussmengen und Wasserschleierlängen bei einem Überlaufkörper mit 10° Anlauf	177
Tabelle 32:	Wasserbedarf und Fließgeschwindigkeiten über der Krone für verschiedene Wasserfilmhöhen	179
Tabelle 33:	Werte für Wasserfilmhöhe, Durchflussmenge, Fließgeschwindigkeit über Krone, Wasserschleierlänge und durchschnittliche Fließgeschwindigkeit	181
Tabelle 34:	Wasserfilmhöhen (Wfh) für das Wasserbild 'Schäumende Strahlen'	185
Tabelle 35:	Wasserfilmhöhen (Wfh) für das Wasserbild 'Wasserschleier und schäumende Strahlen'	185
Tabelle 36:	Soll- und Istwerte von AURAND, SCRIVENS, und SEEGERT zu Wasserfilmhöhen für wasserfallartige Effekte.	186
Tabelle 37:	Fließgeschwindigkeiten für alle Proportionen und Neigungen bei 1 l/s	191
Tabelle 38:	Fließgeschwindigkeiten für alle Proportionen und Neigungen bei 3 l/s	191
Tabelle 39:	Fließgeschwindigkeiten für alle Proportionen und Neigungen bei 5 l/s	191
Tabelle 40:	Fließgeschwindigkeiten für alle Proportionen und Neigungen bei 10 l/s	192
Tabelle 41:	Checkliste zur Erfassung der einzelnen Merkmale im Wasserbild	224
Tabelle 42:	Datenblatt zur Erhebung der Wasserfilmhöhen am Beispiel 10° Neigung und 10 l/s	225
Tabelle 43:	Datenblatt für Überlaufkörper mit 10° Anlauf	227
Tabelle 44:	Datenblatt für Überlaufkörper mit 20° Anlauf	228
Tabelle 45:	Datenblatt für Überlaufkörper mit 30° Anlauf	229

Tabelle 46:	Datenblatt für Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 25 mm Schenkellänge	230
Tabelle 47:	Datenblatt für Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 50 mm Schenkellänge	231
Tabelle 48:	Datenblatt für Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 100 mm Schenkellänge	232
Tabelle 49:	Datenblatt für Überlaufkörper mit rechtem Winkel und 200 mm Schenkellänge	233
Tabelle 50:	Datenblatt für Überlaufkörper mit Viertelkreis und 100 mm Radius	234
Tabelle 51:	Datenblatt für Überlaufkörper mit Achtelkreis und 100 mm Radius	235
Tabelle 52:	Datenblatt für Überlaufkörper mit Achtelkreis und 200 mm Radius	236
Tabelle 53:	Datenblatt für Überlaufkörper mit Achtelkreis und 300 mm Radius	237
Tabelle 54:	Datenblatt für Überlaufkörper mit 15 ° Anlauf und 35 mm Radius	238
Tabelle 55:	Datenblatt für Überlaufkörper mit 15 ° Anlauf und 45 mm Radius	239
Tabelle 56:	Datenblatt für Überlaufkörper mit 30° Winkel	240
Tabelle 57:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Strukturarm'	241
Tabelle 58:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Feinstrahl'	241
Tabelle 59:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'V-förmiger Feinstrahl'	241
Tabelle 60:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Plastische Strukturen'	241/42
Tabelle 61:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Dreieckstrukturen und Schweife'	242
Tabelle 62:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Feine Strahlen und Schweife'	242
Tabelle 63:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Wasserklumpen'	242
Tabelle 64:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Wasserstrahlen'	242/243
Tabelle 65:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Schäumende Strahlen'	243
Tabelle 66:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Wasserschleier und Schäumende Strahlen'	244
Tabelle 67:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Alternierende Wasserschleier'	244
Tabelle 68:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'V-förmig, Wasserschleier, mit Rillen und Strahlen'	244
Tabelle 69:	Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie	244

rie 'V-förmiger Feinstrahl'

Tabelle 70: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'V-förmige Strahlen' 245

Tabelle 71: Wasserfilmhöhen, Proportionen und Neigungen für die Kategorie 'Unterschiedliche Wasserschleier' 245



## 9.6 *Darstellungsverzeichnis*

	Seite
Darstellung 1: Prinzipskizze eines Überlaufkörpers mit rechtem Winkel	19
Darstellung 2: Klassifikation der Überlaufkörper aus 'Fountains and Pools', AURAND (1991: 132)	20
Darstellung 3: 'Rounded Rollover Type Rim', Campbell (1982: 94)	21
Darstellung 4: 'Square spill lips', Campbell (1982: 97)	21
Darstellung 5: 'Rounded spill lips', Campbell (1982: 97)	21
Darstellung 6: Prinzipskizze eines Überlaufkörpers zur Erzielung klarer Wasserschleier, Crocker (4/1987: 325)	22
Darstellung 7: Einwirkung der Kohäsionskräfte auf einen Wasserstrahl	23
Darstellung 8: Unterschiedliche Einflüsse der Kohäsion auf das Fließverhalten	23
Darstellung 9: Ausbildung des Überlaufkörpers mit abgesenkten Seitenbereichen, Crocker (3/1978: 206).	25
Darstellung 10: Wechselwirkungen zwischen Adhäsion, Kohäsion und Wasserfilmhöhe, Ortmair, (1974: 33)	26
Darstellung 11: Strahlabsenkung in Abhängigkeit des Überlaufkörpers, DRACOS (1990: Kapitel 15.2, Fig. 15.5)	27
Darstellung 12: Abstürze und Überfälle mit breiter Krone, DRACOS (1990, Kapitel 15.2.1.2/ Fig.15.7 )	28
Darstellung 13: Überfallformel nach BELANGER aus DRACOS (1990: Kapitel 15.2.1.2 Fig. 15.8)	28
Darstellung 14: Prinzipskizze der Wasserspiegelabsenkung	29
Darstellung 15: Hinterlüftung des Wasserschleiers, ORTMAIR (1974:30)	30
Darstellung 16: Die Fließrichtung des Wasserschleiers wird durch den Unterdruck hinter dem Wasserschleier bedingt, DRACOS (1990: Fig 15.10)	30
Darstellung 17: 'Kaskade'	39
Darstellung 18: 'Aufstau und Überlaufkörper'	39
Darstellung 19: 'Wassertisch'	39
Darstellung 20: Prinzipskizze zu Auftritt mit Gefälle in Fließrichtung	48
Darstellung 21: Prinzipskizze zu Auftritt mit Gegengefälle	48
Darstellung 22: Prinzipskizze einer geneigten Treppe	48
Darstellung 23: Schweizer Platz, München	49
Darstellung 24: Weltkugelbrunnen auf dem Breitscheidplatz, Berlin	49
Darstellung 25: Wassertreppe der LBS Stuttgart, Stuttgart	49
Darstellung 26: Reiherbrunnen, Allianz Stuttgart, Stuttgart	50
Darstellung 27: Parc Joan Miró, Paris	50
Darstellung 28: Parc de Bercy & Parc André Citroën, Paris	50

Darstellung 29:	Cité des Science et de L'Industrie, Paris	51
Darstellung 30:	Parc André Citroën, Paris	51
Darstellung 31:	Prinzipskizze der Tragkonstruktion zum Versuchsaufbau 'Wasserschleier' und 'Wassertreppen'	55
Darstellung 32:	Prinzipschnitt durch die Versuchsanlage 'Wasserschleier'	56
Darstellung 33:	Prinzipschnitt durch die Versuchsanlage 'Wassertreppen'	57
Darstellung 34:	Querschnitt durch das Tosbecken für die Versuchsreihe 'Wasserschleier'	57
Darstellung 35:	Längsschnitt durch das Tosbecken der Versuchsreihe 'Wasserschleier'	58
Darstellung 36:	Längsschnitt durch das Auffangbecken mit 1000 l Fassungsvermögen.	59
Darstellung 37:	Überlaufkörper mit 10, 20 und 30° Anlauf	60
Darstellung 38:	Überlaufkörper mit rechten Winkeln	61
Darstellung 39:	Gerundete Überlaufkörper mit Viertelkreis und Achtelkreisen	61
Darstellung 40:	Gerundete Überlaufkörper mit Halbkreisen und Anläufen	61
Darstellung 41:	Überlaufkörper mit 30° Winkel und 50 mm Schenkellänge	62
Darstellung 42:	Treppen mit kurzen Aufritten und langen Steigungen der Versuchsreihe WT 1	63
Darstellung 43:	Treppen mit langen Aufritten und kurzen Steigungen der Versuchsreihe WT 2	64
Darstellung 44:	Treppen der Proportion 1:2 mit Stufenwinkeln von 50 und 70° und der Proportion 1:4 mit einem Stufenwinkel von 70° der Versuchsreihe WT 3	65
Darstellung 45:	Prinzipskizze Pumpe im Versuchsaufbau 'Wasserschleier'	71
Darstellung 46:	Messpunkte, an denen der Bogenverlauf eines jeden Schleiers erfasst wird	73
Darstellung 47:	Messpunkte zur Erfassung der Wasserschleierlänge, -breite und Aufrisshöhe	74
Darstellung 48:	Blechaufstellung gegen die Verjüngung des Wasserschleiers im Tastversuch	77
Darstellung 49:	Schnitt durch die Wassertreppe mit Lagepunkten zur Messung der Wasserfilmhöhen	81
Darstellung 50:	Messweise für den Wasserfilm auf der Krone der Steigung	82
Darstellung 51:	Messweise für den Wasserfilm auf der Steigung	82
Darstellung 52:	Messweise für die Aufstauhöhe des Auftritts, gemessen an der Hinterkante	82
Darstellung 53:	Messweise des aufgestauten Wassers zwischen Krone und rückwärtiger Steigung	82
Darstellung 54:	Lage und Messweise der Verdickung im vorderen Bereich des Auftritts	82

Darstellung 55:	Pumphöhe im Versuchsstand zur Untersuchung von Wasserschleiern	90
Darstellung 56:	Bogenverlauf des Wasserschleiers mit Überlaufkörper mit Achtelkreis und 300 mm Radius	93
Darstellung 57:	Bogenverlauf des Wasserschleiers am Überlaufkörper mit Viertelkreis	94
Darstellung 58:	Überlaufkörper mit 10, 20 und 30° Anlauf	97
Darstellung 59:	Überlaufkörper mit rechten Winkeln	99
Darstellung 60:	Gerundete Überlaufkörper mit Viertelkreis und Achtelkreisen	102
Darstellung 61:	Gerundete Überlaufkörper mit Anläufen und Radien von 35 und 45 mm	104
Darstellung 62:	Überlaufkörper mit 30° Winkel	106
Darstellung 63:	Aufstellung der Winkelbleche am Beispiel 45° und 30 cm Blechlänge	107
Darstellung 64:	Anordnung der Winkelbleche in Abstand zur Absturzkante	108
Darstellung 65:	Anordnung der Winkelbleche, am Beispiel 45° mit verschiedenen Abständen zur Seitenwand	109
Darstellung 66:	Prinzipskizze Wirbelbewegung	109
Darstellung 67:	Veränderung der Wasserschleierlängen bei 2-15 l/s	113
Darstellung 68:	Veränderung der Wasserschleierbreiten bei 2-15 l/s	113
Darstellung 69:	Anstieg der Wasserfilmhöhe im Verhältnis zur Durchflussmenge	114
Darstellung 70:	Statistische Auswertung der Ergebnisse zu Wasserschleierlängen	114
Darstellung 71:	Statische Auswertung der Ergebnisse zur Verjüngung	115
Darstellung 72:	Prinzipskizze des Fließverhaltens am Beispiel 1:8	157
Darstellung 73:	Detail Proportion 8:1	157
Darstellung 74:	Prinzipskizze zur Veränderung des Wasserfilms an kurzen Auftritten	158
Darstellung 75:	Treppen mit der Proportion 1:2 und Stufenwinkeln von 90, 70 und 50°	159
Darstellung 76:	Treppen mit der Proportion 1:4 und Stufenwinkeln von 90 und 70°	162
Darstellung 77:	Einzelne Einflussfaktoren und ihre Auswirkungen auf das Wasserbild.	171
Darstellung 78:	Prinzipskizze der Reduzierung von Wirbelbewegungen an Überlaufkörpern mit Anläufen	175
Darstellung 79:	Wirbelverlauf bis zur Absturzkante am Beispiel eines Überlaufkörpers mit 10° Anlauf	176
Darstellung 80:	Wasserfilmhöhen aller Proportionen bei 1l/s	187
Darstellung 81:	Prinzipskizze der Proportion 1:8	187

Darstellung 82:	Prinzipskizze der Proportion 8:1	188
Darstellung 83:	Wasserfilmhöhen aller Proportionen in allen Neigungen bei 3l/s	188
Darstellung 84:	Wasserfilmhöhen aller Proportionen in allen Neigungen bei 5 l/s	189
Darstellung 85:	Wasserfilmhöhen aller Proportionen in allen Neigungen bei 10 l/s	190
Darstellung 86:	Tatsächliche Neigungen der Stufen in Abhängigkeit der jeweiligen Proportion	193
Darstellung 87:	Prinzipskizze des Fließverhaltens bei kurzen Auftritten und langen Steigungen	194
Darstellung 88:	Prinzipskizze Überlaufkörper im Parc des Halles	210
Darstellung 89:	Prinzipskizze Überlaufkörper am 'Wassertisch' Im Jardin Moulin de la Pointe	211
Darstellung 90:	Prinzipskizze des Wassertisches der VTG	211

## **9.7      *Abbildungsverzeichnis***

	<b>Seite</b>
Abbildung 1:      Kaskade an der Münchner Freiheit	37
Abbildung 2:      Wasserschleier im Parc de la Vilette	37
Abbildung 3:      Wasserschleier im Jardin des Halles	37
Abbildung 4:      Wassertisch im Parc Moulin de la Pointe	38
Abbildung 5:      Felsenbrunnen auf dem Schweitzer Platz	38
Abbildung 6:      VTG- Hammerbrook	38
Abbildung 7:      Wassertreppen am Invalidenpark	42
Abbildung 8:      Wassertreppe im Zürich-Haus	42
Abbildung 9:      Hapag-Lloyd-Hof	42
Abbildung 10:      Wassertreppe der LBS-Württemberg	43
Abbildung 11:      Wassertreppe des Reiherbrunnens	43
Abbildung 12:      Wassertreppe am Felsenbrunnen	43
Abbildung 13:      Rindermarktbrunnen	44
Abbildung 14:      Weltkugelbrunnen	44
Abbildung 15:      Wassertreppe im Parc André Citroën	44
Abbildung 16:      Wassertreppenausschnitt im Parc André Citroën	44
Abbildung 17:      Wassertreppe im Parc de Bercy	45
Abbildung 18:      Flache Wassertreppe im Parc André Citroën	45
Abbildung 19:      Steile Wassertreppe im Parc André Citroën	45
Abbildung 20:      Wassertreppe im Parc Joan Miró	46
Abbildung 21:      Wasserlose Wassertreppen im Parc Diderot	53
Abbildung 22:      Detail der Wassertreppe im Parc Diderot	53

Abbildung 23:	Ansicht der Versuchsanlage 'Wassertreppe' mit Fläschenzug im Vordergrund	56
Abbildung 24:	Zusätzliches Tosbecken im Hintergrund und Tosbecken im Vordergrund	58
Abbildung 25:	Überlaufkörper der Versuchsreihen ÜK (Überlaufkörper)	60
Abbildung 26:	Treppenmaterial der Versuchsreihe WT 1 Prop. 1:1, 1:2, 1:4, 1:8	62
Abbildung 27:	Treppenmaterial der Versuchsreihe WT 2 Prop. 1:1, 2:1, 4:1, 8:1	62
Abbildung 28:	Übersicht über alle Überlaufkörper	72
Abbildung 29:	Überfluss ins Tosbecken bei 3 l/s	86
Abbildung 30:	Überfluss ins Tosbecken bei 10 l/s	86
Abbildung 31:	Tosbeckenkammer mit Schott und Lochblechen	87
Abbildung 32:	Beruhigung mittels Lochblech	87
Abbildung 33:	Wasserschleier unter Windeinfluss	88
Abbildung 34:	Überlaufkörper mit 10° Anlauf	98
Abbildung 35:	Detail - Überlaufkörper mit 10° Anlauf	98
Abbildung 36:	Überlaufkörper mit 20° Anlauf	98
Abbildung 37:	Detail - Überlaufkörper mit 20° Anlauf	98
Abbildung 38:	Überlaufkörper mit 30° Anlauf	99
Abbildung 39:	Detail - Überlaufkörper mit 30° Anlauf	99
Abbildung 40:	Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 25 mm	100
Abbildung 41:	Detail - Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 25 mm	100
Abbildung 42:	Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 50 mm	100
Abbildung 43:	Detail - Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 50 mm	100
Abbildung 44:	Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 100 mm	101
Abbildung 45:	Detail – Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 100 mm	101
Abbildung 46:	Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 200 mm	101
Abbildung 47:	Detail - Überlaufkörper mit rechtem Winkel, L= 200 mm	101

Abbildung 48:	Wellen auf der Krone	101
Abbildung 49:	Überlaufkörper mit Viertelkreis, $r = 100 \text{ mm}$	102
Abbildung 50:	Detail - Überlaufkörper mit Viertelkreis, $r = 100 \text{ mm}$	102
Abbildung 51:	Überlaufkörper mit Achtelkreis, $r = 100 \text{ mm}$	103
Abbildung 52:	Detail - Überlaufkörper mit Achtelkreis, $r = 100 \text{ mm}$	103
Abbildung 53:	Überlaufkörper mit Achtelkreis, $r = 200 \text{ mm}$	103
Abbildung 54:	Detail - Überlaufkörper mit Achtelkreis, $r = 200 \text{ mm}$	103
Abbildung 55:	Überlaufkörper Achtelkreis, $r = 300 \text{ mm}$	104
Abbildung 56:	Detail - Überlaufkörper mit Achtelkreis, $r = 300 \text{ mm}$	104
Abbildung 57:	Überlaufkörper mit $15^\circ$ Anlauf, $r = 35 \text{ mm}$	105
Abbildung 58:	Detail - Überlaufkörper mit $15^\circ$ Anlauf, $r = 35 \text{ mm}$	105
Abbildung 59:	Überlaufkörper mit $15^\circ$ Anlauf, $r = 45 \text{ mm}$	105
Abbildung 60:	Detail - Überlaufkörper mit $15^\circ$ Anlauf, $r = 45 \text{ mm}$	105
Abbildung 61:	Überlaufkörper mit $30^\circ$ Winkel, $L = 50 \text{ mm}$	106
Abbildung 62:	Detail - Überlaufkörper mit $30^\circ$ Winkel, $L = 50 \text{ mm}$	106
Abbildung 63:	Einfluss lenkender Bleche auf die Verjüngung	108
Abbildung 64:	Wasserschleier bei $1 \text{ l/s}$	117
Abbildung 65:	Detail - Wasserschleier bei $1 \text{ l/s}$	117
Abbildung 66:	Wasserschleier bei $2 \text{ l/s}$	118
Abbildung 67:	Detail - Wasserschleierdetail bei $2 \text{ l/s}$	118
Abbildung 68:	Wasserschleier bei $3 \text{ l/s}$	118
Abbildung 69:	Detail - Wasserschleier bei $3 \text{ l/s}$	118
Abbildung 70:	Wasserschleier bei $4 \text{ l/s}$	119
Abbildung 71:	Detail – Wasserschleier bei $4 \text{ l/s}$	119
Abbildung 72:	Wasserschleier bei $5 \text{ l/s}$	119

Abbildung 73:	Detail- Wasserschleier bei 5 l/s	119
Abbildung 74:	Wasserschleier bei 6 l/s	120
Abbildung 75:	Detail - Wasserschleier bei 6 l/s	120
Abbildung 76:	Wasserschleier bei 7 l/s	120
Abbildung 77:	Detail – Wasserschleier bei 7 l/s	120
Abbildung 78:	Wasserschleier bei 8 l/s	121
Abbildung 79:	Detail - Wasserschleier bei 8 l/s	121
Abbildung 80:	Wasserschleier bei 9 l/s	121
Abbildung 81:	Detail - Wasserschleier bei 9 l/s	121
Abbildung 82:	Wasserschleier bei 10 l/s	122
Abbildung 83:	Detail - Wasserschleier bei 10 l/s	122
Abbildung 84:	Wasserschleier bei 11 l/s	122
Abbildung 85:	Detail – Wasserschleier bei 11 l/s	122
Abbildung 86:	Wasserschleier bei 12 l/s	123
Abbildung 87:	Detail - Wasserschleier bei 12 l/s	123
Abbildung 88:	Wasserschleier bei 13 l/s	123
Abbildung 89:	Detail - Wasserschleier bei 13 l/s	123
Abbildung 90:	Wasserschleier bei 14 l/s	124
Abbildung 91:	Detail - Wasserschleier bei 14 l/s	124
Abbildung 92:	Wasserschleier bei 15 l/	124
Abbildung 93:	Detail – Wasserschleier bei 15 l/s	124
Abbildung 94:	Alternierende Wasserschleier	125
Abbildung 95:	Aufwölbungen	126
Abbildung 96:	Dreiecke und Schweife	126
Abbildung 97:	Feine Strukturen	126



Abbildung 98:	Hinterstau	127
Abbildung 99:	Längsstreifen	127
Abbildung 100:	Mäusezähnnchen	127
Abbildung 101:	Plastische Dreiecke	128
Abbildung 102:	Plastische Rautenmuster	128
Abbildung 103:	Plastische Schweife	128
Abbildung 104:	Quellen und Wölkchen	129
Abbildung 105:	Wasserklumpen	129
Abbildung 106:	Losgelöste Strahlen	129
Abbildung 107:	Längsstreifen auf der Steigung	130
Abbildung 108:	Rautenmuster	130
Abbildung 109:	Rillen. Strahlen & Losgelöste Strahlen	130
Abbildung 110:	Schäumende Strahlen	131
Abbildung 111:	Schweife	131
Abbildung 112:	Schweife auf Auftritt	131
Abbildung 113:	Walzen im Aufstaubereich	132
Abbildung 114:	Kategorie 'Strukturarm'	133
Abbildung 115:	Merkmale der Kategorie 'Strukturarm'	133
Abbildung 116:	Kategorie 'Feinstrahl'	134
Abbildung 117:	Merkmale der Kategorie 'Feinstrahl'	134
Abbildung 118:	Kategorie 'V-förmiger Feinstrahl'	135
Abbildung 119:	Merkmale der Kategorie 'V-förmiger Feinstrahl'	135
Abbildung 120:	Kategorie 'Plastische Strukturen'	136
Abbildung 121:	Merkmale der Kategorie 'Plastische Strukturen'	136
Abbildung 122:	Kategorie 'Dreieckstrukturen mit Schweifen'	137

Abbildung 123:	Merkmale der Kategorie 'Dreieckstrukturen mit Schweifen'	137
Abbildung 124:	Kategorie 'Feine Strahlen und Schweife'	138
Abbildung 125:	Merkmale der Kategorie 'Feine Strahlen und Schweife'	138
Abbildung 126:	Kategorie 'Wasserklumpen'	139
Abbildung 127:	Merkmale der Kategorie 'Wasserklumpen'	139
Abbildung 128:	Kategorie 'Wasserstrahlen'	140
Abbildung 129:	Merkmale der Kategorie 'Wasserstrahlen'	140
Abbildung 130:	Kategorie 'Schäumende Strahlen'	141
Abbildung 131:	Merkmale der Kategorie 'Schäumende Strahlen'	141
Abbildung 132:	Kategorie 'Wasserschleier & Schäumende Strahlen'	142
Abbildung 133:	Merkmale der Kategorie 'Wasserschleier & Schäumende Strahlen'	142
Abbildung 134:	Kategorie 'Alternierende Wasserschleier'	143
Abbildung 135:	Merkmale der Kategorie 'Alternierende Wasserschleier'	143
Abbildung 136:	Kategorie 'V-förmig, Wasserschleier mit Rillen und Strahlen'	144
Abbildung 137:	Merkmale der Kategorie 'V-förmig Wasserschleier mit Rillen und Strahlen'	144
Abbildung 138:	Kategorie 'V-förmige Strahlen'	145
Abbildung 139:	Merkmale der Kategorie 'V-förmige Strahlen'	145
Abbildung 140:	Kategorie 'Unterschiedliche Wasserschleier'	146
Abbildung 141:	Merkmale der Kategorie 'Unterschiedliche Wasserschleier'	146
Abbildung 142:	Wasserbilder, die bei einer Durchflussmenge von 1 l/s entstehen	149
Abbildung 143:	Wasserbilder, die bei einem Durchfluss von 3 l/s entstehen	151
Abbildung 144:	Wasserbilder, die bei einem Durchfluss von 5 l/s entstehen	153
Abbildung 145:	Wasserbilder, die bei einem Durchfluss von 10 l/s entstehen	154
Abbildung 146:	Bilderzyklus 1: Steigerung der Durchflussmenge an Proportion 1:1 bei 30° Neigung	164
Abbildung 147:	Bilderzyklus 2: Steigerung der Durchflussmenge an Proportion 1:2 bei 20 ° Neigung	165

Abbildung 148:	Bilderzyklus 3: Steigerung der Durchflussmenge an Proportion 1:4 bei 30 ° Neigung	165
Abbildung 149:	Bilderzyklus 4: Steigerung der Durchflussmenge an Proportion 2:1 bei 20° Neigung	165
Abbildung 150:	Bilderzyklus 5: Steigerung der Durchflussmenge an Proportion 8:1 bei 60 ° Neigung	166
Abbildung 151:	Bilderzyklus 6: Steigerung der Neigung an Proportion 1:1 bei 1 l/s	167
Abbildung 152:	Bilderzyklus 7: Steigerung der Neigung an Proportion 1:4 bei 1 l/s	167
Abbildung 153:	Bilderzyklus 8: Steigerung der Neigung an Proportion 8:1 bei 3 l/s	168
Abbildung 154:	Bilderzyklus 9: Steigerung der Neigung an Proportion 1:1 bei 3 l/s	168
Abbildung 155:	Bilderzyklus 10: Veränderung des Wasserbildes durch Änderung der Proportion am Beispiel 60° Nei-	169
Abbildung 156:	Bilderzyklus 11: Veränderung des Wasserbildes durch Änderung der Proportion am Beispiel 30° Nei-	170
Abbildung 157:	Bilderzyklus 12: Veränderung des Wasserbildes durch Änderung der Proportion am Beispiel 30° Nei-	170
Abbildung 158:	Farbfadenversuch vor dem Überlaufkörper mit 10° Anlauf	176
Abbildung 159:	Detail des Farbfadenversuchs vor dem Überlaufkörper mit 10° Anlauf	176
Abbildung 160:	Wasserschleier über Rechteckkante	182
Abbildung 161:	Wasserschleier über Dreieckkante	182
Abbildung 162:	Kaskade mit 50 cm Fallhöhe und 1,5 l/s	196
Abbildung 163:	Kaskade mit 20 cm Fallhöhe und 1,5 l/s	196
Abbildung 164:	Kaskade mit unterschiedlich strukturierten Wasserschleiern	196
Abbildung 165:	Detailaufnahme einer Kaskade mit strukturierten Wasserschleierschleiern	196
Abbildung 166:	Farbfadenversuch	199
Abbildung 167:	Gesamtansicht der Kaskade an der Münchner Freiheit	208
Abbildung 168:	Wasserschleier mit Rillen, Münchner Freiheit	208
Abbildung 169:	Wasserschleier im Parc de la Villette	209
Abbildung 170:	Details des Überlaufkörpers im Parc de la Villette	209
Abbildung 171:	Kaskaden im Jardin Des Halles	210
Abbildung 172:	Seitenansicht des Wasserschleiers im Jardin Des Halles	210

Abbildung 173:	Ansicht des Wassertisches im Parc Moulin de la Pointe	211
Abbildung 174:	Wassertisch vor der VTG in Hamburg Hammerbrook	212
Abbildung 175:	Felsenbrunnen mit Ansicht der Rückfront der Wassertreppe hinter dem Wasserschleier auf dem	213
Abbildung 176:	Wasseranlage im Invalidenpark	213
Abbildung 177:	Detail der Wassertreppe in der Flanke der Rampe	213
Abbildung 178:	Wassertreppenanlage im Innenraum der Zürichversicherung	214
Abbildung 179:	Eingangshalle der Hapag Lloyd	214
Abbildung 180:	Wassertreppe an der LBS	215
Abbildung 181:	Wassertreppe der Allianzversicherung	216
Abbildung 182:	Wassertreppe am Schweitzer Platz	217
Abbildung 183:	Detail Wassertreppe Rindermarktbrunnen	217
Abbildung 184:	Zweiläufige Treppe 'Wasserklops'	218
Abbildung 185:	Wassertreppe mit alternierenden Stufen	219
Abbildung 186:	Schäumendes Wassermuster an der Wassertreppe im Parc de Bercy	220
Abbildung 187:	Flache (li) und steile (re) Wassertreppe im Parc André Citroën	221
Abbildung 188:	Wassermuster auf einer geschindelten Wassertreppe	222
Abbildung 189:	Detail der steilen Wassertreppe im Parc André Citroën	222
Abbildung 190:	Seitlich geneigte Auftritte in der Wassertreppe im Parc Joan Miró	223

## DANKSAGUNG

Ich danke dem Fachbereich Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung und insbesondere dem Institut für Grünplanung für die Unterstützung dieser Arbeit.

Ein ganz besonderer Dank gilt den Referenten, Herrn Professor Lösken und Herrn Professor Schitteck.

Für die freundliche Unterstützung dieser Arbeit durch ein zweijähriges Promotionsstipendium nach dem Gesetz zur Förderung des wissenschaftlichen und künstlerischen Nachwuchses gilt mein Dank der Universität Hannover.

Dank der freundlichen Unterstützung durch die Institute für Strömungsmechanik und elektronisches Rechnen im Bauwesen und dem Franzius-Institut – Wasserbau und Küstenwesen, vor allem aber der Institute für Strahlenschutz und Radioökologie (ZSR) sowie Biophysik konnten wertvolle Anregungen zu Versuchsaufbauten und -durchführungen in die Untersuchungen einfließen.

Hier gilt mein besonderer Dank vor allem dem Team der Werkstatt des ZSR und der Biophysik, die mir mit Rat und Tat in allen Fragen zur Metallbearbeitung zur Seite gestanden haben.

Ein herzliches Dankeschön geht an die Technikabteilung der Herrenhäuser Gärten, die Pumpen und Schläuche zur Verfügung gestellt hat, an meinem Onkel, Herrn Franck und meine Familie für die finanzielle und tatkräftige Unterstützung.

Herrn Professor Dr. Liesecke möchte ich für zahlreiche Gespräche, Anregungen und aufmunternde Worte besonders danken, ebenso allen Kollegen und allen lieben Freunden für ihre Hilfsbereitschaft, Unterstützung und Treue! Herr Worthmann und Herr Groffmann haben diese Arbeit wesentlich mitgetragen, dafür danke ich beiden ganz besonders.

Alle gemeinsam haben dazu beigetragen, dass diese Arbeit realisiert werden konnte und ich sie nun abschließen kann.

Ein herzliches Dankeschön!