



Bachelorthesis

Die Umgestaltung der Emschermündung in den Rhein unter besonderer Berücksichtigung der aquatischen Durchgängigkeit

Fachbereich D: Bauingenieurwesen, Maschinenbau, Sicherheitstechnik
Abteilung: Bauingenieurwesen

Institut für Grundbau, Abfall- und Wasserwesen (IGAW)

Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau

Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Schlenkhoff

Dipl. Ing. Daniel Bung

von Jörg Müllejans, Matr.Nr.: 423974

Wuppertal, 2007

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfsmittel in Anspruch genommen habe.

Wuppertal, November 2007

Jörg Müllejans

Vorwort

Diese Arbeit entstand als Bachelorthesis am Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau bei Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Schlenkhoff. Sie dient dem Erreichen des Abschluss zum Bachelor of Science in Civil Engineering. Die Bearbeitung erstreckte sich über einen Zeitraum von insgesamt 2 Monaten und wurde vom 03. September 2007 bis zum 05. November 2007 durchgeführt.

Die Leitung und Betreuung der Abschlussarbeit an der Bergischen Universität Wuppertal übernahmen Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Schlenkhoff und Dipl. Ing. Daniel Bung.

Ich möchte allen Personen danken, die mit ihrer Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Kurzfassung

Die Emscher mündet bei Dinslaken in den Rhein. Durch die geschichtliche Entwicklung des Ruhrgebietes zeigt die Emscher sich heute als ein stark anthropogen überformter Fluss. Durch die Forderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie besteht in den kommenden Jahren ein großer Handlungsbedarf hinsichtlich der Umgestaltung der Emscher.

Die Problematik der Mündung der Emscher liegt in einer Höhendifferenz von ca. 5m gegenüber dem Rhein. Der Übergang in den Rhein wird derzeit durch einen Absturz ermöglicht. Eine durchgängige Anbindung der Emscher an den Rhein ist somit nicht gewährleistet. Ziel dieser Arbeit ist es mögliche Lösungen aufzuzeigen und in einem begrenzten Umfang eine Bemessung vorzunehmen.

Der erste Teil dieser Arbeit umfasst eine Einführung in die Renaturierung von Fließgewässern. Dadurch soll dem Leser der Einstieg in die Thematik der Arbeit erleichtert werden.

Um über ausreichend Hintergrundwissen zu verfügen, erfolgte im Vorfeld eine Literaturrecherche. Diese fand sowohl über das Internet als auch über diverse Datenbanken statt. Die Ergebnisse und einige Beurteilungen der gewählten Literatur finden sich im Anschluss an die Beschreibung zur Durchführung der Recherche in Teil 2 dieser Arbeit.

Durch die Besichtigung von Ahr, Sieg, Lippe, Anger und Emscher konnten Erkenntnisse zu bereits durchgeführten Renaturierungen sowie in Planung befindlichen Maßnahmen erlangt werden. So konnte am Beispiel der Ahr eine gelungene natürliche Flussgestaltung vor Ort besichtigt werden. Die Beschreibung der einzelnen Flüsse sowie der Besichtigungstour erfolgt im dritten Teil dieser Arbeit.

Im vierten Teil werden die zuvor gewonnenen Kenntnisse genutzt, um am Beispiel der Emscher verschiedene Lösungsmöglichkeiten zu erarbeiten. Anhand einer ausgewählten Variante erfolgt die hydraulische Bemessung einer Sohlrampe hinsichtlich verschiedener Aspekte, die bei der Planung eines solchen Bauwerks zu berücksichtigen sind.

Variablenverzeichnis

Tabelle 1: Variablenverzeichnis

Variable	Definition	Einheit
a	Anzahl der Störsteine	Stück
A	Fließfläche	m^2
A_s	Angeströmte Störsteinfläche	m^2
A_e	Fließfläche im eingengten Querschnitt	m^2
$A_{0,s}$	Grundfläche eines Störsteins	m^2
$A_{0,ges}$	Gesamtgrundfläche der Rampe	m^2
$b_{R,m}$	mittlere Breite des Fließquerschnitts	m
b_{Sohle}	Sohlbreite	m
b_s	Öffnungsbreite	m
b_R	Rampenbreite	m
b_w	Breite des Wehrs	m
b_{sp}	Wasserspiegelbreite	m
b_e	Breite des eingengten Fließquerschnitts	m
d_s	Steindurchmesser	m
d_x	Korndurchmesser bei x% Siebdurchgang	mm
E_{zul}	zulässige Leistungsdichte	W/m^3
F_s	Strömungskraft	N
$F_{L,m}$	mittlere Liftkraft	N

Fortsetzung nächste Seite

Variable	Definition	Einheit
F_{τ}	Scherkraft	N
Fr	Froudezahl	dimensionslos
g	Erdbeschleunigung	m/s ²
G_P	Gewichtskraftkomponente parallel zur Sohle	N
G_S	Gewichtskraftkomponente senkrecht zur Sohle	m
h_0	Wasserstand im Aufstau	m
h_{gr}	Grenztiefe	m
h_x	Wasserstand im Abstand x vom Wehr	m
h_n	Normalwasserstand	m
h_R	Höhe der Rampe	m
h_u	Überfallhöhe	m
h_{min}	Mindestwassertiefe	m
h_{NW}	Mindestwassertiefe bei Niedrigwasser	m
I_S	Sohlgefälle	%
I_R	Rampengefälle	%
k	Rauheit nach Darcy-Weisbach	m
k_{St}	Rauheit nach Manning-Strickler	m ^{1/3} /s
l_R	Abstand der Riegel	m
l_u	benetzter Umfang	m
L_R	Länge der Rampe	m
L_k	Länge des Nachbetts	m
m	Böschungssteigung	dimensionslos
MNQ	mittlerer Niedrigwasserabfluss	m ³ /s
MHQ	mittlerer Hochwasserabfluss	m ³ /s
HQ_{100}	100-jährliches Hochwasser	m ³ /s
q	spezifischer Abfluss	m ³ /(m · s)
Fortsetzung nächste Seite		

Variable	Definition	Einheit
q_{krit}	kritischer Abfluss	$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$
Q	Durchfluss	m^3/s
Q_{min}	Mindestabfluss	m^3/s
Q_{max}	Maximalabfluss	m^3/s
R	Widerstandskraft	N
R_{hy}	hydraulischer Radius	m
t	Kolktiefe	m
U	hydraulischer Umfang	m
v_m	mittlere Fließgeschwindigkeit	m/s
v_{max}	max. Fließgeschwindigkeit	m/s
V	Volumen eines Störsteins	m^3
V_s	eingetauchtes Volumen eines Störsteins	m^3
w	Überstand der Sohlschwelle	m
x	Abstand vom Stauwehr	m
Δh	Wasserspiegeldifferenz	m^3/s
ϵ_V	Volumenverhältnis	dimensionslos
ϵ_0	Flächenverhältnis	dimensionslos
λ_S	Widerstandsbeiwert der Störsteine	dimensionslos
λ_0	Widerstandsbeiwert der Sohle	dimensionslos
λ_{ges}	Gesamtwiderstandsbeiwert	dimensionslos
μ	Überfallbeiwert	dimensionslos
ρ_w	Dichte von Wasser	kg/m^3
ρ_s	Dichte des Steinmaterials	kg/m^3
σ	Abminderungsfaktor	dimensionslos
φ	Kraftübertragungswinkel	°

Inhaltsverzeichnis

Selbstständigkeitserklärung	i
Vorwort	iii
Kurzfassung	v
Variablenverzeichnis	vii
Abbildungsverzeichnis	xvi
Tabellenverzeichnis	xvii
Aufgabenstellung	1
I Einleitung	5
1 Einführung in die Renaturierung von Fließgewässern	7
II Literaturstudie	9
2 Durchführung der Literaturrecherche	11
2.1 Internetrecherche	11
2.2 Datenbankrecherche	12
3 Ergebnisse der Literaturrecherche	15
3.1 Internetrecherche	15
3.2 Datenbankrecherche	19

III	Mündungsbereiche ausgewählter Nebenflüsse des Rheins	25
4	Einleitung	27
5	Die Ahr	29
5.1	Vorrecherche	29
5.2	Dokumentation der Besichtigung	31
6	Die Sieg	35
6.1	Vorrecherche	35
6.2	Dokumentation der Besichtigung	37
7	Die Lippe	39
7.1	Vorrecherche	39
7.2	Dokumentation der Besichtigung	42
8	Die Anger	45
8.1	Vorrecherche	45
8.2	Dokumentation der Besichtigung	46
IV	Die Anbindung der Emscher an den Rhein	49
9	Zur Geschichte der Emscher	51
10	Vorrecherche zum IST-Zustand	53
11	Besichtigung der Emscher	57
12	Zielsetzung und Rahmenbedingungen	59
12.1	Zielsetzung	59
12.2	Rahmenbedingungen	60
13	Lösungsvarianten	63
13.1	Variante 1	64
13.2	Variante 2	65
13.3	Variante 3	66
13.4	Variante 4 und 5	67
14	Hydraulische Bemessung einer Rauen Rampe	69
14.1	Eignungsprüfung einer Riegelrampe	69

14.1.1 Anforderungen	69
14.1.2 Annahmen und Kenngrößen	70
14.1.3 Erforderliche Breite der Rampe	71
14.2 Bemessung einer Schüttsteinrampe mit Störsteinen	73
14.2.1 Wahl eines Rampenquerschnitts	73
14.2.2 Ermittlung der Bemessungsabflüsse	75
14.2.3 Nachweis der ökologischen Durchgängigkeit	76
14.2.4 Rückstau einfluss der Rampen	82
14.2.5 Nachweis der Sohlstabilität	85
14.2.6 Standsicherheit der Störsteine	88
14.2.7 Unterbau der Rampe (Rampenfilter)	92
14.2.8 Nachbettsicherung	95
14.2.9 Bemessung für HQ_{100}	96
Schlusswort	99
Literaturverzeichnis	101
V Anhang	109
A Standortkarten	111
A.1 Ahr	111
A.2 Sieg	112
A.3 Lippe	113
A.4 Anger	114
A.5 Emscher	115
B Bildverzeichnisse	116
B.1 Ahr	116
B.2 Sieg	118
B.3 Lippe	119
B.4 Anger	121
B.5 Emscher	122
C Spiegellinienberechnung	124
D Compact Disc	125
E Zeichnungen der konstruktiven Rampen ausbildung	126

Abbildungsverzeichnis

5.1	Satellitenbild der Ahrmündung	29
5.2	Satellitenbild der Ahrmündung (Detail)	30
5.3	Umgestaltungsstrecke mit altem und neuem Flusslauf	30
5.4	Fotoaufnahme der Ahrmündung	31
6.1	Satellitenbild der Siegmündung	35
6.2	Satellitenbild der Siegmündung (Detail)	36
6.3	Fotoaufnahme der Siegmündung	37
7.1	Satellitenbild der Lippemündung	39
7.2	Satellitenbild der Lippemündung (Detail)	40
7.3	Lageplan der neuen Lippemündung	41
7.4	Fotoaufnahme der Lippemündung	42
8.1	Satellitenbild der Angermündung	45
8.2	Satellitenbild der Angermündung (Detail)	46
8.3	Fotoaufnahme der Angermündung	47
10.1	Das Emschersystem	53
10.2	Satellitenbild der Emschermündung	54
10.3	Klärwerk Emschermündung	54
11.1	Fotoaufnahme der Emschermündung	57
12.1	Empfohlene Abmessungen für Beckenpässe	61
13.1	Planungsgebiet für die Varianten 1 bis 3	63
13.2	Planungsgebiet für die Varianten 4 und 5	64
13.3	Handskizze zur Variante 1	65
13.4	Handskizze zur Variante 2	66
13.5	Handskizze zur Variante 3	67

13.6	Handskizzen zu den Varianten 4 und 5	68
14.1	Prinzipskizze einer Rampe mit Steinschwellen	70
14.2	Abminderungsfaktor σ	72
14.3	Rastermaße der Störsteinanordnung	74
14.4	Abflusszustände nach GEBLER	77
14.5	Gerinnequerschnitt mit Trennflächen	87
14.6	Angreifende Kräfte am Störstein	89
14.7	Momentengleichgewicht am Störstein	91
14.8	Sieblinie Rheinsand	93
14.9	Sieblinie Standard Zweistufenfilter	94
14.10	Prinzipskizze Nachbettsicherung	95
14.11	Gerinnequerschnitt für HQ_{100}	97
A.1	Standorte der Fotoaufnahmen (Ahr)	111
A.2	Standorte der Fotoaufnahmen (Sieg)	112
A.3	Standorte der Fotoaufnahmen (Lippe)	113
A.4	Standorte der Fotoaufnahmen (Anger)	114
A.5	Standorte der Fotoaufnahmen (Emscher)	115
C.1	Tabelle zur Spiegellinienberechnung	124

Tabellenverzeichnis

1	Variablenverzeichnis	vii
5.1	Besichtigungsprotokoll Ahr	34
6.1	Besichtigungsprotokoll Sieg	38
7.1	Besichtigungsprotokoll Lippe	44
8.1	Besichtigungsprotokoll Anger	48
11.1	Besichtigungsprotokoll Emscher	58
14.1	Empfohlene Steinabstände	75
14.2	Ergebnisliste für $Q = 132 \text{ m}^3/\text{s}$	87
14.3	Wasserbausteinklassen	94
14.4	Ergebnisliste für $Q = 317 \text{ m}^3/\text{s}$	96
B.1	Bilderverzeichnis Ahr	116
B.2	Bilderverzeichnis Sieg	118
B.3	Bilderverzeichnis Lippe	119
B.4	Bilderverzeichnis Anger	121
B.5	Bilderverzeichnis Emscher	122

Aufgabenstellung

Herr Müllejans soll sich im Rahmen seiner Bachelor Thesis mit dem Thema der durchgängigen Anbindung von kleineren Nebengewässern an ein größeres Hauptgewässer beschäftigen. Häufig stellt bereits die Mündung solcher Nebengewässer ein unüberwindliches Hindernis bei der Wanderung von Fischen zu ihren Laichgebieten dar, weil sich entweder das Hauptgewässer gegenüber dem Vorland stark eingetieft hat, oder die Wasserspiegelschwankungen so groß sind, dass ein natürlicher Geländesprung zwischen Neben- und Hauptgewässer überwunden werden muss. Im städtischen Umfeld wurden solche Mündungen in der Regel technisch ausgebaut und mit Abstürzen oder sehr steilen Sohlrampen versehen, um eine Eintiefung der Nebengewässer auf das Niveau der Hauptgewässer zu verhindern. Diese Abstürze und die hohen Fließgeschwindigkeiten verhindern aber die durchgängige aquatische Anbindung. Die Mündungsbereiche sind von hoher ökologischer Relevanz und spielen bei der Beurteilung des Gewässerzustandes (guter ökologischer Zustand soll nach der EG Wasserrahmenrichtlinie 2015 erreicht werden) eine maßgebende Rolle. Vor diesem Hintergrund sollen in dieser Arbeit Möglichkeiten von Gewässerumgestaltungen diskutiert werden.

Herr Müllejans soll hierzu zunächst einige Mündungsbereiche von Nebengewässern in den Rhein vor Ort besichtigen, gegebenenfalls sichtbare strukturelle Defizite dokumentieren und daraus mögliche technische Maßnahmen zur Verbesserung der Situation beschreiben. Die Situation an der Emschermündung soll vertieft analysiert werden. Zentrale Punkte der Aufgabenstellung sind somit eine Durchsicht der vorhandenen Literatur, die Erstellung einer Fotodokumentation sowie die Entwicklung einer Ideenskizze für die ökologische Umgestaltung an der Emschermündung. Die Ergebnisse der Arbeit sind in einem ca. 50 bis maximal 100 Seiten fassenden Bericht zu beschreiben. Zusätzlich ist eine in sich verständliche ausführliche Kurzfassung (ca. 10 Seiten) und eine Präsentation zu erstellen.

Der Kandidat soll nach einer kurzen Einarbeitung einen Arbeitsplan vorlegen und mit dem Lehrstuhl die weitere Bearbeitung abstimmen. Im Einzelnen sind folgende Aufgabenteile zu bearbeiten:

Aufgabenteil 1: Literaturdurchsicht

Die am Lehrstuhl bereits vorhandene Literatur soll gesichtet werden. Bei der Auswertung soll sich auf Mündungssituationen konzentriert werden. Gegebenenfalls ist daher eine Nachrecherche erforderlich. Weiterhin sollen der bautechnischen Ausführung und der ökologischen Wirksamkeit besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Ergebnisse der Literaturdurchsicht sind auf maximal 10 Seiten zu kommentieren.

Aufgabenteil 2: Beschreibung der derzeitigen Situation an ausgewählten Nebenflüssen des Rheins südlich von Koblenz bis zur holländischen Grenze

Die Recherche und Beschreibung soll die derzeitige Situation beispielhaft wiedergeben. Auf kürzlich umgesetzte Maßnahmen (Sieg und Ahr) und Planungen (Emscher und Lippe) ist dabei besonders einzugehen. Die Mündungssituation ist anhand von Fotos zu dokumentieren. Die Fotodokumentation sollte digital erstellt werden. Die Probleme bezüglich Gewässerdurchgängigkeit, Eintiefung der Sohle und Stabilität der Ufer ist zu kommentieren. Sollte die Wasserführung des Rheins eine vor Ort Recherche nicht möglich machen, sind die Bedingungen anhand von allgemein verfügbaren Daten zu ermitteln. Gegebenenfalls sind entsprechende Behörden oder Verbände zu kontaktieren.

Aufgabenteil 3: Erarbeiten einer Ideenskizze für eine durchgängige Anbindung der Emscher an den Rhein

Die Emscher ist derzeit zwar noch sehr stark durch Abwässer belastet und strukturell defizitär. Die ökologische Verbesserung, die in den kommenden Jahren umgesetzt wird, wird aber die Gewässergüte und Gewässerstrukturgüte soweit verbessern, dass eine Wanderung in die Emscher erwartet werden kann. Das derzeitige Absturzbauwerk soll daher durch ein anderes System (Fischpass, Sohlgleite, Umgehungsgerinne, etc.) ersetzt werden. Der Kandidat soll den Hauptteil seiner Bearbeitungszeit auf die Ideenskizze verwenden. Die Ergebnisse der planerischen Gedanken sind zu erläutern und anhand von Skizzen zu verdeutlichen. Die Ideenskizze soll zwar in der Tiefe nicht eine Vorplanung erreichen, maßgebende Bauteile müssen aber konstruktiv und hydraulisch bemessen werden und mit ihren wesentlichen Elementen im Grundriss und in Schnitten dargestellt werden.

Aufgabenteil 4: Ausführliche Kurzfassung

Es ist eine ca. 10 Seiten lange Kurzfassung zu erstellen, die in sich verständlich ist.

Aufgabenteil 5: Erstellen einer Präsentation

Es ist eine kurze Präsentation zu erstellen und bei Abgabe der schriftlichen Arbeit vorzulegen.

Hinweise zur Bearbeitung:

Der Kandidat soll mit der Bearbeitung dieser Aufgabe zeigen, dass er eine komplexe Aufgabenstellung im Bauingenieurwesen (Wasserbau / Hydromechanik) selbständig nach wissenschaftlichen Methoden fundiert bearbeiten kann. Dabei soll er eine kritische Diskussion der Teilergebnisse führen und diese mit der Fachliteratur abgleichen. Die Darstellungen sind mit entsprechenden Grafiken und Diagrammen zu unterstützen. Annahmen bezüglich der Grundlagendaten sind mit dem Lehrstuhl abzustimmen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. A. Schlenkhoff

Teil I

Einleitung

1 Einführung in die Renaturierung von Fließgewässern

Schon vor vielen Jahren begann der Mensch, Flüsse und Täler zu formen. Diese Eingriffe waren notwendig, um die Kraft und die Wege des Wassers zu nutzen. So wurden die natürlichen Flüsse ausgebaut, um durch die Schifffahrt oder die Energiegewinnung aus Wasserkraft genutzt zu werden. Darüber hinaus ergab sich durch die immer größer werdende Zahl der Bevölkerung die Nachfrage nach ausreichend Siedlungsfläche und landwirtschaftlichen Nutzflächen. Beide Nutzungsarten erforderten einen Schutz der Landflächen vor Hochwasserereignissen, da diese zum einen das Leben der Menschen gefährdeten und zum anderen die bewirtschafteten Felder zerstörten. Um all diesen menschlichen Bedürfnissen gerecht zu werden, begannen die Menschen die Flussläufe zu begradigen und damit zu verkürzen, sowie dem Flusslauf ein hydraulisch optimales Profil aufzuzwängen. Während all dieser Baumaßnahmen wurden die ökologischen Verhältnisse der Gewässer vernachlässigt.

Mit der Zeit zeigten sich die ersten Auswirkungen durch die durchgeführten Maßnahmen. Eine drastische Folge war die zunehmende Erosion auf Grund der erhöhten Fließgeschwindigkeiten in den Regelprofilen. Diese führte zu einer Eintiefung der Sohle. Um diesem Einfluss entgegenzuwirken wurden zahlreiche Querbauwerke errichtet, die eine bauliche Trennung im Fließgewässer bedeuteten. Die Auswirkungen auf Flora und Fauna des Gewässers waren damals nicht bekannt. Erst durch eine Zunahme der Verschmutzung der Gewässer durch eine gestörte Ökologie und die Einleitung von Schmutzwässern in die natürlichen Flüsse konnte das Umweltbewusstsein der Bevölkerung geweckt werden. Seit dieser Zeit spielt die Renaturierung von Fließgewässern eine wichtige Rolle. Die komplette Rückführung der Fließgewässer in ihren ursprünglichen, natürlichen Zustand ist jedoch unmöglich. Daher ist es die Aufgabe, mit den gegebenen Nutzungen im Umfeld eines Gewässers einen naturnahen Zustand zu erreichen. Kriterien für diesen Zustand stellen die Wassergüte, die Wassermenge, das Gewässerprofil sowie die Durchgängigkeit des Gewässers dar.

Der Veränderung des natürlichen Zustandes durch den Menschen soll entgegengewirkt wer-

den, indem die Eigendynamik des Flusses ermöglicht wird. Hierdurch können sich natürliche Strukturen entwickeln, wie sie vor dem Ausbau der Flüsse existiert haben. Um diese Dynamik zu ermöglichen, sind Maßnahmen wie der Rückbau von Sohl- und Uferbefestigungen, die Bereitstellung von Retentionsflächen und eine naturnahe Trassierung erforderlich. Seit der Einführung der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) ist das Erreichen dieses „guten ökologischen Zustands“ bis zum Jahre 2015 als Ziel gesetzt. Der gute ökologische Zustand wird dort wie folgt definiert (EU-WRRL): „Die Durchgängigkeit des Flusses wird nicht durch menschliche Tätigkeiten gestört und ermöglicht eine ungestörte Migration aquatischer Organismen und den Transport von Sedimenten“. Somit sind unter dem Begriff der Durchgängigkeit zwei wesentliche Aspekte eines natürlichen Fließgewässers zu verstehen. Zum einen sollte der gesamte Flusslauf uneingeschränkt für die Fauna des Gewässers durchgängig sein. Dazu gehören nicht nur die Fische sondern auch Kleinstlebewesen, die sogenannten Makrozoobenthos¹. Die Durchgängigkeit für die Lebewesen kann schon allein durch den Bau von Aufstiegsanlagen und Umgehungsgerinnen ermöglicht werden. Darüber hinaus ist eine Durchgängigkeit des Gewässers hinsichtlich des Sedimenttransportes anzustreben. Durch den vermehrten Einsatz von Querbauwerken ist dieser Transport nicht mehr möglich, und führt zu einer Veränderung der Gewässerökologie sowie der Abflusseigenschaften. Um diese Durchgängigkeit wieder zu erreichen, reicht es nicht allein aus Umgehungsgerinne zu bauen oder fehlendes Substrat von Hand dem Gewässer beizufügen. Hierzu ist es notwendig die Querbauwerke komplett zu entfernen und durch andere Bauwerke, wie Raue Rampen zu ersetzen.

Die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie und die damit verbundenen Baumaßnahmen an und in den Gewässern sind Aufgaben, die die Wasserbauingenieure in der Zukunft verstärkt beschäftigen werden.

¹Als Makrozoobenthos bezeichnet man die wirbellosen Tiere der Gewässersohle, die mit bloßem Auge sichtbar sind. Es handelt sich dabei vor allem um Larven von Insekten, um Krebse, Milben, Schnecken und Muscheln, Egel und Würmer.

Teil II

Literaturstudie

2 Durchführung der Literaturrecherche

Im Rahmen der Bachelorthesis soll zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt werden, um sich über den aktuellen Wissensstand im Bereich der Renaturierung von Flussmündungen einen Einblick zu verschaffen. Die durchgeführte Literaturrecherche erfolgte in zwei getrennt voneinander verlaufenden Recherchen. Jedoch wurde bei beiden Recherchen unter anderem mit dem Schneeballprinzip recherchiert, indem die Literaturverzeichnisse der gefundenen Quellen ebenfalls durchsucht wurden.

2.1 Internetrecherche

Zunächst wurde an Hand der Internet-Suchmaschinen

- www.google.de
- www.scholar.google.com(Suchmaschine speziell für wissenschaftliche Texte)
- www.yahoo.de

das Internet auf Quellen durchsucht. Um eine möglichst genaue und aufschlussreiche Suche zu ermöglichen, bieten die verwendeten Suchmaschinen die Möglichkeit zur Anwendung einer erweiterten Suche.

In dieser Suchmaske besteht die Möglichkeit nach verschiedenen Begriffen einzeln oder in unterschiedlichem Zusammenhang dieser Begriffe untereinander zu suchen. So ist es möglich Internetquellen zu suchen, die genau die ausgewählten Begriffe, eine bestimmte Wortgruppe enthalten oder bestimmte Worte nicht enthalten.

Die technische Funktionsweise einer Suchmaschine soll hier nicht näher erläutert werden. Der interessierte Leser kann sich hierzu auf der folgenden Internetseite informieren. <http://www.google.de/intl/de/about.html>

Bei der Suche nach passenden Quellen für das Thema der Bachelorthesis wurde nach folgenden Begriffen und verschiedenen Kombinationen dieser Begriffe untereinander gesucht:

- Mündung,
- Einmündung,
- Flussmündung,
- Renaturierung,
- Umgestaltung,
- Sohlrampe,
- Sohlgleite.

Um für die weiteren Aufgabenstellungen, über die Literaturrecherche hinaus ausreichend Informationsmaterial zu sammeln, wurde zudem speziell noch nach folgenden Flüssen mit den Suchmaschinen gesucht:

- Lippe,
- Emscher,
- Sieg,
- Ahr,
- Anger.

2.2 Datenbankrecherche

Im zweiten Abschnitt der Literaturrecherche wurden die Möglichkeiten der Universitätsbibliothek Wuppertal genutzt. Die sogenannte Digitale Bibliothek ermöglicht eine Datenbanksuche, wobei der Zugriff auf die Literatur zahlreicher nationaler und internationaler Bibliotheken, die an diesem Bibliothekenverbund teilnehmen, ermöglicht wird. Zu den angeschlossenen Datenbanken gehören:

Nationale Bibliothekskataloge:

- Bibliotheksverbund NRW (HBZ),

- Bibliotheksverbund Bayern (BVB),
- Gemeinsamer Bibliotheksverbund (GBV),
- Bibliotheksverbund Hessen (HeBIS),
- Bibliotheksverbund Berlin-Brandenburg (KOBV),
- Südwestdeutscher Bibliotheksverbund (SWB),
- Deutsche Nationalbibliothek,
- Luxemburgischer Verbund.

Zeitschriftenkataloge:

- Elektronische Zeitschriftenbibliothek (EZB),
- Zeitschriftendatenbank (ZDB).

Internationale Bibliothekskataloge:

- Österreichischer Bibliotheksverbund,
- National Library of Australia,
- Norwegischer Bibliotheksverbund,
- Britischer Verbundkatalog und British Library (COPAC),
- Französischer Verbundkatalog (Sudoc),
- Italienischer Bibliotheksverbund,
- National Library of Canada,
- Schwedischer Bibliotheksverbund,
- Library of Congress (USA),
- University of California (Melvyl),
- Netzwerk von Bibliotheken und Informationsstellen in der Schweiz (NeBIS).

Im Bereich der Datenbankrecherche erfolgt die Suche, ähnlich der Internetrecherche, über die Eingabe einzelner Begriffe. Auch in dieser Suchvariante kann eine erweiterte Suche vorgenommen werden.

Hierbei besteht die Möglichkeit in den folgenden Kategorien zu suchen:

- Titel,
- Autor,
- Schlagwörter,
- ISBN oder ISSN,
- Verlag,
- Erscheinungsjahr.

Durch diese detaillierte Suchmöglichkeit können die Ergebnisse spezifiziert und die Anzahl der ungewollten Treffer verringert werden.

Zusätzlich zur Recherche über die Digitale Bibliothek wurde noch eine Recherche über die Datenbank RSWB-PLUS vorgenommen. In dieser Datenbank sind Datenbanken aus den Gebieten Raumordnung, Städtebau, Wohnungswesen und Bauwesen enthalten.

3 Ergebnisse der Literaturrecherche

3.1 Internetrecherche

Bei der Recherche im Internet wurden die aufgeführten Links der einzelnen Suchanfragen aufgerufen und auf ihren Inhalt untersucht. Diese Suche konnte zielgenau durch die Eingabe von Stichwörtern in der Suchfunktion erfolgen. Die Quellen wurden je nach Format der Datei gesichert. Bei einer Vielzahl der Quellen handelte es sich um PDF-Dateien, die frei zum Download zur Verfügung standen und gespeichert werden konnten. Die restlichen Quellen waren zumeist Internetseiten. Der Inhalt dieser Seiten konnte zum einen in ein Textverarbeitungsprogramm übernommen werden und so gespeichert werden oder es konnte der LINK zur Seite gesichert werden. Durch beide Varianten ist ein Zugriff jederzeit möglich. Im Folgenden sind ausgewählte Quellen hinsichtlich ihres Inhalts und der Anwendbarkeit untersucht und zusammengefasst.

**Titel: Ökologische Aspekte der Gewässerentwicklung -
Alpenrheinzuflüsse und Bäche im Rheintal**

Autor: Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie des IRKA

Quelle: www.rov-service.de

Jahr: 2004

Das Handbuch zur ökologischen Gewässerentwicklung wurde 2004 durch die Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie von der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA) erstellt, mit dem Zweck ein Hilfsmittel für die naturnahe Gewässerentwicklung der Alpenrheinzuflüsse bereit zu stellen. Das Handbuch stellt die ökologischen Aspekte der Entwicklungsmaßnahmen in den Vordergrund, jedoch werden die Ziele aus schutzwasserbaulicher und raumplanerischer Sicht nicht vernachlässigt. Durch die Projektgruppe wurden Vorschläge erstellt, die den Planern solcher Maßnahmen als Unterstützung dienen sollen, ohne jedoch den Planungsfreiraum einzuschränken. Das vorliegende Schriftstück

liefert zunächst allgemeine Aspekte sowie einzelne Schritte zur Gewässerentwicklung und beschäftigt sich im weiteren mit der Planung sowie der Umsetzung solcher Maßnahmen. Neben einer Typisierung der Mündungsbereiche wird die Problematik der Mündungsbereiche in unterschiedlicher Weise beleuchtet und dargestellt. So wird hinsichtlich der naturnahen Gewässergestaltung auf die Fragestellungen der Fischdurchgängigkeit, der Geschiebebilanz sowie einiger baulicher Ausführungsvarianten eingegangen. Diese werden anhand von bereits umgesetzten Maßnahmen im Bereich des Alpenrheins dargestellt. Bei den behandelten Mündungsbereichen handelt es sich um die Illmündung, die Mündungsbereiche des Liechtensteiner Binnenkanals und des Werdenberger Binnenkanals sowie die Mündung des Vaduzer Giessen. Obwohl den Beispielen, die im Handbuch dargestellt sind, andere Voraussetzungen und Randbedingungen zu Grunde liegen, können die angegebenen Vorschläge und Hinweise auch für die Mündungsbereiche am Mittel- und Niederrhein angewendet werden. Jedoch müssen die vorherrschenden Rahmenbedingungen bei der Planung in ihren Auswirkungen, auf die einzelnen Aspekte der Gewässerentwicklung abgeschätzt und berücksichtigt werden.

Titel: Maßnahmenkatalog zum Integrierten-Donau-Programm

Autor: Regierungspräsidium Tübingen

Quelle: www.rp-tuebingen.de

Jahr: 2005

Das Integrierte Donau Programm ist angesichts der großen Hochwasserschäden im Februar 1990 entstanden. Die einzelnen Projekte sollten die Problematik von Hochwasser sowie der Gefährdung des Lebensraumes Donau entgegenwirken. Das Programm beinhaltet 227 Einzelmaßnahmen von denen 55 Maßnahmen der Herstellung der Durchgängigkeit der Donau dienen. Der vorliegende Maßnahmenkatalog gibt zunächst eine Einführung in die Anforderungen an eine fachgerechte Planung hinsichtlich Hochwasserschutz und Gewässerökologie. Anschließend erfolgt eine Auflistung aller Maßnahmen des Programms mit Darstellung der Ziele, einzelnen Vorschlägen zur Verwirklichung derer und dem aktuellen Stand. Unter den aufgelisteten Projekten sind 12 Maßnahmen zu finden, die den Mündungsbereich umfassen. Um Kenntnisse zur baulichen Ausführung oder zur Ökologie zu gewinnen, reichen die angegebenen Informationen nicht aus. Hierzu müssten die einzelnen Projekte näher recherchiert und untersucht werden.

**Titel: Hochwasserschutz und naturnahe Umgestaltung der
Schuttermündung bei Kehl**

Autor: Mühlinghaus, Rainer; Bresch, Jochen

Quelle: <http://xfaweb.baden-wuerttemberg.de>

Jahr: 2005

Die Autoren schildern in ihrem Artikel aus der Fachzeitschrift Naturschutz-Info, Ausgabe 2/2005 den Umbau des Mündungsbereiches der Schutter in die Kinzig. Zunächst erhält der Leser eine Einführung in den naturnahen Umbau im Zusammenhang mit dem Hochwasserschutz, da diese beiden Aspekte im Rahmen der Schuttermündung eine große Rolle spielten. Daran anschließend wird die Ausgangssituation mit ihren Problemstellungen und ihrem historischen Hintergrund näher erläutert. Orientierend an dem Leitbild für Flachlandauebäche ergab sich ein Planungskonzept zur Umsetzung der Renaturierungsmaßnahme. Anschließend an die Vorstellung des Konzeptes werden die durchgeführten Maßnahmen wie Dammrückverlegung, Rückbau einer Sohlschwelle, Anlage eines mäandrierenden¹ Gewässerbett vorgestellt. Zum Abschluss erhält der Leser einen Überblick über Erfahrungen und Empfehlungen, die basierend auf einem Monitoring anhand der Baumaßnahme gewonnen wurden.

Der vorliegende Artikel beschreibt eine gelungene Umsetzung der Renaturierung eines Mündungsbereiches. Einzelne gewonnene Erfahrungen können für die Planung von ähnlichen Maßnahmen zur Hilfe genommen werden. Jedoch wie bei allen umgesetzten Projekten sind die angewendeten Lösungen an die gegebenen Rahmenbedingungen angepasst und sind daher nicht allgemein übertragbar.

Titel: Fließgewässerkontinuum; Erhaltung und Wiederherstellung

Quelle: www.classic.uni-graz.at

Die benannte Quelle beschäftigt sich mit der Durchgängigkeit von Fließgewässern. Hierzu werden die unterschiedlichen Möglichkeiten der Fischaufstiegsanlagen erläutert. Sowohl technische als auch natürlich ausgebildete Anlagen werden kurz beschrieben. Im Hinblick auf den Mündungsbereich, wird die mögliche Ausbildung allgemein und anhand eines Beispiels, dem Grimmbach, geschildert. Da keine ausführlichen Details zur Gestaltung des Mündungsbereiches gegeben sind, ist die vorliegende Quelle nur geringfügig für die weitere Arbeit zu verwenden.

¹Natürlich geschwungener Flussverlauf der durch die Eigendynamik des Flusses entsteht.

Die folgenden Literaturquellen entstammen ebenfalls der Internetrecherche und wurden für die Ausarbeitung verwendet, jedoch beinhalten sie nur abschnittsweise Informationen zu Mündungsbereichen und wurden daher nicht zusammengefasst und bewertet.

- Analyse der Durchgängigkeit von Fischpässen (Institut für Zoologie der Universität Hohenheim, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben),
- EU-Wasserrahmenrichtlinie,
- Fischaufstiegsanlagen und ihre Eignung (Referatsniederschrift, Tobias Dolch),
- Fischaufstiegshilfen (Fachbeitrag, Enderle Beratung),
- Fischbestandserhebung im Johnsbach (Bericht zur Studie, Universität für Bodenkultur Wien),
- Salzach: Ein Fluss bewegt (Informationsbroschüre, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft),
- Umgestaltung der Illmündung (Fachbeitrag, Martin Netzer),
- Variantenstudie Pinka (Projektbearbeitung und Detailplanung, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft),
- Gerinneausweitung - Eine geeignete Maßnahme zur Entwicklung naturnaher Flusssysteme,
- Beschreibung und hydr. Bemessung einer Sohlgleite (Daniela Henning, Studienarbeit),
- Erfahrungen zur Niedrigwasserbewirtschaftung (Bundesanstalt für Gewässerkunde, Niederschrift zum Kolloquium der BfG und des EGLV),
- Handbuch der Querbauwerke (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen).

3.2 Datenbankrecherche

Bei der Datenbankrecherche wurden die einzelnen Treffer einer Stichwortsuche unterzogen, hierbei sollte festgestellt werden in welchem Umfang die einzelnen Treffer von Interesse sind und daher eine intensivere Durchsicht erforderlich machen. Die ausgewählten Quellen wurden in einer Liste zusammengestellt und konnten somit zur Einsichtnahme über die Fernleihe der Universitätsbibliothek Wuppertal bestellt werden. Im folgenden werden einige der ausgewählten Quellen benannt, beschrieben und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit hinsichtlich der hier behandelten Thematik beurteilt.

Titel: Umgestaltung der Illmündung

Autor: Netzer, Martin

Jahr: 2003

In dem Artikel von Netzer wird die Umgestaltung der Illmündung detailliert erläutert. Durch das Hochwasser 1999 wurde die bis dahin durch eine 6 m hohe Schüttsteinrampe ausgebildete Mündung der Ill in den Rhein geschädigt. Dies führte dazu, dass über einen Umbau des Bereiches nachgedacht wurde. Da nicht nur die Funktionsfähigkeit der Rampe zerstört war, sondern im Vorfeld auch die Mängel, des bis dahin vorhandenen Mündungsverlauf erkannt wurden, war es nahe liegend die gesamte Mündungssituation zu verbessern. Die daraufhin durchgeführten Umbaumaßnahmen, mit dem Bau zweier Sohlrampen und der Verlagerung der Mündung in den Rhein, stellt der Autor in seinem Artikel dar. Er geht sowohl auf die Ursachen, als auch auf die Funktionsweise und die bauliche Ausführung der neuen Mündung ein. Aus bautechnischer Sicht ist dieser Artikel sehr wertvoll, da er viele kleine Details liefert, die bei der Planung vergleichbarer Maßnahmen anwendbar sind. Auf die Beachtung ökologischer Aspekte wie die Fischdurchgängigkeit wird nicht eingegangen, dies lässt somit keine Erkenntnis über die ökologische Wirksamkeit der neuen Illmündung zu.

Titel: Hochwasserschutz und Ökologie - Umgestaltung der Illmündung

Autor: Jenal, Marcus

Der Autor geht in seinem Statement zur Umgestaltung der Illmündung besonders auf den ökologischen Aspekt dieser Maßnahme ein. Nachdem er einen kurzen Überblick über die Situation vor und nach dem Umbau gegeben hat, beschreibt er die Vorteile die der Umbau, für Flora und Fauna bedeutet. Dieser Artikel stellt eine gute Ergänzung zum Ar-

tikel von Martin Netzer dar, da die offen gebliebenen Fragen hinsichtlich der ökologischen Wirksamkeit des neuen Mündungsbereichs somit geklärt werden.

Titel: Renaturierung der Zulgmündung

Autor: Gasser, Yves

Jahr: 2004

In der Semesterarbeit von Yves Gasser untersucht dieser die Möglichkeiten der Renaturierung der Zulgmündung. Zunächst gibt er eine Einführung in die Thematik der Renaturierung und des zu betrachtenden Gewässers. Der Autor informiert den Leser über die Vorgehensweise bei der Planung von Renaturierungsmaßnahmen und wendet dieses Vorgehen im Rahmen seiner Arbeit an. Basierend auf einer Situationsanalyse in der die Rahmenbedingungen wie die Gewässermorphologie, die hydrologischen Verhältnissen, der Zustand der Natur und infrastrukturelle Aspekte beleuchtet werden gelangt er zur Zielsetzung. Auf Grundlage der in der Zielsetzung geforderten Veränderungen erarbeitet der Autor sechs Ausführungsvarianten. Diese Lösungsvarianten werden hinsichtlich der Erfüllung der gesteckten Ziele einem Bewertungsschema unterzogen. Resultat dieses Bewertungsprozesses ist die Darstellung der besten Variante. Im Folgenden beschreibt der Autor die Umsetzung dieser Maßnahme und geht dabei detailliert auf die Punkte: Flussmorphologie, Baumaßnahmen, ökologische Maßnahmen und die Nutzungsmöglichkeiten ein. Zum Abschluss der Maßnahme erfolgt eine Überprüfung der Resultate hinsichtlich der Akzeptanz bei der Bevölkerung, der Erfüllung von übergeordneten Zielsetzungen und Rechtserlassen sowie ökonomischen Überlegungen.

Die vorliegende Quelle gibt eine zusammenfassende Übersicht über die Durchführung von Renaturierungsmaßnahmen an Flussmündungen. Auf Grund der Allgemeingültigkeit kann sie als eine Checkliste zur Durchführung von Planungen angewendet werden. Die enthaltenen Lösungsmöglichkeiten zeigen wie zahlreich und auch individuell die verschiedenen Varianten zur Umsetzung der vorhandenen Problematik sein können. Die Wahl einer Ausführungsvariante aus einer Palette mehrerer Möglichkeiten, unter Zuhilfenahme eines Punktesystems ist sinnvoll. Zudem zeigt sich wie wichtig ein kontinuierlicher Abgleich der Umsetzung mit der vorgegeben Zielsetzung ist.

Titel: Naturnahe Gestaltung einer Flussmündung**Autor: Jäggi, Martin und Walter, Peter****Jahr: 1983**

In der vorliegenden Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glazologie werden die hydraulischen Modelluntersuchungen für das Projekt des Reussdeltas am Urnersee dargestellt. Um eine Aussagekraft über die Zielerreichung der geplanten Renaturierungsmaßnahmen der Reussmündung wurden im Vorfeld Untersuchungen an Hand eines Modells des Urnersees und der Reussmündung durchgeführt. Im Rahmen dieser Modelluntersuchung wurden verschiedene Varianten der Umgestaltung simuliert. Die Besonderheit der Maßnahme lag in der Untersuchung des Sedimenttransports, der für das Gelingen des Projektes von großer Bedeutung war. Die Autoren schildern die verschiedenen Versuche und ihre Auswirkungen auf die Verlandung der Mündung, der Bildung eines Mündungsdeltas und der Neubildung der Uferzonen.

Da im Rahmen dieses Projektes der Mündungsbereich eines Flusses in einen See untersucht wird, ist die vorliegende Quelle nur begrenzt auf die Aufgabenstellung anzuwenden. Einzelne Aspekte und Problematiken, die im Rahmen der Versuche aufgetreten sind und untersucht werden wie z. B. die Abhängigkeit des Geschiebetransports vom Durchfluss oder den Einfluss des Wasserstandes im Urner See auf den Rückstau im Fluss, lassen sich jedoch auch auf die Situation der Mündung eines Flusses in einen anderen übertragen.

Titel: Vorträge der Fachtagung 1992 in Bregenz**Autor: diverse Tagungsteilnehmer****Jahr: 1992**

Die vorliegende Literaturquelle beinhaltet eine Reihe von Zusammenfassungen der Vorträge, die im Rahmen der Tagung gehalten wurden. Jäggi hielt anlässlich der Veranstaltung einen Vortrag zum Thema: Flussbauliche Probleme an Mündungen. Innerhalb seines Vortrages berichtet er von den Auswirkungen auf den Sedimenttransport² und die Ablagerung im See. Hierbei betrachtet er einerseits die Abhängigkeit vom wechselnden Durchfluss im Fluss und zum anderen den Einfluss aus dem Wasserstand im See. Der Autor knüpft mit seiner Thematik an die Beispiele des Reussdeltas und der Rheinmündung in den Bodensee an. Hierbei gibt er Vorschläge und teilt Erfahrungen mit.

Im Vortrag, zum Thema Naturpotentiale an den großen Mündungen des Bodensees von Univ.-Prof. Georg Grabher werden die Potentiale und die ökologische Besonderheit der Flussmündungsgebiete an mehreren Beispielen am Bodensee erläutert. Zudem wird auf

²Transport von Sohlmaterial auf Grund der Strömung des Flusses

die Förderung der Umgestaltung und der Renaturierung dieser Lebensräume eingegangen.

Die Zusammenstellung der Vorträge dieser Quelle beinhaltet im großen und ganzen den Bereich der Flussmündung in einen See, Erfahrungen hierzu und Untersuchungen hinsichtlich der Umgestaltung solcher Bereiche. Auf Grund dieser Spezialisierung ist es fraglich inwieweit eine Übertragung auf die Problematik der Flussmündungen in ein anderes Fließgewässer möglich ist. Das Problem des Sedimenttransportes spielt zwar auch in dieser Situation eine Rolle, ist aber durch die anderen dynamischen Voraussetzungen nicht identisch mit der hier geschilderten Problematik.

Die hier aufgelisteten Literaturquellen befassen sich nicht speziell mit dem Mündungsbe-
reich von Flüssen, daher wurde hier auf eine Zusammenfassung und Bewertung verzichtet.

- Flussmündungen in Seen und Stauseen in Bregenz (Internationale Rheinregulierung; 1992),
- Die Wuppermündung bei Rheindorf (Klaus, 1984),
- Die Flussmündungen (Samojlov, 1956),
- Umgestaltung der Kinzig-Schutter-Mündung (Gewässerdirektion südlicher Ober-
rhein; 2002),
- Die morphologische Entwicklung der Schleimündung (Voss, 1967),
- Renaturierung von Fließgewässern: Untersuchungen zur Vegetationsentwicklung an
der Enz in Pforzheim (Konold W., Hohmann, 1995),
- Auswirkungen einer Bachrenaturierung auf Gewässer und Aue (Koehler, 1998),
- Ökologische Bewertung von Fließgewässerlandschaften: Grundlagen für Renaturie-
rung und Sanierung (Niehoff, 1996),
- Die Ufervegetation eines Fließgewässers in Abhängigkeit vom Ausbau mit unter-
schiedlichen Materialien (Kim, 1996),
- Auf dem Weg ins neue Emschertal: Ein Fluss lebt auf (Polte, 2006),
- Von Wasserläufen zu Gewässern: der Umbau des Emscher-Systems (Hurck, 1997),
- Möglichkeiten der Umgestaltung von Wasserläufen im Emschergebiet (Emscherge-
nossenschaft, 1989),
- Die Ilz - Zustand und Entwicklungsmöglichkeiten des Flussmündungsabschnitts in
Passau (Deichner, 2002),
- Funktionalität der Rußbachmündung hinsichtlich Fischaufstieg (Ilias, 2007),
- Die Ill erhält eine neue Mündung (2001),
- Die ursprüngliche Mündung des Kaikos (Gerkan, 1956),
- Die dritte Mündung der Emscher in den Rhein (Carp, 1952),

- Naturnahe verzweigte Flussabschnitte als Mittel gegen Sohleintiefung (Jaeggi, Pellandini, 1985),
- Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern, Leitfaden Teil 2 (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2006),
- Das ehemalige Bischberger Wehr: Wasserbauliche Probleme am Zusammenfluss von Main und Regnitz (Gunzelmann, 2006).

Neben der eigenen Literaturrecherche konnte zudem auf eine bereits bestehende Literaturzusammenstellung zum Thema Sohlrampen/Sohlgleiten zurückgegriffen werden. Bei der Durchsicht der vorhandenen Literatur sollte diese hinsichtlich dem Ausbau von Mündungsbereichen gesichtet werden. Zusammenfassend lässt sich hierzu jedoch feststellen, dass speziell im Hinblick auf Mündungsbereiche keine Literatur aufzufinden war, die ausschließlich dieses Thema behandelt. Die vorhandene Literatur beinhaltet zu einem großen Teil die Erfahrungen und gewonnenen Erkenntnisse aus bereits umgesetzten Projekten zur Wiederherstellung der Durchgängigkeit. Vereinzelt konnten Projekte gefunden werden, wie zum Beispiel die Umgestaltung der Autmutmündung in den Neckar oder die Breitenbachmündung, die einen kurzen Überblick über die Maßnahmen zur Renaturierung vor Ort geben.

Teil III

Mündungsbereiche ausgewählter
Nebenflüsse des Rheins

4 Einleitung

Um sich mit verschiedenen Mündungssituationen vertraut zu machen und Erkenntnisse aus bisher umgesetzten Projekten zu gewinnen, wurde im Rahmen der Bachelor Thesis eine Besichtigungstour zu ausgewählten Nebenflüssen des Rheins geplant und durchgeführt. Dazu war es zunächst notwendig, sich über die einzelnen Flüsse im Vorfeld zu informieren, um sich einen Einblick in die Gegebenheiten und Besonderheiten der jeweiligen Rheinstation zu verschaffen. Diese Informationsbeschaffung wurde zum Teil im Rahmen der Literaturrecherche abgehandelt. Die allgemeinen Informationen, die zu den Nebenflüssen gefunden wurden, werden in den Kapiteln zu den einzelnen Stationen dokumentiert. Um sich mit der Lage der Mündungsbereiche vertraut zu machen und eine effiziente Routenplanung zu ermöglichen, wurde über das Programm Googlemaps die jeweilige Station als Satellitenbild herausgesucht. Anhand der Informationen aus den Bildern und des Straßennetzes wurden die Mündungsbereiche schnell aufgefunden. Hierbei waren die Mündungsbereiche von Lippe und Emscher direkt befahrbar. Bei den Mündungen der Ahr und Sieg waren Fußwege von 10-20 Minuten zum Erreichen des Flusses erforderlich. Der Mündungsbereich der Anger konnte leider nicht besichtigt werden, da der Zugang nur über das Privatgelände der Hüttenwerke Krupp Mannesmann möglich ist. Hier konnten nur Bilder des Flusses 1-2 km oberhalb der Mündung aufgenommen werden. Bei den vier Flüssen, deren Mündungen zugänglich waren, wurden die eigentlichen Mündungsbereiche sowie der Flusslauf 0,5 bis 1 km oberhalb der Mündung besichtigt. Vor Ort wurde zur Erleichterung der Dokumentation ein vorbereiteter Fragebogen ausgefüllt. Die Bildaufnahmen, die bei der Erkundung der einzelnen Mündungen erstellt wurden, sind auf der beigefügten CD-ROM zusammengestellt. Zur Orientierung ist in den Anlagen zu jedem Fluss ein Lageplan des Mündungsbereiches beigefügt. Auf diesem sind die Standpunkte zu den einzelnen Bildern eingezeichnet. Die Ergebnisse der Vorrecherche sowie der Besichtigungstour werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

5 Die Ahr

5.1 Vorrecherche

Die Ahr entspringt in Blankenheim im Ahrgebirge (Nordrhein-Westfalen) auf einer Höhe von 520 m über dem Meeresspiegel. Nach rund 21 km in östlicher Richtung erreicht die Ahr Rheinland-Pfalz. Südlich von Bonn in der Ortschaft Remagen-Kripp fließt sie mit einer Gesamtlänge von 89 km in den Rhein. Das Einzugsgebiet der Ahr beläuft sich auf insgesamt 900 km². Der Mündungsbereich der Ahr stellt eine der wenigen natürlichen Flussmündungen des Rheins dar. Abbildung 5.1 zeigt deutlich den mäandrierenden Verlauf des Flusses auf den letzten Metern oberhalb der Mündung. Das gesamte Mündungsgebiet der Ahr steht unter Naturschutz. Doch oberhalb dieses Naturschutzgebietes unterlag die Ahr dem Eingriff der Menschen.



Abbildung 5.1: Satellitenbild der Ahrmündung, Quelle: maps.google.de

Ab dem 19. Jahrhundert wurde die Ahr, bedingt durch die sich immer stärker ausdehnenden Siedlungen, in ein vorgegebenes Trapezprofil eingebettet. Durch Sicherung der Uferbereiche wurde die Möglichkeit der natürlichen Flussbettbildung unterbunden. Die enormen Eingriffe des Menschen in den natürlichen Flusslauf, führten zu drastischen Risiken



Abbildung 5.2: Satellitenbild der Ahrmündung (Detail), Quelle: maps.google.de

im Mündungsbereich der Ahr. Durch die größere Fließgeschwindigkeit und den erhöhten Wasserdruck wurde die Standsicherheit der Dämme am angrenzenden Rhein stark gefährdet. Deren Versagen beinhaltete die Gefahr, dass große Geröllmassen in den Rhein gespült werden. Des Weiteren konnte im Hochwasserfall nicht ausreichend Rückzugsraum für die Ahr geboten werden. Dieses Gefahrenpotential und die Forderungen durch die Wasser-Rahmenrichtlinie waren Anlass dazu, sich über eine Umstrukturierung der Ahrmündung Gedanken zu machen. Im Jahr 2001 wurde daraufhin ein Gewässerentwicklungsplan für die Ahr fortgeschrieben. Dieser sah vor, den Fluss auf 650 m Länge oberhalb des Mündungsbereichs naturnah umzugestalten. Dabei sollte vor allen Dingen der Eigendynamik des Flusssystems freien Lauf gelassen werden. Zum Erreichen dieser Ziele waren einige erhebliche Baumaßnahmen im angesprochenen Bereich durchzuführen. So mussten Rad- und Wanderwege sowie bestehender Uferverbau entfernt werden, um die Flussbettentwicklung zu ermöglichen. Während der Umbaumaßnahmen wurde das Gewässerbett durch angelegte Laufverschwenkungen vorprofiliert (siehe Abb.: 5.3).



Abbildung 5.3: Umgestaltungsstrecke mit altem und neuem Flusslauf, Quelle: (Ahrweiler; 2002)

Darüber hinaus wurden Initialmaßnahmen, durch Einbringen von Strömunglenkern aus Totholz, gestartet. Nach einer ersten Bauphase wurde über die Winterphase 2003 die Entwicklung des Flusslaufes beobachtet, um für den zweiten Bauabschnitt Erkenntnisse zu

gewinnen. In den beiden durchgeführten Baumaßnahmen ist seit dem Umbau der natürliche Charakter eines Fließgewässers zu erkennen. Auch die beabsichtigte und geförderte Eigenentwicklung des Flussbettes konnte zum Teil signifikant beobachtet werden, so hat sich der Flusslauf in manchen Bereichen bereits innerhalb eines Jahres um 15-20 m verlagert. Die Kosten für die gesamte Renaturierungsmaßnahme werden mit 360.000 EUR beziffert.

5.2 Dokumentation der Besichtigung



Abbildung 5.4: Ahrmündung (Blick von Fugängerbrücke)

Die Ahr zeigt sich im Bereich der Mündung als ein naturnah gestalteter Fluss. Der Mündungsbereich der Ahr liegt in einem Naturschutzgebiet, Wander-, und Radfahrwege durchziehen dieses Gebiet und bieten Touristen einen natürlichen Erholungsraum. Der eigentliche Mündungsbereich ist ungehindert unterhalb einer Holzbrücke (Bild Ahr4) betretbar. Dies bietet keinen ausreichenden Schutz gegen wilde Müllablagerungen oder Zerstörung des natürlichen Uferbereiches durch den Menschen.

Im Mündungsbereich ist dem Flusslauf durch die überquerende Brücke und den notwendigen Brückenpfeiler ein Zwangspunkt auferlegt. Dies hat jedoch keine Einschränkungen zur Folge, da der direkte Anschluss an den Rhein durch einen gesicherten Uferbereich vor flussdynamischen Einwirkungen geschützt ist. Somit wird der eigenständigen Verlagerung des Flusslaufes unterhalb der Brücke entgegengewirkt. Bewegt man sich etwas flussaufwärts von der Mündung lassen sich nur noch geringfügig anthropogene¹ Einwir-

¹vom Menschen verursacht

kungen erkennen. Der Flussverlauf ist hier leicht mäandrierend. Das Flussbett konnte sich in der Vergangenheit durch die Flussdynamik natürlich entwickeln. Merkmale wie ein ausgetrockneter Altarm (Bild Ahr26) oder einzelne Kiesbänke (Bild Ahr23) sind Folgen der ständigen Flussdynamik. Im Bereich der Uferstruktur ist diese Eigenschaft des Flusses anhand der ausgeprägten Prall- und Gleitufer zu erkennen. Die Uferbereiche weisen deutliche Zeichen von Erosion auf (siehe Bild Ahr30). Es sind sowohl steile als auch flache Uferbereiche natürlich erschaffen worden. Lediglich im Bereich der Brücke konnte sowohl oberhalb als auch unterhalb dieser eine Befestigung des Ufers festgestellt werden (Bild Ahr31). Dieser vorgegebene Uferbereich ist vermutlich einerseits auf Grund der Brücke andererseits zum Schutz der angrenzenden Radfahrwege und Rheindeiche eine aufgewrungene Grenze für den Flusslauf. Die Uferbereiche sind von einer natürlichen und vielfältigen Vegetation geprägt. Man findet einen dichten Bewuchs aus Bäumen und Strauchwerk vor. Die teilweise überspülten Bereiche und die feuchten Bereiche der Fluss-aue weisen zudem einen dichten Bewuchs an Gräsern und Kräutern auf (Bild Ahr27).

Auf Grund des geringen Wasserstandes zum Zeitpunkt der Besichtigung konnten die Außenbereiche sowie einzelne Sand und Kiesbänke aufgesucht werden. Natürliche Strömunglenker wie Totholz (siehe Bild Ahr18) sorgen für flussdynamische Einwirkungen. Die Sohlstruktur besteht aus Kies und Sand und zeigt keinerlei Befestigung auf. Durch verschiedene Gewässertiefen bilden sich Bereiche unterschiedlicher Strömungen. Dies ist mitunter eine Voraussetzung für die Durchgängigkeit für Fische und andere Lebewesen. Ein weiterer Aspekt der Durchgängigkeit ist die sohlengleiche Anbindung der Ahr an den Rhein. Das Gefälle der Ahr geht kontinuierlich in den Rhein über. Somit sind keinerlei Querbauwerke zum Überwinden größerer Höhendifferenzen notwendig.

Der Hochwasserschutz an der Ahr wird durch verschiedene Maßnahmen erreicht. Zunächst fließt die Ahr im Bereich der Mündung innerhalb eines Naturschutzgebietes, daher kann hier ausreichend Retentionsraum zur Verfügung gestellt werden. Als weiterer Schutz sind größere Böschungen im nächsten Umfeld der Ahr vorzufinden (Bild Ahr31), die die Funktion eines Deiches übernehmen können. Im Hinterland finden sich noch vereinzelt angelegte Deiche vor (Bild Ahr34). Ob diese dem Rheinhochwasser dienen oder aus dem Hochwasserschutz der Ahr früherer Zeiten stammen, konnte bei der Besichtigung nicht geklärt werden.

Abschließend lässt sich sagen, dass sich die Ahr im Bereich der Mündung zu einem naturnahen Gewässer entwickelt hat. Die Eindrücke, die bei der Besichtigung entstanden sind, zeigen die positiven Auswirkungen der durchgeführten Renaturierungsmaßnahmen. Handlungsbedarf besteht jedoch hinsichtlich des Schutzes dieses Naturraumes vor dem Eingriff durch Menschen. Der Verschmutzung dieses Lebensraumes durch rücksichtslos

entsorgten Müll (wie z. B. Altreifen auf Bild Ahr25 zu sehen) sollte entgegengewirkt werden, um diesen Lebensraum für Fauna und Flora zu schützen.

Tabelle 5.1: Besichtigungsprotokoll Ahr

Fluss	Ahr
Datum	24.09.2007
Ankunftszeit	10:20 Uhr
Abfahrtszeit	11:25 Uhr
Wetter	sonnig
Pegel	15,4 cm (Neuhof)
Mündungswinkel	30°-40°
Mündungsbreite	~ 20 m
Höhendifferenz zum Rhein	höhengleich
Profil	natürlich, wechselnd, verschiedene Fließgeschwindigkeiten, Altarme, Kiesbänke
Flussverlauf	mäandrierend, flussdynamisch entwickelt, trockener Altarm
Sohlstruktur	unbefestigt, Kies, teils sandig
Uferbereich	Prall- und Gleitufer vorhanden, steile Uferbereiche, Erosion zu erkennen
Bauten/Querbauwerke	keine Querbauwerke, eingespundeter Stützpfeiler von Fußgängerbrücke im Fluss
Hochwasserschutz	Retentionsflächen, alte Deiche, sowie Rheindeiche
Vegetation	Auenwald, verschiedene Bäume und Sträucher
Nutzung des Gewässers	keine Nutzung erlaubt
angrenzende Flächen	Naturschutzgebiet
Bemerkungen	/

6 Die Sieg

6.1 Vorrecherche

Die Sieg entspringt im Rothaargebirge (Nordrhein-Westfalen) auf einer Höhe von 606 m ü. NN und verläuft in Ost-westlicher Richtung. Nach ca. 34 km Fließlänge erreicht sie in der Nähe von Niederschelden nach Rheinland-Pfalz und nach einer weiteren Fließlänge von 44 km fließt sie in Windeck wieder nach Nordrhein-Westfalen ein. Nach einer gesamten Fließlänge von rund 155,2 km mündet sie in der Nähe von Mondorf (nördlich von Bonn NRW), auf einer Höhe von 50 m ü. NN in den Rhein (siehe Abb.: 6.1).



Abbildung 6.1: Satellitenbild der Siegmündung, Quelle: maps.google.de

Das durchschnittliche Gefälle der Sieg beträgt somit 0,15 Prozent. Das Einzugsgebiet der Sieg umfasst 2.832 km², von denen sich 2.190 km² in Nordrhein-Westfalen und die restlichen 642 km² in Rheinland-Pfalz befinden. Die durchschnittliche Breite der Sieg bei Mittelwasser liegt im Oberlauf bei 10 m und im Unterlauf bei 50 m. Im Bereich der Mündung findet eine Aufweitung des Flusslaufes auf eine Breite von 150 m statt (siehe Abb.: 6.2).

Auf dem Weg von der Quelle zur Mündung durchfließt die Sieg das rechtsrheinische Schiefergebirge und die niederrheinische Tieflandbucht. Im Oberlauf der Sieg ist der Verlauf



Abbildung 6.2: Satellitenbild der Siegmündung (Detail), Quelle: maps.google.de

und der Querschnitt städtebaulich geprägt. Auf Grund des Eisenerzbergbaus und der Verhüttung im Siegerland fand hier ein technischer und annähernd kanalisierter Ausbau des Gewässernetzes statt. Dies hat zur Folge, dass die Durchgängigkeit der Sieg in diesem Bereich durch mehrere Querbauwerke und Talsperren beeinträchtigt ist. Im Unterlauf und Mündungsbereich hingegen ist ein naturnaher Zustand der Sieg weitestgehend erhalten geblieben. Die Sieg zählt zu einem der Pilotgewässer im Rahmen des Wanderfischprogramms-NRW. Im Rahmen dieses Programms wurden an der Sieg Renaturierungsmaßnahmen durchgeführt, die zum Erreichen einer Durchgängigkeit für Fische erforderlich waren. Der Mündungsbereich der Sieg ist seit 1986 zum Naturschutzgebiet erklärt worden. Die besonderen Gegebenheiten zwischen Rhein und Sieg bilden einen Lebensraum, der für einige Pflanzenarten der Roten Liste einen Lebensraum bietet. Die Festsetzung als Naturschutzgebiet stellt einen positiven Aspekt hinsichtlich der Erhaltung dieses Landschaftsgebietes dar. Im 18. Jahrhundert fand eine Begradigung der Sieg statt. Hiernach mündete sie nahezu senkrecht in den Rhein, wodurch die Geröllablagerungen im Sieg- und Rheinbett stark zunahmten. Die Folge dieser Ablagerungen war eine Verflachung des Gewässerbettes und dadurch bedingte Überflutungen bei hohen Wasserständen. Die in Abb. 6.2 erkennbaren alten Mündungsarme stammen aus dieser Zeit.

6.2 Dokumentation der Besichtigung



Abbildung 6.3: Siegmündung (Blick in Fließrichtung)

Die Sieg verläuft ebenso wie die Ahr in einem Naturschutzgebiet. Dieses Naturschutzgebiet ist für Fußgänger und Radfahrer freigegeben und es sind zahlreiche Wanderwege vorhanden. Die Sieg ist für jedermann zugänglich. Diese ungeschützte Lage äußert sich unter anderem darin, dass ausgebrannte Feuerstätten am Ufer der Sieg aufzufinden sind. Inwieweit dies eine Beeinträchtigung für die Lebewesen im Lebensraum Siegmündung darstellt, soll hier nicht näher untersucht werden.

Der Verlauf des Flusses in Mündungsnähe ist sehr geradlinig und verläuft hier nahezu parallel zum Rhein. Im Bereich der Einmündung in den Rhein findet eine starke Aufweitung des Flusses statt. Hierbei lässt sich ein deutlich ausgebauter Fluss feststellen, was sich zudem in der Profilierung in Form eines Trapezes zeigt. Die Uferbereiche weisen eine Befestigung durch Wasserbausteine auf (Bild Sieg2 und Sieg10). Vereinzelt sind Auskolkungen im Uferbereich zu erkennen (Bild Sieg5). Neben den befestigten Uferbereichen gibt es Abschnitte, die eine kiesig-sandige Struktur aufweisen und den natürlichen Bedingungen nahe kommen. Der Uferbereich ist von einer dichten Vegetation geprägt, die aus Bäumen und Strauchwerk besteht (Bild Sieg4).

Ein besonderes Merkmal des Mündungsbereiches sind die alten Nebenarme der Sieg, die heute noch als Hochwasserrückhalt genutzt werden. Diese großen seenartigen Gebiete sind durch kleine Zuflüsse mit der Sieg verbunden. Auf Grund der ungestörten Lage im Naturschutzgebiet und teilweise vorhandener Inselbildung in den Stehgewässern, konnten sich hier artenreiche Lebensräume entwickeln. So können, laut Aussage eines, vor Ort angetroffenen Tierbeobachters Nutria, Reiher, Fledermäuse und vereinzelt Eisvögel

beobachtet werden. Die angrenzenden Gewässer werden zum Angelsport genutzt. Darüber hinaus unterliegt der Fluss zudem einer Nutzung als Bademöglichkeit und durch den Kanusport.

Hinsichtlich der Durchgängigkeit befindet sich die Siegmündung in einem mängelfreien Zustand. Es sind keine Querbauwerke oder sonstigen Hindernisse zu erkennen, die den Fischeaufstieg verhindern würden.

Zusammenfassend lässt sich die Mündung der Sieg trotz der anthropogenen Einflüsse als wertvoll für die Natur beurteilen. Der typische Verlauf eines naturnahen Flusses lässt sich hier jedoch nicht feststellen. Hinsichtlich dieses Aspektes besteht sicherlich noch ausreichend Handlungsbedarf.

Tabelle 6.1: Besichtigungsprotokoll Sieg

Fluss	Sieg
Datum	24.09.2007
Ankunftszeit	12:15
Abfahrtszeit	13:30
Wetter	sonnig, leicht bewölkt
Pegel	41 cm (Menden1)
Mündungswinkel	30°
Mündungsbreite	50 m stark aufgeweitet
Höhendifferenz zum Rhein	höhengleich
Profil	Trapezprofil, ausgebaut
Flussverlauf	relativ geradlinig
Sohlstruktur	befestigt, Wasserbausteine
Uferbereich	Böschungen durch Wasserbausteine gesichert, Auenwald, stark bewachsen, vereinzelt Rückbau der Befestigung,
Bauten/Querbauwerke	keine Bauwerke
Hochwasserschutz	Nebenarme und Seen als Retentionsraum vorhanden
Vegetation	Waldgebiet, Strauchwerk
Nutzung des Gewässers	Freizeitsport
angrenzende Flächen	Naturschutzgebiet, Ackerflächen, Stehgewässer
Bemerkungen	Parallelführung zum Rhein

7 Die Lippe

7.1 Vorrecherche

Die Lippe entspringt auf einer Höhe von 138 m über dem Meeresspiegel in Bad Lippspringe in der Nähe des Teutoburger Waldes (Nordrhein-Westfalen). Nach einer Fließlänge von insgesamt 220 km in Ost-westlicher Richtung mündet die Lippe bei Wesel in den Rhein. Die Höhendifferenz zwischen der Mündung und der Quelle beträgt lediglich 123 m. Dadurch ergibt sich für die Lippe ein durchschnittliches Gefälle von 0,05 %. Das Einzugsgebiet der Lippe umfasst insgesamt 4.882 km². Die Breite der Lippe variiert im ausgebauten Zustand zwischen 15 m und 40 m und im naturnahen Zustand zwischen 30 m und 60 m. Auf den letzten Kilometern vor der Mündung lässt sich ein deutlicher Ausbau und die Begradigung des Flusslaufes erkennen (s. Abb.: 7.1).

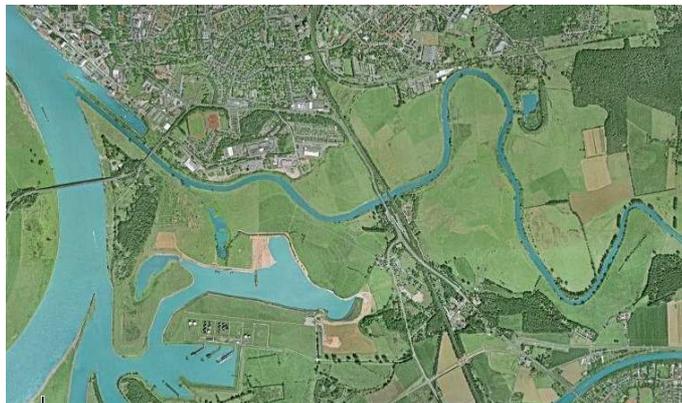


Abbildung 7.1: Satellitenbild der Lippemündung, Quelle: maps.google.de

Die Lippe wurde schon zur Zeit der Römer genutzt und daher ausgebaut, konnte jedoch nie effektiv als eine Schifffahrtsstraße genutzt werden. Diese Beeinträchtigung ist durch den sandgeprägten Fluss gegeben, der hierdurch einen hohen Sedimenttransport aufweist und die Unterhaltung als Schifffahrtsstraße sehr kostenintensiv darstellt. Im 19. Jahrhundert konnte die Schifffahrt auf der Lippe, durch den Bau des Dortmund-Ems-Kanals (1899)

sowie des Datteln-Hamm- und Wesel-Datteln-Kanals eingestellt werden. Seit dem Beginn des 20. Jahrhundert hat sich die Nutzung der Lippe stark geändert. Zunächst wurde die Wasserkraft und das Wasser der Lippe genutzt, um die wachsende Bevölkerung mit Strom und Trinkwasser zu bedienen. Später kam die Nutzung als Kühlwasser für die Wärmekraftwerke hinzu. Eine weitere Bedeutung der Lippe liegt jedoch im Bereich der Naherholung und des Naturschutzes. Trotz zahlreicher Kläranlagen ist die Lippe einer starken Belastung durch die intensive Nutzung ausgesetzt.

Um diese zahlreichen Nutzungen der Lippe wie z. B. Wasserentnahme, Wasserkraft und Bewässerung zu ermöglichen, ist ein Aufstau des Flusses durch zahlreiche Querbauwerke erforderlich. So ist die Durchgängigkeit der Lippe auf Grund der fast 1.000 Querbauwerke im Einzugsgebiet der Lippe stark beeinträchtigt.

Hinsichtlich verschiedener Aspekte befindet sich die Umgestaltung der Lippemündung derzeit in Planung. Die Bundesstraße B58, die sich derzeit im Stadtgebiet von Wesel mit der B8 kreuzt und zu einer Überlastung des Zentrums führt, soll verlegt werden. Zu diesem Zwecke ist mit dem Bau einer neuen Rheinbrücke, parallel zur alten Rheinbrücke (siehe Bild Lippe 28 und 29) begonnen worden.



Abbildung 7.2: Satellitenbild der Lippemündung (Detail), Quelle: maps.google.de

Der neue Verlauf der B58 soll entlang der Lippeauen sein. Dadurch kreuzen sich die beiden Bundesstraßen außerhalb des Zentrums. Diese Verlegung des Straßenverlaufs führt zu einer Konfliktsituation mit dem Verlauf der Lippe. Als weiterer Aspekt ist der angrenzende Abbau von Sand und Kies zu nennen, der derzeit noch in direkter Nachbarschaft zur Lippe erfolgt. Die dritte Notwendigkeit einer Umgestaltung der Mündungssituation der Lippe ist auf Grund der fortwährend anhaltenden Sohleintiefung gegeben. Diese drei Randbedingungen haben zu dem Entschluss geführt der Lippe ein neues Gewässerbett zur Verfügung zu stellen.

Im ersten Schritt soll im Bereich der Lippeauen der Abbau von Kies und Sand fortgeführt

werden. Im Rahmen dieser Abbaumaßnahmen wird der gesamte Mündungsbereich um 4 m abgesenkt. Durch diese Maßnahmen wird der Auenbereich der neuen Lippemündung geformt und der Mündung somit ein Gebiet von 92 ha zur Verfügung gestellt. Teile des abgebauten Materials werden zur Verfüllung und Erhöhung des bisherigen Lippeverlaufs verwendet. Der problematischen Tiefenerosion wird durch eine Schüttsteinrampe wenige Meter oberhalb der Mündung in den Rhein entgegengewirkt. Die Uferbereiche der neuen Lippe werden natürlich und unbefestigt angelegt, somit erhält der Fluss die Möglichkeit sich sein Gewässerbett selbst zu formen. Die Auenbereiche werden bei wechselndem Durchfluss regelmäßig überschwemmt und bieten so einen natürlichen Lebensraum. Im Bereich der Stützpfiler der Fahrbahnbrücke und im Bereich der Hochspannungsmasten ergeben sich die einzigen Zwangspunkte, die befestigt und gegen Erosion geschützt werden müssen. Durch ausreichend zur Verfügung stehenden Retentionsraum kann auf weitere Hochwasserschutzmaßnahmen, im Bereich der Lippemündung verzichtet werden. Abbildung 7.3 gibt einen Überblick über die geplanten Maßnahmen und den Verlauf der neuen Lippe. Das Projekt soll nach einer Bauzeit von 5 Jahren im Jahr 2010 abgeschlossen werden.

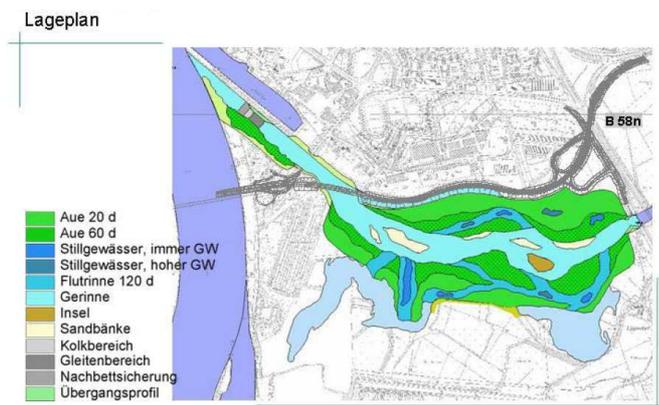


Abbildung 7.3: Lageplan der neuen Lippemündung), Quelle: Lippeverband

7.2 Dokumentation der Besichtigung



Abbildung 7.4: Lippemündung (Blick von B8-Brücke)

Der Mündungsbereich der Lippe liegt etwas abgelegen von Straßen und Radwegen, daher ist der Bereich nur über die angrenzenden Weideflächen zu erreichen. Auf den letzten 600 m vor der Einmündung in den Rhein verläuft die Lippe geradlinig (Bild Lippe31). Das typische Bild eines ausgebauten Flusses wird durch das vorzufindende Trapezprofil mit einer Breite von rund 30 m zudem verstärkt. Die Böschungsneigungen im Uferbereich betragen zwischen 45° und 60° . Der Randbereich der Sohle sowie die Uferböschungen sind mit Wasserbausteinen befestigt um der Erosion entgegenzuwirken. Auf der linken Uferseite der Lippe sind vereinzelt Bäume vorzufinden. Hierbei handelt es sich größtenteils um Weiden. Zum Schutz gegen Erosion sind die Uferböschungen zudem mit Gras bewachsen. Die durchgängige Uferbefestigung wird vereinzelt durch freigelassene Bereiche, die als Abgänge für Vieh dienen, unterbrochen (Bild Lippe7). Ob diese Freiräume gezielt angelegt wurden oder ob sie durch Auskolkung entstanden sind konnte nicht geklärt werden.

Am rechten Lippeufer befindet sich eine üppig mit Bäumen und Sträuchern bewachsene Landzunge. Diese Halbinsel dient der Abtrennung der Lippe vom kleinen Hafenbecken vor Wesel (Bild Lippe32). Im Bereich der Lippemündung findet neben der Nutzung als Hafengelände hauptsächlich eine Bewirtschaftung durch Weideflächen (Bild Lippe30) statt. Etwas aufwärts der Mündung fließt die Lippe unter der B58 hindurch (Bild Lippe25). Die Pfeiler der Brücke stellen bestimmte Anforderungen an die Festigkeit des Bodens und sollten vor Erosion geschützt werden. Daher ergeben sich hier die ersten Zwangspunkte im Hinblick auf eine geplante Renaturierungsmaßnahme (Bild Lippe27). Südöstlich der Lippebrücke befindet sich derzeit der Tagebau zum Abbau von Kies und Sand (Bild Lip-

pe22). Dieses Gebiet wird von der Planung zur Umlegung der Lippe erfasst.

Hinsichtlich der Durchgängigkeit konnten im Bereich der Mündung keine Einschränkungen gefunden werden. Es waren weder Querbauwerke noch andere bauliche Einrichtungen zu sehen, die den Aufstieg der Fische behindern. Da die Lippe jedoch lange Zeit zur Abwasserentsorgung (Bild Lippe23) genutzt wurde, lies die Wasserqualität bisher kaum ein Ansiedeln von Fischen zu.

Der Hochwasserschutz kann im Mündungsbereich durch angrenzende Retentionsflächen¹ gewährleistet werden. Zudem befinden sich am rechten Lippeufer steile Böschungen mit einer Höhe von ca. 5-7 m.

Neben der bereits angesprochenen Nutzung der Lippe zur Abwasserentsorgung dient die Lippe der Naherholung sowie dem Freizeitsport.

Zum Zeitpunkt der Besichtigung wurden die Baumaßnahmen zur Herstellung der neuen Rheinbrücke bereits durchgeführt (Bild Lippe28). Am westlichen Rheinufer steht bereits der Brückenpfeiler, am östlichen Ufer laufen derzeit die Baumaßnahmen für die Brückenwiderlager.

Abschließend kann die Lippe im derzeitigen Zustand als anthropogen geformter Fluss bezeichnet werden, der keinen natürlichen Lebensraum für Pflanzen und Tiere bieten kann. Im Bezug auf die geplanten Renaturierungsmaßnahmen im Zusammenhang mit der Verlegung der B58 wird die natürliche Entwicklung der Lippe ermöglicht und gefördert.

¹Flächen die auf Grund ihrer eingeschränkten Nutzung im Falle eines Hochwassers überschwemmt werden.

Tabelle 7.1: Besichtigungsprotokoll Lippe

Fluss	Lippe
Datum	22.09.2007
Ankunftszeit	12:00 Uhr
Abfahrtszeit	13:45 Uhr
Wetter	sonnig, leichte Wolkenfelder
Pegel	180 cm, Schermbeck1
Mündungswinkel	~ 60°
Mündungsbreite	~ 30 m
Höhendifferenz zum Rhein	höhengleich
Profil	Trapezprofil
Flussverlauf	begradigt, ausgebaut
Sohlstruktur	Wasserbausteine
Uferbereich	Böschung 45°-60°, mit Wasserbausteinen befestigt, Abgänge für weidende Tiere, rechtes Ufer Baumbewuchs
Bauten/Querbauwerke	keine Querbauwerke
Hochwasserschutz	Eindeichung und Retentionsraum vorhanden
Vegetation	vereinzelt Weiden und andere Bäume, Weidegras, Buschwerk
Nutzung des Gewässers	Naherholung, Freizeitsport
angrenzende Flächen	Weidefläche, Kiesbaggerei, kleiner Hafen
Bemerkungen	Neubau der Rheinbrücke, Zwangspunkt durch Brückenpfeiler

8 Die Anger

8.1 Vorrecherche

Die Anger (auch Angerbach genannt) entspringt in Wülfrath (NRW) und mündet nach einer gesamten Flusslänge von 35,7 km in Angerhausen (Duisburg, NRW) in den Rhein. Auf dem Weg von der Quelle bis zur Mündung durchfließt der Fluss fruchtbare Lössgebiete, sandige bergische Heideterassen und letztendlich das Niederrheinische Tiefland. Der Angerbach zählt nicht mehr zu den naturnahen Flüssen, er ist auf weiten Teilen begradigt und aus seinem alten Flussbett verlegt worden. Es finden sich häufig verrohrte Abschnitte vor. Der Uferbereich ist in großem Rahmen vorprofiliert, jedoch konnten sich vereinzelt im Uferbereich naturnahe Zonen entwickeln, da dieser nicht durchweg befestigt ist. Aus Gründen des Hochwasserschutzes ist der Bereich von Kesselsberg bis zur Mündung ausgebaut und begradigt. Das Bachbett bildet hier ein tief eingeschnittenes Tal, das von steilen unzugänglichen Uferböschungen geprägt ist. Zur Verlegung und Aufnahme des Bachlaufes konnte damals ein alter Banndeich des Rheins verwendet werden. Auf den letzten 700 m vor der Einmündung in den Rhein bildet der Angerbach die nordöstliche Grenze zu den Hüttenwerken Krupp Mannesmann (HKM) (s. Abb. 8.1).



Abbildung 8.1: Satellitenbild der Angermündung, Quelle: maps.google.de

Aufgrund der hier angrenzenden Privatgrundstücke, ist der Mündungsbereich nicht frei zugänglich. Daher konnte sich die Natur in diesem Bereich über Jahre hinweg frei entfalten und eigene Strukturen bilden. Nach (HKM; 2004) zählt dieser Abschnitt zu einem der natürlichsten auf der gesamten Fließstrecke von Quelle bis zur Mündung. Es findet sich hier ein undurchdringlicher Bewuchs aus verschiedenen Bäumen, Sträuchern und Kräutern vor (s. Abb.: 8.2). Durch die ungestörte Atmosphäre bietet der Bereich ein Rückzugsgebiet für verschiedene Tierarten.



Abbildung 8.2: Satellitenbild der Angermündung (Detail), Quelle: maps.google.de

8.2 Dokumentation der Besichtigung

Auf Grund der angrenzenden Privatgelände konnte der eigentliche Mündungsbereich der Anger in den Rhein nicht besichtigt werden. Somit konnten keine Fotoaufnahmen der Mündungssituation erstellt werden. Da jedoch nur die letzten 700 Meter der Anger im Bereich des Privatgeländes liegen, konnte der Flusslauf im Bereich von 1-2 km oberhalb der Mündung betrachtet werden.

Im Falle der Anger, findet man einen anthropogen überformten Flussverlauf vor. Der Fluss ist in einem Trapezprofil mit einer Gewässerbreite von knapp 5 Metern und einem Böschungswinkel von ca. 60° gefangen (Bild Anger21). Der Verlauf stellt sich sehr geradlinig dar, was für einen Fluss, der in dieser Weise ausgebaut wurde, typisch ist. Die Böschungshöhe von 3-4 m gewährleistet einen ausreichenden Hochwasserschutz. Da nur geringfügig Retentionsflächen vorhanden sind und im direkten Umfeld des Flusses Bebauung und Schrebergärten liegen, ist diese Hochwasserschutzmaßnahme zwingend erforderlich. Die Sohle sowie die untersten Bereiche der Uferböschung sind gegen Erosion geschützt. Zu diesem Zwecke wurde die Sohle in manchen Bereichen betoniert und der Uferbereich



Abbildung 8.3: Angermündung (Blick gegen Fließrichtung)

durch Wasserbausteine befestigt (Bild Anger7 und Anger13). Dass diese Maßnahmen nicht immer ausreichend der Wasserkraft standhalten, zeigen einige Erosionsschäden im Bereich der Uferböschung (Bild Anger19). Ein weiterer Schutz der Ufer gegen Erosion wird durch einen dichten Teppich aus verschiedenen Gräsern gewährleistet (Bild Anger12). Zum Teil ist der Uferbereich jedoch durch starken Bewuchs überdeckt. Die Vegetation reicht teilweise bis über den Fluss hinüber und sorgt somit für einen starken Schattenwurf auf das Gewässer.

Der Fluss bietet auf Grund seiner unnatürlichen Bedingungen keinen geeigneten Lebensraum für Fische und andere Lebewesen. Zu diesen erschwerten Lebensbedingungen schließt sich zudem eine eingeschränkte und verminderte Durchgängigkeit des Angerbaches an. Etwa 2 km oberhalb der Mündung befindet sich ein Querbauwerk in Form von drei Sohlstufen. Diese haben jeweils eine Höhendifferenz von 30-40 cm und stellen daher eine unüberwindbare Barriere für die meisten Fische und andere Lebewesen dar (Bild Anger1 und Anger6). Im Anschluss an dieses Bauwerk befindet sich eine Nachbettsicherung in Form von durch Beton gesicherte Sohl- und Uferbereiche. Sowohl die Ausbildung des Querbauwerkes als auch der Nachbettsicherung stellen eine Einschränkung der natürlichen Lebensbedingungen dar.

Zusammenfassend lässt sich der Angerbach als ein Fluss mit viel Renaturierungsbedarf bezeichnen, sowohl die eingeschränkte Durchgängigkeit als auch der technisch ausgebaute Flussverlauf entsprechen nicht den Eigenschaften und Anforderungen an einen naturnahen Fluss, wie es die WRRL fordert.

Tabelle 8.1: Besichtigungsprotokoll Anger

Fluss	Anger (Angerbach)
Datum	22.09.2007
Ankunftszeit	14:30 Uhr
Abfahrtszeit	15:35 Uhr
Wetter	sonnig
Pegel	32,0 cm (Ratingen)
Mündungswinkel	unbekannt
Mündungsbreite	unbekannt
Höhendifferenz zum Rhein	unbekannt
Profil	Trapezprofil, ca. 60° Böschungsneigung
Flussverlauf	stark begradigt, ausgebaut
Sohlstruktur	befestigte Sohle, Beton und Wasserbausteine
Uferbereich	befestigt, Böschung begrünt, teilweise stark bewachsen, Erosionsschäden
Bauten/Querbauwerke	1,5 km oberhalb der Mündung Sohlstufen, keine Durchgängigkeit
Hochwasserschutz	Fluss eingedeicht, 3m hohe Böschung
Vegetation	Gras, stark verwachsener Bereich,
Nutzung des Gewässers	zu kleines Gewässer für Nutzung,
angrenzende Flächen	Privatgelände der HKM, Schrebergärten
Bemerkungen	Mündung in den Rhein nicht zugänglich

Teil IV

Die Anbindung der Emscher an
den Rhein

9 Zur Geschichte der Emscher

Mitte des 19. Jahrhunderts war die Emscher ein kleiner mäandrierender Tieflandfluss. Ihre Quelle lag in Holzwickede und sie floss auf einer gesamten Länge von 109 km in westlicher Richtung bis nach Duisburg, wo sie letztendlich in den Rhein mündete. Das Einzugsgebiet der Emscher galt als ein sehr feuchtes Gebiet und eignete sich nur in geringem Umfang für die Landwirtschaft. Zur damaligen Zeit diente die Emscher der Holzwirtschaft sowie der Fischerei und der Nutzung der Wasserkraft. Auf Grund der häufigen Überschwemmungen im Emschergebiet und der ständigen, natürlichen Laufverlegung konnte das angrenzende Gebiet nicht zur Besiedlung genutzt werden.

Als ab dem Jahre 1850 der Steinkohle-Bergbau in der Emscherregion aufkam, änderte sich die Nutzung der Emscher drastisch. Die Emscher diente fortan der Aufnahme der Abwässer aus Industrie und wachsender Bevölkerung. Zudem verschlechterten sich die Bedingungen für das Gewässer durch die vom Bergbau verursachten Bergsenkungen. Folge dieser Einwirkungen war eine Zunahme der Überschwemmungen und daraus folgend wiederkehrende Epidemien. Die Ableitung der Schmutzwasser in unterirdischen Kanälen erwies sich als nicht möglich, wodurch die Ableitung der Abwässer in einem oberirdischen System erfolgen sollte. Zur Bewältigung dieser Aufgabe wurde im Jahr 1899 die Emschergenossenschaft gegründet. Neben der Lösung des Abwasserproblems war ihre Aufgabe einen sicheren Hochwasserschutz zu gewährleisten. Um diese Ziele zu Erreichen wurde die Emscher zum Emschersystem ausgebaut. Dieses sah vor den Flusslauf als Abwasserkanal zu nutzen. Zum Erreichen dieses Zweckes wurde die Emscher in weiten Teilen begradigt, eingetieft und mit Deichen umgeben. Die durchgeführten Ausbaumaßnahmen lösten zwar die angesprochenen Probleme, doch die Problematik der Bergsenkungen zieht sich bis heute durch die Geschichte. So ist es bis heute notwendig, die entstandenen Poldergebiete durch Pumpen zu entwässern. Des weiteren erforderten die Bergsenkungen bisher zwei mal die Verlegung der Emschermündung in nördlicher Richtung. Die alten Mündungsbereiche sind heute noch als „Alte Emscher“ und „Kleine Emscher“ erhalten.

Seit den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts zieht sich der Bergbau immer weiter aus dem Emschergebiet zurück, wodurch mit keinen weiteren Bergsenkungen zu rechnen ist.

Daher ist nun die Abwasserentsorgung durch den Bau unterirdischer Kanäle möglich. Dies bedeutet, dass lediglich geklärtes Wasser in die Emscher gelangt und somit eine grundlegende Voraussetzung für die Renaturierung gegeben ist.

10 Vorrecherche zum IST-Zustand

Die Quelle der Emscher liegt auf 160 m ü.NN in Holzwickede bei Dortmund (Nordrhein-Westfalen). Sie fließt in westlicher Richtung über die Städte Herne, Gelsenkirchen, Bottrop, Essen und Oberhausen bis nach Dinslaken, wo sie nach einer gesamten Fließlänge von 85 km in den Rhein mündet. Der Höhenunterschied zwischen Mündung und Quelle liegt bei 120 m. Daraus resultiert ein durchschnittliches Gefälle von 1,4 Promille. Das oberirdische Emschereinzugsgebiet umfasst insgesamt eine Fläche von 858,3km². Abbildung 10.1 zeigt eine Übersicht über das gesamte Emschersystem.

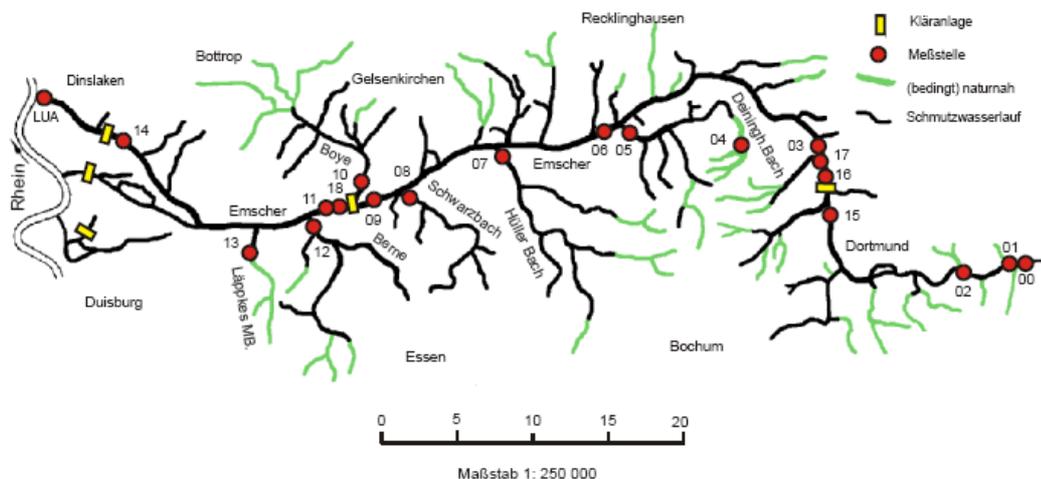


Abbildung 10.1: Das Emschersystem, Quelle: Gewässergütebericht 2001, Landesumweltamt NRW

Abbildung 10.2 zeigt, in welcher Weise die Emscher dem Einfluss des Menschen unterworfen wurde. Ein geradliniger Verlauf und der hohe technische Ausbaugrad der Emscher sind deutlich zu erkennen. Die Emscher wird im gesamten Unterlauf in einem trapezförmigen Regelprofil geführt, das einen ausreichenden Schutz gegen Hochwassergefahren darstellt. Nur wenige Abschnitte der Emscher weisen noch einen unverbauten Ufer- und Sohlbereich auf. Der größte Teil der Ufer ist durch Betonplatten befestigt und somit gegen Erosion

geschützt. Darüber hinaus ergibt sich durch die geringe Rauigkeit der Betonplatten ein positiver Einfluss auf den Hochwasserabfluss. Der hohe Ausbaugrad der Emscher führt zu besonderen Abflussverhältnissen. Kennzeichnend sind geringe Niedrigwasserabflüsse und schnell ansteigende Hochwasserwellen.



Abbildung 10.2: Satellitenbild der Emschermündung, Quelle: google.maps



Abbildung 10.3: Klärwerk Emschermündung, Quelle: google.maps

Eine weitere Besonderheit stellt der eigentliche Mündungsbereich in den Rhein dar. Auf Grund einer großen Höhendifferenz zwischen Rhein- und Emschersohle, kann die Mündung nur durch ein Absturzbauwerk ermöglicht werden. Hierdurch wird der durchgängige Anschluss der Emscher an den Rhein vollkommen unterbunden.

Die Auswirkungen des Bergbaus und die daraus resultierenden Bergsenkungen stellen heute noch eine besondere Situation für die Emscher dar. Durch die Nutzung der Emscher als Abwasserkanal, war es unumgänglich mehrere Klärwerke entlang des Flussverlaufes zu errichten. Diese sorgen für eine mechanische Vorklärung des Wassers. Die eigentliche

biologische Reinigung des Emscherwassers geschieht im Klärwerk Emschermündung (s. Abb.: 10.3). Das Klärwerk liegt 7,5 km oberhalb der Mündung und sorgt auf einem Gelände von 75 ha für die letzte Reinigung des Abwassers, bevor dieses in den Rhein gelangt.

Eine weitere negative Auswirkung der Bergsenkungen zeigt sich in den noch heute notwendigen Pumpwerken im gesamten Emschereinzugsgebiet. Diese insgesamt 104 Pumpwerke sind eine maßgebende Komponente hinsichtlich des Hochwasserschutzes im Emschergebiet. Ohne die Pumpwerke ist eine Entwässerung der Poldergebiete im Bereich der Emscher nicht möglich, daher müssen diese Einrichtungen auch nach vollzogenen Renaturierungsmaßnahmen aktiv bleiben.

11 Besichtigung der Emscher



Abbildung 11.1: Emschermündung (Blick auf das Absturzbauwerk)

Der Mündungsbereich der Emscher ist über kleine Feldwege direkt zugänglich. Die Ausbaumaßnahmen durch den Menschen zur Verringerung der Hochwassergefahren sind direkt am Flussverlauf und am Ausbau zu erkennen. Die Emscher wird über weite Strecken geradlinig geführt und ist auf der gesamten besichtigten Strecke durch zwei Deiche eingefasst. Um einen hohen Durchfluss abführen zu können ist das Profil als Doppeltrapezprofil ausgebildet (Bild Emscher21). Die erste Böschung führt in einem Winkel von 60° auf eine Höhe von 3 m, die zweite Böschung schließt sich nach einer ebenen Fläche von 2 m Breite an. Sie überwindet bei einer Steigung von 45° eine Höhe von ca. 5 m.

Zum Schutz gegen Erosion ist der untere Uferbereich mit Wasserbausteinen gesichert. Zudem sind die Böschungen mit Gras bewachsen (Bild Emscher28). Hinter dem Absturzbauwerk gestaltet sich der Uferbereich in anderer Form. Die Böschungen sind komplett mit Wasserbausteinen gesichert und führen auf die Rheinwiesen, die als Weideflächen und Retentionsraum für die Rheinhochwasser dienen (Bild Emscher14). Neben der Begrünung der Deichanlagen findet sich in direkter Umgebung des Flusses, bis auf wenige einzelne Bäume keinerlei Bewuchs in Form von Strauchwerk oder Bäumen.

Eine Durchgängigkeit der Emscher ist nicht vorhanden. Das Absturzbauwerk am Mündungsbereich der Emscher lässt auf Grund der Höhendifferenz keinen Aufstieg von Fischen und anderen Wasserlebewesen zu.

Tabelle 11.1: Besichtigungsprotokoll Emscher

Fluss	Emscher
Datum	24.09.2007
Ankunftszeit	14:40 Uhr
Abfahrtszeit	15:20 Uhr
Wetter	regnerisch, windig
Pegel	/
Mündungswinkel	~ 90°
Mündungsbreite	30 m
Höhendifferenz zum Rhein	5-6 m
Profil	Doppeltrapezprofil, Böschungswinkel 45° - 60°
Flussverlauf	geradlinig, ausgebaut
Sohlstruktur	befestigt, Wasserbausteine
Uferbereich	begrünt mit Rasen, befestigt durch Wasserbausteine
Bauten/Querbauwerke	Wehr im Mündungsbereich zum Rhein
Hochwasserschutz	Eindeichung auf gesamter Strecke, teilweise Retentionsflächen
Vegetation	kein Strauchwerk oder Bäume, Begrünung der Böschung
Nutzung des Gewässers	evtl. Freizeisport, Abwassereinleitung
angrenzende Flächen	Ackerflächen, Bebauung, Weideflächen
Bemerkungen	stark verschmutzter Mündungsbereich, starke Algenbildung im Oberwasser

12 Zielsetzung und Rahmenbedingungen

12.1 Zielsetzung

Bei der Zielsetzung ist der eigentliche Charakter der Emscher, wie er im natürlichen Zustand gewesen ist, eine grundlegende Vorgabe. Bei der Bestimmung der natürlichen Verhältnisse werden die Fließgewässer oder einzelne Abschnitte eines Fließgewässers verschiedenen Gewässerlandschaften zugeordnet.

Im Emscherraum lassen sich insgesamt fünf verschiedene Gewässerlandschaften unterscheiden. Zu diesen gehören: silikatisches Grundgebirge, Lössgebiete, Niederungen, Sandgebiete und Flussterrassen. Im Bereich des Unter- und Mittellaufes gehört die Emscher zu den sand- und lehmgeprägten Flüssen des Tieflandes. Dieser Typ von Gewässerlandschaft ist geprägt von einem gewundenen und mäandrierenden Flussverlauf, in flachen Sohlälern und Niederungen. Der Ufer- sowie der Sohlbereich ist gekennzeichnet von bindigem, lehm- und sandhaltigem Substrat. Im Bereich des Gewässers sind Auen- und Bruchwälder vorzufinden. Diese natürlichen Charaktereigenschaften des Gewässertyps, zu dem die Emscher zählt, werden durch Leitbilder wiedergegeben und sollen hinsichtlich der Renaturierungsmaßnahmen ihre Anwendung finden.

Hierbei sollen im weiteren besonders die in dem Fließgewässertyp vorkommenden Fischarten betrachtet werden. Dies zu beachten ist notwendig, da bauliche Anlagen, die den Fischaufstieg ermöglichen sollen je nach Fischart bestimmte Abmessungen erhalten müssen.

Der Fließgewässertyp sand- und lehmgeprägter Tieflandfluss lässt sich nach (Rouvé; 1987) der Barbenregion zuordnen, die als besonders artenreich gilt. Hier finden vor allem Barbe, Nase, Gründling, Rotaugen, Döbel, Hecht, Aal und Flussbarsch ihren Lebensraum. Diese Fische lassen sich als potenziell natürliche Fischfauna bezeichnen und stellen somit die Zielarten dar, die für die Gestaltung der Fischaufstiegsanlagen maßgeblich sind.

12.2 Rahmenbedingungen

Der in die Zielsetzung geforderte Fischaufstieg kann durch verschiedene bauliche Anlagen ermöglicht werden. Diese Anlagen werden unterschieden nach Anlagen mit natürlicher Bauweise:

- Sohlrampen / Sohlgleiten
- Fischrampen
- Umgehungsgerinne

und Anlagen mit technischer Bauweise:

- Schlitzpaß
- Beckenpaß
- Denilpaß

Durch die in der Emscher heimischen Fischarten sind für die Abmessungen der Fischaufstiegsanlagen bestimmte Grenzwerte einzuhalten. So werden im DVWK Merkblatt 232/1996 Empfehlungen für die Abmessungen von technischen Fischaufstiegsanlagen (Beckenpässe) gegeben. Da sich die Struktur sowie die hydraulischen Verhältnisse in einer technischen Anlage nur geringfügig von denen einer naturnahen Anlage unterscheiden, können die angegebenen Empfehlungen auf die naturnahe Bauweise annähernd übertragen werden. Abbildung 12.1 gibt einen Überblick über die empfohlenen Abmessungen hinsichtlich der Beckengröße, der Schlupflochgröße, des Kronenausschnitts sowie dem Abfluss und der Wasserspiegeldifferenz. Maßgebend für die Emscher ist die Zeile mit den Fischarten Äsche, Döbel, Blei etc., da diese Fischarten der Barbenregion zuzuordnen sind.

Neben dem ökologischen Aspekt des Fischaufstiegs gilt es zudem die Niedrigwasser und Hochwasserabflüsse der Emscher zu berücksichtigen. Der Einfluss des Niedrigwasserabfluss zeigt sich darin, dass gegebenenfalls eine Niedrigwasserrinne in die Aufstiegsanlage mit einzubeziehen ist. Ohne diese wäre unter bestimmten Voraussetzungen der Fischaufstieg über einen gewissen Zeitraum nicht möglich. Gemäß (DVWK Merkblatt 232) ist jedoch ein Fischaufstieg ganzjährlich, mit Ausnahme von 30 Niedrigwasser- oder Hochwassertagen zu gewährleisten.

Der Einfluss des Hochwasserabflusses zeigt sich nicht nur in der Dimensionierung der Bauwerke. Durch die zunehmende Belastung der Sohl- und Uferbereiche bei steigendem

zu berücksichtigende Fischarten	Beckenabmessungen ¹⁾			Schlupflochabmessungen in m		Kronenausschnitte ³⁾		Abfluß ⁴⁾ im Fischpaß in m ³ /s	max. Wasser spiegel differenz Δh in m
	Länge	Breite	Wasser tiefe	Breite	Höhe	Breite	Höhe		
	l_b	b	h	b_s	$h_s^{2)}$	b_a	h_a		
Stör ⁵⁾	5 – 6	2,5 – 3	1,5 – 2	1,5	1	-	-	2,5	0,20
Lachs, Meerforelle, Huchen	2,5 – 3	1,6 – 2	0,8 – 1,0	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4	0,3	0,3	0,2 – 0,5	0,20
Äsche, Döbel, Blei, sonstige	1,4 – 2	1,0 – 1,5	0,6 – 0,8	0,25 – 0,35	0,25 – 0,35	0,25	0,25	0,08 – 0,2	0,20
obere Forellenregion	> 1,0	> 0,8	> 0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05 – 0,1	0,20

Anmerkungen:

- 1) Die größeren Beckenabmessungen gelten für die größeren Schlupflochabmessungen,
- 2) h_s – lichte Öffnungshöhe über Sohlenssubstrat,
- 3) Sind Kronenausschnitte und Schlupflöcher vorgesehen, sollten die größeren Beckenabmessungen gewählt werden,
- 4) Die Durchflüsse sind mit den Formeln nach Abschnitt 5.1.3 für $\Delta h = 0,2$ m ermittelt worden. Der kleinere Wert bezieht sich auf die kleineren Schlupflochabmessungen ohne Kronenausschnitte; der größere Abfluß ergibt sich für die größeren Schlupflöcher zuzüglich Kronenausschnitte ($\psi_f = 0,65$),
- 5) Beckenabmessungen für den Stör sind SNiP (1987) entnommen, da anderweitig keine Erfahrungen mit dieser Fischart vorliegen.

Abbildung 12.1: Empfohlene Abmessungen für Beckenpässe, Quelle: (DVWK Merkblatt 232)

Abfluss, ist zusätzlich sicherzustellen, dass in stark beanspruchten Bereichen keine Erosion oder Kolkbildung stattfindet. Diese kann bei fortschreitender Schädigung zur Funktionseinschränkung und sogar zur Zerstörung der Aufstiegsbauwerke führen. Für die Emscher lassen sich anhand der Quellen (Hydrotech; 2004) und (Projekt Emscher; 2007) die folgenden Abflussdaten ermitteln.

- Mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ): 9,38 m³/s
- Mittelwasserabfluss (MQ): 16,3 m³/s
- Mittlerer Hochwasserabfluss (MHQ): 132 m³/s
- 100 jährliches Hochwasserereignis (HQ₁₀₀): 317 m³/s

Die angegebenen Abflüsse werden im Folgenden für die Bemessung der Wasserbauwerke verwendet.

13 Lösungsvarianten

Im folgenden Kapitel werden fünf unterschiedliche Varianten zur Renaturierung der Emschermündung skizziert und vorgestellt. Zur Verwirklichung der Renaturierung wird das angrenzende landwirtschaftlich genutzte Gelände herangezogen. Die bestehende Bebauung, sowie die angrenzenden Zwangspunkte durch vorhandene Bahn- und Straßenstrassen bleiben dabei erhalten.

Die Varianten 1 bis 3 umfassen dabei das gesamte Gebiet zwischen derzeitiger Emscher und den Verkehrswegen (s. Abb.: 13.1). Die Varianten 4 und 5 begrenzen sich auf ein kleineres Gebiet (s. Abb. 13.2). Diese beiden Varianten bieten sich für den Fall an, dass die Pläne des nahegelegenen Kraftwerkbetreibers, die den Bau eines Hafens vorsehen, verwirklicht werden sollen.



Abbildung 13.1: Planungsgebiet für Varianten 1 bis 3, Quelle: maps.google.de

Bei allen Varianten ist beabsichtigt, das bestehende Wehr an der derzeitigen Emschermündung zu erhalten. Dieses kann zur Sicherstellung des Hochwasserabflusses herangezogen werden. Zudem besteht die Möglichkeit nur einen bestimmten Durchfluss,



Abbildung 13.2: Planungsgebiet für Varianten 4 und 5, Quelle: maps.google.de

der für die Fischdurchgängigkeit notwendig ist, über das neu geplante Gerinne abzuführen. Der restliche Durchfluss würde wie bisher über den alten Emscherverlauf in den Rhein eingeleitet. Der Vorteil dieses geteilten Abflusses liegt in den geringeren erforderlichen Abmessungen des Umgehungsgerinnes. Dadurch reduzieren sich die Kosten für den Bau und die Unterhaltung des Gewässers.

13.1 Variante 1

Bei der ersten Variante wird der gesamte Höhenunterschied durch 5 nacheinander angeordnete Sohlgleiten, mit einer jeweiligen Höhendifferenz von 1 m überwunden. Der Flusslauf wird leicht geschwungen ausgebildet. Das Hauptprofil wird zur Abführung des mittleren Durchflusses verwendet. Für den Hochwasserfall sind rechts und links vom Gerinne Böschungen mit einer Steigung 1:2 angelegt. Diese fungieren als Sommerdeiche und ermöglichen so einen kontrollierten und geführten Hochwasserabfluss. Der Abstand der Deiche zum Gerinne und die Höhe muss für den Hochwasserfall bemessen werden. Im hinteren Bereich sind entlang der vorhandenen Bahntrasse Deichanlagen für das Rheinhochwasser angeordnet.

Der Vorteil dieser Variante ist der begrenzte Böschungsbereich neben den Rampen. Da

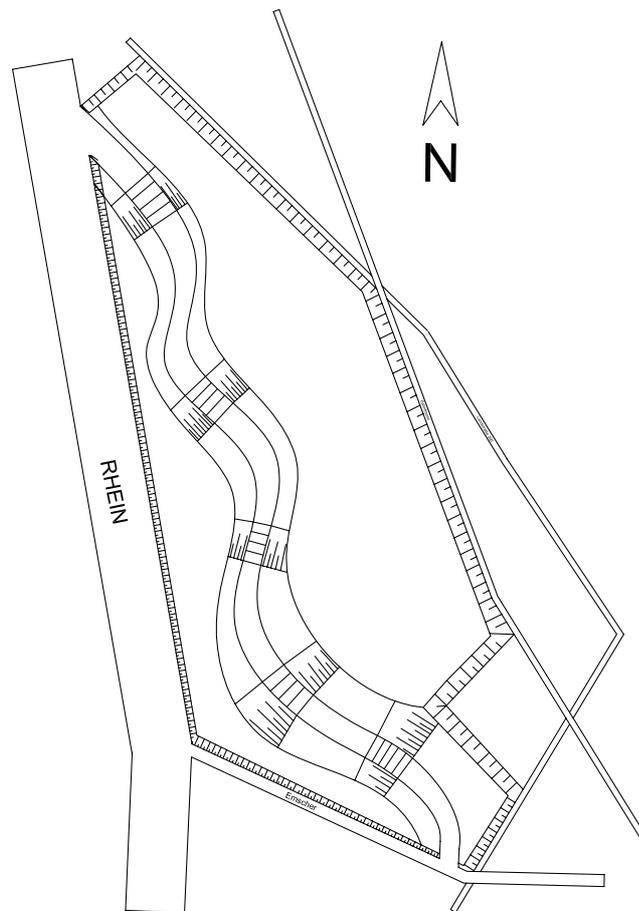


Abbildung 13.3: Handskizze zur Variante 1

auf dem gesamten Gelände der Höhenunterschied überwunden werden muss, kann dies bei dieser Variante in einem begrenzten Bereich konzentriert stattfinden. Hierdurch verringern sich die Kosten für notwendiges Sohl- und Uferbefestigungsmaterial sowie die Kosten der Herstellung. Der Bereich von den Sommerdeichen bis zu den Rheinhochwasserdeichen kann kontinuierlich dem Geländeverlauf angepasst werden.

13.2 Variante 2

Variante 2 unterscheidet sich gegenüber der ersten Variante lediglich hinsichtlich der fehlenden Sommerdeiche. Dadurch wird im Hochwasserfall der gesamte Planungsbereich überflutet. Der Abfluss verteilt sich somit auf eine größere Fläche und die Belastung für den Untergrund wird dadurch verringert. Daher kann die Befestigung der Sohle geringer ausfallen. Der Bereich des konzentrierten Gefälles neben der Rampe wird auf die gesamte

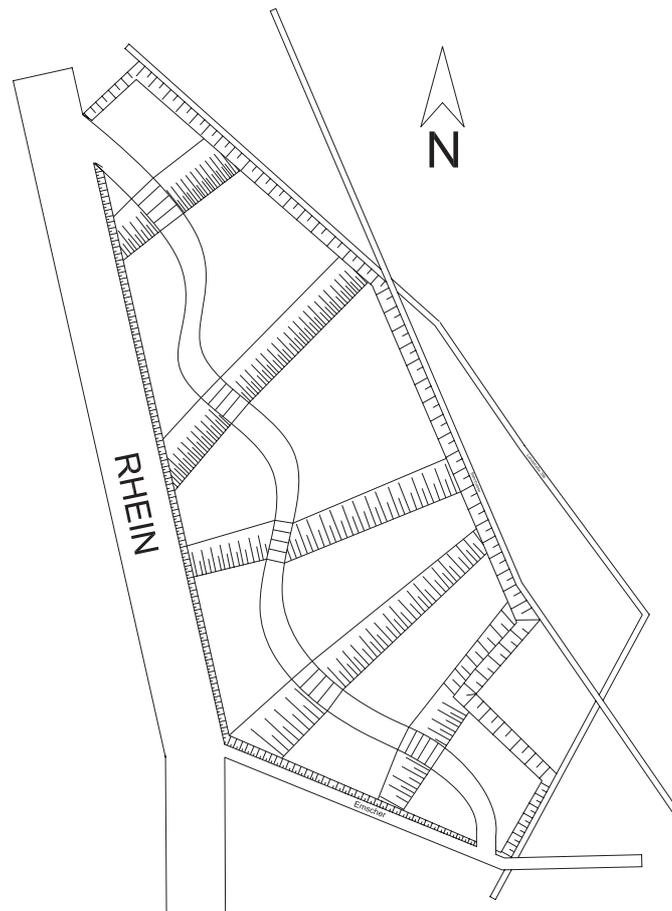


Abbildung 13.4: Handskizze zur Variante 2

Breite des Planungsgebietes ausgeweitet. Hierdurch entstehen erhöhte Herstellungskosten gegenüber der ersten Variante.

13.3 Variante 3

In der dritten Variante wird die gesamte Höhendifferenz durch die Anordnung von drei Rampen mit einer Höhe von 1 m und einer Rampe mit einer Höhe von 2 m überwunden. Das Hauptgerinne nimmt einen ähnlichen Verlauf wie bei den ersten beiden Varianten. Für den Hochwasserfall ist ein Nebenarm als Entlastung konzipiert. Dieser kann wahlweise nur bei Hochwasserabfluss oder bereits bei mittlerem Abfluss geflutet werden. Im oberen Bereich des Umgehungsgewässers ist auf Grund der vorhandenen Einengung des Planungsbereichs die Herstellung von nur einem Gerinne möglich. Dieses muss ausreichend dimensioniert werden, um auch ein HQ_{100} in die beiden Flussarme

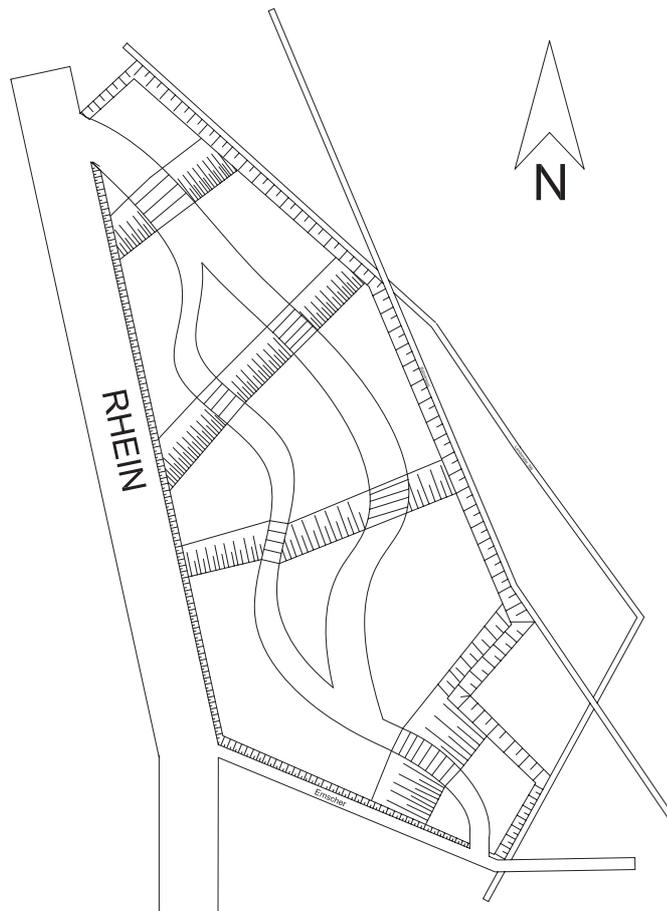


Abbildung 13.5: Handskizze zur Variante 3

einleiten zu können. Die Geländesprünge sind auch in dieser Variante auf die gesamte Breite des Planungsgebietes auszuweiten. In beiden Gerinnen sind jeweils 3 Rampen zu errichten. Dies erhöht den Materialaufwand und die Herstellungskosten.

Ein ökologischer Vorteil könnte sich in dem inselartigen Bereich zwischen den beiden Flussarmen ergeben. Inwieweit dies jedoch durch das Rheinhochwasser beeinflusst wird müsste näher untersucht werden.

13.4 Variante 4 und 5

Die Varianten 4 und 5 unterscheiden sich durch die Anzahl der eingeplanten Rampen und dementsprechend der Höhe der einzelnen Rampen. Diese Varianten umfassen ein wesentlich geringeres Gebiet und stellen daher vermutlich die kostengünstigsten Varianten dar. Das Hauptgerinne muss in beiden Fällen die geringen und mittleren Abflüsse abführen.

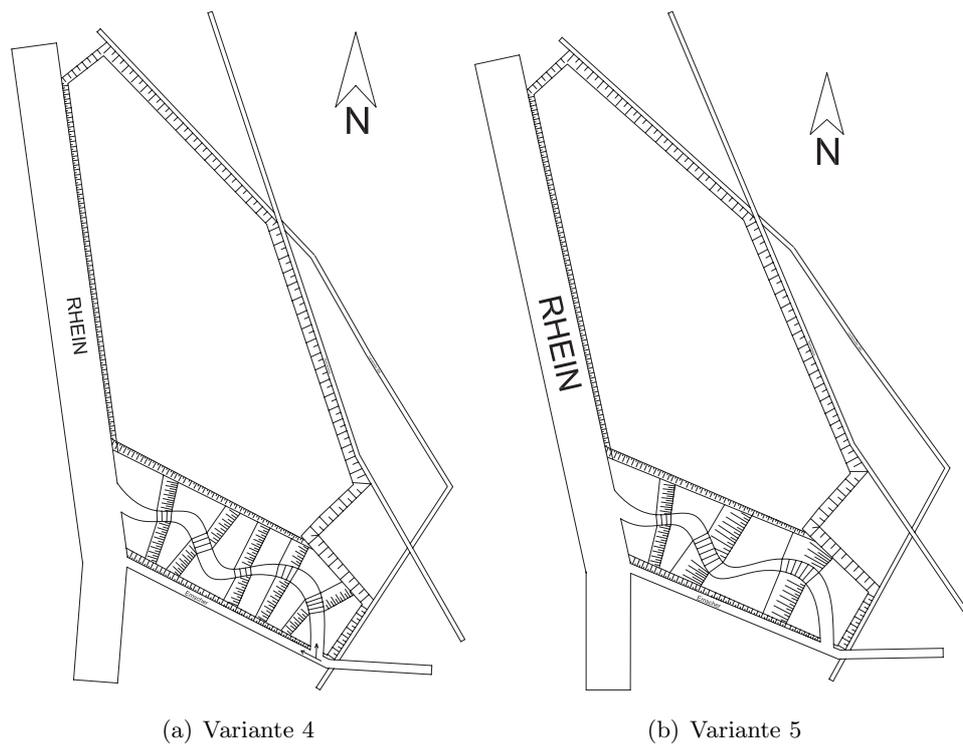


Abbildung 13.6: Handskizzen

Für den Hochwasserabfluss kann der gesamte Bereich zwischen den angrenzenden Deichen als Abflussquerschnitt herangezogen werden. Auf Grund der wesentlich kürzeren Länge des Gerinnes ist der Einfluss der unterwasserseitigen Rampe auf die vorherige wesentlich größer. Das in der Variante 5 dargestellte Konzept mit insgesamt drei Rampen bietet den Vorteil, dass zwischen den Rampen größere Abstände vorhanden sind. Hierdurch nimmt der Einfluss der Rampen untereinander ab.

14 Hydraulische Bemessung einer Rauen Rampe

Von den 5 verschiedenen Lösungsvarianten soll nun im Folgenden die erste Variante näher betrachtet werden. In dieser Variante sind fünf baugleiche Rampen eingeplant, die jeweils einen Höhenunterschied von 1 m überwinden. Für den Bau dieser Rampen kommen unterschiedliche Bauweisen in Frage. Zunächst soll hier der Bau einer Riegelrampe betrachtet werden.

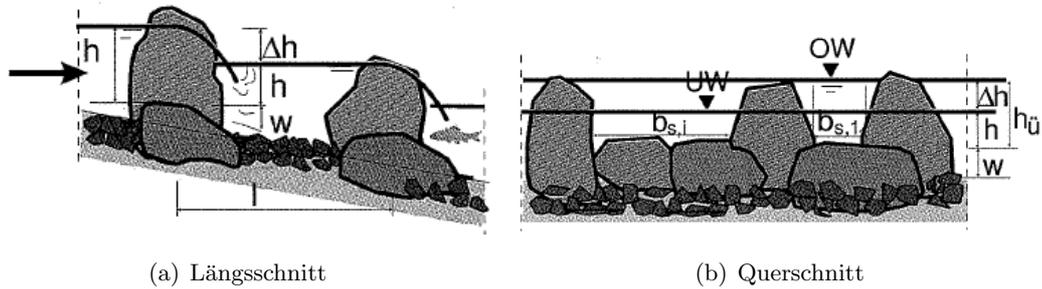
14.1 Eignungsprüfung einer Riegelrampe

Eine Sohlenstufe in Riegelbauweise (aufgelöste Bauweise) besteht aus mehreren hintereinander gestaffelten Steinriegeln. Durch die Anordnung dieser einzelnen Riegel im Flussbett entsteht eine Beckenstruktur. In jedem Becken herrscht eine heterogene Strömung. Dadurch lassen sich in den Becken verschiedene Strömungen und Wassertiefen vorfinden. Durch die vorhandenen geringen Strömungen bilden sich ausreichend Ruhebereiche für Fische. Zur Herstellung der Steinriegel werden meist Wasserbausteine mit Durchmessern von 0,6 m bis 1,2 m verwendet. Im Bereich der Becken findet kiesiges und steiniges Material Verwendung. Die Höhendifferenz zweier aufeinander folgender Riegel darf 0,2 m nicht übersteigen, da ansonsten durch die Fließgeschwindigkeit und die zu überwindende Höhe der Fischaufstieg beeinträchtigt wird.

Die Abbildungen 14.1(a) und 14.1(b) stellen die Funktionsweise einer Rampe mit Steinschwellen dar.

14.1.1 Anforderungen

Nach den Forderungen der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg sowie dem DVKW Merkblatt 232 gelten die folgenden Abmessungen sowie



(a) Längsschnitt

(b) Querschnitt

Abbildung 14.1: Prinzipskizze einer Rampe mit Steinschwellen, Quelle: (DVWK Merkblatt 232/1996)

Mindest- und Maximalwerte für Rampen:

- Abstand der Querriegel: 3 - 5 m
- Wasserspiegeldifferenz: $\Delta h \leq 0,20$ m
- maximale Fließgeschwindigkeit: $v_{max} = 2,0$ m/s
- Gefälle: $I \leq 1 : 20$
- Mindestwassertiefe bei Niedrigwasser: $0,3 \text{ m} \leq h_{NW} \leq 0,4$ m
- zulässige Leistungsdichte: $E_{zul} = 150$ bis 200 W/m^3

14.1.2 Annahmen und Kenngrößen

Für die Bemessung einer Rampe in aufgelöster Bauweise werden die folgenden Annahmen und Größen verwendet:

Mindestabfluss:	$Q_{min} =$	10,0	m ³ /s	MNQ
Maximalabfluss:	$Q_{max} =$	132,0	m ³ /s	MHQ
Rampengefälle:	$I_R =$	3,33	%	(1:30 vorgewählt)
Abstand der Riegel:	$l_R =$	3,75	m	
Überfallbeiwert:	$\mu =$	0,60		nach DVWK Merkb. 232
Überstand der Sohlschwelle:	$w =$	0,20	m	(vorgewählt)
Steindurchmesser:	$d_s =$	0,8	m	(vorgewählt)
Mindestwassertiefe:	$h_{min} =$	0,40	m	(vorgewählt)
Wasserspiegeldifferenz:	$\Delta h =$	0,11	m	($\leq 0,20$ m)

Die Rampe soll mit einem Gefälle von $1 : 30 = 3,3\%$ den Höhenunterschied von $h_R = 1\text{ m}$ überwinden. Durch diese beiden Größen ergibt sich eine Gesamtlänge der Rampe von $L_R = 30 \cdot 1\text{ m} = 30\text{ m}$. Da der Abstand der Querriegel mit 3-5m vorgegeben ist, wird die Rampe in 8 Becken aufgeteilt. Daraus ergibt sich ein Abstand der Querriegel von $l_R = \frac{30}{8} = 3,75\text{ m}$. Die Wasserspiegeldifferenz ergibt sich aus dem Höhenunterschied der Querriegel zueinander. Dieser ergibt sich aus der gesamten Höhendifferenz von 1 m und der Anzahl der Riegel von 9 zu $\frac{1\text{ m}}{9} = 0,11\text{ m} = \Delta h$. Der geforderte maximale Höhenunterschied von 0,2 m wird somit eingehalten. Aus der Höhendifferenz ergibt sich folgende maximale Fließgeschwindigkeit $v_{max} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,11} = 1,47\text{ m/s}$, somit wird die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit von 2,0 m/s eingehalten. Der Überstand der Sohlschwelle mit $w = 0,2\text{ m}$, der Steindurchmesser von $d_s = 0,8\text{ m}$ sowie die Mindestwassertiefe mit $h_{NW} = 0,40\text{ m}$ sind frei vorgewählt. Sie orientieren sich an den praxisnahen Vorschlägen aus dem Merkblatt 232 des DVWK. Der verwendete Überfallbeiwert $\mu = 0,6$ ergibt sich aus den Vorgaben des DVWK für breite, scharfkantige sowie abgerundete Steine.

14.1.3 Erforderliche Breite der Rampe

Die Ermittlung der erforderlichen Breite der Rampe unter Verwendung der festgelegten Größen erfolgt gemäß Merkblatt 232 DVWK und LUBW Leitfaden Teil2.

Da es sich bei der Bemessung um eine Vorbemessung handelt, kann die notwendige Breite der Öffnungen anhand der Poleni-Formel ermittelt werden.

Poleni-Formel:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sigma \cdot b_s \cdot \sqrt{2g} \cdot h_u^{2/3}$$

mit:

$$Q = Q_{min}$$

$$\mu = 0,6$$

$$g = 9,81\text{ m/s}^2$$

$$h_u = h + \Delta h$$

$$= h_{min} - w + \Delta h$$

$$= 0,40\text{ m} - 0,20\text{ m} + 0,11\text{ m}$$

$$= 0,31\text{m}$$

Der in der Poleni-Formel verwendete Wert σ stellt einen Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses des Unterwasserstandes dar. Der Wert für σ ergibt sich aus dem Verhältnis von Unterwasserstand zu Überfallhöhe ($\frac{h}{h_u}$) und unter Verwendung von Abb.: 14.2 .

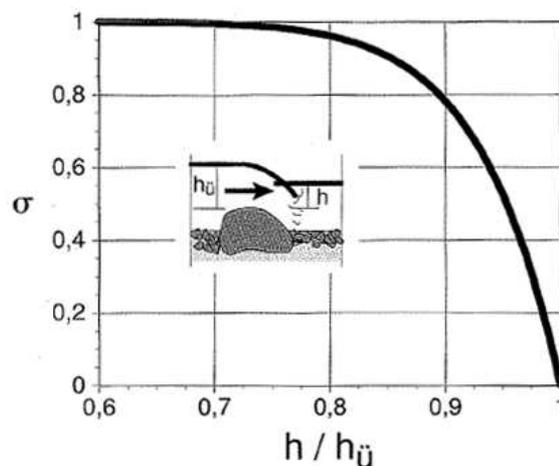


Abbildung 14.2: Abminderungsfaktor σ , Quelle: (DVWK Merkblatt 232)

Für die Eingangswerte $h_u = 0,31$ m und $h = 0,2$ m ergibt sich $\frac{h}{h_u} = 0,65 \rightarrow \sigma = 1,0$.

Um die erforderliche Durchlassbreite zu ermitteln, muss die Poleni-Formel zunächst nach b_s umgeformt werden.

$$b_s = \frac{Q_{min}}{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sigma \cdot \sqrt{2g} \cdot h_u^{\frac{3}{2}}} = \frac{10}{\frac{2}{3} \cdot 0,65 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 0,31^{\frac{3}{2}}} = 30,18 \text{ m}$$

Zur Vermeidung von Kurzschlussströmungen müssen die Öffnungen parallel versetzt zueinander angeordnet sein. Um dies ausreichend zu ermöglichen muss die Breite der Sohle mindestens die 2,5fache Breite der Öffnungsbreite aufweisen. Somit ergibt sich hier eine notwendige Sohlbreite von:

$$b_{Sohle} = 2,5 \cdot b_s = 2,5 \cdot 30,18 \text{ m} = 75,45 \text{ m}.$$

Auf Grund der begrenzten Platzverhältnisse im Planungsgebiet scheidet die Ausbildung als Riegelrampe somit aus. Das angestrebte Ziel einer solchen Beckenstruktur ist eine ausreichende Wassertiefe für die Fische zu gewährleisten. Im vorliegenden Fall kann davon ausgegangen werden, dass eine ausreichende Wassertiefe durch den hohen Niedrigwasser-

abfluss ($10 \text{ m}^3/\text{s}$) stets eingehalten wird.

14.2 Bemessung einer Schüttsteinrampe mit Störsteinen

Eine Alternative gegenüber der Riegelrampe stellt die Schüttsteinrampe mit Störsteinen dar. Bei dieser Variante entstehen keine ausgeprägten Becken. Durch den Einbau der Störsteine werden unterschiedliche Strömungen und dadurch Fließgeschwindigkeiten erzeugt. Dies ist eine Voraussetzung um den aufsteigenden Fischen Ruhezone bereitzustellen. Im folgenden Abschnitt soll eine solche Rampe in ihren einzelnen Details bemessen und konstruiert werden.

14.2.1 Wahl eines Rampenquerschnitts

Zur Bemessung der Rampe müssen zunächst einige Abmessungen der Rampe sowie Abmessungen der einzelnen Bestandteile der Rampe festgelegt werden. Folgende Maße und Eigenschaften wurden für die zu bemessende Rampe gewählt:

Breite der Rampe (b_R)

Die Breite der Rampe wurde in Anlehnung an die zuvor berechnete Rampe in aufgelöster Bauweise mit 20 m angesetzt.

Gefälle der Rampe (I_R)

Das Gefälle der Rampe wurde nach (DVWK Merkblatt 232) mit 1:30 (= 3,33 %) festgelegt.

Höhe der Rampe (h_R)

Die in der Lösungsvariante 1 eingeplanten Rampen überwinden jeweils einen Höhenunterschied von 1 m.

Länge der Rampe (L_R)

Aufgrund der zu überwindenden Höhendifferenz von jeweils 1m und der gewählten Neigung von 1:30 ergibt sich die Länge der Rampe zu $L_R = 30 \cdot 1 \text{ m} = 30 \text{ m}$.

Anordnung und Anzahl der Störsteine ($d_s; a; a_{x1}; a_{x2}; a_{y1}; a_{y2}; a_{y3}$)

Die Anordnung der Störsteine wurde gemäß den Vorschlägen der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg nach Abb. 14.3 und Tab. 14.1 ermittelt. Hierbei wurde eine Steingröße von $d_s = 0,8 \text{ m}$ angesetzt.

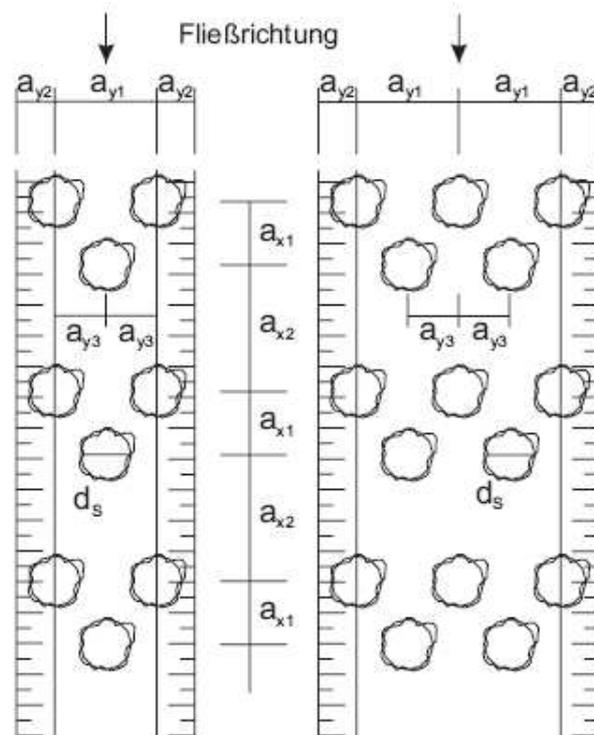


Abbildung 14.3: Definition der Rastermaße der Steinanordnung, Quelle: (LUBW Leitfaden Teil2)

Die einzelnen Abstände der Störsteine wurden somit wie folgt festgelegt:

$$\begin{aligned}
 a_{x1} &= 1,20 \text{ m} \\
 a_{x2} &= 2,40 \text{ m} \\
 a_{y1} &= 1,45 \text{ m} \\
 a_{y2} &= 1,85 \text{ m} \\
 a_{y3} &= 0,725 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Durch die gewählten Abstände und die verwendete Steingröße sind für den Bau der Sohlrampe 97 Störsteine je 10 Meter Rampenlänge erforderlich. Die maximale Anzahl der Störsteine in einer Reihe ergibt sich zu 15 Steinen.

Sohlmaterial (k)

Zur Befestigung der restlichen Sohle und als Füllstoff zwischen den Störsteinen wird ein Steinmaterial mit einer Rauigkeit von $k = 0,20 \text{ m}$ verwendet.

Neigung der Böschungen (m)

Beidseitig schließt an die Sohle der Rampe eine Böschung mit einer Steigung von 1:2 an, die Böschung endet auf einer Höhe von 1 m und geht dann in eine horizontale Ebene über.

Tabelle 14.1: Empfohlene Steinabstände für die Rastermaße in Abhängigkeit von der Steingröße, Quelle: LUBW Leitfaden Teil 2

Rastermaß	empfohlener Steinabstand
a_{x1}	$1,5 \cdot d_s$
a_{x2}	2,5 bis $3,5 \cdot d_s$
a_{y1}	$1,65 \cdot d_s$
a_{y2}	$0,5 \cdot d_s$
a_{y3}	$\frac{1}{2} \cdot a_{y1} = 0,825 \cdot d_s$

Gesamtes Querprofil

An den Rampenquerschnitt gliedern sich rechts- und linksseitig horizontale Abschnitte mit einer Länge von jeweils 5 m an. Diese bilden dann über eine Böschungsneigung von 1:2 so genannte Sommerdeiche (s. Anhang: E). Die notwendige Höhe der Deiche ist abhängig vom Wasserstand bei Hochwasser. Beide Werte werden im weiteren Verlauf der Bemessung ermittelt.

14.2.2 Ermittlung der Bemessungsabflüsse

Die Funktionalität einer Sohlrampe muss hinsichtlich drei unterschiedlicher Aspekte gewährleistet werden. Zum einen soll durch die Rampe die Durchgängigkeit für Fische gewährleistet werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist zudem die Standsicherheit des gesamten Bauwerks und der einzelnen Elemente. Zu den beiden vorherigen Gesichtspunkten muss bei der naturnahen Umgestaltung eines Gewässers immer der Fall eines Hochwassers berücksichtigt werden.

Für alle drei gestellten Anforderungen an das Bauwerk müssen jedoch unterschiedliche Abflussgrößen zur Bemessung herangezogen werden.

Bemessungsabfluss für die Durchgängigkeit der Rampe

Gemäß (LUBW Leitfaden Teil2) muss die Funktionsfähigkeit einer Fischaufstiegsanlage mindestens an 300 Tagen im Jahr gewährleistet sein. Daher ergibt sich anhand der Abflüsse Q_{30}^1 und Q_{330}^2 das Abflussspektrum, indem die Funktionalität der Rampe gewähr-

¹Abfluss der durchschnittlich an 30 Tagen im Jahr unterschritten wird

²Abfluss der durchschnittlich an 300 Tagen im Jahr überschritten wird

leistet werden muss. Da keine Dauerlinie zur Verfügung steht kann für die Bemessung der Durchgängigkeit der mittlere Durchfluss mit $10 \text{ m}^3/\text{s}$ angesetzt werden.

Bemessungsabfluss für die maximale Deckwerksbelastung

Das Abflussverhalten auf einer Rauen Rampe ist stark abhängig von der Neigung sowie der Größe des Abflusses. So wird zwischen vier verschiedenen Fließzuständen beim Abfluss auf der Sohlrampe unterschieden. Aus den einzelnen Zuständen resultieren unterschiedliche Belastungen auf das Deckwerk und die einzelnen Störsteine der Rampe. Die Abbildungen 14.4 a) bis d) zeigen die möglichen Fließzustände in Abhängigkeit des Abflusses. Nach (LUBW Leitfaden Teil2) kann der anzuwendende Abfluss in Abhängigkeit der Rampenhöhe wie folgt ermittelt werden. Bei kleinen Rampen mit einer Rampenhöhe von $h_R = 1,0 \text{ m}$ ist der Ansatz des bettbildenden Abflusses ausreichend. Da es sich bei der gewählten Rampe um eine Rampenhöhe von $h_R = 1,0 \text{ m}$ handelt, kann mit dem Abfluss $Q = 132 \text{ m}^3/\text{s}$ der Nachweis geführt werden.

Bemessungsabfluss im Hochwasserfall

Durch die zu planende Umgestaltung der Emschermündung darf der derzeit vorhandene Hochwasserschutz nicht beeinträchtigt werden. Daher ist es erforderlich den Querschnitt ausreichend groß zu dimensionieren, dass ein Hochwasser ohne Schaden zu verursachen abgeführt werden kann. Im wesentlichen ist hiervon die Ausbildung der Hochwasserschutzdämme betroffen und die Ermittlung der erforderlichen Höhe derselben. Für den Hochwasserfall wird hier mit dem Abfluss $HQ_{100}^3 = 317 \text{ m}^3/\text{s}$ gerechnet.

14.2.3 Nachweis der ökologischen Durchgängigkeit

Die nachfolgende hydraulische Bemessung der Rampe erfolgt in Anlehnung an das DVWK Merkblatt 232.

Eingangsparameter sind:

Q_{min}	= 10	[m^3/s]	Minstdurchfluss
I_R	= 3,33	[%]	Gefälle der Rampe
k	= 0,20	[m]	Rauheit des Sohlmaterials

³Abfluss mit einer statistischen Wiederkehrperiode von 100 Jahren

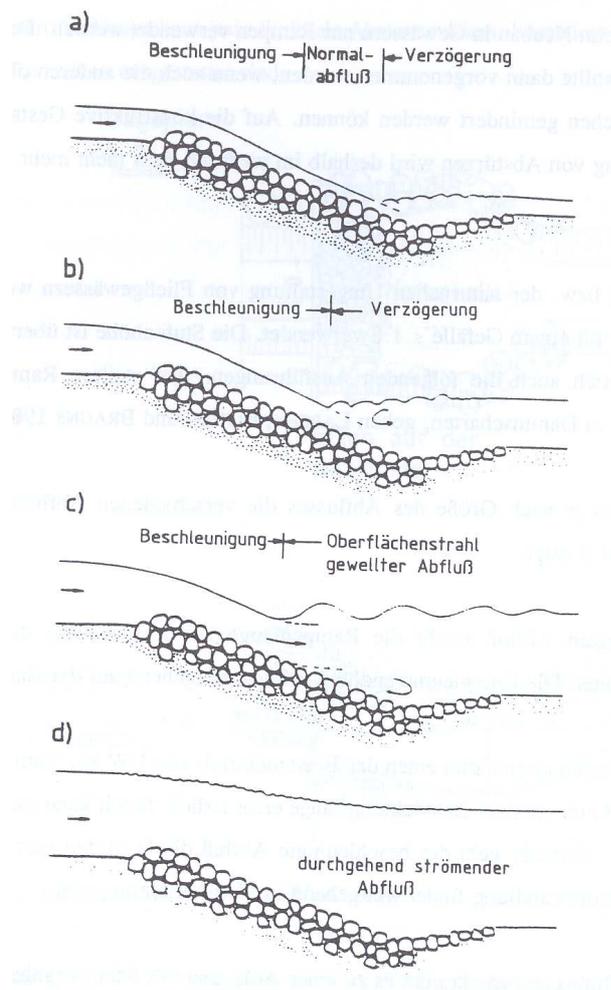


Abbildung 14.4: Abflusszustände nach GEBLER , Quelle: (DVWK Schriften 118)

d_s	= 0,80	[m]	Kantenlänge der Störsteine
h	= 0,55	[m]	Wassertiefe (vorgeschätzt)
m	= 2		Böschungsneigung 1:m
b_R	= 20	[m]	Breite der Rampe

Geometrische Größen

Fließfläche

Die Fließfläche ergibt sich anhand des vorhandenen Trapezquerschnitts zu:

$$A = b_R \cdot h + 2 \cdot \frac{h \cdot (m \cdot h)}{2} = 20 \cdot 0,55 + 2 \cdot \frac{0,55 \cdot (2 \cdot 0,55)}{2} = 11,61 \text{ m}^2$$

Umfang

$$l_u = b_R + 2 \cdot \sqrt{h^2 + (m \cdot h)^2} = 20 + 2 \cdot \sqrt{0,55^2 + (2 \cdot 0,55)^2} = 22,46 \text{ m}$$

Hydraulischer Radius

$$R_{hy} = \frac{A}{l_u} = \frac{11,61 \text{ m}^2}{22,46 \text{ m}} = 0,517 \text{ m}$$

Wasserspiegelbreite

$$b_{sp} = b_R + 2 \cdot m \cdot h = 20 + 2 \cdot 2 \cdot 0,55 = 22,2 \text{ m}$$

Angeströmte Fläche eines Störsteins

Für den hier gegebenen Fall, dass die Wassertiefe mit 0,55 m geringer als die Höhe des Steinüberstands mit 0,8 m ist, ergibt sich die angeströmte Steinfläche wie folgt:

$$A_s = h \cdot d_s = 0,55 \cdot 0,8 = 0,44 \text{ m}^2$$

Eingetauchtes Volumen eines Störsteins

$$V_s = \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 \cdot 0,55 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,8^2 \cdot 0,55 = 0,276 \text{ m}^3$$

Grundfläche eines Störsteins

$$A_{0,s} = \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,8^2 = 0,503 \text{ m}^2$$

Ermittlung des Fließwiderstandes

Durch die in die Rampe integrierten Störsteine entsteht neben dem Einfluss der Sohlrauheit zusätzlich ein Einfluss durch den Fließwiderstand der Störsteine. Dadurch wird das Abflussverhalten auf der Rampe wesentlich beeinflusst. Die Einflüsse der Sohlrauheit und der Störsteine werden zusammen durch den Widerstandsbeiwert λ_{ges} berücksichtigt.

Nach ROUVÉ (1987) ergibt sich der Widerstandsbeiwert wie folgt:

$$\lambda_{ges} = \frac{\lambda_S + \lambda_0 \cdot (1 - \varepsilon_0)}{(1 - \varepsilon_V)}$$

Hierin bedeuten:

$$\epsilon_V = \frac{\sum V_S}{V_{ges}} = \frac{\text{eingetauchtes Vol. der Störsteine}}{\text{Gesamtvolumen } A \cdot l}$$

$$\epsilon_0 = \frac{\sum A_{0,S}}{A_{0,ges}} = \frac{\text{Grundfläche der Störsteine}}{\text{Gesamtgrundfläche } l_u \cdot l}$$

$$\lambda_S = 4 \cdot c_W \cdot \frac{\sum A_S}{A_{0,ges}}$$

Die Ermittlung der Flächen- und Volumenverhältnisse erfolgt an einem 10 Meter ($l = 10 \text{ m}$) langen Abschnitt der Rampe. In diesem Abschnitt befinden sich insgesamt $a = 97$ Störsteine. Unter Verwendung eines Formwiderstandsbeiwertes $c_w = 1,5$ ergeben sich die folgenden Werte:

$$\epsilon_V = \frac{\sum V_S}{V_{ges}} = \frac{V_s \cdot a}{l \cdot A} = \frac{97 \cdot 0,276}{10 \cdot 11,61} = 0,231$$

$$\epsilon_0 = \frac{\sum A_{0,S}}{A_{0,ges}} = \frac{a \cdot A_{0,S}}{l \cdot l_u} = \frac{97 \cdot 0,503}{10 \cdot 22,46} = 0,217$$

$$\lambda_S = 4 \cdot c_W \cdot \frac{\sum A_S}{A_{0,ges}} = 4 \cdot 1,5 \cdot \frac{97 \cdot 0,44}{10 \cdot 22,46} = 1,14$$

Mit Hilfe des Widerstandswertes der Sohlrauheit λ_0 kann der Gesamtwiderstandsbeiwert λ_{ges} ermittelt werden.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = -2 \cdot \log \frac{k_s/R_{hy}}{14,84} = -2 \cdot \log \frac{0,2/0,517}{14,84} = 3,168 \rightarrow \lambda_0 = 0,099$$

$$\lambda_{ges} = \frac{\lambda_S + \lambda_0 \cdot (1 - \epsilon_0)}{1 - \epsilon_V} = \frac{1,14 + 0,099 \cdot (1 - 0,217)}{1 - 0,231} = 1,583$$

Ermittlung des Abflusses

Anhand des ermittelten Gesamtwiderstandsbeiwertes, lässt sich nun die mittlere Fließgeschwindigkeit ermitteln:

$$v_m = \sqrt{\frac{8 \cdot g \cdot R_{hy} \cdot I}{\lambda_{ges}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 9,81 \cdot 0,517 \cdot 0,033}{1,583}} = 0,92 \text{ [m/s]}$$

Für eine vorgewählte Wassertiefe von $h = 0,55 \text{ m}$ ergibt sich somit der folgende Abfluss:

$$Q = v_m \cdot A = 0,92 \cdot 11,61 = 10,68 \text{ [m}^3\text{/s]} > 10 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Der geforderte Abfluss von $10 \text{ m}^3/\text{s}$ kann somit bei den gegebenen Abmessungen und mit dem gewählten Wasserstand abgeführt werden. Eine genaue Ermittlung für den Wasserstand h bei einem gegebenen Abfluss von $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ muss iterativ oder mit Hilfe eines Programms erfolgen. Die folgenden Werte konnten mit Hilfe der Programme EXCEL und MATLAB ermittelt werden:

Q	$= 10$	$[\text{m}^3/\text{s}]$	Durchfluss
h	$= 0,517$	$[\text{m}]$	Wasserstand
A	$= 10,87$	$[\text{m}^2]$	Fließfläche
l_u	$= 22,31$	$[\text{m}]$	Fließumfang
R_{hy}	$= 0,487$	$[\text{m}]$	hydraulischer Radius
A_S	$= 0,414$	$[\text{m}^2]$	angeströmte Steinfläche
V_s	$= 0,260$	$[\text{m}^3]$	eingetauchtes Steinvolumen
$A_{0,s}$	$= 0,503$	$[\text{m}^2]$	Grundfläche eines Störsteins
ϵ_v	$= 0,232$		Volumenverhältnis
ϵ_0	$= 0,219$		Flächenverhältnis
λ_S	$= 1,079$		Widerstandsbeiwert Störstein
λ_0	$= 0,103$		Widerstandsbeiwert Sohle
λ_{ges}	$= 1,507$		Gesamtwiderstandsbeiwert
v_m	$= 0,919$	$[\text{m}/\text{s}]$	mittlere Fließgeschwindigkeit
b_{sp}	$= 22,067$	$[\text{m}]$	Wasserspiegelbreite

Um eine Durchgängigkeit der Rampe sicherzustellen, darf die maximal auftretende Geschwindigkeit den kritischen Wert von $v_{zul} = 2,0 \text{ m/s}$ nicht überschreiten. Auf der Rampe tritt die maximale Geschwindigkeit in dem Querschnitt mit der kleinsten Fläche auf. Dieser Querschnitt ergibt sich in den Störsteinreihen in denen jeweils 15 Störsteine vorhanden sind. Auf Grund der Kontinuitätsbedingung kann die maximale Geschwindigkeit wie folgt ermittelt werden.

$$v_{max} = \frac{v_m}{1 - \frac{\sum A_S}{A}} = \frac{v_m}{1 - \frac{a \cdot h \cdot d_s}{A}} = \frac{0,919}{1 - \frac{15 \cdot 0,517 \cdot 0,8}{10,87}} = 2,1 \text{ [m/s]}$$

Die Maximalgeschwindigkeit wird somit nur geringfügig überschritten. Eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit kann durch die Wahl eines kleineren Störsteindurchmessers, die Anordnung der Störsteine in einem größeren Abstand oder die Verbreiterung des Gerinnequerschnitts erzielt werden. Die Berechnung würde sich analog zu den bisherigen Rechenschritten vollziehen. Da die Abweichung relativ gering ist und durch die Störsteine

ein breites Spektrum an Geschwindigkeiten im Profil vorherrscht, wird an dieser Stelle auf eine erneute Berechnung verzichtet.

Abflusszustände auf der Rampe

Der Abflusszustand kann anhand der Froudezahl ermittelt werden. Die Froudezahl gibt das Verhältnis zwischen der Fließgeschwindigkeit und der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Oberflächenwelle $\sqrt{g \cdot h}$ an. Im Rechteckgerinne gibt eine Froudezahl größer als eins an, dass ein schießender Abfluss vorliegt, eine Froudezahl kleiner als eins ergibt sich bei strömendem Abfluss.

Abflusszustand im unverbauten Zustand

$$Fr^2 = \frac{v_m^2 \cdot b_{sp}}{g \cdot A} = \frac{0,919^2 \cdot 22,067}{9,81 \cdot 10,87} = 0,175 \rightarrow Fr = 0,418 < 1 \rightarrow \text{strömender Abfluss}$$

Abflusszustand im eingengten Querschnitt

Ermittlung der durchflossenen Breite b_e im eingengten Querschnitt:

$$b_e = b_{sp} - a \cdot d_s = 22,067 - 15 \cdot 0,8 = 10,07 \text{ m}$$

Fließfläche A_e im eingengten Querschnitt:

$$A_e = A - \sum A_S = A - a \cdot A_S = 10,87 - 15 \cdot 0,414 = 4,66 \text{ m}^2$$

Abflusszustand:

$$Fr_e^2 = \frac{v_{max}^2 \cdot b_e}{g \cdot A_e} = \frac{2,1^2 \cdot 10,07}{9,81 \cdot 4,66} = 0,97 \rightarrow Fr = 0,99 < 1,0 \rightarrow \text{strömender Abfluss}$$

Im eingengten Querschnitt liegt somit gerade noch strömender Abfluss vor. Da sich auf der Rampe kein ausgeprägter Fließwechsel mit Wechselsprung einstellt, muss der Energieüberschuss durch das Auftreffen auf den nächsten Störstein vernichtet werden.

14.2.4 Rückstau einfluss der Rampen

Da die Störsteinreihen der Wirkung eines Wehrs gleichen, entsteht oberhalb der Rampe ein Aufstau. Da in den geplanten Varianten mehrere Rampen hintereinander angeordnet werden, muss geprüft werden, in welchem Abstand die Rampen voneinander entfernt angeordnet werden müssen um ausserhalb der Staulinie zu liegen.

Der Aufstau wird im Bereich zwischen zwei Rampen erzeugt, daher muss zunächst der Normalwasserstand im normalen Gerinnequerschnitt ermittelt werden.

Wasserstand im Gerinne bei $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

Der Wasserstand kann unter Verwendung des allgemeinen Fließgesetzes von DARCY-WEISBACH ermittelt werden.

Formel von Darcy-Weisbach

$$v = \sqrt{\frac{1}{\lambda}} \cdot \sqrt{8 \cdot g \cdot R_{hy} \cdot I}$$

$$\sqrt{\frac{1}{\lambda}} = 2 \cdot \log \frac{14,84 \cdot R_{hy}}{k}$$

Eingangsdaten:

Q	= 10	[m ³ /s]	Durchfluss
g	= 9,81	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
R _{hy}	= A/U	[m]	hydraulischer Radius
k	= 0,2	[m]	absolute Rauheit
I	= 0,2	[%]	Gefälle
v	= Q/A	[m/s]	Fließgeschwindigkeit

Die Ermittlung des Wasserstandes muss iterativ erfolgen. Die Auswertung für den gegebenen Durchfluss von $Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ wurde mittels EXCEL durchgeführt.

Ermittelte Werte:

h _n	= 0,536	[m]	Normalwasserstand
A	= 11,30	[m ²]	Fließfläche
l _u	= 22,40	[m]	Fließumfang

λ	= 0,101		Verlustbeiwert
R_{hy}	= 0,504	[m]	hydraulischer Radius
v	= 0,885	[m/s]	mittlere Fließgeschwindigkeit

Ermittlung der Überfallhöhe h_u

In den Zwischenräumen der Störsteine kann das Wasser ungehindert hindurch fließen, daher wird nicht der komplette Querschnitt aufgestaut. Zur Vereinfachung kann hier der spezifische Abfluss q [$\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$] ermittelt werden und nur die Breite der Steine für den Aufstau angesetzt werden.

Wehrbreite

Die Wehrbreite b_w ergibt sich aus der Anzahl der Störsteine in einem Querschnitt ($a = 15$) und der Breite eines Störsteins ($b_s = d_s = 0,8$ m). Somit ergibt sich die Breite des Wehrs zu $b_w = 15 \cdot 0,8 = 12$ m

Maßgebender Durchfluss

Der maßgebende Durchfluss für die Überfallhöhe ergibt sich aus der Breite des Wehrs und dem spezifischen Durchfluss (q). Der spezifische Durchfluss kann durch den Durchfluss Q und die mittlere Breite des Fließquerschnitts ermittelt werden.

Die mittlere Breite des Fließquerschnitts ergibt sich zu:

$$b_{R,m} = \frac{b_R + (b_R + 4 \cdot h)}{2} = \frac{20 + (20 + 4 \cdot 0,536)}{2} = 21,072 \text{ m.}$$

Somit ergibt sich für das Gerinne ein spezifischer Durchfluss von:

$$q = \frac{Q}{b_{R,m}} = \frac{10}{21,072} = 0,475 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$$

Der anzusetzende Durchfluss Q_w lässt sich nun durch den spezifischen Durchfluss und die Wehrbreite ermitteln:

$$Q_w = q \cdot b_w = 0,475 \cdot 12,0 = 5,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

Überfallhöhe

Der Überfall wird als vollkommener Überfall angenommen. Die Überfallhöhe lässt sich bei bekanntem Durchfluss Q mit folgender Formel ermitteln:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b_{R,m} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_u^{3/2}$$

unter Annahme von:

$$\mu = 0,50 \text{ (abgerundete Kanten, waagrecht)}$$

ergibt sich:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b_{R,m} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_u^{3/2} = 5,7 = \frac{2}{3} \cdot 0,50 \cdot 21,072 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot h_u^{3/2} \rightarrow h_u = 0,323.$$

Ermittlung der Stauweite

Zur Ermittlung der Stauweite wird vereinfachend ein Rechteckquerschnitt mit äquivalenter Fläche verwendet. Als Breite des Rechteckquerschnitts kann die zuvor ermittelte mittlere Breite $b_{R,m} = 21,072$ m angesetzt werden.

Aufstauhöhe am Wehr

Die Aufstauhöhe h_0 direkt am Wehr ergibt sich aus der ermittelten Überfallhöhe und der Höhe eines Störsteins.

$$h_0 = h_u + 0,8 \text{ m} = 0,323 + 0,8 = 1,123 \text{ m}$$

Ermittlung von h_{gr} und μ

In der Überfallformel wird durch den Wert μ die Geschwindigkeitshöhe berücksichtigt. Dazu ist es zunächst erforderlich die Grenztiefe h_{gr} zu ermitteln. Diese kann unter Annahme eines Rechteckgerinnes wie folgt ermittelt werden:

$$h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}} = \sqrt[3]{\frac{10^2}{9,81 \cdot 21,07^2}} = 0,284 \text{ m}$$

daraus resultiert:

$$\mu = \left(1 - \frac{h_{gr}}{h_n}\right)^3 = 1 - \left(\frac{0,284}{0,536}\right)^3 = 0,851$$

Stauweite

Die Ermittlung der Stauweite kann mittels der Formel für Rechteckquerschnitte nach Rühlmann erfolgen. Dazu können die Werte für $F(y)$ und $F(y_0)$ dem Anhang: C.1 entnommen werden. Diese ergeben sich unter Verwendung von $y_0 = h_0/h_n$ (h_0 = Wassertiefe im Anfangsprofil) und $y=1,01$ (1% Abweichung von h_n).

Es ergeben sich:

$$y = 1,01 \Rightarrow F(y) = 2,3261;$$

$$y_0 = 1,123/0,536 = 2,095 \Rightarrow F(y_0) = 1,0255$$

Somit ergibt sich die Stauweite x zu:

$$x = \frac{h_m}{T} [y_0 - y + \mu \cdot (F(y) - F(y_0))] = \frac{0,536}{0,002} [2,095 - 1,01 + 0,851 \cdot (2,3261 - 1,0255)]$$

$$x = 587,41 \text{ m}$$

Da die gesamte Länge des neu geplanten Gerinnes eine Länge von ca. 2 km aufweist, ergibt sich zwischen den 5 Rampen und dem Rhein jeweils ein Abstand von 370 m. Somit liegen die Rampen im Einflussbereich der im Unterwasser liegenden Rampe. Analog zur vorhergehenden Rechnung, jedoch auf iterativem Weg, lässt sich die Stauhöhe am Ende einer Rampe ermitteln. Für diesen Fall ist $x = 370 \text{ m}$ bekannt und der Wert y gibt die Wassertiefe im Abstand x an. Die Ermittlung von y muss in diesem Fall iterativ erfolgen.

Nach mehreren Iterationsschritten ergaben sich folgende Werte:

$$\begin{aligned} y &= 1,13 \\ y_0 &= 2,095 \\ F(y) &= 1,5093 \\ F(y_0) &= 1,0255 \\ h_x &= 0,605 \quad [\text{m}] \\ x &= 370 \quad [\text{m}] \end{aligned}$$

Somit ergibt sich ein Aufstau am unteren Ende der Rampe um 7 cm gegenüber dem normalen Wasserstand von 0,536 m. Inwieweit dies Einfluss auf das Abflussverhalten und den Wasserstand auf der Rampe hat müsste weiter untersucht werden.

14.2.5 Nachweis der Sohlstabilität

Kritischer Abfluss

Der kritische Abfluss kann mit Hilfe des Stabilitätskriteriums von WHITTAKER UND JÄGGI geführt werden.

Stabilitätskriterium nach Whittaker und Jäggi:

$$q_{krit} = 0,257 \cdot \sqrt{\frac{\rho_s \cdot \rho_w}{\rho_w}} \cdot \sqrt{g} \cdot I_R^{-7/6} \cdot d_{65}^{3/2}$$

Eingangsdaten:

ρ_s	= 2700	[kg/m ³]
ρ_w	= 1000	[kg/m ³]
I_R	= 0,033	
g	= 9,81	[m/s ²]
d_{65}	= $d_s/1,06 = 0,2/1,06 = 0,19$	[m]

Der kritische Abfluss ergibt sich somit zu:

$$q_{krit} = 0,257 \cdot \sqrt{\frac{2700 \cdot 1000}{1000}} \cdot \sqrt{9,81} \cdot 0,033^{-7/6} \cdot 0,19^{3/2} = 4,597 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$$

Gemittelte Breite des Querschnitts

Da es sich bei dem kritischen Abfluss um einen Abfluss pro Meter Breite des Gerinnes handelt, muss zunächst die Breite des durchflossenen Querschnitts für $Q = 132 \text{ m}^3/\text{s}$ ermittelt werden. Auf Grund des gewählten Rampenquerschnitts (siehe E) werden ab einem Durchfluss von $Q = 24 \text{ m}^3/\text{s}$ die Auenbereiche überschwemmt. Dadurch erfolgt die Berechnung des Abflusses für einen zusammengesetzten Querschnitt mit Trennflächen (s.Abb. 14.5). Nach KÖNEMANN wird dabei die Trennfläche dem benetzten Umfang, des tieferen Querschnitts zugeordnet (Schneider Bautabellenbuch). Der Gesamtabfluss ergibt sich aus der Summe der einzelnen Abflüsse beider Querschnitte. Für das Sohlmaterial im Bereich der Rampe wird auf Grund der notwendigen Sohlsicherung eine Rauigkeit von $k_{st} = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (grobes Geröll) angesetzt.

Im Bereich der Auen erfolgt die Berechnung des Durchflusses mit der Fließformel nach Manning-Strickler.

Manning-Strickler-Formel:



Abbildung 14.5: Gerinnequerschnitt mit Trennflächen

Tabelle 14.2: Ergebnisliste für $Q = 132 \text{ m}^3/\text{s}$

	Gerinne 1	Gerinne 2	Einheit
Wassertiefe (h)	2,01	1,01	[m]
Fließfläche (A)	46,3	12,17	[m ²]
Fließumfang (l_u)	31,03	14,53	[m]
hydr. Radius (R_{hy})	1,49	0,838	[m]
Durchfluss (Q)	72,71	59,29	[m ³ /s]

$$Q = R_{hy}^{2/3} \cdot \sqrt{I} \cdot k_{st} \cdot A$$

Für den Bemessungsabfluss von $Q = 132 \text{ m}^3/\text{s}$ konnten die in Tabelle 14.2 dargestellten Werte ermittelt werden.

Die mittlere Breite für das gesamte Profil, kann anhand der folgenden, einzelnen Breiten ermittelt werden:

Höhenkote	Breite
h = 0m (Sohle)	20m
h = 1,0m (Rampe)	24m
h = 1,0m (Gesamtgerinne)	34m
h = 2,0m (Gesamtgerinne)	38m

Daraus ergibt sich die mittlere Breite b_m zu:

$$b_m = \frac{20+24+34+38}{4} = 29 \text{ m}$$

aus der mittleren Breite b_m und dem kritischen, spezifischen Abfluss q_{krit} ergibt sich ein Durchfluss Q_{krit} von: $Q_{krit} = b_m \cdot q_{krit} = 29 \cdot 4,597 = 133,3 \text{ m}^3/\text{s} > 132 \text{ m}^3/\text{s} = Q_{vorh}$
Somit ist bei dem angesetzten Durchfluss und dem verwendeten Sohlmaterial die Stabilität

der Sohle gewährleistet.

Da sich im Bereich der Rampe auf Grund des höheren Wasserstandes eine größere Schubbeanspruchung ergibt soll dieser Bereich zusätzlich nachgewiesen werden. Die gemittelte Breite für den Rampenbereich ergibt sich dazu aus:

$$b_{R,m} = \frac{20+24}{2} = 22,0 \text{ m}$$

Daraus resultiert ein kritischer Abfluss von:

$$Q_{krit} = q_{krit} \cdot b_{R,m} = 4,597 \cdot 22 = 101,134 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bei einem Gesamtabfluss von $Q = 132 \text{ m}^3/\text{s}$ ergibt sich für das Teilgerinne 1 ein Durchfluss von $Q_1 = 72,71 \text{ m}^3/\text{s}$ (s.Tab.: 14.2). Somit wird der kritische Abfluss nicht überschritten und die Sohlstabilität ist nachgewiesen.

14.2.6 Standsicherheit der Störsteine

Durch den Abfluss im Gerinne entstehen hohe Beanspruchungen die auf die Störsteine einwirken. Um nicht in regelmäßigen Abständen die Lage der Störsteine kontrollieren zu müssen, ist es notwendig, die Standsicherheit der einzelnen Störsteine zu gewährleisten. Der Nachweis soll hier auf zwei unterschiedlichen Wegen erfolgen. Zum einen wird der Nachweis nach (LUBW Leitfaden Teil2) durch Bilanzierung der hydrodynamischen Kräfte und der statischen Kräfte geführt. Als zweiter Nachweis erfolgt das Momentengleichgewicht am Störstein.

Nachweis durch Kräftegleichgewicht

Ermittlung der Kräfte

Am Einzelstein wirken einerseits Kräfte in senkrechter Richtung als auch in Richtung parallel zur Sohle (s. Abb.: 14.6). Zu den parallelen Kräften gehört die Scherkraft (F_τ), die aus dem Durchfluss resultiert und die Widerstandskraft (R), die durch die Einbindung des Störsteins in die Sohle aktiviert wird. In vertikaler Richtung wirkt neben dem Eigengewicht (G) und dem Auftrieb, die Liftkraft (F_L). Das physikalische Phänomen der Liftkraft wird auf verschiedene Weise erklärt (siehe (LUBW Leitfaden Teil2)). Im Rahmen dieser Arbeit wird die mittlere Liftkraft mit dem 2,5-fachen Wert der Scherkraft angesetzt.

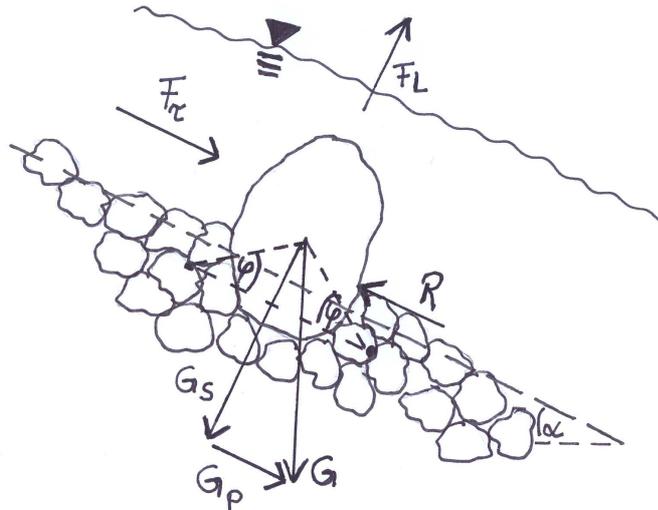


Abbildung 14.6: Angreifende Kräfte am Störstein, Skizze

Scherkraft

Die Scherkraft ergibt sich nach der folgenden Formel:

$$F_{\tau} = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A^* \cdot \rho_w \cdot v^2$$

mit:

c_w	= 0,5	Formwiderstandsbeiwert
A^*	= $\frac{\pi}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot d_s^2 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,8^2 = 0,670$	angeströmte Fläche des Steins [m ²]
ρ_w	= 1000	Dichte des Wassers [kg/m ³]
v	= $Q/A = 72,71/46,3 = 1,57$	Fließgeschwindigkeit [m/s]

ergibt sich:

$$F_{\tau} = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot A^* \cdot \rho_w \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 0,67 \cdot 1000 \cdot 1,57^2 = 412,87 \text{ N}$$

Widerstandskraft

Die Widerstandskraft ergibt sich nach:

$$R = \tan \varphi \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot V$$

mit:

φ	= $\arctan \frac{0,4}{0,5} = 38,66$	Kraftübertragungswinkel
ρ_s	= 2700	Dichte der Deckwerkssteine [kg/m ³]
ρ_w	= 1000	Dichte von Wasser [kg/m ³]
V	= $\frac{\pi}{6} \cdot d_s^3 = \frac{\pi}{6} \cdot 0,8^3 = 0,268$	Volumen des Störsteins
g	= 9,81	Erdbeschleunigung [m/s ²]

$$R = \tan \varphi \cdot (\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot V = \tan 38,66 \cdot (2700 - 1000) \cdot 9,81 \cdot 0,286 = 3576,67 \text{ N}$$

Liftkraft

Die mittlere Liftkraft kann nach DITTRICH (1998) mit

$$F_{L,m} = 2,5 \cdot F_\tau = 2,5 \cdot 412,87 = 1032,18 \text{ N}$$

angenommen werden.

parallele Gewichtskraft

Da die Rampe mit 1:30 ein verhältnismäßig großes Gefälle aufweist, muss der parallele Anteil der Gewichtskraft (G_P) berücksichtigt werden. Dieser ergibt sich als Sinusanteil der Gewichtskraft unter Ansatz einer Rampenneigung von $\alpha = \arctan \frac{1}{30} = 1,91^\circ$, durch die Formel:

$$G_P = [(\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot d_s^3}{6}] \cdot \sin \alpha = [(2700 - 1000) \cdot 9,81 \cdot \frac{\pi \cdot 0,8^3}{6}] \cdot \sin 1,91^\circ = 149,01 \text{ N.}$$

senkrechte Gewichtskraft

Die senkrecht zur Sohle wirkende Gewichtskraft (G_S) ergibt sich aus dem Cosinus-Anteil der gesamten Gewichtskraft zu:

$$G_S = [(\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot d_s^3}{6}] \cdot \cos \alpha = [(2700 - 1000) \cdot 9,81 \cdot \frac{\pi \cdot 0,8^3}{6}] \cdot \cos 1,91^\circ = 4470,81 \text{ N.}$$

Nachweis der Störsteine

Um die Standsicherheit zu gewährleisten, muss die Summe der stabilisierenden Kräfte größer sein als die der destabilisierenden. Dieser Nachweis muss sowohl in paralleler als auch in senkrechter Richtung zur Sohle erbracht werden.

Nachweis senkrecht zur Sohle

Die Liftkraft darf nicht größer sein als die senkrechte Komponente der Gewichtskraft.

$$F_{L,m} = 1032,18 \text{ N} \leq 4470,81 \text{ N} = G_P$$

Nachweis erbracht!

Nachweis parallel zur Sohle

In Richtung parallel zur Sohle darf die Summe aus Scherkraft (F_τ) und paralleler Gewichtskraft (G_P) nicht größer als die Widerstandskraft (R) sein.

$$G_P + F_\tau = 149,01 + 412,87 = 561,88 \text{ N} \leq 3576,67 \text{ N} = R$$

Nachweis erbracht!

Nachweis durch Momentengleichgewicht

Im Folgenden soll der Nachweis der Standsicherheit des Störsteins anhand des Momentengleichgewichts erfolgen. Dazu ist ein Vergleich der destabilisierenden Momente mit den stabilisierenden notwendig. Das dest. Moment wird durch die angreifende Strömung also durch den Durchfluss erzeugt. Das stab. Moment resultiert aus dem Eigengewicht des einzelnen Störsteins. Als Drehpunkt (A) wird der oberste Punkt am Übergang Störstein zu Sohle gewählt (s. Abb.: 14.7).

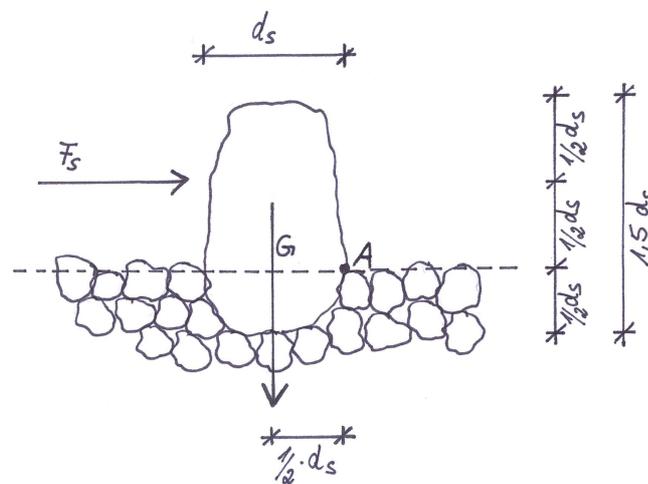


Abbildung 14.7: Momentengleichgewicht am Störstein, Skizze

Angreifende Strömungskraft

Zur Ermittlung der Strömungskraft wird davon ausgegangen, dass $\frac{2}{3}$ der Steinhöhe oberhalb der Sohle liegen. Die angreifende Strömungskraft F_s ergibt sich dadurch wie folgt:

$$F_s = c_w \cdot \rho_w \cdot A_s \cdot v^2$$

mit:

$$c_w = 0,5$$

$$\rho_w = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$A_s = \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot d_s^2 = \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot 0,8^2 = 0,67 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$v = 1,57 \text{ [m/s]}$$

$$F_s = 0,5 \cdot 1000 \cdot 0,67 \cdot 1,57^2 = 825,74 \text{ [N]}$$

Gewichtskraft

Die Gewichtskraft wird unter Annahme einer Steindichte von 2700 kg/m^3 und einem

Steindurchmesser von $d_s = 0,8$ m ermittelt.

$$G = V \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_w) = \frac{\pi}{6} \cdot d_s^3 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_w) = \frac{\pi}{6} \cdot 0,8^3 \cdot 9,81 \cdot (2700 - 1000) = 4470,81 \text{ [N]}$$

Hebelarme

Die Hebelarme bezogen auf den Drehpunkt A ergeben sich anhand Abb.: 14.7.

$$\begin{array}{ll} \frac{d_s}{2} = 0,4 \text{ m} & \text{Gewichtskraft} \\ 0,4 \text{ m} & \text{Strömungskraft} \end{array}$$

Momentengleichgewicht

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow G \cdot 0,4 \text{ m} \geq F_s \cdot 0,4 \text{ m} \Rightarrow G = 4470,81 \text{ N} \geq F_s = 825,74 \text{ N}$$

Nachweis erbracht!

14.2.7 Unterbau der Rampe (Rampenfilter)

Der richtige Aufbau des Unterbaus einer Rampe ist für die Stabilität von besonderer Bedeutung. Der Unterbau muss den Filterkriterien entsprechen um ein Abgleiten oder Ausspülen des anstehenden Sohlmaterials zu verhindern. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zum einen kann ein Kornfilter aufgebaut werden. Dieser besteht aus einzelnen Lagen mit verschiedenen Korngrößen. Es kommt gebrochenes Material zum Einsatz.

Weitere Möglichkeit sind die Verwendung eines Geotextils oder eine Kombination aus beiden Filtermaterialien. Bei den Geotextilien wird unterschieden nach Vliesstoff, Gewebe oder Verbundstoff. Alle Ausführungen sind wasserdurchlässige, flächenhaft textile Baustoffe. In der Regel werden Geotextile aus synthetischen Fasern oder Bändchen hergestellt. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl der verwendeten Schichten, der Ausrichtung der einzelnen Fasern und der Dichte der einzelnen Faserschichten. Zur Bemessung der Filterreinigung dient bei den Geotextilien das Verhältnis der Porenöffnungen.

Um die Filterstabilität des anstehenden Unterbaus zu gewährleisten können die folgenden Filterregeln angewandt werden.

Qualitätsvorschriften der Schweizer Norm SN670125a (1983)

$$\frac{d_{15,F}}{d_{15,B}} > 5; \quad \frac{d_{15,F}}{d_{85,B}} \leq 5; \quad \frac{d_{50,F}}{d_{50,B}} \leq 25;$$

mit:

$d_{x,F}$ Korndurchmesser des Filters (gröberes Material) bei x% Siebdurchgang [mm]

$d_{x,B}$ Korndurchmesser der Basis (feineres Material) bei x% Siebdurchgang [mm]

Nach Terzaghi gilt:

$$\frac{d_{15,F}}{d_{85,B}} \leq 4$$

Bestimmung eines Filteraufbaus

Im Bereich der geplanten Renaturierungsmaßnahme an der Emscher steht als natürlicher Untergrund Rheinsand an. Für diesen kann beispielhaft die in Abb.: 14.8 dargestellte Sieblinie verwendet werden.

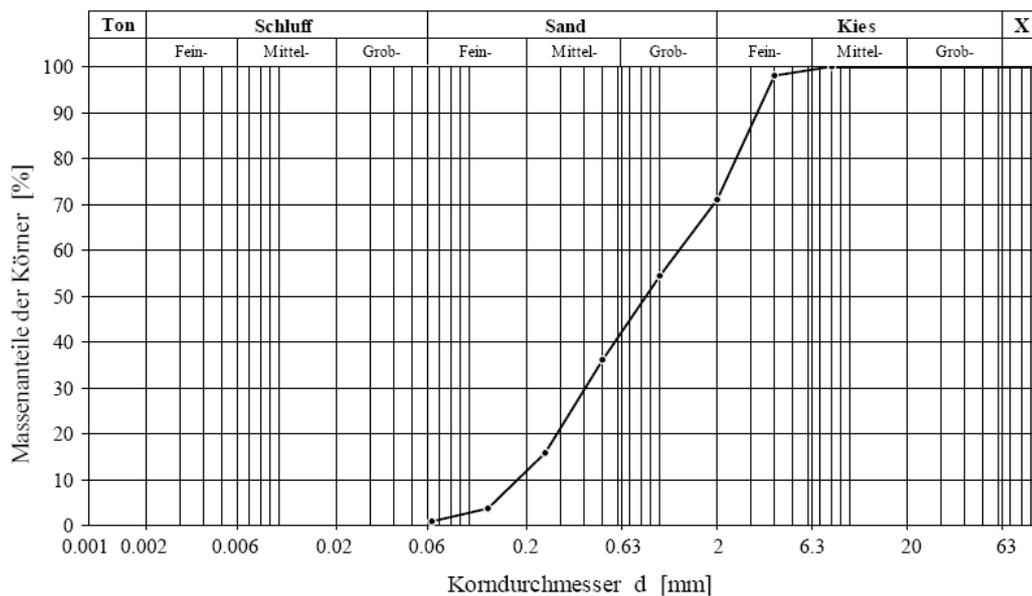


Abbildung 14.8: Sieblinie Rheinsand (Quelle: (?))

Anhand der Sieblinie lassen sich die Siebdurchgänge wie folgt bestimmen:

$$d_{15,B} = 0,25 \text{ mm Korndurchmesser bei } 15 \% \text{ Siebdurchgang}$$

$$d_{50,B} = 0,85 \text{ mm Korndurchmesser bei } 50 \% \text{ Siebdurchgang}$$

$$d_{85,B} = 3,0 \text{ mm Korndurchmesser bei } 85 \% \text{ Siebdurchgang}$$

Anhand dieser Korndurchmesser lassen sich nun die Werte für die nächste Schicht des Unterbaus bestimmen.

$$\frac{d_{15,F}}{d_{15,B}} > 5 \Rightarrow \frac{d_{15,F}}{0,25} > 5 \Rightarrow d_{15,F} > 1,25 \text{ mm}$$

$$\frac{d_{15,F}}{d_{85,B}} \leq 4 \Rightarrow \frac{d_{15,F}}{3,0} \leq 4 \Rightarrow d_{15,F} \leq 12 \text{ mm}$$

$$\frac{d_{50,F}}{d_{50,B}} \leq 25 \Rightarrow \frac{d_{50,F}}{0,85} \leq 25 \Rightarrow d_{50,F} \leq 21,25 \text{ mm}$$

Für die Ermittlung der einzelnen Schichten des Unterbaus, lässt sich der von der BAW herausgegebene Regelaufbau eines Zweistufenfilters verwenden (s. Abb.: 14.9).

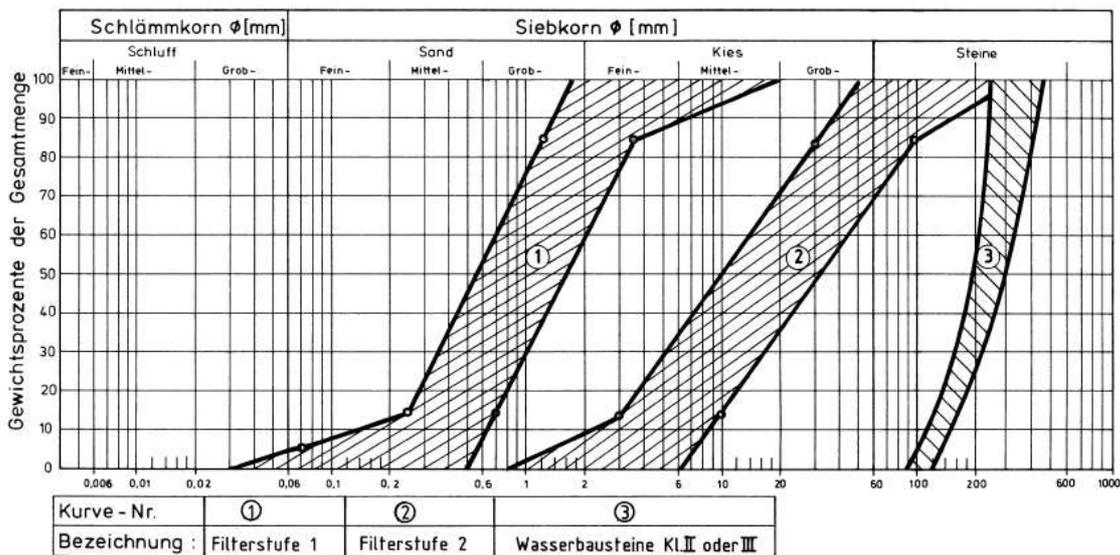


Abbildung 14.9: Sieblinie Standard Zweistufenfilter (Quelle: (BAW Merkblatt Kornfilter))

Die Sieblinie des Rheinsandes liegt im Bereich der Sieblinie für den ersten Filter. Dadurch kann auf den Rheinsand sofort eine Körnung mit der Sieblinie des 2. Filters eingebaut werden. Als dritte Schicht erfolgt der Einbau einer Lage aus Wasserbausteinen der Klasse II. oder III. Die Wasserbausteinclassen weisen die in Tabelle 14.3 aufgeführten Größen auf.

Tabelle 14.3: Wasserbausteinclassen

Klasse	Kantenlänge
0	5 - 15 cm
I	10 - 20 cm
II	10 - 30 cm
III	15 - 45 cm
IV	20 - 60 cm
V	35 - 100 cm

Die bei der Bemessung angenommenen Wasserbausteine, mit einer durchschnittlichen Größe von 0,2 m reichen somit aus, um eine Filterstabilität zwischen der 2. Filterschicht und der Wasserbausteinschicht zu gewährleisten.

14.2.8 Nachbettsicherung

Da der natürliche Untergrund im Bereich der geplanten Maßnahme aus Rheinsand besteht, liegt kein erosionsbeständiges Sohlmaterial vor. In diesem Fall ist nach GEBLER (1991) eine Nachbettsicherung vorzunehmen. In der Vergangenheit wurde als maßgebender Versagensmechanismus eine vom Rampenfuß rückschreitende Erosion beobachtet. Diese kann zum Stabilitätsversagen des gesamten Rampenkörpers führen. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass die Anordnung eines muldenförmigen Kolks (s. Abb.: 14.10) im Bereich des Rampenfußes zur Stabilisierung beiträgt. Der Nachbettkolk verringert die Auswirkungen eines Wechselsprungs auf die Sohle. Zu beachten ist die mit zunehmendem Abfluss verringerte hydraulische Wirksamkeit des Kolks. Die Ermittlung der geometrischen Größe des Nachbetts erfolgt nach (LUBW Leitfaden Teil2).

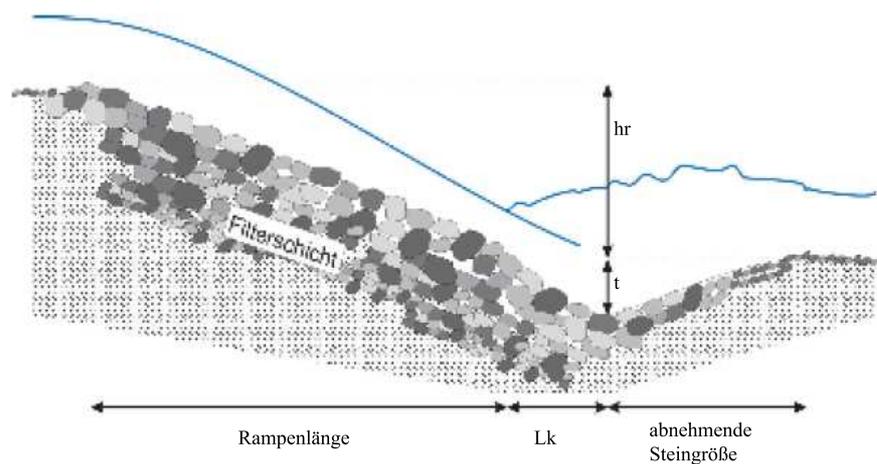


Abbildung 14.10: Prinzipskizze Nachbettsicherung (Quelle:(LUBW Leitfaden Teil2))

Kolktiefe

Die anzusetzende Kolktiefe (t) ergibt sich nach GEBLER (1991) zu:

$$t = \frac{h_R}{3} = 0,33 \text{ m bis } \frac{h_R}{2} = 0,5 \text{ m}$$

Länge des Nachbetts

Die notwendige Länge der zusätzlichen Sohlsicherung bis zur natürlichen Sohle lässt sich wie folgt abschätzen:

$$L_k = 7 \cdot h_R = 7 \text{ m bis } 10 \cdot h_R = 10 \text{ m}$$

Mindestdurchmesser

Um ausreichend Erosionsschutz des Sohlmaterials zu gewährleisten, sollte ein Mindestdurchmesser der Steinschüttung eingehalten werden. Dieser wird für die Fließgeschwindigkeit $v = 2,26 \text{ m/s}$ bei $Q = 132 \text{ m}^3/\text{s}$ ermittelt.

$$d_{s,K} \approx d_{65} = 0,04 \cdot v^2 = 0,04 \cdot 2,26^2 = 0,20 \text{ m}$$

Mindestschichtdicke

Eine Schichtdicke des Nachbetts von $1,5 \cdot d_{s,K} = 1,5 \cdot 0,2 = 0,3 \text{ m}$ sollte mindestens eingehalten werden.

14.2.9 Bemessung für HQ_{100}

Der Abfluss im Hochwasserfall ist maßgebend für die Ausbildung der Sommerdeiche. Die sich einstellende Wassertiefe bei HQ_{100} gibt zudem an, bis zu welcher Höhe die Sohle der Deiche gegen Erosion geschützt werden muss.

Für die Ermittlung der maximalen Wassertiefe reicht es aus, den Gerinnequerschnitt außerhalb des Rampenbereiches zu betrachten. In diesem Bereich liegt ein geringeres Gefälle (0,2 %) als auf der Rampe (3,3 %) vor, daher ist die Fließgeschwindigkeit geringer und der Wasserstand größer.

Für den Abfluss $HQ_{100} = 317 \text{ m}^3/\text{s}$ ergeben sich nach Darcy-Weisbach die in Tabelle 14.4 dargestellten Werte.

Tabelle 14.4: Ergebnisliste für $Q = 317 \text{ m}^3/\text{s}$

h=	3,72	[m]
A=	129,46	[m ²]
U=	64,15	[m]
R_{hy} =	2,02	[m]
k=	0,2	[m]
I=	0,2	[%]
$\sqrt{\frac{1}{\lambda}}$ =	4,35	
v=	2,45	[m/s]
Q=	317,0	[m ³ /s]

Unter Einhaltung eines Freibords von 0,5 - 1,0 m müssen die Sommerdeiche bis auf eine Höhe von 4,50 m über Gewässersohle hinausreichen. Es ergibt sich der in Abb. 14.11 dargestellte Querschnitt für das gesamte Gerinne.

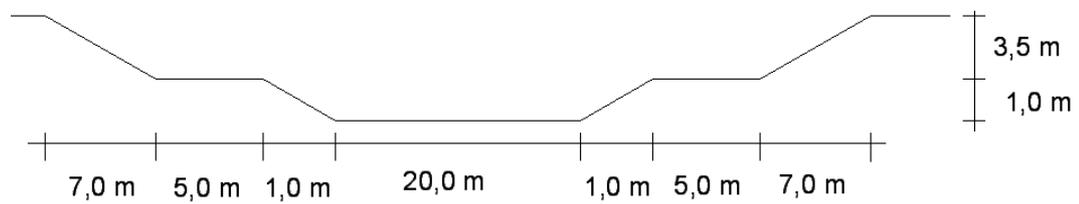


Abbildung 14.11: Gerinnequerschnitt für HQ_{100}

Das Ufer muss mindestens bis auf die Höhe von 3,72 m durch Wasserbausteine befestigt werden.

Schlusswort

Die vorliegende Ausarbeitung, sowie die Bemessung und die zugehörigen Pläne mit Längen- und Querprofilen sollen als Idee zur Neugestaltung der Emschermündung verstanden werden. Der zur Verfügung stehende Zeitrahmen ermöglichte nur die Untersuchung einer Variante. Um zwischen den Varianten eine Auswahl unter den Gesichtspunkten Wirtschaftlichkeit, Machbarkeit, technische Umsetzbarkeit und Erfüllung der WRRL zu ermöglichen ist eine Ausarbeitung aller Varianten erforderlich.

Literaturverzeichnis

- [DIN 19661-2] DIN 19661 TEIL 2 (1984) *Sohlenbauwerke - Abstürze, Absturztrep-
pen, Sohlenrampen, Sohlengleiten, Stützswellen, Grundswellen, Sohlenschwellen*,
Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [DIN 4047-5] DIN 4047 TEIL 5 (1989) *Landwirtschaftlicher Wasserbau - Begriffe - Aus-
bau und Unterhaltung von Gewässern*, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth
Verlag GmbH, Berlin
- [EU-WRRL] EU-WASSERRAHMENRICHTLINIE (2000) *Richtlinie zur Schaffung eines Ord-
nungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik*, Das
europäische Parlament und der Rat der europäischen Union
- [Schneider Bautabellenbuch] SCHNEIDER BAUTABELLENBUCH (2006) *Schneider Bauta-
bellen für Ingenieure, 17. Ausgabe*, Werner Verlag, Neuwied
- [DVWK Schriften 79] DVWK SCHRIFTEN 79 (1987) *Erfahrungen bei Ausbau und Un-
terhaltung von Fließgewässern*, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- [DVWK Schriften 118] DVWK SCHRIFTEN 118 (1997) *Maßnahmen zur naturnahen
Gewässerstabilisierung*, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH,
Bonn
- [DVWK Merkblatt 204] DVWK MERKBLATT 204 (1984) *Ökologische Aspekte bei Aus-
bau und Unterhaltung von Fließgewässern*, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- [DVWK Merkblatt 232] DVWK MERKBLATT 232 (1996) *Fischaufstiegsanlagen - Bemes-
sung, Gestaltung, Funktionskontrolle*, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und
Wasser mbH, Bonn
- [LUBW Leitfaden Teil1] LUBW LEITFADEN TEIL1 (2006) *Durchgängigkeit für Tiere in
Fließgewässern - Leitfaden Teil 1 - Grundlagen*, Landesanstalt für Umwelt, Messungen
und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

- [LUBW Leitfaden Teil2] LUBW LEITFADEN TEIL2 (2006) *Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern - Leitfaden Teil 2 - Umgehungsgewässer und fischpassierbare Querbauwerke*, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- [LFU Leitfaden Teil1] LFU LEITFADEN TEIL1 (2002) *Hydraulik naturnaher Fließgewässer - Leitfaden Teil 1 - Grundlagen und empirische, hydraulische Berechnungsverfahren*, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- [LFU Leitfaden Teil2] LFU LEITFADEN TEIL2 (2002) *Hydraulik naturnaher Fließgewässer - Leitfaden Teil 2 - Neue Berechnungsverfahren für naturnahe Gewässerstrukturen*, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- [BAW Merkblatt Kornfilter] BAW MERKBLATT KORNFILTER *Merkblatt - Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK)*, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- [BAW Merkblatt Geotextilfilter] BAW MERKBLATT GEOTEXTILFILTER (1993) *Merkblatt - Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)*, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- [Skript Hydromechanik] SKRIPT HYDROMECHANIK (2006) *Hydromechanik, Hydrostatik, Stromfadentheorie, Rohrströmung, Gerinneströmung, Grundwasserströmung - Skript zur Lehrveranstaltung*, Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau - Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal
- [Skript Wasserbau 1] SKRIPT WASSERBAU1 (2006) *Wasserbau 1 - Hydrologie, EU-WRRL, Gewässerausbau, Verkehrswasserbau - Skript zur Lehrveranstaltung*, Lehr- und Forschungsgebiet Wasserwirtschaft und Wasserbau - Bergische Universität Wuppertal, Wuppertal
- [Kerner; 1994] KERNER, K. (1994) *Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung*, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg
- [Knauss; 1979] KNAUSS, J. (1979) *Flachgeneigte Abstürze, glatte und rauhe Sohlrampen*, Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München, Bericht Nr.41
- [Gunkel; 1996] GUNKEL, G. (1996) *Renaturierung kleiner Fließgewässer*, Gustav Fischer Verlag, Berlin
- [Rouvé; 1987] DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT; ROUVÉ, G. (1987) *Hydraulische Probleme beim naturnahen Gewässerausbau*, VCH-Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim

- [Netzer; 1996] NETZER, M. (1996) *Umgestaltung der Illmündung*, Wasser-Energie-Luft, 95.Jahrgang, 2003, Heft 7/8
- [Hyea-Ju; 1996] HYEJ-JU, K. (1996) *Die Ufervegetation eines Fließgewässers in Abhängigkeit vom Ausbau mit unterschiedlichen Materialien*, Technische Universität Berlin, Berlin
- [Jäggi; Peter 1983] JÄGGI, M.; PETER, W. (1983) *Naturnahe Gestaltung einer Flussmündung - Hydraulische Modelluntersuchungen für das Projekt eines Reussdeltas am Urnersee*, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich
- [Emschergenossenschaft; 1989] EMSCHERGENOSSENSCHAFT (1989) *Möglichkeiten der Umgestaltung von Wasserläufen im Emschergebiet*, Essen
- [Hurck; 1997] HURCK, R. (1997) *Von Wasserläufen zu Gewässern: Der Umbau des Emscher-Systems*, Emschergenossenschaft, Essen
- [Voss; 1967] VOSS, F. (1967) *Die morphologische Entwicklung der Schleimündung*, Hamburger Geographische Studien, Hamburg
- [Gunzelmann; 2006] GUNZELMANN, TH. (2006) *Das ehemalige Bischberger Wehr: Wasserbauliche Probleme beim Zusammenfluss von Main und Regnitz*, Heimat Bamberger Land, Bamberg
- [Jäggi; Pellandini; 2006] JÄGGI, M.; PELLANDINI, S. (2006) *Naturnahe verzweigte Flussabschnitte als Mittel gegen Sohleintiefung*, Internationales Symposium Interpraevent 1988 in Graz, Tagungspublikation, Band 4, Seite 327 - 337
- [Jäggi; 1992] JÄGGI, M. (1992) *Flussbauliche Probleme an Mündungen*, Vortrag zur Fachtagung 1992 in Bregenz, Verbandsschrift Nr. 52 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden (Schweiz)
- [Grabher; 1992] GRABHER, G. (1992) *Naturpotentiale an den großen Flussmündungen des Bodensees*, Vortrag zur Fachtagung 1992 in Bregenz, Verbandsschrift Nr. 52 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden (Schweiz)
- [Fiebiger; 1992] FIEBIGER, G. (1992) *Mündungen von Wildbächen in Seen: Beispiel Wolfgangsee*, Vortrag zur Fachtagung 1992 in Bregenz, Verbandsschrift Nr. 52 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden (Schweiz)
- [Lang; 1992] LANG, O. (1992) *Landschaftsentwicklungsplan Reussdelta, Revitalisierung der Flussmündung*, Vortrag zur Fachtagung 1992 in Bregenz, Verbandsschrift Nr. 52 des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden (Schweiz)

- [Carp; 1952] CARP, H. (1952) *Die dritte Mündung der Emscher in den Rhein*, aus 'Der Bauingenieur' Heft 5, 27.Jahrg. 1952, Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg
- [Kern; 1994] KERN, K. (1994) *Grundlagen naturnaher Gewässergestaltung*, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg
- [HKM; 2004] HÜTTENWERKE KRUPP MANNESMANN (2004) *Die grüne Hütte - Industrienatur bei HKM*, Krupp Mannesmann GmbH, Duisburg
- [Emschergenossenschaft; 2004] EMSCHERGENOSSENSCHAFT (2004) *Ein Fluss kehrt zurück*, Emschergenossenschaft, Essen
- [Emschergenossenschaft; 2005] EMSCHERGENOSSENSCHAFT, STAATLICHES UMWELTAMT HERTEN (2005) *Fließgewässer im Emscherraum*, Druck: Druckerei Schröers GmbH, Essen
- [Lippeverband; 2006] LIPPEVERBAND (2006) *Fließgewässer im Lippeverbandsgebiet*, Druck: Druckerei Schröers GmbH, Essen
- [Groß; Paulus; 2002] GROSS, J.; PAULUS, T., *Umgestaltung von Wehranlagen mit Renaturierung der betonierten Gewässersohle an der Ahr im Bereich des Casinos in Bad Neuenahr-Ahrweiler* (2002) http://www.sgd nord.rlp.de/upload/31_Artikel_Ahrrenaturierung_am_Casino_DVWK_4632.pdf (13.09.07)
- [Ahrweiler; 2002] KREISVERWALTUNG AHRWEILER, *Naturnahe Entwicklung der Ahr oberhalb der Mündung in Sinzig* (2002) <http://www.drstuesser.de/uploads/media/Ahrmuendungsentwicklung.pdf> (12.09.07)
- [Froehlich-Schmitt; 2004] FROEHLICH-SCHMITT, B., *Rhein und Lachs 2020, Programm für Wanderfische im Rheinsystem* (2004) http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente/rz_deut_lachs2020_net.pdf (10.09.07)
- [Ahrweiler; 2004] KREISVERWALTUNG AHRWEILER, *Renaturierung der Ahrmündung befindet sich voll im Fluss* (2004) <http://www.kreis.aw-online.de/pressdienst/1083665804.html> (12.09.07)
- [Ahrweiler; 2004-2] KREISVERWALTUNG AHRWEILER, *Ahrmündung: Die Natur kann wieder frei atmen* (2004) <http://www.kreis.aw-online.de/pressdienst/1101812317.html> (12.09.07)

- [IKSR; 2004] INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DES RHEINS, *Naturnaher Entwicklung der Ahr* (2004) http://www.iksr.org/fileadmin/user_upload/Dokumente/Symposien_u._Workshops/5._Rheinsymposium/Vortraege/Kurzfassungen/Schmid_kurz_d.pdf (12.09.07)
- [IKSR; 2006] INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DES RHEINS, *Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit des Oberrheins für die Fischfauna* (2006) http://www.iksr.org/uploads/media/IKSR-Bericht_Nr._158d.pdf (12.09.07)
- [LfW RP; 2001] LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT RHEINLAND-PFALZ, *Gütebericht 2000* (2001) <http://www.wasser.rlp.de/servlet/is/496/Gewaesserguete.pdf?command=downloadContent&filename=Gewaesserguete.pdf> (13.09.07)
- [Schilter; Gemperli; 2002] SCHILTER, E.; GEMPERLI, H.-P., *Seeschüttung Reussdelta Neuer Lebensraum im Urnersee durch Schüttung von Inseln und Flachwasserzonen mit Ausbruchmaterial* (2002) http://www.swissphoto.ch/fileadmin/content/documents/3_Geomatik/2002_seeschuetting.pdf (11.09.07)
- [BfLuF; 2003] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, *Die Salzach: ein Fluss bewegt* (2003) http://gpool.lfrz.at/gpoolexport/media/file/salzach-ein-fluss-bewegt-folder_lay_4.pdf (13.09.07)
- [Loritz; Haferkorn; 2002] LORITZ, J.; HAFERKORN, J., *Gewässerentwicklungsplan Dreisam* (2002) <http://www.unsere-dreisam.de/march/GEP%20Dreisam.pdf> (14.09.07)
- [St. Gallen; 2007] BAUDEPARTEMENT DES KANTONS ST. GALLEN, *Handbuch: Kataster und Untersuchung von Fliessgewässern* (2007) http://www.ar.ch/tba/Handbuch_06.pdf (12.09.07)
- [Hoffmann; 2005] HOFFMANN, R., *Machbarkeitsstudie zur Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit im Neckar* (2005) <http://www.rp-stuttgart.de/servlet/PB/show/1188022/rps-pr-05-08-29.pdf> (13.09.07)
- [LIFE; 2007] *LIFE-Workshop: Mur Enns Lafnitz Erfahrungsaustausch der LIFE-Projekte in der Steiermark und in Slowenien* (2007) www.wasserwirtschaft.steiermark.at/cms/dokumente/10690592_4570277/d39ae448/Pressemappe_.pdf (14.09.07)

- [Gasser; 2004] GASSER, Y., *Renaturierung der Zulgmündung* (2004)
http://lep.ethz.ch/notawf/sa_pdf/gasser0304.pdf(14.09.07)
- [Dolch; 1998] DOLCH, TOBIAS, *Fischaufstiegsanlagen und ihre Eignung* (1998)
<http://www.giub.uni-bonn.de/seminare/wasser/Hausarbeiten/sose1998/Dolch.pdf>(12.09.07)
- [Wiesner et.al.; 2006] WIESNER, C.; UNFER, G.; JUNGWIRTH, M., *Fishebstandserhebung im Johnsbach* (2006)
www.nationalpark.co.at/nationalpark/de/downloads/Life/Befischung_Johnsbach_2005.pdf(13.09.07)
- [Enderle; 2005] ENDERLE BERATUNG, *Fischaufstiegshilfen - Eine Übersicht* (2005)
<http://www.lebendige-hase.de/site/pictures/Fischaufstiegshilfen.pdf>(13.09.07)
- [Eberstaller; 2002] EBERSTALLER, J., *Variantenstudie Pinka - Stieberteich - Wehoferbach* (2002)
http://www.ezb-fluss.at/downloads/Pinka_Varianten.pdf(11.09.07)
- [RP Tübingen; 2005] REGIERUNGSPRÄSIDIUM TÜBINGEN, *Maßnahmenkatalog zum Integrierten Donau Programm* (2005)
<http://www.rp-tuebingen.de/servlet/PB/show/1157660/rpt-53-1-02-idp-heft5.pdf>(13.09.07)
- [RP Tübingen; 2001] GEWÄSSERDIRETION DONAU/BODENSEE, *Aktionsplan Durchgängigkeit baden-württembergische Donau und Breg* (2001)
<http://www.rp-tuebingen.de/servlet/PB/show/1157661/rpt-53-1-03-aktionsplan.pdf>(12.09.07)
- [Moosmann; 2003] MOOSMANN, L., *Gerinneaufweitungen Eine geeignete Massnahme zur Entwicklung naturnaher Fluss-Systeme?* (2003)
http://www.rhone-thur.eawag.ch/Workshop_Aufweitungen.pdf(13.09.07)
- [Rey; 2004] REY, P., *Ökologische Aspekte der Gewässerentwicklung Alpenrheinzuflüsse und Bäche im Rheintal* (2004)
www.rov-service.de/irka/IRKA_Handbuch_Teil1.pdf
www.rov-service.de/irka/IRKA_Handbuch_Teil2.pdf(13.09.07)
- [Mertens; 2007] MERTENS, M., *Gesunde Fische in unseren Fließgewässern* (2007)
http://www.eawag.ch/media/20070830/gesunde_fische.pdf(12.09.07)

- [Bezzola; 2004] BEZZOLA, G.-R., *Revitalisierung von Fließgewässern und ihre Interaktion mit der Umwelt* (2004) http://www.zlg.ethz.ch/downloads/publ/publ_B123/Bezzola2.pdf(13.09.07)
- [Hydrotech; 2002] HYDROTECH AACHEN, *Hochwasseraktionsplan Lippe* (2002) http://www.stua-lp.nrw.de/map/p/hwlippe/main/07_Bericht/tr/bericht.pdf (19.09.07)
- [Vossmeier; 2004] VOSSMEYER, A., *Gewässerentwicklungskonzept: Mühlbach - Alte Dreisam* (2004) <http://www.ig-dreisam.de/archiv/GEK2004/gek.pdf> (19.09.07)
- [Hydrotech; 2004] EMSCHERGENOSSENSCHAFT/ HYDROTECH, *Hochwasseraktionsplan Emscher, Bemessungswassermengen* (2004) <http://www.eglv.de/hochwasser> (19.10.07)
- [Projekt Emscher; 2007] WRRL PROJEKT EMSCHER, *Gewässerkundliche Hauptwerte am Pegel Oberhausen Königsstraße (Zeitreihen 1979/2001)* (2007) <http://www.emscher.nrw.de> (19.10.07)
- [Google] <http://www.google.de>
- [Wikipedia] <http://www.wikipedia.de>

Teil V

Anhang

A Standortkarten

Die im folgenden aufgeführten Standortkarten zeigen die jeweiligen Standorte von denen die Fotoaufnahmen aufgenommen wurden.

A.1 Ahr



Abbildung A.1: Standorte der Fotoaufnahmen (Ahr)

A.2 Sieg



Abbildung A.2: Standorte der Fotoaufnahmen (Sieg)

A.3 Lippe

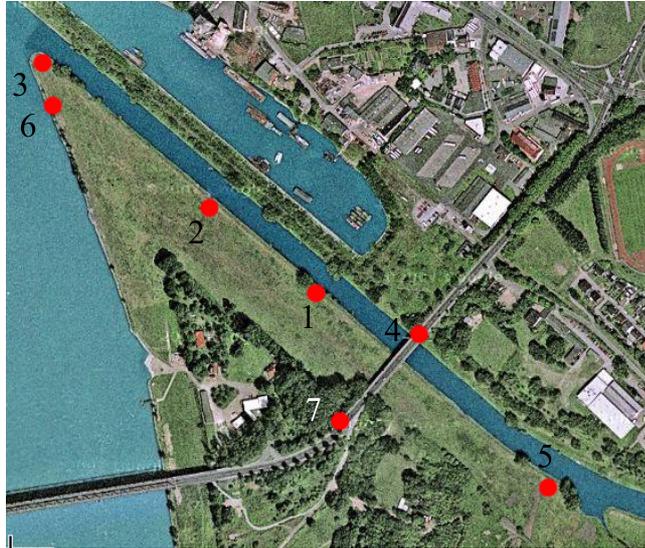


Abbildung A.3: Standorte der Fotoaufnahmen (Lippe)

A.4 Anger

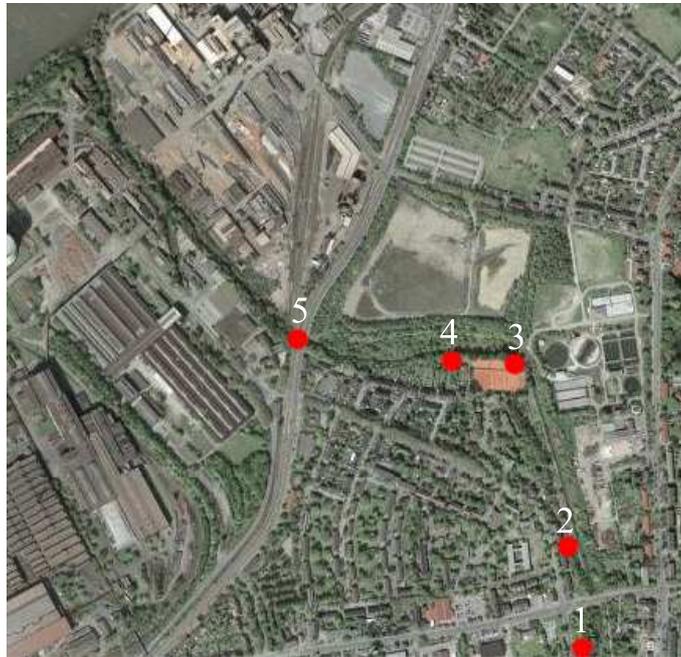


Abbildung A.4: Standorte der Fotoaufnahmen (Anger)

A.5 Emscher

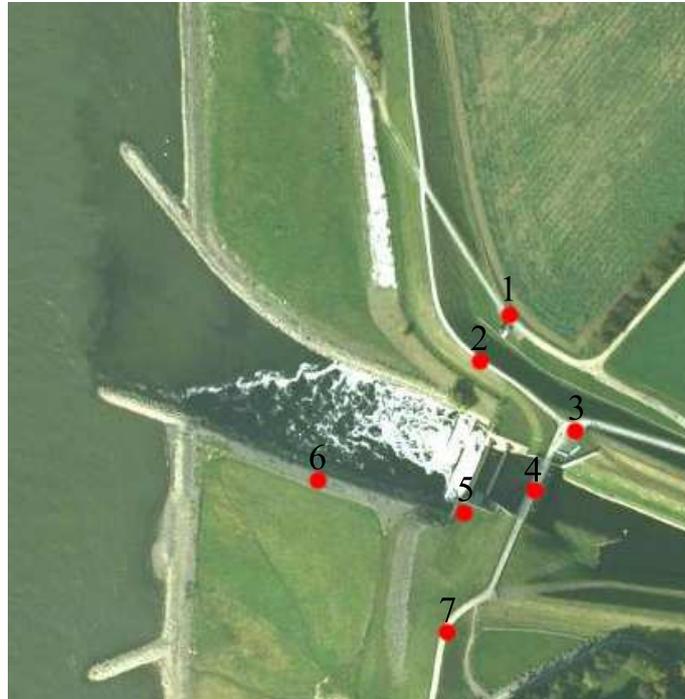


Abbildung A.5: Standorte der Fotoaufnahmen (Emscher)

B Bildverzeichnisse

Die folgenden Tabellen geben Informationen über die einzelnen Bildaufnahmen und ordnet diese den Standorten auf den Karten zu.

B.1 Ahr

Tabelle B.1: Bilderverzeichnis Ahr

Ahrmündung		
Fotonummer	Standpunkt	Blickrichtung/Beschreibung
1	3	Rhein, Mündung
2	3	Rhein, Mündung
3	3	Fußgängerbrücke flussaufwärts
4	3	Fußgängerbrücke flussaufwärts
5	3	Uferbereich Detail
6	3	Rheinabwärts
7	3	Uferbereich unterhalb Brücke
8	4	Uferstruktur oberhalb Brücke
9	3	linkes Ufer der Ahr
10	2	flussaufwärts
11	2	Rhein, Mündung
12	1	Fußgängerbrücke, Uferbereich
13	1	Detail Uferbefestigung
14	1	Fußgängerbrücke
15	1	Uferbereich unterhalb Brücke
16	1	Sohlstruktur
Fortsetzung nächste Seite		

Fortsetzung Ahrmündung		
17	1	Mündung in Rhein
18		ausgetrockneter Flusslauf, flussaufwärts
19	5	Detail, Uferstruktur
20	5	Flussabwärts, Fußgängerbrücke
21	5	rechtsseitiges Ufer oberhalb Brücke
22	5	flussaufwärts
23	6	flussabwärts, Richtung Mündung
24	6	Detail Abflussverhalten
25	6	Flussverlauf, Uferbereiche
26	6	ausgetrockneter Altarm
27	6	Auenbereich
28	6	ausgetrockneter Altarm, flussabwärts
29	5	Ufererosion flussabwärts
30	5	Detail Uferbereich
31	5	befestigter Uferbereich oberhalb Brücke
32	4	natürl. Ufervegetation linkes Ufer
33		Fußgängerbrücke über Ahr
34		Retentionsraum, Deiche

B.2 Sieg

Tabelle B.2: Bilderverzeichnis Sieg

Siegmündung		
Fotonummer	Standpunkt	Blickrichtung/Beschreibung
1	1	flussaufwärts, Uferbereiche Flussverlauf
2	1	befestigte Ufer und Sohlstruktur
3	1	flussabwärts
4	1	linkes Ufer der Sieg
5	1	Uferstruktur rechtes Ufer
6	2	Zulauf zu Teichanlagen
7	2	Abzweig Teichanlagen, flussaufwärts
8	2	Absperrbauwerk Teichanlagen
9	3	Mündung, linkes Ufer, Richtung Rhein
10	3	Abzweig, Uferbefestigung, rechtes Ufer
11	3	Retentionsteiche Nordost
12	3	Sieg, Abzweig Retentionsteiche
13	4	flussaufwärts, Uferbereich
14	4	Mündung Rhein
15	4	rechtes Ufer im Mündungsbereich
16	4	rechtes Ufer im Mündungsbereich
17	4	linkes Ufer im Mündungsbereich

B.3 Lippe

Tabelle B.3: Bildverzeichnis Lippe

Lippemündung		
Fotonummer	Standpunkt	Blickrichtung/Beschreibung
1	1	Richtung Mündung, flussabwärts
2	1	flussaufwärts, Richtung Brücke
3	1	rechtsseitiges Ufer, Struktur
4	1	linksseitiges Ufer, Struktur
5	2	Mündung flussabwärts, angrenzende Weideflächen
6	2	flussabwärts
7	2	Detail, Zugang am Ufer für Tiere
8	3	Mündungsbereich, rechtes Ufer
9	6	Rheinaufwärts, Neubau Brücke
10	3	Mündung, Rheinabwärts
11	3	Flussaufwärts
12	3	linkes Ufer, flussaufwärts
13	3	Detail, Uferbefestigung
14	3	Blick auf Mündung
15	3	rechtes Ufer
16	3	angrenzende Weideflächen, Richtung Südosten
17	6	Industriestruktur nahe der Mündung
18	1	Nordwesten, Weideflächen
19	5	Uferstruktur, linkes Ufer, flussaufwärts
20	5	Uferstruktur, linkes Ufer, flussaufwärts
21	5	flussabwärts, Brücke über Lippe, Retentionsraum
22	5	angrenzender Tagebau
23	5	Einlaufbauwerk rechtes Ufer
24	5	flussabwärts
25	5	flussabwärts
26	5	Zugangsstelle für Tiere, links
Fortsetzung nächste Seite		

Fortsetzung Lippemündung		
27	5	Detail Brückenpfeiler
28	7	Neubau Rheinbrücke (Wesel)
29	7	Neubau Rheinbrücke (Wesel)
30	4	NW - Mündung und Weideflächen
31	4	flussabwärts
32	4	angrenzender Hafen
33	4	Weidefläche und Rheinbrücke
34	4	NW - flussabwärts
35	4	SO - flussaufwärts
36	4	SO - flussaufwärts

B.4 Anger

Tabelle B.4: Bilderverzeichnis Anger

Angermündung		
Fotonummer	Standpunkt	Blickrichtung/Beschreibung
1	1	Querbauwerk
2	1	flussaufwärts
3	1	Querbauwerk
4	1	Sohlsicherung Uferbefestigung unterhalb Querbauwerk
5	1	Sohlsicherung Uferbefestigung unterhalb Querbauwerk
6	1	Detail Querbauwerk
7	2	Uferbefestigung
8	2	flussabwärts, Bewuchs
9	2	Uferbewuchs
10	2	Unterführung
11	2	Detail Vegetation
12	2	flussabwärts, Uferstrukturen
13	2	Detail, Sohl- und Uferbefestigung
14	2	angrenzende Nutzung an der Anger
15	2	Detail flussabwärts Uferstruktur
16	3	Zulauf zur Anger
17	4	flussabwärts, angrenzendes Baufeld
18	4	angrenzende Erdbaustelle
19	4	Ufererosion
20	4	Uferstruktur
21	5	Flussverlauf, flussaufwärts

B.5 Emscher

Tabelle B.5: Bilderverzeichnis Emscher

Emschermündung		
Fotonummer	Standpunkt	Blickrichtung/Beschreibung
2	2	SW - Mündung Emscher in Rhein
3	2	S - Absturzbauwerk Emschermündung
4	2	Peripherie der Emschermündung
5	2	O - Deich, angrenzende Ackerflächen
6	2	siehe Bild 1
7	3	Verlauf der Emscher flussaufwärts
8	3	Zulauf Absturzbauwerk
9	4	Auslauf Querbauwerk
10	5	Osten
11	5	Detail Absturz, Wechselsprung
12	5	Detail Absturz, Wechselsprung
13	6	N - rechtes Ufer, Emschermündung
14	6	Uferbefestigung linkes Ufer
15	6	Mündung in Rhein
16	6	Absturzbauwerk
17	6	rechtes Ufer
18	6	rechtes Ufer, hinter Querbauwerk
19	6	Detail linkes Ufer
20	6	Hochwasserschutzdeich des Rheins
21	7	flussaufwärts Querprofil der Emscher
22	7	angrenzende Siedlungsgebiete
23	7	Hochwasserdeich Emscher
24	7	NW - Mündung
25	7	N - Querbauwerk
26	7	Kraftwerk
27	4	flussaufwärts Flussverlauf
28	4	Detail rechtes Ufer
29	4	Detail linkes Ufer
Fortsetzung nächste Seite		

Fortsetzung Emschermündung		
30	4	Hochwasserdeich flussaufwärts
31	3	N - angrenzende Ackerflächen
32	3	NO - angrenzende Ackerflächen
33	2	Absturz
34	2	Mündung
35	2	W - Rhein, Hochwasserdeich + Radfahrweg
36	2	N - Rhein, Hochwasserdeich + Radfahrweg
37	2	O - Rhein, Hochwasserdeich, angrenzende Ackerflächen
38	1	N - Rhein, Hochwasserdeich, angrenzende Ackerflächen
39	1	O - Rhein, Hochwasserdeich, angrenzende Ackerflächen
40	1	SO - Eindeichung Emscher

C Spiegellinienberechnung

y	F(y)	f(y)	y	F(y)	f(y)	y	F(y)	f(y)
10,0	0,9119	0,7857	1,44	1,1893	0,9101	1,09	1,6195	1,2005
9,0	0,9131	0,7859	1,43	1,1944	0,9132	1,08	1,6555	1,2264
8,0	0,9147	0,7861	1,42	1,1997	0,9164	1,07	1,6969	1,2563
7,0	0,9171	0,7864	1,41	1,2052	0,9198	1,06	1,7451	1,2913
6,0	0,9208	0,7869	1,40	1,2108	0,9232	1,05	1,8027	1,3333
5,0	0,9270	0,7881	1,39	1,2166	0,9268	1,045	1,8362	1,3578
4,5	0,9317	0,7891	1,38	1,2228	0,9305	1,04	1,8738	1,3855
4,0	0,9384	0,7906	1,37	1,2290	0,9344	1,037	1,8988	1,4039
3,5	0,9481	0,7932	1,36	1,2355	0,9385	1,036	1,9076	1,4103
3,0	0,9633	0,7978	1,35	1,2422	0,9427	1,035	1,9167	1,4170
2,9	0,9674	0,7991	1,34	1,2491	0,9471	1,030	1,9665	1,4537
2,8	0,9719	0,8007	1,33	1,2564	0,9517	1,025	2,0256	1,4975
2,7	0,9769	0,8025	1,32	1,2639	0,9565	1,020	2,0983	1,5514
2,6	0,9826	0,8045	1,31	1,2718	0,9615	1,015	2,1926	1,6215
2,5	0,9890	0,8070	1,30	1,2800	0,9668	1,010	2,3261	1,7210
2,4	0,9963	0,8098	1,29	1,2885	0,9723	0,995	2,552	1,889
2,3	1,0047	0,8132	1,28	1,2974	0,9781	0,99	2,319	1,714
2,2	1,0143	0,8173	1,27	1,3067	0,9842	0,98	2,085	1,536
2,1	1,0255	0,8222	1,26	1,3165	0,9906	0,97	1,946	1,431
2,0	1,0387	0,8282	1,25	1,3267	0,9973	0,96	1,847	1,355
1,95	1,0462	0,8317	1,24	1,3375	1,0045	0,95	1,769	1,296
1,90	1,0543	0,8357	1,23	1,3488	1,0121	0,94	1,705	1,246
1,85	1,0634	0,8401	1,22	1,3607	1,0200	0,93	1,650	1,204
1,80	1,0731	0,8450	1,21	1,3733	1,0285	0,92	1,602	1,166
1,75	1,0840	0,8506	1,20	1,3867	1,0375	0,91	1,559	1,133
1,70	1,0961	0,8570	1,19	1,4009	1,0471	0,90	1,521	1,103
1,65	1,1096	0,8643	1,18	1,4159	1,0574	0,85	1,367	0,980
1,60	1,1248	0,8727	1,17	1,4320	1,0685	0,80	1,253	0,887
1,55	1,1421	0,8824	1,16	1,4492	1,0803	0,75	1,159	0,808
1,50	1,1617	0,8938	1,15	1,4677	1,0932	0,70	1,078	0,739
1,49	1,1660	0,8963	1,14	1,4877	1,1071	0,65	1,006	0,676
1,48	1,1704	0,8988	1,13	1,5093	1,1223	0,60	0,939	0,617
1,47	1,1749	0,9015	1,12	1,5329	1,1389	0,50	0,819	0,506
1,46	1,1796	0,9043	1,11	1,5589	1,1571	0,40	0,789	0,402
1,45	1,1844	0,9072	1,10	1,5875	1,1776			

Abbildung C.1: Tabelle zur Spiegellinienberechnung (Quelle: Skript Wasserbau 1)

D Compact Disc

Die beigefügte CD-ROM enthält sowohl die Bachelorthesis als auch eine ausführliche Kurzfassung im PDF-Format. Zusätzlich sind auf der CD-ROM die Bildaufnahmen der besichtigten Mündungen sowie eine Präsentation zur Bachelorthesis gesichert.

E Zeichnungen der konstruktiven Rampenausbildung