

Ein permanent-dynamisches System als modularer Hochwasserschutz

**Das PDH-System
für befestigte Hafenbecken
und befestigte Uferkanten**

**an der Fakultät für Architektur und Landschaft der
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr. Ing.)**

genehmigte Dissertation

**von: Soheil Hedayat Zadeh
Dipl.-Ing. Architekt BDA
geboren am 27.07.1944
in Mashhad**

Januar 2008

Referent:
Prof. Dipl.-Ing. Jörg Friedrich

Koreferent:
Prof. Dipl.-Ing. Han Slawik

Tag der Promotion:
15. Januar 2008

Gesellschaftliche Verantwortung

„...Fähigkeiten sind uns
verliehen worden, damit
wir sie in den Dienst am
Allgemeinwohl stellen...“

‘Abdu’l-Baha, 1844-1921
The secret of divine civilization

In Liebe
meiner Familie
gewidmet.

Vorwort

Für die Betreuung dieser Arbeit sowie für die Ermutigung und freundliche Unterstützung in den Jahren der Zusammenarbeit danke ich herzlich meinen beiden Mentoren, Herrn Prof. Dipl.-Ing. Jörg Friedrich und Herrn Prof. Dipl.-Ing. Han Slawik. Weiterhin bin ich Herrn Professor Dipl.-Ing. Zvonko Turkali für die Bereitstellung einiger Planunterlagen zu Dank verpflichtet.

Für seinen engagierten Einsatz bei der Digitalisierung meiner Zeichnungen und Abbildungen möchte ich Herrn cand. arch. Sebastian Latz Dank aussprechen. Er war unermüdlich bereit, meine Änderungswünsche immer wieder ins Bild zu setzen.

Ebenfalls danke ich meiner Familie. Ohne die große Ausdauer bei den sprachlichen Korrekturen durch meine Frau Inge Zadeh und meine Tochter Merle Zadeh hätte die Arbeit nicht in dieser Form erscheinen können.

Außerdem bin ich Frau Frieda Würdemann und Frau Ute Weiler für ihre sorgfältige Durchsicht der Arbeit sehr dankbar.

Inhalt

I	Einführung.....	14
I.1	Vorstellung des Themas.....	14
I.1.1	Das Phänomen Hochwasser	15
I.1.2	Hochwasserschutz.....	15
I.1.3	Das PDH-System.....	15
I.1.4	Einordnung des PDH-Systems	16
I.2	Anlass der Forschung	16
I.3	Methodischer Ansatz und Forschungsschwerpunkte.....	18
II	Städte am Wasser.....	22
II.1	Historische Entwicklung.....	22
II.1.1	Stadtwerdung.....	22
II.1.2	Industrialisierung.....	23
II.1.3	Trennung von Stadt und Hafen.....	23
II.2	Reaktivierung der Hafен- und Uferzonen.....	24
II.3	Morphologie von Stadt-Hafen-Beziehungen.....	26
II.3.1	Städte am Meer	27
II.3.2	Städte am tidefreien Meer.....	29
II.3.3	Städte am tidefreien Fluss	30
II.3.4	Städte am Tide-Fluss.....	31
II.4	Resümee	34
III	Hochwasser.....	36
III.1	Das Phänomen Hochwasser	36
III.1.1	Die Entstehung von Sturmflut	37
III.1.2	Die Entstehung von Binnenhochwasser	39
III.2	Prognose und Prophylaxe.....	43
III.2.1	Prognostizierte Auswirkungen des Klimawandels	43
III.2.2	Aufgaben für die Zukunft.....	44

IV	Hochwasserschutzsysteme	46
IV.1	Ortsfeste Anlagen	48
IV.1.1	Deiche	48
IV.1.2	Schutzwände.....	50
IV.2	Temporäre, mobile Systeme	63
IV.2.1	Planmäßiger mobiler Hochwasserschutz	65
IV.2.2	Katastrophen-Hochwasserschutz.....	67
IV.3	Kombi-Systeme	71
IV.4	Ortsfeste, aber bewegliche Anlagen	75
IV.4.1	Schlauchwehr-System.....	75
IV.4.2	Aufklappbares System	78
IV.4.3	Hochfahrbarer Hochwasserschutz	80
IV.5	Amphibische Systeme	82
IV.6	Sturmflutschutz-Systeme	83
IV.6.1	Senktor-System.....	84
IV.6.2	Kreissegment-Verschluss-System	86
IV.6.3	Schwimmendes Pendelwerk	90
IV.6.4	Luftkammer-Klapp-System.....	93
V	PDH-System	96
V.1	Leitidee und Zielvorstellungen des Entwurfes	96
V.1.1	Technische Zielsetzung.....	98
V.1.2	Architektonische Zielsetzung.....	98
V.2	Modularität und funktionale Gliederung	100
V.2.1	Umfereinfassung: Basement des Moduls.....	100
V.2.2	Ummantelung des Moduls.....	100
V.2.3	Schwimmkörper des Moduls	102
V.2.4	Führungssystem des Schwimmkörpers	104
V.2.5	Fahreinrichtung zur Wartung des Systems	104
V.3	Materialität des Systems	108
V.3.1	Materialität des Basements.....	108
V.3.2	Materialität der Ummantelung	108
V.3.3	Materialität des Schwimmkörpers	109
V.3.4	Alternativer Baustoff für den Schwimmkörper	110
V.4	Autonomie der Form	126
V.5	Formvariabilität	130
V.6	Zusammenstellung der System-Vorzüge	131

V.6.1	Städtebaulich-ästhetische Vorzüge	131
V.6.2	Architektonisch-konstruktive Vorzüge.....	131
V.6.3	Technische Vorzüge	133
VI	PDH-Rahmenplan	134
VI.1	Wahrnehmung des Raumes	136
VI.2	Morphologie städtischer Uferkanten.....	138
VI.2.1	Straßenraum	139
VI.2.2	Strom- und Flutraum.....	141
VI.2.3	Wasser-Land-Übergang.....	141
VI.3	Raumkonzeption des PDH-Rahmenplans.....	147
VI.3.1	Optimale Raumproportionen und Betrachtungswinkel.....	147
VI.3.2	Maßnahmen der PDH-Raumkonzeption.....	151
VII	Ausblick.....	164
VIII	Exkurs zum Gestaltungsprinzip Bewegung.....	168
VIII.1	Bewegung in der Umwelt.....	168
VIII.2	Bewegung als Gestaltungsmittel.....	169
VIII.2.1	Bewegung des PDH-Systems.....	169
VIII.2.2	Kinetik als Element der Überraschung und des Schauspiels	172
VIII.2.3	Kinetik als Bindeglied zwischen Funktion und Gestalt.....	174
VIII.2.4	Kinetik als Erscheinungsbild der Funktion	178
VIII.2.5	Kinetik in Malerei und Plastik.....	178
VIII.3	Faszination Bewegung	179
IX	Bibliographie.....	180
X	Zur Person	190
XI	Zusammenfassung	195
XII	Summary	197

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 08 UBA. 2006, 11
Abb. 09 UBA. 2006, 11
Abb. 11 verändert nach Topolnicki. 2003, 47
Abb. 12 verändert nach Brinkmann. 2005, 389
Abb. 22 verändert nach Santifaller. 2007, 46
Abb. 31 Roland Scheidemann. In: *natur*. 12/1995, 30
Abb. 32 verändert nach Blasch. 2007, 4f
Abb. 35 verändert nach Scheibe; Zeif. 2000, 26
Abb. 40 verändert nach Koppe. 2002, 144
Abb. 41 verändert nach Koppe. 2002, 143
Abb. 42 verändert nach Koppe. 2002, 143
Abb. 43 verändert nach Koppe. 2002, 143
Abb. 44 verändert nach Koppe. 2002, 144
Abb. 45 verändert nach Koppe. 2002, 145
Abb. 56 *IBK. das bauzentrum*. 5/1998, 70
Abb. 57 *natur* 9/93, 6
Abb. 98 Beheshti 2005, 142
Abb. 99 Passavand 1968, 68
Abb.101 *EL croquis*. 65/66/1994, 79
Abb.102 *EL croquis*. 65/66/1994, 81
Abb.104 *db deutsche bauzeitung*. 5/98, 76-77

Alle weiteren Abbildungen sind eigene Skizzen, Zeichnungen und Fotografien des Verfassers.

I Einführung

In alten Zeiten sah sich der Mensch -
im Kampf gegen die Unwägbarkeiten der Natur,
die als Laune der Götter verstanden wurden - machtlos.
Es war überlebensnotwendig,
die Gesetze der Götter zu respektieren.

Mircea Eliade 1966, 80

Vorstellung des Themas

I.1

Die verheerenden Folgen von Überflutungen geben der Menschheit seit jeher die Frage nach adäquaten Schutzmaßnahmen auf. Auch wenn wir nie die Kontrolle über die Naturgewalten erlangen können, sind wir heute vor allem in den Industrieländern in der Lage, durch den Einsatz von Technologien die Auswirkungen natürlicher Gewalten zu reduzieren.

Die Zukunft der Häfen und Städte am Wasser beschäftigt Planer, Architekten und Ingenieure nach wie vor – das Thema hat nicht an Aktualität eingebüßt. Die Situation im Spannungsfeld von Hochwassergefahr und Stadtentwicklung, die wieder verstärkt auf Integration der Gewässer setzt, erfordert neue Lösungen. Technische Errungenschaften und ästhetische Ansprüche, klimatologische Einflüsse sowie ökonomische, soziale und politische Belange müssen hierbei zusammengeführt werden. Nur so, in der Verknüpfung aller Faktoren, können möglichst sichere Prognosen erstellt und sinnvolle Lösungen bezüglich des Hochwasserschutzes erzielt werden. Dabei müssen die vorhandenen Möglichkeiten und Lösungsansätze aufgrund von ständig neuen Entwicklungen kontinuierlich Korrekturen und Ergänzungen erfahren.

Die vorliegende Arbeit stellt im Zuge der Recherche und des Vergleichs einen neuen Typus von Hochwasserschutzsystem vor. Das modulare, permanent-dynamische Hochwasserschutzsystem – kurz PDH-System – ist als Reaktion auf die sich verschärfende Hochwasserproblematik in Kombination mit den städtebaulichen Erfordernissen urbaner Räume entwickelt worden. Unserem Zeitalter entsprechend, bedient

es sich dabei moderner technischer Möglichkeiten. Der Schwerpunkt der Ausführung liegt im architektonisch-technischen und ästhetischen Bereich.

I.1.1

Das Auftreten von extremen Hochwasserereignissen mit schwerwiegenden Folgen hat sich in den letzten Jahren auffällig gehäuft.

Das Entstehen von Hochwasser und Sturmfluten wird durch ein komplexes Verhältnis von lokalen und globalen Einflüssen bestimmt. Hohe Niederschlags-Intensitäten, erhöhte Schmelzwasseraufkommen und anthropogene Einwirkungen wie Flussbegradigungen und Fahrrinnenanpassungen sind hierbei maßgeblich. Es ist davon auszugehen, dass das sich wandelnde Klima weitere gravierende Auswirkungen auf Hochwasser- und Sturmflutszenarien nach sich ziehen wird (Kap. III.2).

I.1.2

Schon immer müssen Menschen in Fluss- und Meeresnähe Maßnahmen ergreifen, um sich vor Hochwasser zu schützen. Der Begriff Hochwasserschutz bezeichnet die Gesamtheit der Maßnahmen, mit denen besiedelte Flächen vor einem Hochwasserereignis ausreichend sicher geschützt werden (Loat/Meier 2003, 230).

I.1.3

Das PDH-System ist ein ortsfestes, aber dynamisches Hochwasserschutzprinzip, das in der Addition gleichartiger, in sich beweglicher Module besteht. Diese setzen sich jeweils aus einem an der Uferkante fixierten, festen Teil und einem an elektromagnetischen Schienen geführten, beweglichen Teil zusammen. Im Hochwasserfall schwimmen die dynamischen Elemente auf und bilden eine temporäre Hochwasserschutzwand aus. Da durch die systeminhärente Anpass-

Das Phänomen Hochwasser

Hochwasserschutz

Das PDH-System

barkeit die Schutzhöhe mit dem Wasserpegel variiert, können alle situativen Anforderungen erfüllt werden.

Einordnung des PDH-Systems

I.1.4

Das permanent-dynamische Hochwasserschutzsystem stellt als bewegliche, ortsfeste Hochwasserschutz-Technologie eine Verknüpfung dar zwischen anpassungsfähigem, mobilem Hochwasserschutz und sicherer, permanenter Systemlösung.

Intention dieser Arbeit ist es nicht, das PDH-System auf einen bestimmten Standort festzulegen. Es handelt sich vielmehr um ein für verschiedenste Uferkanten kompatibel entwickeltes System. Die Idee des technischen Prinzips manifestiert sich in dem architektonischen Entwurf des PDH-Systems. Die Einbettung des Systems in den städtischen Kontext stellt der anschließende PDH-Rahmenplan dar.

Anlass der Forschung

I.2

Im Umgang mit wassernahen Gebieten ist weltweit ein anhaltender Trend zu beobachten. Seit einigen Jahrzehnten hat eine Hinwendung zu diesen Bereichen stattgefunden. Die wieder entdeckte attraktive und prägnante Lage bietet Platz für Kommerz, Kultur und hochwertigen Wohnraum. Der Slogan „Wohnen und Arbeiten am Wasser“ betitelt aktuelle städtebauliche Projekte weltweit (Kap. II.2).

Der Situation inhärent liegt jedoch die Problematik, dass die durch das Vorhandensein des Elements Wasser so begehrten Gebiete, durch ebendieses Element gleichzeitig in ihrer Existenz bedroht werden. Ein Hochwasserereignis hat hier empfindliche Folgen, und im Zuge des sich abzeichnenden Klimawandels wird sich die Problematik Hochwasser – wie in Kapitel III.2.1 ausgeführt – in den nächsten Jahren weiter verschärfen.

Die Städte durch immer höhere, massivere Ufermauern vollkommen von ihrem Wasser – und damit von einer ihrer Qualitäten – zu separieren, scheint keine annehmbare Lösung zu sein, wollen wir doch „unsere Städte so [...] bauen,

dass sich die Menschen in ihnen belebt und gehoben, ja heiter und glücklich fühlen!“ (Lembke 1947, 8).

Eine gesteigerte Sensibilität in dieser Richtung ist durchaus spürbar. Doch die unmittelbare Nahtstelle von Wasser und Land ist vielerorts auch heute noch geprägt durch eine weitgehend karge Gestaltung. Als Bewohner einer wassernahen Stadt betrachtet man gelegentlich die Stadtsilhouette von der Wasserseite her. Dabei lässt sich konstatieren, dass die attraktive und schöne Silhouette in ihrem Sockelbereich häufig in einer anscheinend funktionsbedingt schroffen, schmucklosen Kaimauer endet. Wie ein Bollwerk, hinter dem sich die Stadt unangreifbar gegen ihren Feind Hochwasser verschanzen möchte, erheben sich massive Kaimauern. Von der Landseite aus kann in Folge des brunnenartigen Höhenunterschiedes zur Wasseroberfläche kein haptischer Bezug hergestellt werden. Dabei scheint es teilweise, als ob die Bewohner der Stadt, aber auch ein Großteil der Planer und Verantwortlichen, dieses als unabdingbare Gegebenheiten hinnehmen. Die gestalterische Indifferenz an dieser Stelle des Stadtbildes und das Fehlen einer engen Verbindung zum Wasser werden weitgehend akzeptiert. Das Anliegen dieser Arbeit ist es, den Status quo zu brechen und gleichzeitig die Funktionalität der schützenden Uferkanten zu wahren.

Die langjährige Auseinandersetzung mit dem Themenkomplex – die unter anderem das Realisierungsprojekt St. Pauli Landungsbrücken im Rahmen des Hochwasserschutzprogramms der Stadt Hamburg beinhaltet (1995-97) – erwächst aus seiner anhaltenden Aktualität und begleitet die Arbeit des Verfassers kontinuierlich.

Das PDH-System ist das Ergebnis weiterer intensiver Überlegung und Forschung auf diesem Gebiet und versteht sich als eine zeitgemäße Antwort auf die städtebaulichen, funktionellen und ästhetischen Anforderungen der Problematik.

Methodischer Ansatz und Forschungs- schwerpunkte

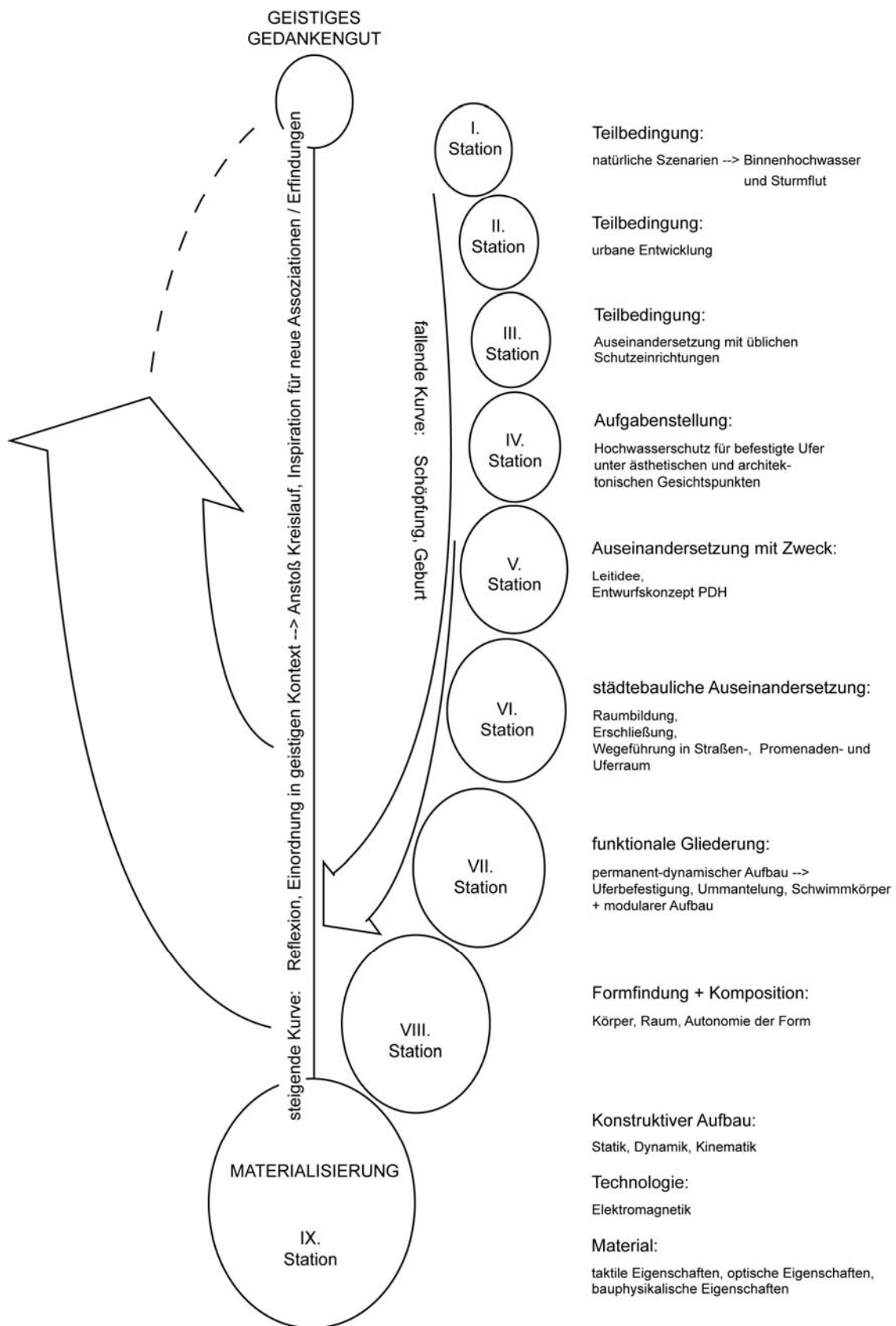
I.3

Die vorliegende Arbeit gliedert sich unter Berücksichtigung theoretischer und angewandter Forschungsgebiete in mehrere Abschnitte. Als notwendige Voraussetzung für die Entwicklung und die Beurteilung des PDH-Systems werden zunächst die folgenden, das System beeinflussenden Themenbereiche behandelt:

- Entwicklung und Geomorphologie einer Stadt am Wasser, welche den potentiellen Anwendungsort des Systems darstellt
- das Phänomen Hochwasser, dessen Ursprung, Eigenschaften und Wirkungsrichtungen sowie dessen prognostizierte Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten
- Auseinandersetzung mit dem technischen Kontext des PDH-Systems anhand von wirkungsspezifisch ausgewählten Projekten und Anlagen gegen Sturmflut und Binnenhochwasser

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf dem vom Verfasser entwickelten permanent-dynamischen Hochwasserschutzsystem PDH-System. Er gliedert sich in vier weitere Abschnitte:

- Vorstellung der Leitidee und Konzeption des Entwurfs, Formentwicklung, Konstruktion und Materialwahl, Aufbau, Technik und Mechanismus der modularen Einheiten sowie Vorteile des Systems
- Auseinandersetzung mit den Einsatzmöglichkeiten des PDH-Systems anhand der Morphologie und der Standorteigenschaften der Uferbereiche



1 Methodischer Ansatz

- Vorstellung des PDH-Rahmenplans, welcher die städtebauliche Einbindung des Systems behandelt und die Raumgliederung und Raumproportion der städtischen Ufer-Areale neu formuliert

- Reflexion der Bewegung als Gestaltungsprinzip des PDH-Systems im Kontext von deren Auftreten in Architektur- und Kunstgeschichte

Der Zusammenhang zwischen methodischem Forschungsansatz, Entwurfsprozess und Entwurfsergebnis des PDH-Systems ist in Abbildung 1 aufgeschlüsselt.

II Städte am Wasser

"Das Urbane ließe sich somit als Ort definieren, an dem Konflikte Ausdruck finden."

Henri Levebre, 1972,
cit. Chramosta 1992, 6

Historische Entwicklung

Stadtwerdung

II.1

II.1.1

Die Besiedlung von Land und die Gründung von Zivilisationskernen fanden vorzugsweise an Orten mit Wasseranbindung statt (Benevolo 1990). Standorte entlang von Meeresküsten und geschützten Buchten, aber vor allem auch an Flüssen boten in der Phase der Stadtwerdung entscheidende Vorteile gegenüber anderen Lagen. Flüsse ermöglichten die problemlose Versorgung mit Trink- und Brauchwasser und die Fischerei bedeutete eine zuverlässige Nahrungs- und Gewerbequelle. In klimatisch trockenen Gebieten wird das Flusswasser bis heute zur Einspeisung in Bewässerungssysteme für landwirtschaftliche Zwecke genutzt.

Vor der Erfindung der Eisenbahn fungierten die Wasserstraßen der Flüsse bzw. Meere als wichtigste Erschließungsmöglichkeit der Städte und dienten als Verkehrs- und Transportwege. Die Häfen stellten dabei eine Plattform des Austausches dar, nicht nur von Waren, sondern auch von Denkweisen, Ideen und Gebräuchen. So erreichte beispielsweise der Tango als Hafentanz von Buenos Aires den europäischen Kontinent, wo er schließlich hoffähig wurde.

Im 19. Jahrhundert wurden die Hafenstädte zu Steuerungscentren und Knotenpunkten der Wirtschaft (Vögele 2003, 14). Die sozialen, politischen und kulturellen Dimensionen dieses Austausches führten zu den Anfängen einer sich internationalisierenden Gesellschaft. Der Puls der Städte

schlug im Hafen, der mit seinen Funktionen des Güterumschlags und der Güterlagerung, dem Zentrum des Handels und dem Sitz öffentlicher Institutionen eng mit der Stadt verflochten war.

II.1.2

Die funktionalen Verknüpfungen innerhalb des Hafenbetriebes wurden im Zuge der Industrialisierung und der Entstehung von Industriehäfen gelockert. Man benötigte mehr Platz, da die Dampfschiffahrt größere Hafenbecken verlangte und große Kräne die Umschlagsarbeiten modernisierten. Es kam zu städtebaulichen Umstrukturierungen. Handel und Wohnen wurden vom Hafengebiet in die Innenstadt verlagert – die Hafenaktivitäten verliefen nunmehr entkoppelt vom Leben in der Stadt ab. In der kollektiven Vorstellung zum Hinterhof der Stadt degradiert, haftete den Hafensarealen immer stärker der Ruch von Schmutz und Verkommenheit an (Schubert 2001, 20f und Schubert 2003, 36).

II.1.3

Der Prozess der Modernisierung und der Abspaltung schritt kontinuierlich fort. Die veränderte Umschlagstechnik mittels Containern in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (Deecke 2001) bewirkte schließlich die Auslagerung der modernen Häfen aus den traditionell innenstadtnahen Gebieten in große Industrieblächen außerhalb der Städte und damit die endgültige räumliche und funktionale Trennung von Stadt und Hafen. Die verlassenen Hafen- und Lagerflächen fielen brach. Das Wasser – teilweise mittels Spundwänden und Mauern, vielfach auch durch Schnellstraßen von seiner Umgebung abgeschnitten – war zudem durch die Schwerindustrie häufig stark verschmutzt und wenig attraktiv. Das Interesse an den Arealen sank, sie wurden zu vergessenen und vernachlässigten Randgebieten der Stadt (Wilson 2002, 12f).

Industrialisierung

Trennung von Stadt und Hafen

Reaktivierung der Hafen- und Uferzonen

II.2

Die Kombination mehrerer Faktoren führte jedoch in den Städten zu einer neuen Wertschätzung ihrer historischen Lebensadern. Ein geschärftes Umweltbewusstsein ab den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts bewirkte nach und nach eine Entlastung der Gewässer durch den Einsatz neuer Techniken und Klärsysteme (Lahl 1992, 75-77 und Bernhardt 2003, 4). Der Reiz der Wassernähe wurde allmählich wieder entdeckt, wobei die verbesserte Wasserqualität eine wichtige Komponente der Attraktivitätssteigerung ausmachte. Brachliegende Hafen- und Industrieflächen wurden für die Stadtplanung wieder interessant. Einigen Städten, die in Pilotprojekten eine Reaktivierung ihrer Wasserareale erprobt haben, wie z.B. London mit den Docklands, kommt in der Entwicklung eine Impuls gebende Funktion zu. Das Thema ist international übergreifend ins Bewusstsein von Stadtplanern und Architekten gerückt. Weltweit werden wassernahe Gebiete reaktiviert und ökonomisch wieder in Wert gesetzt. Dabei sind die Problemstellungen örtlich jeweils unterschiedlich, die Art der Projekte und die Geschwindigkeit ihrer Entwicklungsprozesse differieren. Doch die als Überblick beispielhaft unten aufgeführten Projekte zeigen in ihrer breiten Streuung das Potential, das in der Entwicklung der gewässernahen Bereiche vermutet wird.

Mehrheitlich wird die Wiederbelebung durch eine Mischnutzung von Kommerz, Kultur und Wohnen angestrebt. So findet beispielsweise in Hamburg durch die Wiederinstandsetzung der alten Speicherstadt in Kombination mit dem Bauvolumen der *HafenCity* eine neue urbane Entwicklung statt. Der Bauzeitplan des Projekts illustriert die Dimension und Langwierigkeit eines derartigen Vorhabens:

Hamburg, HafenCity

- | | |
|------|---|
| 1997 | Bürgerschaftsbeschluss |
| 2000 | Masterplanbeschluss auf der Basis eines internationalen Wettbewerbs |
| 2001 | Baubeginn |
| 2005 | Fertigstellung der Sandtorkai-Bebauung |

- 2007 Baubeginn des Überseequartiers und des östlichen Magdeburger Hafens
- 2008 voraussichtliche Fertigstellung der Dalmannkai- und Brooktorkai-Bebauung
- 2009 voraussichtliche Fertigstellung der Bebauung am Sandtorpark
- 2011 voraussichtliche Fertigstellung der U-Bahn mit zwei Haltestellen
- 2020 bis 2025
voraussichtliche Fertigstellung des gesamten Gebietes (HafenCity 2006)

Kontinentübergreifend einige Beispiele für Städte, die ihre Gewässer für die Stadtentwicklung wieder entdeckt haben:

London

Strukturwandel und Umbau des ehemaligen Hafengebiets Docklands in London (Schubert 2001d)

Kopenhagen

Reintegration der innerstädtischen Wasserkanten (Priebis 2001)

San Francisco

Belebung der brachgelegenen Hafenareale (Liebermann 2001)

Baltimore, Boston, Seattle, New York

Reaktivierung der Hafenträume durch Tourismus- und Eventstrategien (Vorbild für europäische Entwicklungen) (Schubert 2001c)

Sydney und Melbourne

Umnutzung des *Darling Harbour* in Sydney und Entwicklung der Hafenträume Melbournes (Schubert 2001g)

Toronto und Vancouver

Deindustrialisierung und Revitalisierungsstrategien der kanadischen Hafen- und Uferzonen (Schubert 2001f)

Montevideo (Uruguay)

Belebung der brachgelegenen Bucht von Montevideo (Zillmann 2001)

Tokio

Stadterweiterung durch Umbau des Teleports (Hohn 2001)

Singapur und Hongkong

Stadt- und Hafenentwicklung durch den Umbau der Uferzonen (Schubert 2001h)

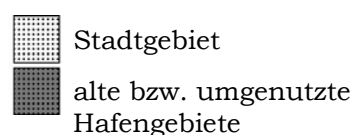
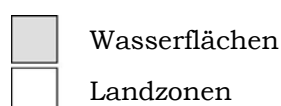
Shanghai

Tiefgreifende Uferumnutzung und Umstrukturierung vor dem Hintergrund der rasant wachsenden Stadt (Schubert 2001i)

Morphologie von Stadt-Hafen-Beziehungen

II.3

Bei der die Gewässer reaktivierenden Stadtentwicklung sind neben den global wirksamen wirtschaftlichen, logistischen und gesellschaftlich-strukturellen Zwängen die lokalen Konstellationen des jeweiligen Ortes von Bedeutung. Die geographischen und geomorphologischen Gegebenheiten beeinflussen zum einen, in welcher Form sich der Prozess von Abtrennung und Auslagerung des Hafens vollzieht, zum anderen beeinflussen sie den Prozess der Wiederaneignung von brachliegenden Arealen und die Art des notwendigen Hochwasserschutzes.



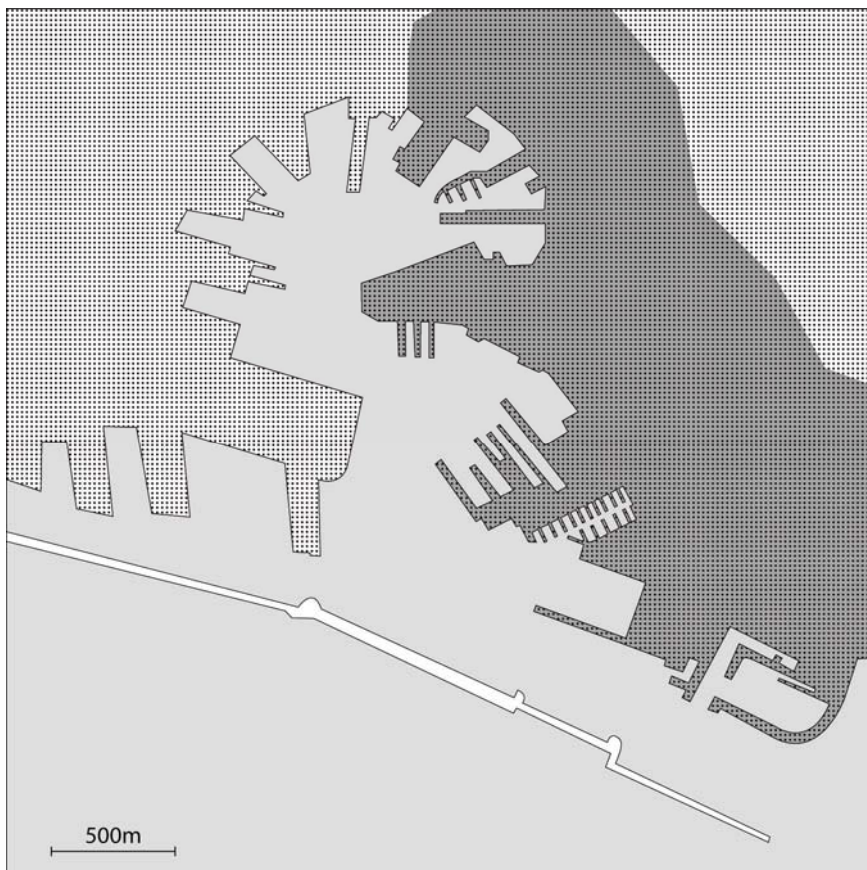
II.3.1

Die geographische Lage am Meer bedingt die Ausformung von Seehäfen. Diese sind der Zerstörungskraft von Sturmfluten ausgesetzt (siehe Kap. III.1.1) und müssen dementsprechend von Systemen geschützt werden, die in der Lage sind, der Wucht von Wind und Wellenschlag standzuhalten.

Städte am Meer

Bucht-Hafen

Der geographische Typus der Bucht – eine (halb)kreisförmige Wasserfläche, vom Land umarmt – ist Raum bildend. Deutlich erkennbar ist dies am Beispiel von Genua (Benevolo 1990, 652-655). Die beiden Arme machen, einander gegenüberliegend, ihre Zusammengehörigkeit deutlich und spannen einen dazwischen liegenden Raum auf, in den sich die Molen wie Finger schieben. In der Renaissance nutzte man die Bezugslogik bewusst für eine Stadtgestaltung:

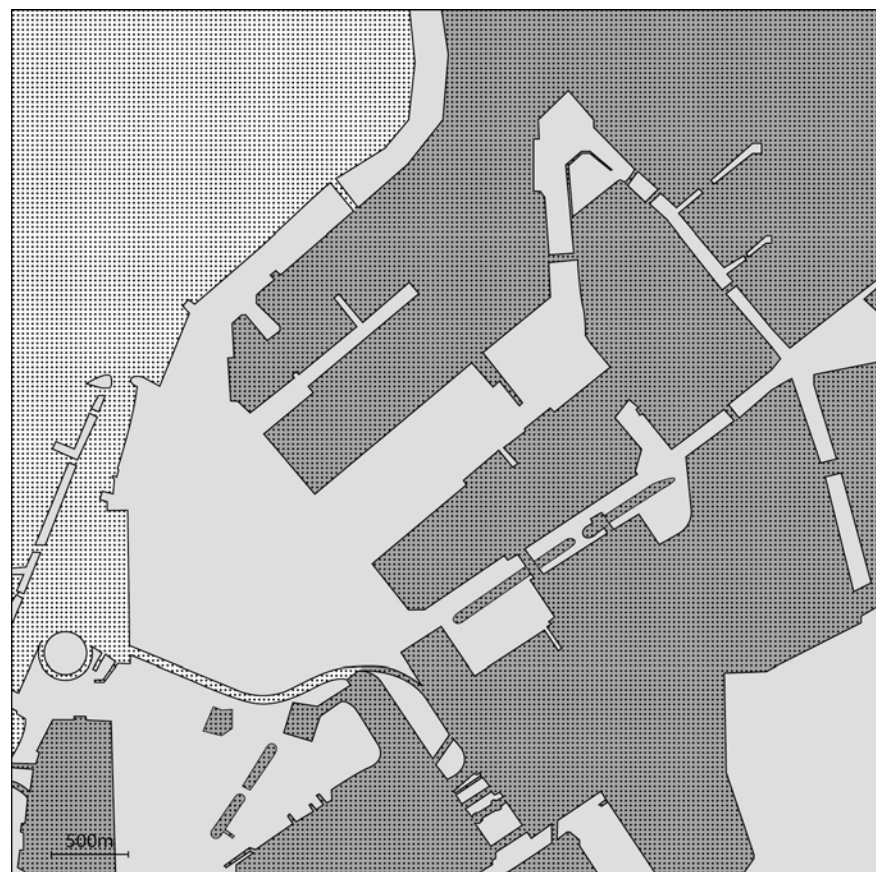


1 Hafen Genua

Durch künstlich hergestellte Biegungen in den Straßen wurde im Betrachter die Assoziation eines Raumes geweckt, der durch die Kurve geschlossen wird. In gleicher Weise umschließt die Stadt Genua ihren Hafen, der als Nahtstelle die Verbindung von Stadt und Wasser bestimmt. Eine neuerliche Integration des alten Hafens in die Stadtstruktur setzt Stadt und Meer wieder in eine stärkere Beziehung.

Insel-Hafen

Der Hafen Tokios liegt auf künstlichen Inseln. Er beherbergt heute Industrie, Wohnen, Sporteinrichtungen, Kongresszentrum und die Funktürme der Telekommunikation. Von großzügigen Promenaden durchzogen, sind diese vom Festland aus durch Hochbahn, Fähren und Straßen erschlossen (Wilson 2002, 13). Aus der vom Wasser umschlossenen



2 Hafen von Tokio

Lage ergibt sich im Sturmflutfall eine Angriffsfläche von allen Seiten und somit eine erhöhte Vulnerabilität der Fläche.

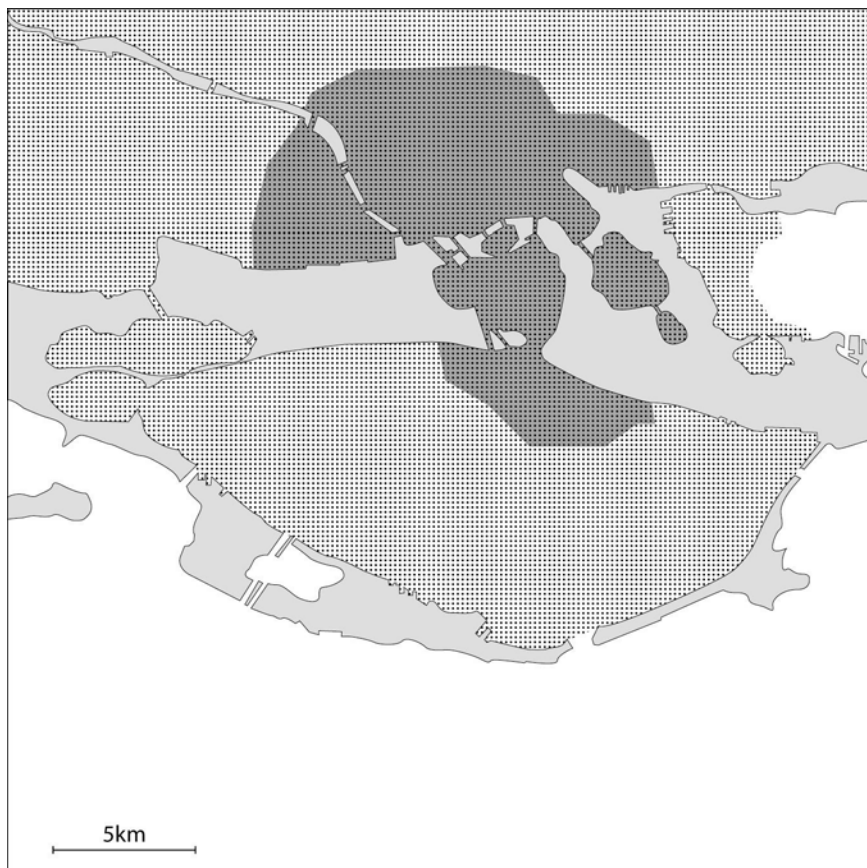
II.3.2

Tidefreie Meere, wie z.B. die Ostsee, unterliegen keinem oder nur einem minimalen Gezeitenhub, das heißt ihr Wasserspiegel schwankt im Normalfall kaum. Dennoch kommt es auch hier zu Sturmfluten (siehe Kap. III.1.1).

Städte am tidefreien Meer

Zentral-Hafen

Der alte Hafen Stockholms liegt im Herzen der Stadt und wird kreisförmig von ihr umschlossen (Wilson 2002, 13). Durch die städtebaulich prägnante Position kommt ihm eine starke Dominanz im Stadtgeschehen zu. Die Zentralität



3 Hafen von Stockholm

des Hafens wirkt sich positiv auf die infrastrukturelle Anbindung aus, da Impulse von allen Seiten gleichberechtigt möglich sind. Kurze Erschließungswege begünstigen die enge Verbindung mit der Stadt. Bei einer Sturmflut bedeutet die räumliche Konstellation mit der zentralen Lage des Hafens indes eine vergrößerte Angriffsfront und damit eine erhöhte Gefährdung.

Städte am tidefreien Fluss

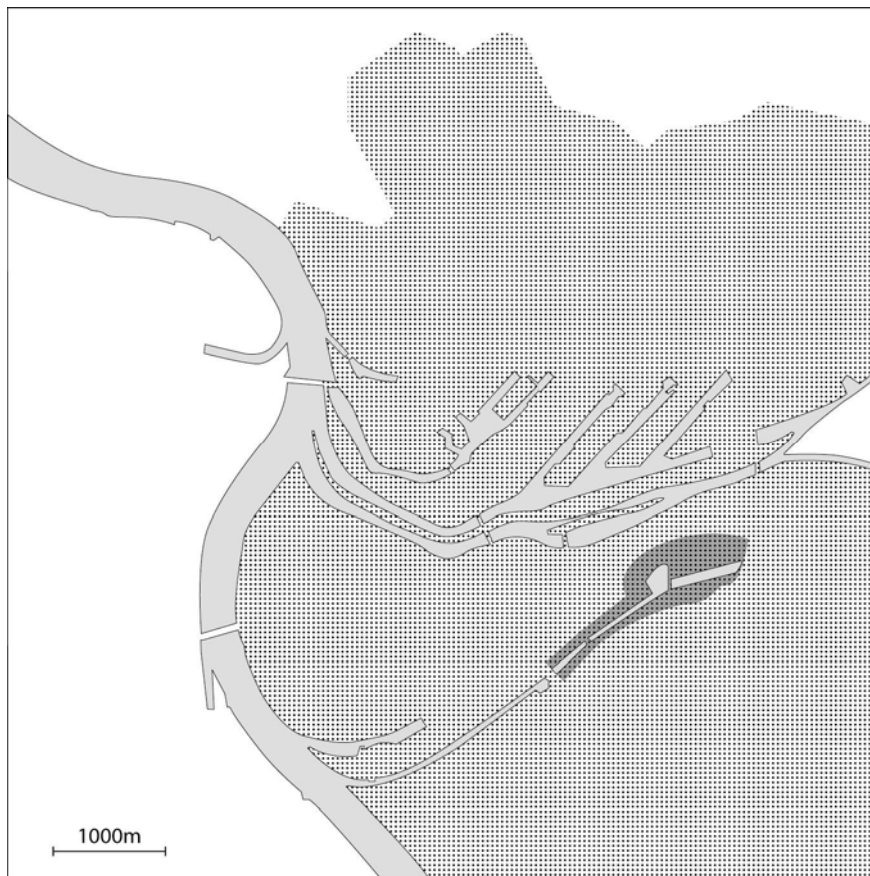
II.3.3

Ist eine Stadt an einem tidefreien Fluss angesiedelt, so muss sie gegen Binnenhochwasser geschützt werden, dessen Zerstörungsrichtung flussabwärts gerichtet ist (s. Kap. III.1.2). Die vom Wasser ausgehende Gefahr kann im Falle von grobem Geschiebe und mitgerissenem Treibgut verschärft werden.

Kanal-Hafen

Duisburg, dessen heutiger Hafen als größter Binnenhafen Europas gilt, war als ursprünglich linksrheinische Stadt mit direkter Flussanbindung im Mittelalter ein florierender Handelsplatz. Um 1270 bewirkte der Durchbruch einer Mäanderschlinge und die damit verbundene Umlagerung des Rheinbettes nach Westen die Trockenlegung des Hafens und hatte einen lange Zeit anhaltenden, wirtschaftlichen und politischen Bedeutungsverlust der Stadt zur Folge.

Der vom Wasser abgetrennte alte Hafen, heute Innenhafen genannt, wurde später mit einem Stichkanal zum Rhein neu erschlossen (Archilles 1985, 82). Durch seine jetzige Lage mitten im Stadtgebiet weist er eine enge Verzahnung mit der Stadt auf. Im Zuge der Internationalen Bauausstellung Escherscherpark (IBA), die den Umbau der alten Industrieregion thematisierte, wurde ab 1989 ein Strukturwandel des alten Hafengebietes forciert (Duisburg Stadtinformationen 2007). Das ca. 89 ha große ehemalige Hafenareal entwickelte sich unter dem Leitziel "Arbeiten, Wohnen und Freizeit am Wasser" zu einem Dienstleistungspark.



4 Hafen von Duisburg

II.3.4

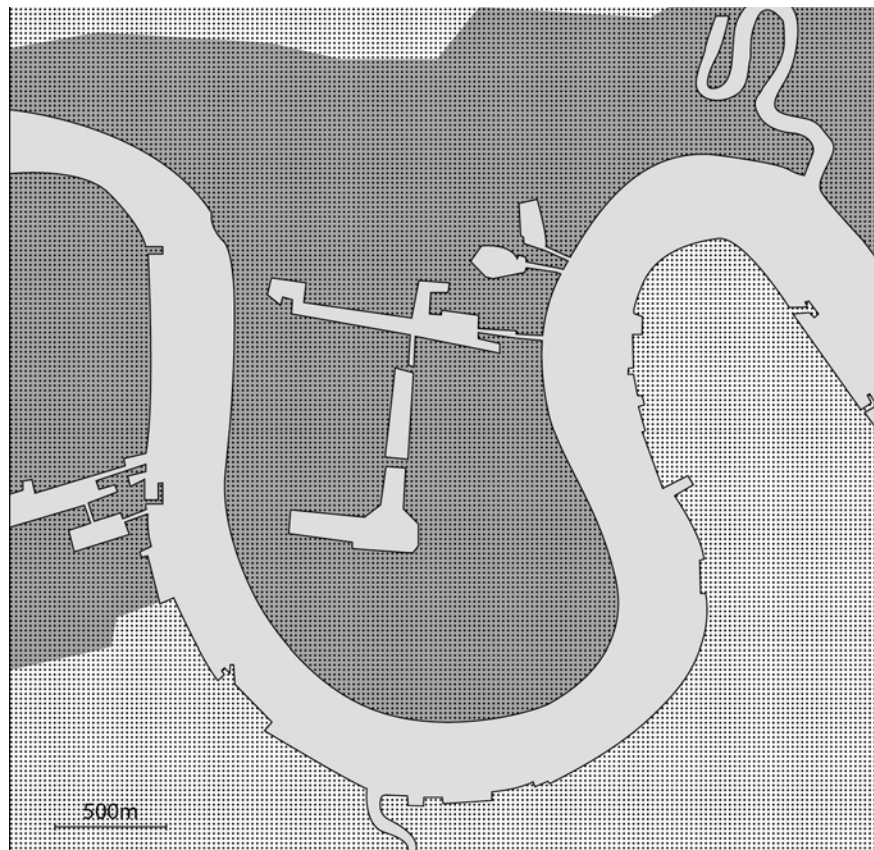
Je näher eine Stadt an einer Flussmündung liegt, desto stärker ist die Tide als Einflussgröße des Meeres wirksam. Die Stadt muss sowohl gegen eine vom Meer kommende Sturmflut geschützt werden als auch gegen ein flussabwärts gerichtetes Binnenhochwasser.

Städte am Tide-Fluss

Kompakter Dock-Hafen

Der geschlossene Dock-Hafen Londons beschreibt den geographischen Typus von halbkreisförmigen Landarealen, welche von Docks durchzogen und von einem mäandrierenden Wasserlauf umflossen werden (Benevolo 1990, 968-981). Die unmittelbare Beziehung der gegenüberliegenden Ufer zueinander lässt bei einer Wiederbelebung der Hafengebiete interessante visuelle und atmosphärische Bezüge zu. In der Umkehrung zeigt sich hier eine Ähnlichkeit mit

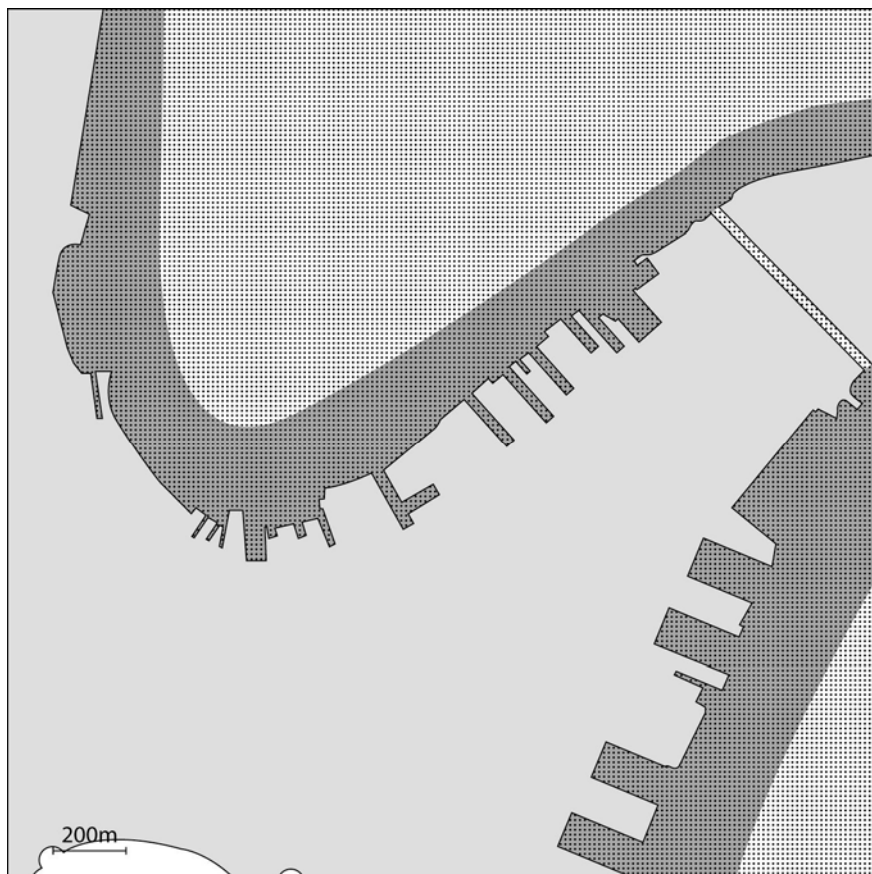
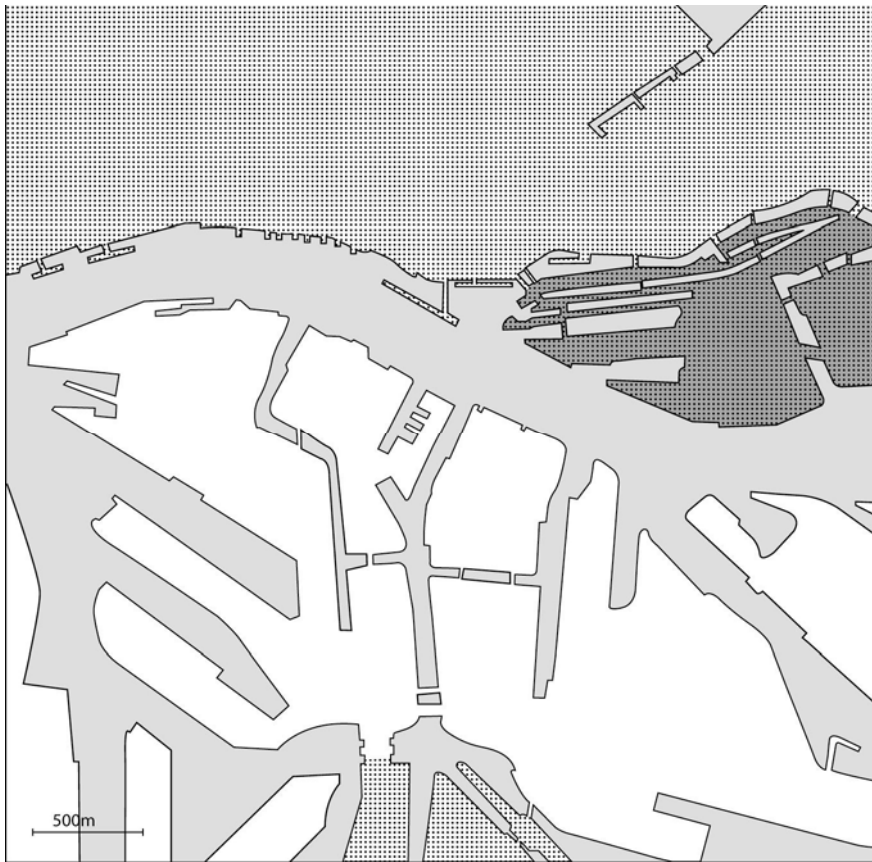
der Situation von Genua. Das Projekt der *Londoner Docklands*, welches die die Reaktivierung der brachliegenden Hafenable vorschlägt, ist eines der ersten Projekte dieser Art in Europa (Schubert 2001d).



5 Hafen London,

Kompaktes Hafennetz

Im Hamburger Hafen erzeugt die Vielzahl von Molen, ausgebaggerten Kanälen und natürlichen Wasseradern eine verflochtene Hafen-Struktur (Abb. 7). Der enge Zusammenwuchs im alten Hafenable der *Speicherstadt* bewirkt eine kompakte und geschlossene Atmosphäre. Durch die Erweiterung des Stadtkern-Gebiets durch die *HafenCity* ins ehemalige Hafengebiet wird der innerstädtische Bereich bis 2025 um ca. 40 % – 100 ha Land- und 55 ha Wasserfläche – vergrößert. Die Stadt übertritt damit die ursprünglich festgelegte Hochwasserschutz-Grenze und muss die neu erschlossenen Bereiche sichern (Bartels 2005).



6 Hamburger Hafen (oben)

7 Hafen von New York

Linearer Hafen mit Fingerdocks

An der linearen Küste New Yorks bilden die Piers des Hafengebietes eine Fortsetzung des städtischen Straßenrasters. Der Infrastruktur wohnt eine geometrische Logik inne, atmosphärisch entsteht ein Gefühl von Klarheit und unendlicher Erweiterungsmöglichkeit. Die gleichmäßige Kette der Fingerdocks stellt eine durchgehende Verbindungsnaht zwischen Stadt und Wasser dar.

Resümee

II.4

Wilson beschreibt die Wiederentdeckung der wertvollen Lage am Wasser als den „Joker der Stadterneuerung“ (Wilson 2002, 13). Doch die Rehabilitation dieser Bühne zum Wasser bringt auch Probleme mit sich:

„Bauen am Wasser [...] ist immer auch mit zusätzlichen technischen Herausforderungen verbunden; ob es nun spezielle Gründungen sind, [oder] die Berücksichtigung des Hochwasserschutzes, [die] in die Neuplanung mit einbezogen werden [müssen]“ (Krause 2004, 26).

Je näher die Stadt wieder ans Wasser heranwächst, desto verletzbarer macht sie sich im Falle eines Hochwasserereignisses, angesichts des vom Wasser ausgehenden Gewaltpotentials. Der Schutz vor Überflutung spielt hier eine äußerst wichtige Rolle.

III Hochwasser

„Auch wenn unser Feind Oceanus zu schlafen scheint, wird er doch wie ein brüllender Löwe über uns kommen und alles zerstören.“

Andries Vierlingh, 16.Jh.

Das Phänomen Hochwasser

III.1

„Im Zeitraum von nur zehn Jahren wurde Mitteleuropa nach Jahrhunderthochwassern an Rhein (1993, 1995), Oder (1997), Donau (1999) und Weichsel (2001) im August 2002 durch weitere Flutkatastrophen (Moldau, Elbe und Donau) betroffen. Im besonders in Mitleidenschaft gezogenen Elbe-Einzugsgebiet fielen den Wassermassen allein in Sachsen 20 Menschen zum Opfer (Tschechien meldete 15 Tote). Der materielle Gesamtschaden wird für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland auf 9,1 Mrd. Euro geschätzt [...]. Dieses Flutereignis ging als die bislang folgenschwerste Überschwemmung in [die] Geschichte Mitteleuropas ein und rückte die Hochwasserproblematik einmal mehr in den Mittelpunkt des Interesses behördlicher und wissenschaftlicher Katastrophen- und Anwendungsforschung sowie politischer Entscheidungsprozesse“ (Geller et al. 2004, 12).

Auch 2006 fanden erneut Überschwemmungen mit schwerwiegenden Folgen an Elbe und Donau statt.

Neben den Überflutungen ausufernder Flüsse stellen schwere Sturmfluten ebenfalls eine Bedrohung für Menschen und Infrastruktur dar. Seit der katastrophalen Holland-Flut von 1953 oder der Sturmflut 1962 u.a. an der Elbe in Hamburg verhinderte jedoch ein angepasster Küstenhochwasserschutz Zerstörungen größeren Ausmaßes, weshalb zurzeit die allgemeine Aufmerksamkeit diesbezüglich geringer ist als gegenüber Binnenhochwasser.

Als Folge meteorologischer Konstellationen sind Hochwasser natürliche Ereignisse im Wasserkreislauf der Erde und weisen ein enormes Zerstörungspotential auf. Im Folgenden

werden die Ursachen der Entstehung von Hochwasser in Fließgewässern wie auch an Meeresküsten erläutert.

Von Hochwasser – einem Szenario, das oft mit einem raschen Wasseranstieg verbunden ist – spricht man nach Loat und Meier (2003, 47;60;66), wenn der Wasserpegel deutlich über dem langjährigen arithmetischen Mittel des Tidehochwassers oder des Gewässerabflusswertes eines Gerinnes liegt.

Bestimmten Hochwasserpegeln ist örtlich jeweils eine Jährlichkeit zugeordnet. Sie besagt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Hochwasser dieser Größenordnung in dem benannten Zeitabschnitt eintreten wird. Der Wert des hundertjährigen Hochwasser HQ_{100} besagt, dass mit einem Ereignis dieser Größe im Schnitt alle hundert Jahre zu rechnen ist. Da es sich um einen statistischen Wert handelt, kann in der Realität jedoch ein wiederholtes Auftreten in einem sehr viel kürzeren Zeitraum stattfinden (Strobl und Zunic 2006, 67f).

In der Fachliteratur wird der Begriff Hochwasser teilweise nur im Zusammenhang mit Hochwasser in Fließgewässern und Seen verwendet, nicht dagegen für die Beschreibung von Sturmfluten. In der vorliegenden Arbeit umfasst der Begriff Hochwasser in Anlehnung u.a. an die Definition des BMU-Fachbereiches für Gewässerschutz jedoch beides: sowohl Sturmflut als auch Binnenhochwasser werden darunter subsumiert.

III.1.1

Die offenen Meere dieser Welt unterliegen durch den Wechsel der Gezeiten periodischen Niveauschwankungen, auch Tide genannt. Die Wasserstandsunterschiede der Tide (Ebbe und Flut) werden durch die Anziehungskraft des Mondes bedingt, unterstützt von Fliehkräften, die infolge der Erdrotation eine großräumige Umlagerung von Wassermassen bewirken. In bestimmten Konstellationen, wenn Erde, Mond und Sonne nahezu auf einer Linie liegen, kombinieren sich

Die Entstehung von Sturmflut

die Gezeitenkräfte beider Himmelskörper, und es kommt zu extremen Tiden, Springtiden genannt.

Flüsse, die in tidebeeinflusste Meere münden, sind in ihrem Unterlauf ebenfalls vom Tidenhub bestimmt. Die Tidewelle nimmt hierbei flussaufwärts ab. Süßwasser des Flusses und Salzwasser des Meeres mischen sich in den Tidebereichen, wodurch das so genannte Brackwasser mit veränderlichem Salzgehalt entsteht (Dücker et al. 2006, 3). In mehr oder weniger abgeschlossenen Binnenmeeren wirkt sich der Gezeitenwechsel lediglich minimal aus, so beträgt der Tidenhub in der westlichen Ostsee z.B. 20cm (Lattermann 2005, 18).

Küstengebiete an Meeren und Binnenmeeren sowie Regionen entlang von Tideflüssen sind der Gefährdung durch Sturmfluten ausgesetzt. Eine Sturmflut entsteht, wenn Wind in Sturm- oder Orkanstärke landeinwärts weht und das Meereswasser an die Küste bzw. in die Flussmündungen drückt. Durch den Einfluss der Tideflut oder der höheren Springflut wird sie besonders verstärkt (ib.). In einem Binnenmeer wie der Ostsee unterliegen demzufolge Wasserstandsänderungen im Wesentlichen meteorologisch-hydrologischen Einflüssen, und Sturmflutwasserstände treten seltener auf. Sie erreichen auch nur geringere Scheitelpegel, führen aber aufgrund längerer Verweildauer wegen der schwachen Gezeitenwirkung zu erheblichen Belastungen für den Küstenraum (Koppe 2002, 27ff).

Eine Klassifizierung der Sturmfluten ihrer Stärke entsprechend ist üblich: Nach Einordnung des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) liegt der Wasserstand an der Nordsee bei einer leichten Sturmflut 1,5 m – 2,5 m über dem mittleren Tidehochwasser (MThw), bei einer schweren Sturmflut 2,5 m – 3,5 m über MThw und bei einer sehr schweren Sturmflut bei mehr als 3,5 m über MThw (Brinkmann 2005, 61).

Für die deutsche Küste der Ostsee gilt ein Scheitelwasserstand von 1,00 m - 1,24 m NN als leichte Sturmflut, ein Scheitelwasserstand von 1,25 - 1,49 m NN als schwere und mehr als 1,50 m NN Pegelstand als sehr schwere Sturmflut (Koppe 2002, 29).

Die Lage an Tideflüssen unterscheidet sich von einer reinen Meereslage dadurch, dass hier Überflutungsszenarien sowohl durch Sturmfluten vom Meer aus als auch durch Binnenhochwasser von der Quelle aus möglich sind (vgl. Kap. III.1.2). Im Rahmen des INNIG-Projektes¹, einem interdisziplinärem Hochwasser-Forschungsprojekt der BMBF-Förderaktivitäten, hat man bezüglich des Eintretens beider Hochwasserszenarien in der Weser bei Bremen aufgezeigt, dass die Phänomene im Untersuchungszeitrum nicht signifikant korrelieren. So sind „extreme Tidehochwasserereignisse [im Untersuchungszeitraum] nicht zeitgleich mit extremen Binnenhochwässern aufgetreten [...]“. Die Gesamtwahrscheinlichkeit für Tidehochwasser bei gleichzeitigem hohem Abfluss lässt sich in diesem Falle als Produkt der beiden Einzelwahrscheinlichkeiten errechnen (Brencher 2007, 194).

Mit Hilfe von Deichen sowie durch befestigte Uferkanten in städtischen Bereichen werden die betroffenen Flächen vor einer Überschwemmung geschützt. Tief liegende Gebiete sind besonders bedroht. So zählt z.B. fast ein Viertel Schleswig Holsteins – 3700 km² – zu den überflutunggefährdeten Küstenniederungen (MLUR 2001, 8).

III.1.2

Binnengewässer (Flüsse, Bäche, Seen) unterliegen keinem Tideeinfluss. Der Wasserpegel variiert aber in Abhängigkeit von der aufgenommenen Wassermenge durch Niederschläge. Die Entstehung von Binnenhochwasser, eine über dem langjährigen Mittelwert liegenden Erhöhung der Wasserführung, wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Sie tritt zum einen als Folge von extrem starken, lang anhaltenden und/oder großflächigen Niederschlägen auf. Auch die Gebietscharakteristik, wie beispielsweise die Beschaffenheit des Erdreiches ist eine Einflussgröße. Bei Sättigung des Bodens strömt alles Wasser auf direktem Wege in die Fließgewässer. Zum anderen erhöht die Schnee-

Die Entstehung von Binnenhochwasser

¹ Integriertes Hochwasserrisikomanagement in einer individualisierten Gesellschaft

schmelze bei plötzlich einsetzendes Tauwetter den Wasserpegel stark, was durch noch gefrorene Böden, die das Schmelzwasser nicht aufnehmen können, verstärkt wird. Die Erhöhung des Pegels hängt außerdem von der Größe des Einzugsgebietes ab, aus dem sich der Fluss speist (Wittenberg 2004, 173).

Überflutungen müssen nicht zwangsläufig ein katastrophales Ereignis darstellen. So waren früher die unbesiedelten Auenlandschaften, die einen Fluss umgaben, natürliche Retentionsgebiete², in denen der Fluss sich zu Hochwasserzeiten ausbreiten konnte, ohne dabei Schaden anzurichten. Für das Ökosystem Fluss ist Hochwasser ein Teil seines natürlichen, dynamischen Lebensprozesses. Auwälder, deren Vegetation auf den Wechsel von periodischer Überflutung und trockenen Phasen angewiesen ist, wirken hierbei wie ein Puffer für die sich ausbreitenden Wassermassen. Die Fließgeschwindigkeit des Wassers wird durch das Vegetationsgeflecht der Aue und ihre vielfältigen Senken, Altwässer und Gräben herabgesetzt. Zudem weist der durchwurzelte Boden eine erhöhte Wasseraufnahmekapazität auf. Erst nach Reduktion des Hochwasserscheitels wird das Wasser nach und nach wieder abgegeben.

Durch anthropogene Eingriffe im Sinne einer besseren Nutzbarmachung sind die Flussaunen im Verlauf von Jahrhunderten stetig umgestaltet worden (Puhlmann 2004, 77). Flüsse wurden begradigt, eingedeicht und ausgebaut, hauptsächlich um sie für die Schifffahrt zu optimieren, wodurch sich die morphologischen, hydraulischen und ökologischen Eigenschaften der Gewässer grundlegend verändert haben. Eine Kanalisierung bedeutet eine starke Reduzierung des Rückhalteraaumes (Loat und Meier 2003, 261). Der flussnahe, parallele Deichbau bewirkt den Verlust der Auen als Retentionsflächen für das Hochwasser und hat die Verengung des Abflussquerschnittes zur Folge.

Durch den Ausbau des Oberrheins entstand z.B. aus dem bis zu 12 km breiten Flussbett eine Rinne von 200 bis 250 m Breite, die Fläche der Rheinaue zwischen Basel und

² Überschwemmungsflächen

Karlsruhe ging um 87 % zurück. Die natürliche Überschwemmungsfläche verringerte sich um 130 km² (UBA 2006). In den Flusstalauen der Mittleren Elbe, die auf einem Abschnitt von etwa 500 Kilometern eingedeicht ist, wurden die ehemaligen Überschwemmungsflächen um 77 % reduziert und dadurch das Retentionsvolumen um 2,4 Mrd. m³ bei einem 100-jährlichen Hochwasser verringert (Simon 2004, 46).



8 und 9 Der Rhein in den Jahren 1838 und 1980

Wie die obigen Abbildungen veranschaulichen, hat die Begradigung eines Flusses durch Abtrennung seiner Mäander eine starke Verkürzung des Wasserlaufes zur Folge.

So wurde der Lauf des Oberrheins um ca. 82 km, der des Niederrheins um ca. 23 km verkürzt (UBA 2006). Infolge der Laufverkürzung zwischen Quelle und Mündung erhöht sich das Gefälle des Flussbettes und damit die Fließgeschwindigkeit des Wassers. Diese Faktoren erhöhen das Überflutungsrisiko, da die Hochwasser-Abflussspitzen von ebenfalls

ausgebauten Nebenarmen den Hauptstrom schneller erreichen und sich die Scheitel der Hochwasserwellen überlagern. Es entsteht ein mengenmäßig erhöhter Abfluss in kürzerer Zeit – bei Überschreitung des Flussbettvolumens kommt es zur Ausuferung (UBA 2006, 5). Zusätzlich sinkt die Vorwarnzeit für die Bewohner der betroffenen Gebiete. Durch die Verkürzung des Rheinlaufes „hat sich [...] die Fließzeit der Hochwasserwelle z. B. von Basel bis Maxau um mehr als das Doppelte, von 64 auf 23 Stunden beschleunigt.“ (BMU 2007).

Die Ausdehnung von gewässernahen Ortschaften und die Ansiedlung von Industrieanlagen am Wasser haben zunehmend zu einer dichten Bebauung der Flusstäler geführt (vgl. Kap. II). Die Ballung hochwertig bebauter Flächen in Gebieten, die ehemals den Flüssen als Retentionsraum zur Verfügung standen, bedeutet in Bezug auf das Hochwasserisiko eine extreme Steigerung des Schadenspotentials.

Die Gefährdung von Menschenleben, sehr hohe Sachschäden und ökologische Schäden – verursacht beispielsweise durch ausgelaufenes Öl von Heiztanks oder Lagerung von Gefahrstoff in gewerblichen Anlagen (Kron 2005, 10) – sind bei Überschwemmungen die Folge. Laut Information des Umweltbundesamtes gehen bei Überflutungen bis zu 70 % der Sachschäden an Gebäuden auf ausgetretenes Heizöl zurück, die Kosten zur Eindämmung der Umweltschäden in Gewässern und Böden nicht mit eingerechnet (UBA 2006, 24-25). Beim Elbehochwasser im August 2002 wurden neben den schweren Schäden an der Infrastruktur und dem Besitz der Auenbewohner zudem große Mengen an Schwermetallen, organischen Schadstoffen sowie hygienisch relevanten Organismen freigesetzt und auf den überschwemmten Flächen verteilt (Geller et al. 2004). Insgesamt hat das Elbehochwasser 2002 in Europa materielle Schäden in der enormen Höhe von 21,2 Milliarden Euro verursacht (Kron 2005, 12).

III.2

III.2.1

Es besteht kein Zweifel mehr daran, dass ein Wandel des Klimas stattfindet. Die Erkenntnisse der internationalen Klimaforschung sind inzwischen auch im öffentlichen Bewusstsein und auf politischen Entscheidungsebenen präsent. Laut dem 4. Sachstandsbericht des IPCC (2007) – der vom *United Nations Environment Programme* (UNEP) und der *World Meteorological Organisation* (WMO) eingesetzte internationale Wissenschaftsrat *International Panel on Climate Change* – bezüglich Klimaänderungen ist die beschleunigte globale Erwärmung mit 0,2°C pro Dekade für die nächsten 30 Jahre sehr wahrscheinlich. Infolgedessen ist ein schnelleres Abschmelzen der Gletscher und Eiskappen zu erwarten und damit ein verstärkter Anstieg des Meeresspiegels. Für die Annahme eines niedrigen Emissions-Szenarios in der Atmosphäre, ohne Berücksichtigung möglicher Parameter-Änderungen durch Klimaschutz, beträgt der Meeresspiegelanstieg bis 2100 voraussichtlich zwischen 18 und 38 cm, für die Annahme eines hohen Emissions-Szenarios sogar 26 bis 59 cm. In diesen Modellen ist eine beschleunigte Eisdynamik in polaren Gebieten nicht berücksichtigt, welche einen noch größeren Meeresspiegelanstieg befürchten lässt. Zudem lassen sich langfristige Klimaänderungen in regionalen Klimamustern in Kombination mit extremen Wetterereignissen beobachten. So hat sich unter anderem die Häufigkeit heftiger Niederschläge erhöht, welche eine der Hauptursachen für die Entstehung von Hochwasser darstellen (vgl. Kap. III.1.2).

Im Bereich des Hochwasserschutzes muss man sich folglich auf einen erhöhten Meeresspiegel sowie auf häufigere und höhere Binnenhochwasser und Sturmfluten einstellen. Bereits jetzt lässt sich eine Zunahme von Hochwasserereignissen über den Zeitraum der letzten Jahre feststellen. Die Anzahl der Sommerhochwasser hat, ausgelöst durch hohe Niederschläge, von 1890 bis 2002 stetig zugenommen. Bezogen auf den Pegel Dresden beträgt der Anteil der Sommerhochwasser bereits 27 % (Simon 2004, 35).

Prognose und Prophylaxe

Prognostizierte Auswirkungen des Klimawandels

Aufgaben für die Zukunft

III.2.2

Das Umweltbundesamt plädiert für eine frühzeitige Anpassung an diese Entwicklung. Im Mai des Jahres 2005 verabschiedete der Bundestag das „Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes“, welches die Länder dazu verpflichtet, eine Vielzahl von Bestimmungen mit dem Ziel eines verbesserten Hochwasserschutzes in Deutschland durchzuführen.

„Zur Verbesserung des Hochwasserschutzniveaus von Gebieten und Objekten muss in Zusammenarbeit mit Verantwortlichen und Betroffenen eine ausgewogene Kombination von Maßnahmen am Fluss, im Einzugsgebiet und in den gefährdeten Bereichen [...] durchgeführt werden“ (UBA 2005).

Laut dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz sind der technische Hochwasserschutz, die Wiederherstellung von Retentionsflächen und die Gewährleistung eines natürlichen Wasserabflusses hierbei prioritär (NLWKN 2005, 60). Auch das bayrische Aktionsprogramm 2020 für Donau- und Maingebiet (BLU 2007) setzt auf einen kombinierten Hochwasserschutz, fußend auf den folgenden drei Handlungsfeldern:

Technischer Hochwasserschutz

- Deiche, Mauern, technische Hochwasserschutzsysteme
- Rückhaltebecken und Flutpolder

Natürlicher Rückhalt

- Ehemals natürliche Überschwemmungsgebiete reaktivieren, d.h. Überschwemmungen zulassen
- Gewässer renaturieren und Auwälder neu begründen
- Regenwasser vor Ort versickern lassen statt ableiten
- Wasserrückhalt in der land- und forstwirtschaftlich genutzten Fläche

Hochwasservorsorge

- Freihalten von Überschwemmungsgebieten
- Hochwasservorhersage und -warnung

- Schadensvorsorge (bauliche Anpassungen, Nutzungsänderungen, Versicherung)

Im Bereich des technischen Hochwasserschutzes sind in den Planungsgrundlagen schon heute die Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen. Bei der Schutzhöhen-Bemessung sollte z.B. ein Klimaänderungs-Faktor von 15 % für ein hundertjährliches Hochwasserereignis aufgeschlagen werden – wie es in den Bundesländern Bayern oder Baden-Württemberg bereits praktiziert wird (UBA 2006, 42). Für das Beispiel Hamburg, wo der Vollschutz für HQ_{100} 7,80 m beträgt, würde dies einen Aufschlag von 1,17 m und eine Erhöhung der Gesamtschutzhöhe auf 8,97 m üNN bedeuten.

Ein effektives Hochwassermanagement setzt zur Verbesserung der Hochwasservorsorge und -bewältigung zudem auf eine verstärkte Vernetzung in der Zusammenarbeit aller Beteiligten und auf die Zusammenführung nationaler und internationaler Strategie- und Handlungsvorhaben. Lokale oder auf Länderebene agierende Einzelaktivitäten müssen gebündelt und die unterschiedlichen, mit dem Thema Hochwasser befassten Fachdisziplinen integriert werden (EU-Kommission, 2004).

Sich der Weitläufigkeit des Problemgebiets bewusst, bewegt sich die vorliegende Arbeit mit dem Entwurf des PDH-Systems und des PDH-Rahmenplans im Aufgabenfeld des technischen Hochwasserschutzes. In diesem Kontext versteht es sich als ein Baustein in dem Versuch, die aktuelle Hochwasserschutzsituation zu verbessern.

IV Hochwasserschutzsysteme

„Die Planung ist die Basis
des baulichen Schaffens;
sie wird [...] von der Anfangsphase bestimmt,
in der die architektonische Idee entsteht [...] schließlich [folgt] die Durchführung,
wo jedes Bauelement
in seinen Einzelheiten festgelegt wird.
Dies kann man im weitesten Sinne
als Erfinden und Entwickeln der Mittel bezeichnen,
die erforderlich sind,
um ein bestimmtes Ziel unter den günstigsten Bedingungen
zu erreichen.
Die Zweckgebundenheit
und die beste Auswahl der Mittel
sind von der Planung untrennbar
und umreißen und definieren
die Kernpunkte der gestellten Probleme.“

Pier Luigi Nervi
cit. Nervi jun. 1982, 8

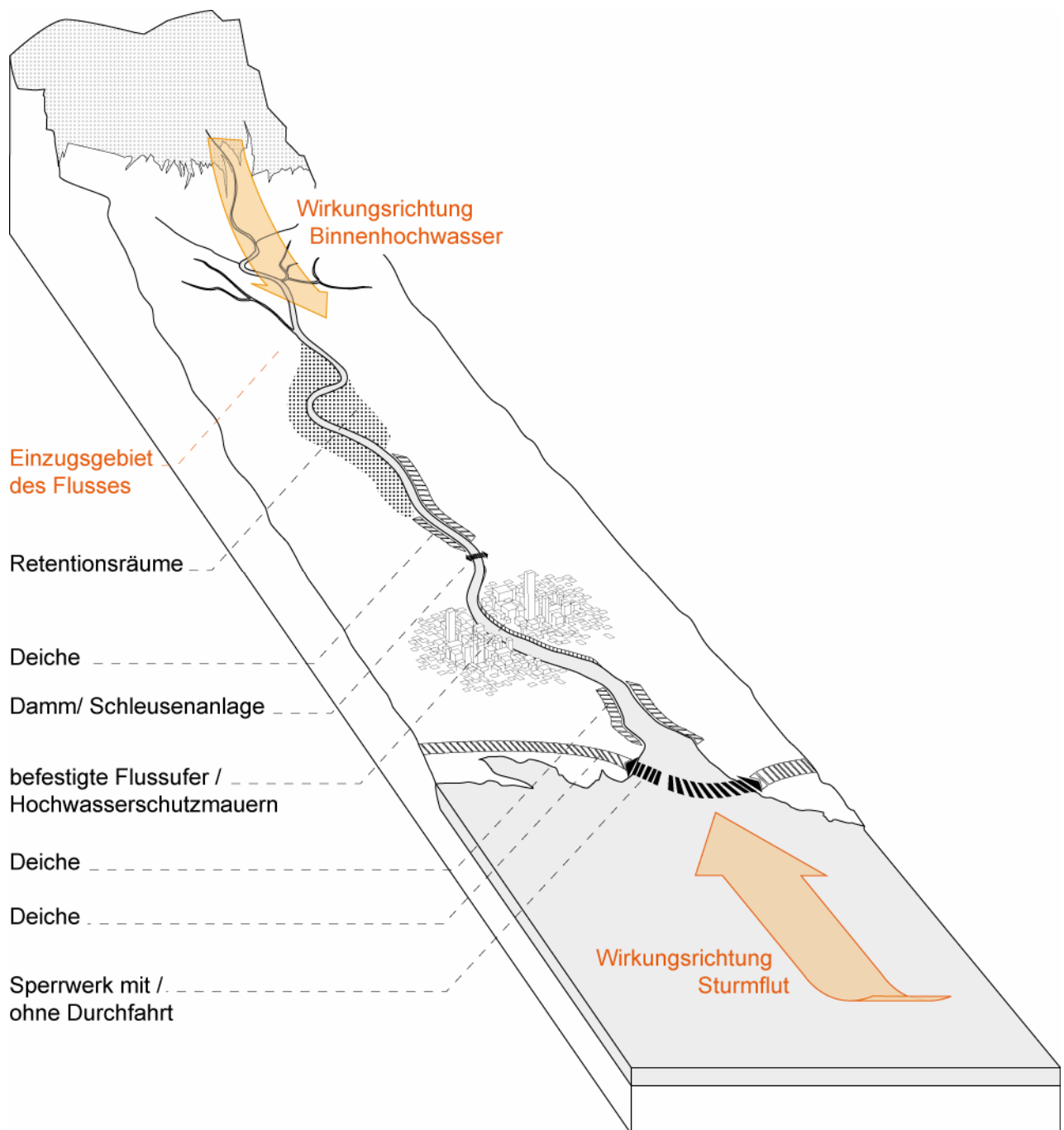
Die beiden Hochwasserszenarien Binnenhochwasser und Sturmflut stellen unterschiedliche Anforderungen an mögliche einsetzbare Schutzsysteme. Der jeweilige Einsatzbereich generiert eine Reihe von Parametern, unter deren Berücksichtigung ein Anforderungsprofil für die Wahl des passenden Systems erstellt werden kann.

Die Schutzsysteme lassen sich nicht nur bezüglich ihrer geografischen Lage an Küsten oder Flussufern unterscheiden. Sie differieren zudem in ihrer Positionierung parallel oder quer zur Fließ- und Schlagrichtung des Wassers sowie in der jeweils notwendigen statischen Tragfähigkeit, die den divergierenden Belastungsfällen durch Wind, Wellen und Feststofftransport des Geschiebes sowie gegebenenfalls durch Eisstöße oder Treibgut standhalten muss.

In Bezug auf ihre Präsenz und Einsatzperiode lassen sich Schutzsysteme in ortsfeste und mobile bzw. temporäre Systeme unterteilen. Weitere Kategorien bilden Kombi-Systeme, deren ortsfeste Anlagen im Bedarfsfall durch ein mobiles System ergänzt werden und ortsfeste, aber bewegliche Systeme, welche Komponenten beider Prinzipien in sich vereinen.

Bei der Wahl eines Systems müssen alle lokalen und situativen Komponenten in ihrem komplexen Zusammenwirken berücksichtigt werden.

Neben den angestrebten Schutzziele sind wirtschaftliche und politische Faktoren in der Praxis oft ausschlaggebend.



Der ästhetischen Auseinandersetzung mit Ort und System kommt jedoch eine ebenso zentrale Bedeutung zu. Denn der Einsatz eines Schutzsystems bedeutet ein Eingreifen in das Orts- und Landschaftsbild und hat Auswirkungen auf das Erscheinungsbild des bebauten und unbebauten Raumes. Schutzsysteme unterliegen somit architektonischen Anforderungen und bedürfen einer gestalterischen Zielsetzung (s. auch BWK, 105ff). Dieses wird im Zusammenhang mit dem PDH-System in den Kapiteln V und VI ausführlich behandelt. Im Folgenden wird anhand von wirkungsspezifisch ausgewählten Beispielen an verschiedenen Wasserlagen ein Überblick über heute angewandte Hochwasserschutztechniken gegeben, welche den Kontext des PDH-Systems darstellen.

Ortsfeste Anlagen

IV.1

Unter ortsfesten Anlagen versteht man feststehende, gebaute Hochwasserschutzmaßnahmen, die z.B. in Form von Deichen, Dämmen, Mauern, Sperrwerken oder als Kombinationen dieser Möglichkeiten in ihre Umgebung integriert sind und permanenten Schutz bieten. Je umfangreicher und sicherer der ortsfeste Grundschutz entlang von Flussläufen und Küstenregionen umgesetzt ist, desto geringer ist die Gefahr der Überströmung und Überflutung bei stark ansteigenden Wasserspiegeln.

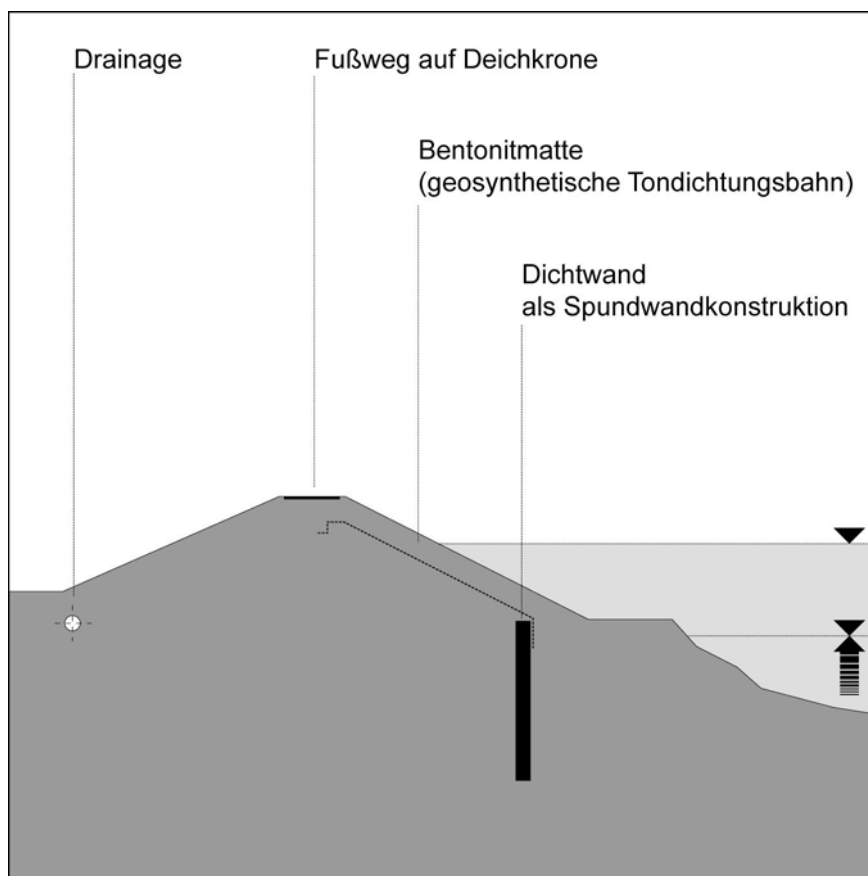
Deiche

IV.1.1

Seit Jahrhunderten stellen Deiche ein wesentliches Element des Hochwasserschutzes dar. Sowohl an Küsten als auch an Flussufern schützen sie die Bewohner vor Überschwemmungen. Der Bau erfolgt noch heute vielfach in einfacher Bauweise und mit lokalen Baustoffen, hauptsächlich Erde, Lehm und Ton (Bratfisch 2003a). Neuentwicklungen sind auf dem Gebiet der Standsicherheit zu verzeichnen. Mittels neuer oder veränderter Materialien soll im Beanspruchungsfall ein Durchweichen oder Unterströmen des Deichkörpers verhindert bzw. möglichst lange hinausgezögert

werden. So können z.B. durch das Untermischen von umweltverträglichen stabilisierenden Polymeren lockere Erdstrukturen verdichtet werden. Mit Hilfe der Geokunststoffe ist es möglich, überströmbare

Deiche zu bauen, welche den bisher als unbeherrschbar geltenden Lastfall ‚Überströmen des Deiches‘ beherrschbar machen (Herrmann; Jensen 2006, 6). Eingearbeitete Folien, Faser-Dichtungsmatten und Dichtwände, z.B. Stahlspundwände, sind ebenfalls Mittel der Stabilisierung (Bratfisch 2003a, 19 und Topolnicki 2003, 45-53).



11 Deich mit Stabilisierungsmaßnahmen

Deiche finden meist in ländlichen oder kleinstädtischen Regionen an Flussufern und Küsten Anwendung. Um eine ausreichende Standsicherheit zu gewährleisten und die Gefahr eines Bruches zu minimieren, darf der Böschungswinkel – leicht variierend je nach Baumaterial – nicht zu steil ausgeführt werden. Dies bewirkt den relativ hohen

Platzbedarf eines Deiches, was in Bezug auf die zur Verfügung stehende Nutzfläche von Nachteil sein kann. Um Stabilität durch Eigengewicht zu erlangen, ist außerdem ein großes Materialvolumen vonnöten. Andererseits bleiben ertüchtigte Deiche durch die verschiedenen erprobten Bauverfahren das „Rückrat des technischen Hochwasserschutzes“ (Hermann; Jensen 2006, ib.). Sie sind mit einfachen Baustoffen und geringem technischen Aufwand durchführbar und im Bedarfsfall mit wiederum einfachen Mitteln auf- und ausbaufähig, z.B. durch Innendichtungen wie oben erläutert. Zudem bietet die naturnahe Ausführung (*Grüner Deich*) Lebensraum für Flora und Fauna.

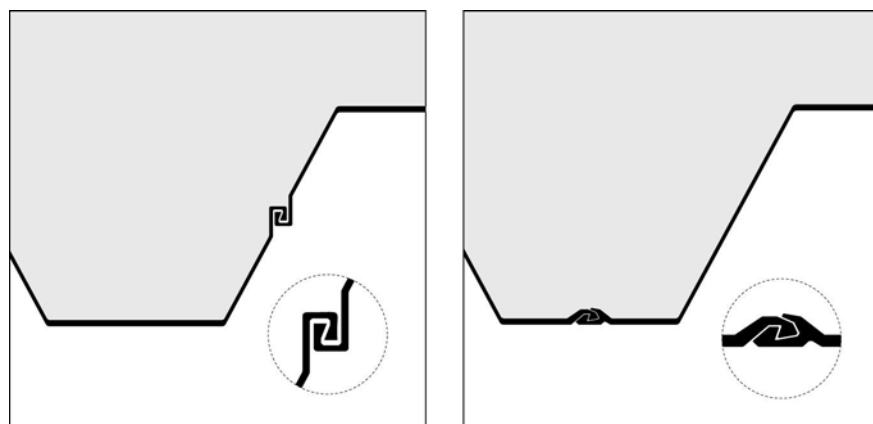
Während Deiche immer eine trennende Funktion haben, sind Dämme auch dazu da, um Verbindungen herzustellen, z.B. zwischen Festland und Insel (Bratfisch 2003a, 6).

Schutzwände

IV.1.2

Es gibt verschiedene Arten von Wandkonstruktionen an Wasserkanten, die neben der Befestigung des Ufers dem Hochwasserschutz dienen. Ihr schwerpunktmäßiger Einsatzbereich ist der städtische Kontext.

Spundwand



12 Spundwandtypen: U-Typ und S-Typ

Spundwandbauwerke bestehen aus einzelnen, untereinander durch Schlösser verbundenen und ins Erdreich einge-

triebenen Elementen, den biege- und knicksteifen Spundbohlen. Häufig kommen sie in Häfen und an Kanälen zum Einsatz, sie werden aber auch zur Verstärkung von Deichkronen verwendet (vgl. Kap. IV.1.1). Mit Ankertafeln oder Zugpfählen im Boden befestigt, dienen sie der Aufnahme von waagrecht wirkenden Erd- und Wasserdrücken, sowie in begrenztem Maße auch der Übertragung lotrechter Lasten in den Baugrund. Stahl ist das am häufigsten verwendete Baumaterial für ihre Ausführung, seltener sind Spundbohlen aus Stahlbeton, Spannbeton oder Holz (Brinkmann S.388-396). Spundwände stellen eine einfache und kostengünstige Methode zur Befestigung bzw. Erhöhung von Uferkanten dar. In urbaner Umgebung werden Spundwände im sichtbaren Bereich seltener eingesetzt. Stattdessen bevorzugen Planer und Architekten häufig Bauweisen, die eine stärkere Anpassung an die vorhandene Bausubstanz bewirken. Die Umgebung ergänzend werden dafür bevorzugt Baumaterialien wie z.B. Ziegel, Naturstein oder Sichtbeton verwendet.

Stahlbeton-Kaimauer

Am Zollkanal, vis-à-vis der Speicherstadt Hamburg

Architekt: G. Talkenberg, Ingenieur: M. Grassl

Kaimauern aus Stahlbeton dienen ebenfalls der Befestigung von Uferkanten und dem Schutz vor Hochwasser. Im vorliegenden Beispiel von Talkenberg ist dem Stahlbetonkern eine



13 Kaimauer am Zollkanal, Architekt G. Talkenberg

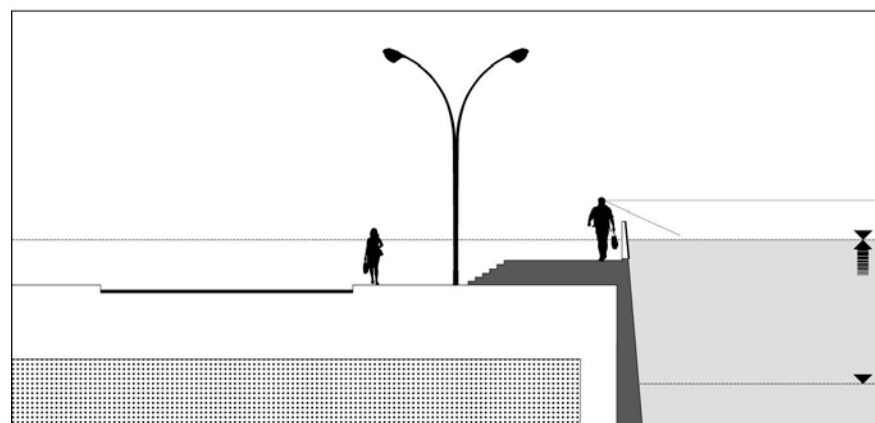
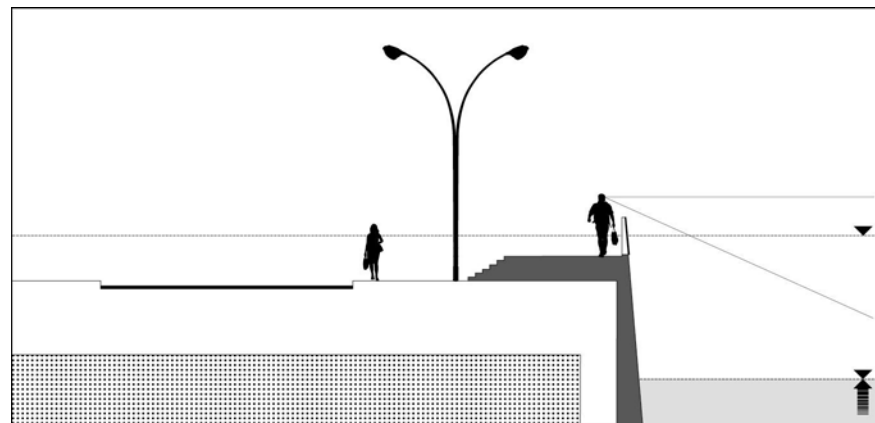
Verblendung mit Wasserbauklinkern zugefügt. Der Bürgersteig bzw. die Promenade hebt sich vom Straßenniveau ab und ermöglicht Spaziergängern so den Blick aufs Wasser. Allerdings ist die Schutzhöhe für ein Hochwasser der Größenordnung HQ_{100} heute nicht mehr ausreichend.

Huckepack-System mit Promenade

St. Pauli Landungsbrücken, Hamburg

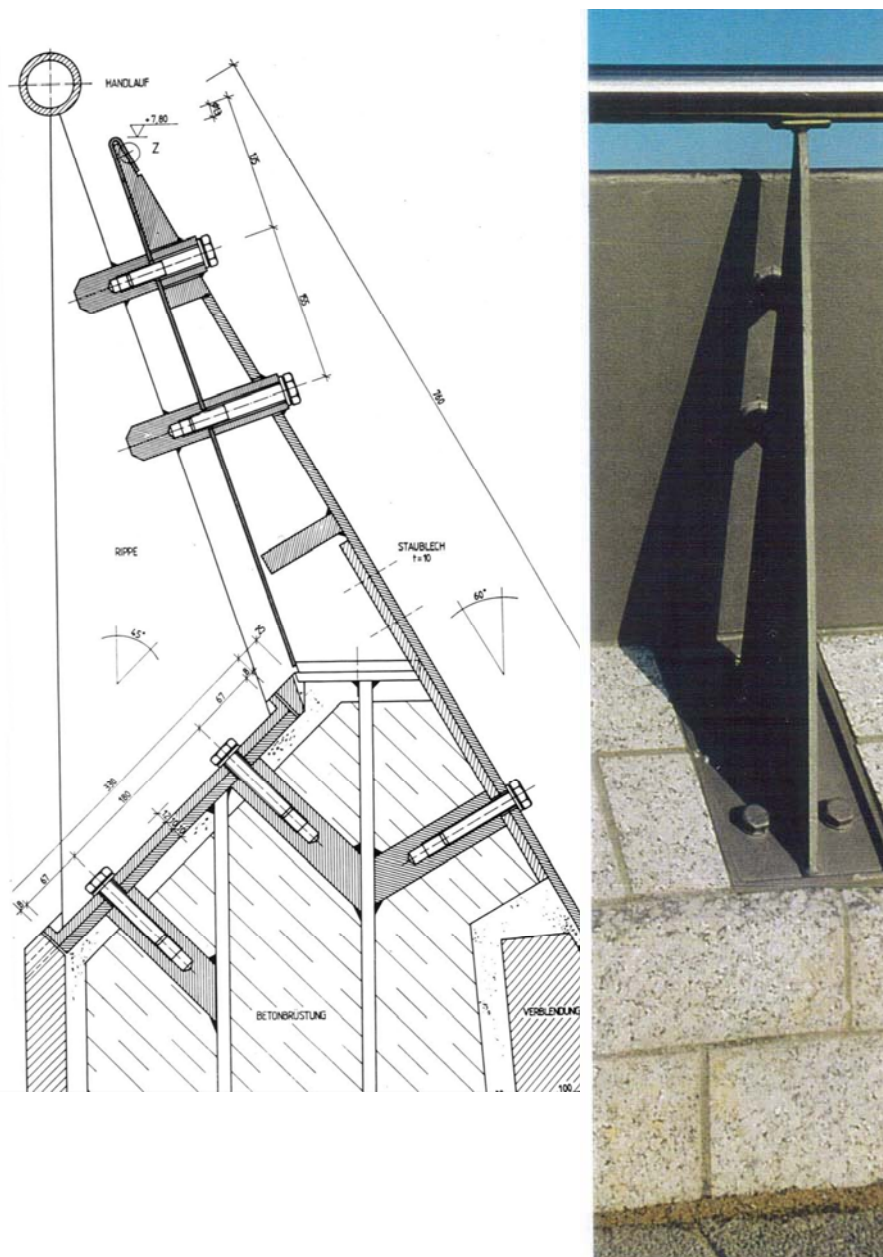
Architekt: S. H. Zadeh, Ingenieur: M. Grassl

Durch immer höhere zu erwartende Sturmflutpegel wurde an den St. Pauli Landungsbrücken in Hamburg der Neubau einer Schutzkonstruktion erforderlich, zumal die alte Konstruktion nicht mehr genügend Standsicherheit aufwies. Von 1995-1997 wurde die neue Anlage mit einem Promenadenareal errichtet. Die Hochwasserwand mit erhöhter Wandkrone aus Sockel und Brüstung ergibt die neue



14 St. Pauli Landungsbrücken, Architekt S. H. Zadeh

Schutzhöhe von 7,80 m über NN, welche die Uferzone und das Hinterland gegen einen Hochwasserabfluss von HQ₁₀₀ sichert. Die tiefgegründete Kaimauer mit Stahlbetonkern ist mit einer vorgehängten Fassade aus Granitstein versehen. Als „Huckepack-Element“ ist eine Stahlbrüstung samt Granit verblendetem Stahlbetonsockel aufgesetzt, dessen Oberkante die Schutzhöhe darstellt.

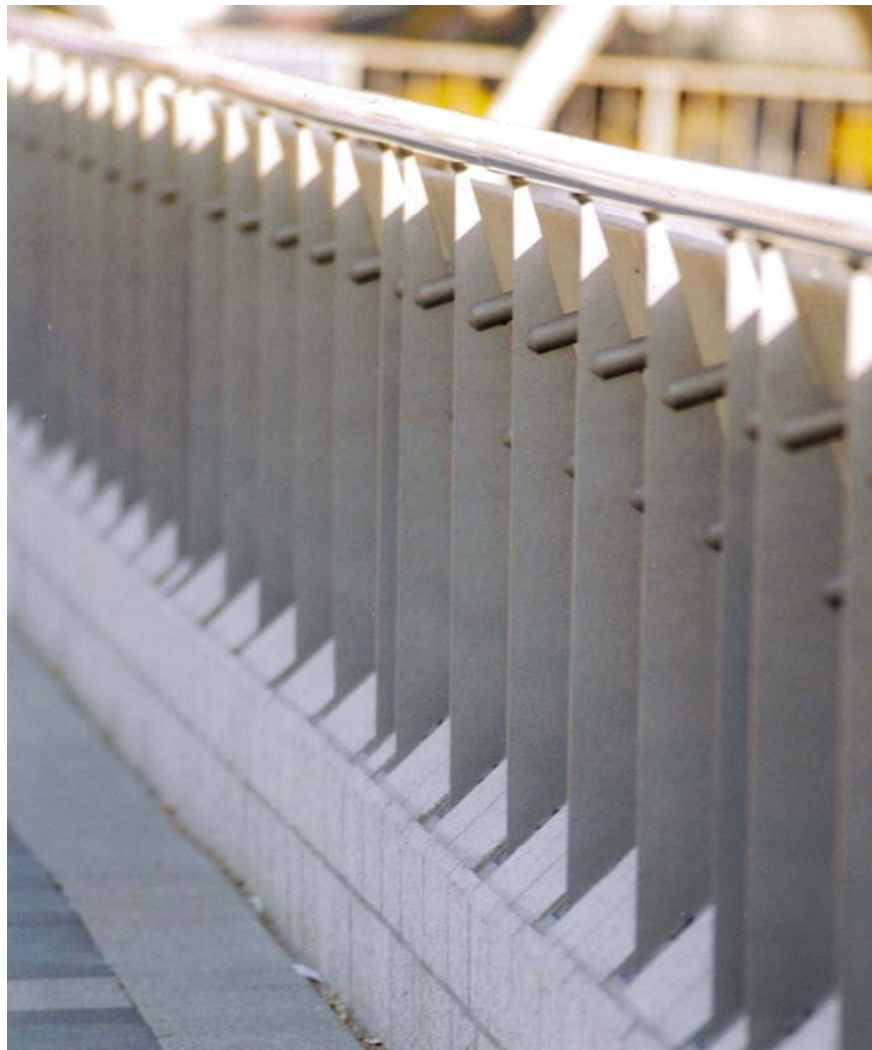


15 und 16

Huckepack-Element: Stahlbrüstung mit
granitverblendetem Stahlbetonsockel



17 St. Pauli Landungsbrücken, S. H. Zadeh



18 Huckepack-Element, St. Pauli Landungsbrücken

Entlang des Huckepack-Elements sind an den Zugängen zu den Landungsbrücken jeweils verschließbare Tore erforderlich. Diese wurden aus der inneren Logik der Wand heraus entwickelt, Struktur und Profilierung der Brüstungselemente setzten sich in ihnen fort. Im geöffneten Zustand liegen die Tore bündig in der Wandkontur. Während des Schließvorganges drehen sich die mächtigen Flügel um prägnante, hydraulische Zylinderscharniere.

Zusammen mit ihrem erhöhten, weitläufigen Promenadenplateau erfüllt die Anlage zwei unabdingbare Funktionen: Neben dem Schutz vor Hochwasser wird die Sichtbeziehung zwischen Land und Wasser gewährleistet. Eine ebenfalls angedachte Erhöhung des Straßenniveaus war hier nicht möglich, obwohl die Topographie des Ortes mit dem gegenüberliegenden Elbhang dies durchaus unterstützt hätte. Durch eine Erhöhung wäre die angrenzende Bausubstanz beeinträchtigt worden. Um den Geländesprung dennoch einladend zu gestalten, ist daher stattdessen eine lang gestreckte Treppenanlage mit geringer Steigung gewählt worden. Diese führt den Besucher auf das Promenadenplateau, wo auch eine Neugestaltung der gewerblich genutzten Pavillons vorgenommen wurde.

Neben dem Verkauf erfüllen die Pavillons die Aufgabe der



19 Pavillons, Treppenanlage und Stahlbügel als Übergangselemente zwischen Straßen- und Promenadenraum

Lagerung einiger Dammbalken von alten, denkmalgeschützten Toranlagen sowie von Transformatoren der HEW (heute Vattenfall). Die Pavillons treten in Dialog mit ihrer Umgebung. Mit ihrer leichten Stahlrahmenkonstruktion und ihrer gläsernen Transparenz beeinträchtigen sie die Aussicht auf das Wasser und auf den gegenüberliegenden grünen Elbhang möglichst wenig.

Alle funktionstragenden Elemente der Anlage sind gleichzeitig Elemente der Gestaltung und prägen das Gesamtbild. Die Naht zwischen unterer Schutzmauer und Huckepack-Element sowie der Wechsel von massivem Sockel und Stahlbrüstung bewirkt eine Auflockerung der schützenden Konstruktion. Durch die Materialdifferenzierung, die einen Kontrast zu der Dominanz der angrenzenden massiven Bebauung bildet und durch die Rhythmik der filigranen Rippenkonstruktion, ergibt sich ein, je nach Blickwinkel und Aughöhe variierendes, leichtes Bild, das den absperrenden und hemmenden Charakter einer Schutzwand reduziert.

Durch die Erhöhung des Plateaus wird der freie Blick von der Promenade aufs Wasser ermöglicht. Im städtebaulichen Kontext hat die Erhöhung zudem den Vorteil, dass die Promenade von den Emissionen der stark befahrenen Straße, welche hier keine Aufenthaltsqualität bietet, abgeschirmt wird.

Im Zuge der Planung und des Entwurfs der Hochwasserschutzanlage St. Pauli Landungsbrücken wurde alternativ bereits ein ortsfestes, aber bewegliches Schutzprinzip entwickelt, das nur im Hochwasserfall ausgefahren wird. Dieses wird in Kapitel IV.4.3 vorgestellt.

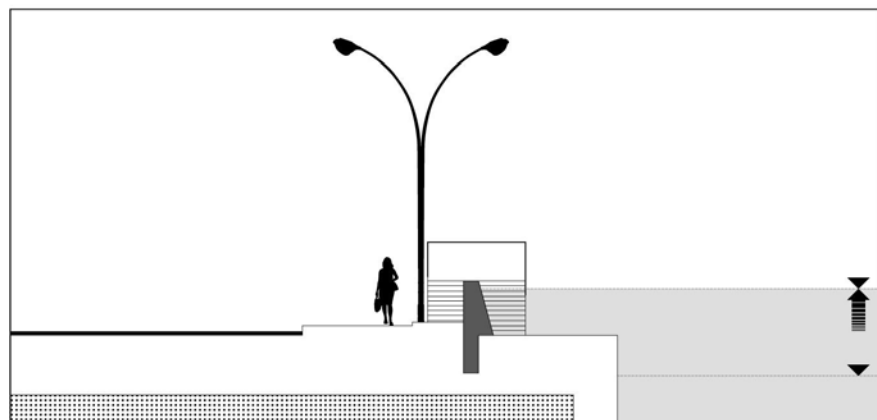
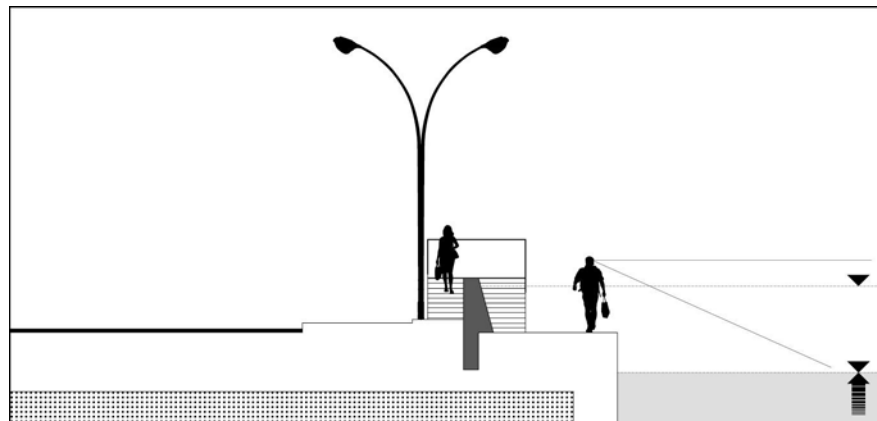


20 St. Pauli Landungsbrücken, S. H. Zadeh

Zurückgesetzte Schutzmauer

Betonmauer am Schelde-Ufer, Antwerpen

Die Schutzmauer in Antwerpen entlang des Flussufers der Schelde stellt bislang ein Negativbeispiel für die Ausführung von Hochwasserschutzanlagen und für den Umgang mit Wasser im städtischen Kontext dar. Die Ende des 19. Jahrhunderts errichtete Betonwand bewirkt in Kombination mit einer breiten Uferstraße eine krasse Trennung des Kaiareals vom innerstädtischen Bereich. Die 1,35 m hohe Mauer, die sich einige Meter von der Wasserkante zurückgesetzt vom Kai abhebt, stört den Wasserbezug vom Stadtraum aus und lässt jegliches gestalterisches Gespür vermissen. Durch die abrupte Trennung wird die Zusammengehörigkeit von Kai- und Innenstadt-Fläche zerstört (Teughels; Borret 2007, 92ff). Dieses bewirkt in der Wahrnehmung auch eine größere Distanz der beiden gegenüberliegenden Flussufer zueinander, der Dialog zwischen der rechten und linken Uferseite ist gestört.



21 Hochwasserschutzmauer in Antwerpen

Aufgrund des Klimawandels wurde im Jahr 2005 der so genannte neue Sigmaphan zum Hochwasserschutz in Flandern beschlossen. Demzufolge müsste die Mauer nun noch um weitere 90 cm auf unüberwindbare 2,25 m erhöht werden. Ein Lösungsvorschlag des Verfassers zur Behebung dieser Problematik wäre, das Straßenniveau entsprechend anzuheben und den Niveausprung zum Uferweg durch lang gestreckte, terrassenartig ausgeführte Treppenanlagen zu überbrücken, um einen fließenderen Übergang der Räume zu schaffen. Die trennende Wirkung könnte so gedämpft und die Verzahnung beider Niveaus betont werden. Allerdings wäre, um den Höhenversprung zu überbrücken, hierbei relativ viel Platz in der Tiefe notwendig. Der Einsatz des PDH-Systems (Kap. V) wäre ebenso denkbar und in diesem Fall Platz sparender.

Sich des Handlungsbedarfs angesichts der städtebaulichen Situation bewusst, schrieb die Stadt Antwerpen unlängst einen Wettbewerb aus, dessen Gewinnerteam PROAP sich mit seinem Masterplan nun um eine Neugestaltung des Gebietes bemühen wird (Teughels; Borret 2007, 92ff).

Integrierte Schutzmauer

Wörther Modell, Wörth am Main

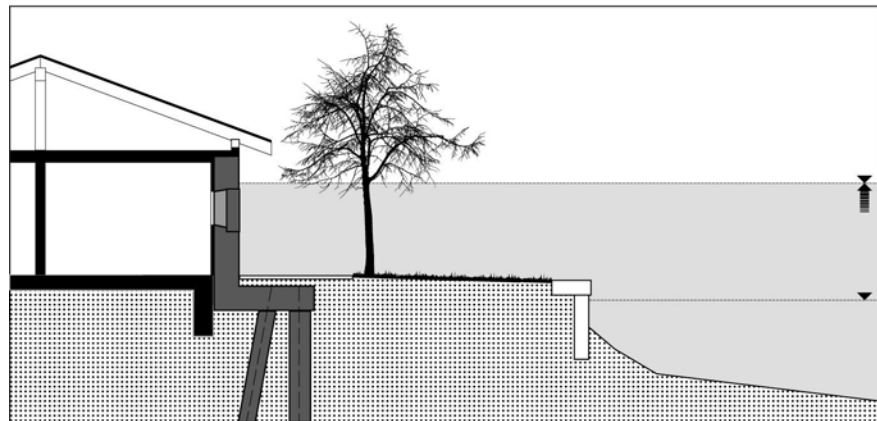
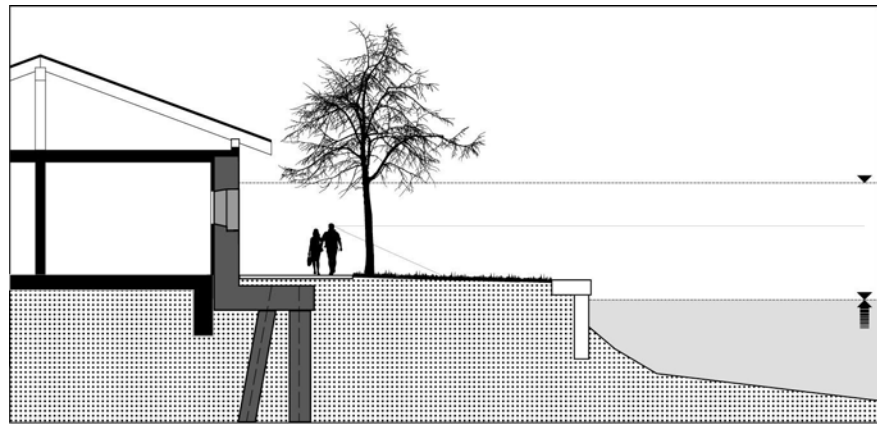
Architekten: Trojan, Trojan, Wendt

Ein Hochwasserschutz-Projekt in Wörth am Main zeigt, wie Hochwasserschutz und gestalterisches Feingefühl zusammenwirken können. Eine neue Schutzwand aus Stahlbeton und Betonhalbfertigteilen wurde in die alte, denkmalgeschützte Stadtmauer des Dorfes integriert. Stellenweise fand eine Kombination mit dem vorhandenen Wohnbestand statt: Die Schutzmauer wurde hier entweder vor oder hinter die vorhandenen Gebäudefassaden gesetzt. Dicht verschließbare Öffnungen in der Schutzwand passen sich den Fenstern an. An bestimmten, niedrigeren Stellen kann die Mauer im Falle eines hundertjährigen Hochwasserabflusses HQ₁₀₀ durch ein filigranes Dammbalkensystem erhöht werden. Unterirdisch fußt die Wand auf einem massiven

Torsionsbalken aus Stahlbeton, der wiederum mit Stahlbetonpfählen bis zu 16 m im felsigen Grund verankert ist und von einer durchgehenden Stahlstützenwand ergänzt wird.

„Den Hochwasserschutz verstanden die Darmstädter nicht als rein technisch-funktionale, sondern auch als architektonische Gestaltungsaufgabe, die in eine übergreifend-langfristige städtische Entwicklungsplanung einzubetten ist“ (Santifaller 2007, 42).

Das Wörther Modell stellt eine gelungene Lösung für den kleinstädtischen Kontext dar, die neben der schützenden und gestaltenden Funktion auch den denkmalpflegerischen Aspekten gerecht wird. Die optische Zäsur im Stadtbild, die hier durch die Erhaltung der denkmalgeschützten Stadtmauer vorgegeben ist, würde sich im großstädtischen Raum wiederum nicht optimal darstellen, da der urbane Raum im Einflussbereich seiner spezifischen Komponenten andere Bedürfnisse ausbildet.



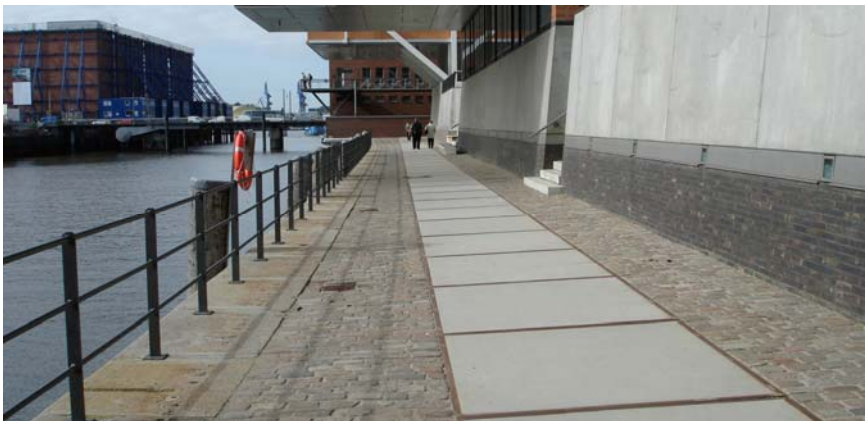
22 Wörther Modell, Architekten Trojan Trojan Wendt

Warftenlösung HafenCity

Sandtorkai HafenCity, Hamburg, Architekten: diverse

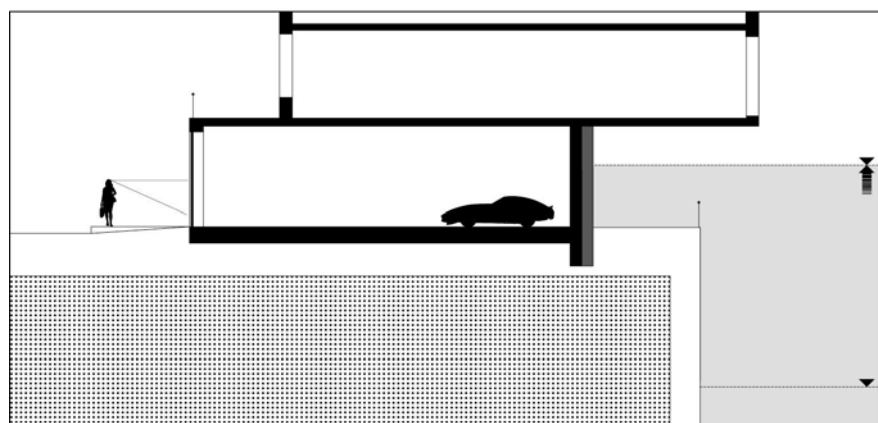
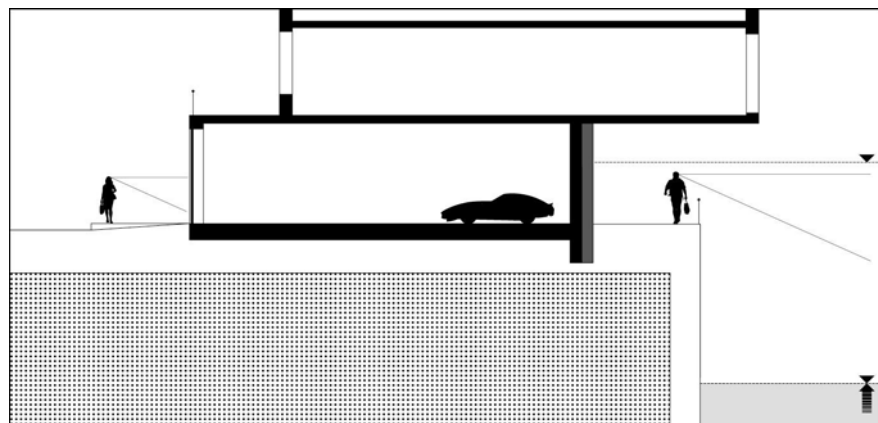
Das Gebiet der Hamburger Hafencity bedurfte im Zuge der Reaktivierung und Neuerschließung einer neuen Hochwasserschutzlösung, da das neue Viertel die Hamburger Hauptdeichlinie übertritt und im Hochwasserfall einer Überflutung ungeschützt ausgesetzt wäre.

Die Senatskommission verwarf 1998 in der Masterplan-Konzeption die Errichtung einer Schutzlinie von Sicht hemmenden Deichen und Wänden. Stattdessen entschied man sich als Schutz vor steigenden Wasserpegeln für eine Warftenlösung, die größtenteils eine Niveau-Anhebung auf 7,50 Meter über NN vorsieht. In Teilbereichen wurden statt der Aufschüttung andere Maßnahmen ergriffen, so z.B. Gebäude mit zur Wasserseite geschlossenen, hochwasser-sicheren Tiefgaragengeschoßen (Abb.23; 24) (Schubert 2001, 107).



23 und 24 Warftenlösung Sandtorkai oben: Wasserseite
unten: Straßenseite

Diese Lösung ist allerdings nicht unumstritten, da sie ebenfalls städtebauliche Probleme mit sich bringt. Wenn man sich heute durch den ersten fertiggestellten Teilabschnitt der HafenCity am Sandtorkai bewegt, blickt man statt aufs Wasser gegen die lange geschosshohe Betonwand des Sockelgeschosses der acht Neubauten, in welches Garagentore und Eingänge eingelassen sind (Abb. 24). Wie Gefroi anschaulich beschreibt, kann es passieren, dass der Besucher das Quartier am Sandtorkai sucht und „nicht ahn[t], dass [er] schon angekommen [ist]. Wo ist nur das Wasser, wo sind die Bewohner, wo die Cafés und Promenaden?“ (Gefroi 2005, 13). Die Wasserpromenade befindet sich – vom Straßenraum abgetrennt – mit nur wenigen Zugangsmöglichkeiten auf der anderen Seite des Sockelgeschosses. Die Atmosphäre des Wasserweges zeigt sich dadurch sehr ruhig, was für den Erholungsfaktor durchaus ein Positivum darstellen kann. Doch für die gewünschte Urbanität ist die Konstellation wenig förderlich, da sie sich durch eine geringe Durchlässigkeit auszeichnet.



25 Warftenlösung Sandtorkai

Der in Kapitel I.2 erwähnte, brunnenartig tiefe Höhengsprung zum Wasser zeigt hier ebenfalls eine trennende Wirkung: „Am Sandtorkai wird [...] schon jetzt erkennbar, wie sehr durch die Erhöhung des Geländes in vielen Bereichen der Wasserbezug verloren geht. [...] Der gewünschte amphibische Charakter des neuen Stadtteils steht infrage“ (ib. 14). Ebenfalls fragwürdig an der gewählten Schutzlösung ist die Verschüttung aller Spuren der früheren Hafennutzung, obwohl als Leitbild des Areals stets die Bewahrung der Geschichte dieses Ortes genannt wird. Der Architekturkritiker Weiss beschreibt die Situation folgendermaßen: „Die Hafencity leidet [...] unter einer früh getroffenen Entscheidung zum Hochwasserschutz, die nicht auf Urbanität und Spurensuche setzte [...] sondern auf eine sukzessiv zu finanzierende Warftenlösung mit einer Niveau-Anhebung von 7,50 m, verschütteten stadthistorischen Wurzeln, toten Erdgeschossen und Rettungsschneisen. Nirgends fiel der Hochwasserschutz so rigoros aus [...]“ (Weiss 2007, 41). Gleichwohl bleibt abzuwarten, wie sich das Gebiet in den folgenden Jahren entwickeln wird.

IV.2

Reichen die ortsfesten, gebauten Hochwasserschutzsysteme im Hochwasserfall nicht aus, müssen sie kurzfristig durch mobile, wasserdichte Konstruktionen ergänzt werden. Unter temporären mobilen Systemen versteht man transportable Schutzelemente, die im Falle eines herannahenden Hochwassers entlang der Uferzonen zu Schutzwänden zusammengefügt werden, welche nur für die Dauer des Hochwassers bestehen.

Wie der Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) konstatiert, lässt sich in urbanen Gebieten ein starker Trend zu mobilen Hochwasserschutzsystemen verzeichnen, da „durch permanente bauliche Anlagen [...] das Stadt- und Landschaftsbild stark beeinträchtigt werden [würde]. Die Lösung wird deshalb in mobilen Hochwasserschutzsystemen gesehen, die während des Hochwasserereignisses aufgestellt werden und damit

Temporäre, mobile Systeme

nur temporär eine räumliche Trennung zwischen Fluss und Ortschaft bewirken“ (BWK 2005, 10). Zusätzlich zu den klassischen mobilen Systemen wird inzwischen auf dem Markt eine Vielzahl neuer Systeme angeboten. Jedoch ist der Einsatz mit relativ hohen Risiken verbundenen. Für eine größtmögliche Sicherheit ist eine reibungslos funktionierende Logistik von entscheidender Bedeutung. Eine sorgfältige Wartung und der fachgemäße Aufbau sichern zudem die Stabilität der Systeme (BMV 2006, 32). Notwendig beim Einsatz temporärer, mobiler Systeme sind insbesondere:

- eine systematische und sachgerechte Lagerung der Elemente
- ein zügig möglicher Transport der Elemente zum Einsatzort
- eine schnelle, sichere und fachgerechte Montage trotz Zeitdrucks und eventuell widriger Witterungsbedingungen
- eine ausreichende Kapazität gut ausgebildeter und regelmäßig trainierter Einsatzkräfte.

Entsprechend den hohen Anforderungen bezüglich der Logistik zeichnen sich die Systeme durch eine relativ hohe Störanfälligkeit aus. Im Hochwasserfall können unvorhergesehene Belastungen die Systeme schädigen. Häufig weisen sie eine hohe Vulnerabilität gegenüber Treibgut, Eisstößen u.a. auf. Bei der Wahl der Systeme ist daher darauf zu achten, dass beim Versagen von Systemteilen kein Dominoeffekt auftreten kann und das gesamte System versagt (ib). Sowohl Planern als auch Aufsichtsbehörden liegen bezüglich des genauen Risikos bei der Verwendung von mobilen Systemen bis heute wenig verlässliche Bemessungsgrundlagen und Aussagen vor. Sie gelten daher noch nicht als Stand der Technik (BWK 2005, 10). Die maßgeblich vom Ministerium für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW geförderte Merkblattsammlung des BWK ist in diesem Zusammenhang die erste offizielle Zusammenstellung für die Planung und den

Einsatz mobiler Schutzsysteme. In der folgenden Darstellung vollzieht sich die Risikoeinschätzung der Systeme daher hauptsächlich in Anlehnung an dieselbe.

Mobile, temporäre Systeme lassen sich unterteilen in planmäßige mobile Hochwasserschutzmaßnahmen, die an einem vorbestimmten Ort bei zu erwartendem Extremzustand eingesetzt werden und notfallmäßige mobile Hochwasserschutzmaßnahmen, die zum Katastrophenschutz zählen. Im Folgenden werden die verbreitetsten der mobilen temporären Schutzmaßnahmen aufgeführt.

IV.2.1

Der planmäßige mobile Hochwasserschutz umfasst alle temporären Maßnahmen, die an einem bestimmten Ort in einer bestimmten Situation geplant zum Einsatz kommen (BWK 2005, 12). Auch Prinzipien des Katastrophen-Hochwasserschutzes wie z.B. Sandsäcke können, wenn ihr Einsatz an einem bestimmten Ort als regelmäßige und zu erwartende Schutzmaßnahme eingeplant ist, zum planmäßigen mobilen Hochwasserschutz gerechnet werden. Typischerweise werden jedoch nur die unten aufgeführten Systeme als planmäßig bezeichnet.

Planmäßiger mobiler Hochwasserschutz

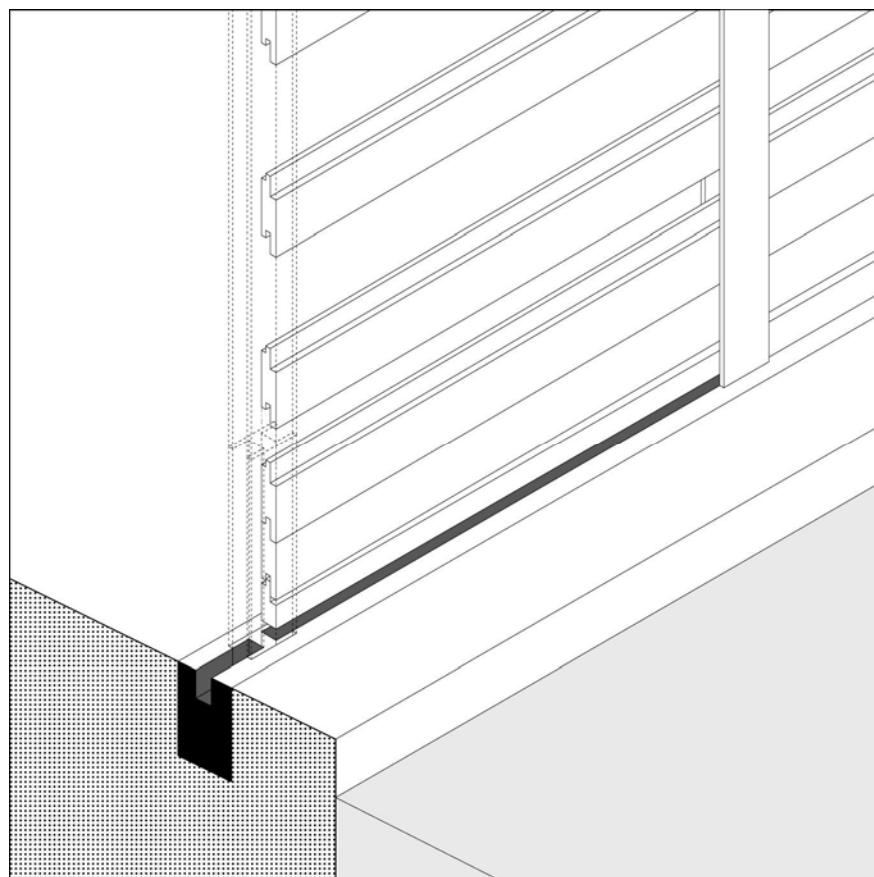
Dammbalken- / Dammtafel-Prinzip

Beim Dammbalkenprinzip bilden übereinander gestapelte Dammbalken eine mobile Hochwasserschutzwand aus. Die Balken werden hierbei in regelmäßigem Abstand seitlich von fest gebauten oder mobilen Mittel- und Eckstützen gehalten. In größerem Abstand sollten sich zur Stabilisierung zusätzlich massivere Wandanschlussstützen befinden. Um die Wasserdichte zu erhöhen, sind die Balken mit horizontalen Dichtfugen versehen.

Dammtafelsysteme unterscheiden sich von den Dammbalkensystemen dadurch, dass nicht einzelne Balken zwischen den Stützen angebracht werden, sondern ganze Platten, die bereits die zu erreichende Schutzhöhe aufweisen.

Dammbalken- und Dammtafelsysteme werden bis zu einer Systemhöhe von 5 m eingesetzt. Die Stützweiten betragen in Abhängigkeit von den jeweiligen Wandhöhen 3-4 m, maximal können sie bis zu 6 m betragen (BWK 2005, 27).

Als Materialien für die Balken, Tafeln und Stützen wird wegen des geringen Gewichts hauptsächlich Aluminiumlegierung (Al Mg Si), aber auch Stahl und Edelstahl verwendet. Der Einsatz von Kunststoffen befindet sich derzeit in der Entwicklungsphase (ib.26f).



26 Dammbalkensystem

Dammbalken- und Dammtafelsysteme unterliegen als mobile, temporäre Systeme mit zeit- und personalaufwändigem Aufbau den oben ausgeführten logistischen Risiken. Aufgrund der großen Zahl an Einzelbauteilen werden hohe Anforderungen an eine fachgerechte Lagerung und den fachgerechten Aufbau gestellt. Die Systeme sind vulnerabel gegenüber unsachgemäßem Aufbau und unqualifiziertem, untrainiertem Personal. Wegen seiner komplexeren und

kleinteiligeren Konstruktion ist das Dammbalkensystem diesbezüglich störanfälliger als das Dammtafelsystem (ib.114). Beide Systeme sind vulnerabel gegenüber unzureichenden Transportkapazitäten oder zu langen Transportwegen zum Einsatzort (ib. 113f) und benötigen präzise administrative Rahmenbedingungen (Koppe 2002, 169).

Aufgrund ihres Schichtenaufbaus sind Dammbalkensysteme zudem vulnerabel gegenüber einem Festkörperanprall wie z.B. durch Treibgut, Eisstöße o.ä., welcher eine Verschiebung der einzelnen Balken und damit eine vermehrte Ausbildung von Spaltströmen nach sich zieht. Dies stellt sich speziell für den Einsatz bei Sturmflut als nachteilig dar. Die Verwundbarkeit gegenüber einem besonders heftigen Anprall, wie einem Schiffsanprall, steigt mit steigender Aufbaulänge besonders an; im Einsatz als Lückenschluss, z.B. in einem Torbogen, ist sie geringer. Systeme mit einer landseitigen statischen Rückabstützung sind diesseitig zudem dem Risiko eines Fahrzeuganpralls ausgesetzt (ib.), welcher durch Schwächung der Abstützung die Gefährdung der System-Stabilität nach sich ziehen kann.

Durch den Vorgang des Auf- und Abbaus bei jedem Einsatz unterliegen die Einzelteile der Systeme einem erhöhten Verschleiß, was eine Beeinträchtigung in der Präzision der Bauteilfügung und eine erhöhte Korrosionsanfälligkeit bedeutet. Um eine Korrosion der stark beanspruchten Teile ansonsten weitestgehend zu minimieren ist eine ausreichende Lüftung der Lagerhalle bzw. Ablagekammer sicherzustellen. Eine regelmäßige Wartung und der Austausch von korrodierten Einzelteilen oder versprödeten Dichtungen sind allerdings unerlässlich. Außerdem sind für eine Risikominderung eine hinreichende Sicherung gegen Sabotage und Diebstahl notwendig (ib.).

IV.2.2

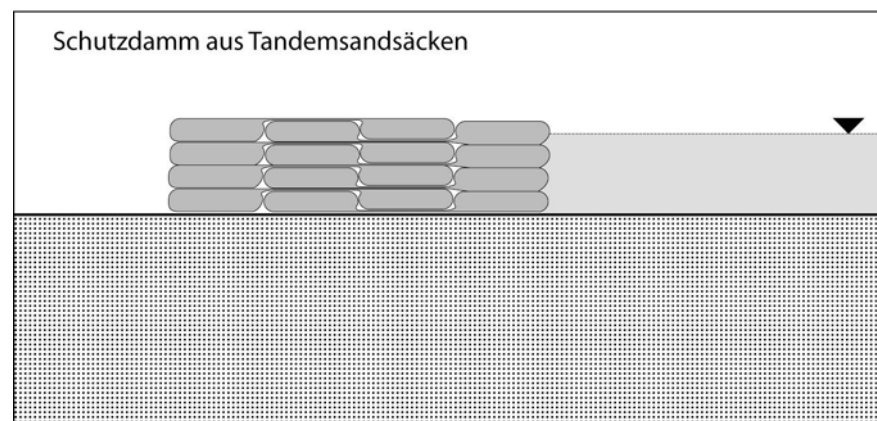
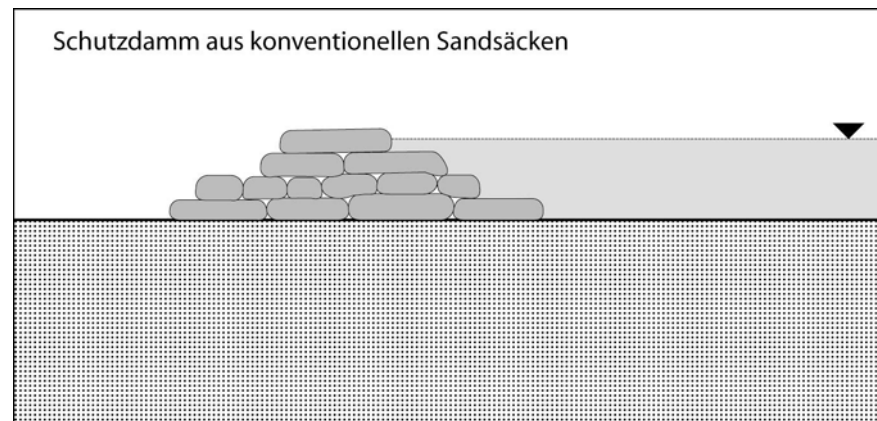
Dem Katastrophen-Hochwasserschutz werden notfallmäßige, mobile Schutz-Systeme zugeordnet, die dann zum Tragen kommen, wenn der planmäßige Hochwasserschutz im Extremfall nicht ausreicht und ergänzt bzw. verstärkt wer-

Katastrophen- Hochwasserschutz

den muss. Systeme des Katastrophen-Hochwasserschutzes können in der Regel nur Ausuferungen geringer Intensität verhindern. Bei großen Überflutungstiefen, einer hohen Intensität der Einwirkung – wie Wellenschlag, Fließgeschwindigkeit, Geschiebe-Trieb, Treibgutanprall – und einer geringen Vorwarnzeit ist ihr Einsatz zudem nur eingeschränkt möglich (ib. 133ff). Außer dem klassischen Sandsackprinzip zählen die so genannten „Sandsack-Ersatzsysteme“ zum Katastrophen-Hochwasserschutz.

Sandsack-Prinzip

Der Einsatz von Sandsäcken stellt seit Jahrhunderten die gebräuchlichste Vorgehensweise des Katastrophen-Hochwasserschutzes dar. Die leicht zu realisierende Methode ist fast überall anwendbar. Manuell mit Sand gefüllte Jute- oder Leinensäcke werden hierbei am Einsatzort ohne



weitere Hilfsmittel von Hand zu einfachen Dämmen aufeinander geschichtet, um das Wasser bei steigenden Pegeln zu stoppen. Infolge ihres Eigengewichtes entsteht eine weitgehend dichte Wand, deren Dichtigkeit durch zusätzliches Ein- bzw. Überlegen von Kunststofffolien erhöht werden kann. Eine Weiterentwicklung des Sandsackprinzips besteht in Tandemsäcken aus Polypropylen, bei denen jeweils zwei Kunststoffsäcke durch eine zugfeste Kunststoffmembran zu einem Tandemsack verbunden sind.

Sandsäcke und Tandemsäcke kommen im örtlichen Objektschutz zum Einsatz: Sie schützen Toreinfahrten, Fenster- und Türöffnungen, aber auch ganze Gebäudekomplexe oder Straßenzüge. Weiterhin werden sie im Bedarfsfall zur Aufstockung vorhandener Deiche, Dämme oder auch Mauern verwendet, sofern die Standsicherheit der Bauwerke dieses zulässt. Außerdem kommen sie zur Sicherung und Verstärkung im drohenden Versagensfall zum Einsatz, z.B. bei Durchweichen eines Deiches bzw. zum Schließen von Leckagen.

Das Befüllen und der Aufbau der Sandsäcke sind durch einen hohen Personalbedarf und lange Aufbauzeiten gekennzeichnet. Dennoch stellen Sandsäcke im Notfall eine relativ einfache und flexible Methode dar. Sie können allerdings nur sehr beschränkte Systemhöhen von 1 m (normale Sandsäcke) bis zu 2 m (Tandemsäcke) erreichen.

Als temporäres, mobiles System unterliegen sie den oben genannten logistischen Anforderungen. Der Transport zum Einsatzort muss reibungslos bei oftmals geringen Vorwarnzeiten und großem Zeitdruck erfolgen. Das System ist daher sehr vulnerabel gegenüber unzureichenden Transportkapazitäten oder zu langen Transportwegen. Probleme können sich zudem aus dem hohen Materialbedarf und der örtlichen Verfügbarkeit von Füllmaterial (Sand) ergeben. Im Falle einer Kontamination, z.B. durch ausgelaufenes Öl, ist eine aufwendige Entsorgung erforderlich.

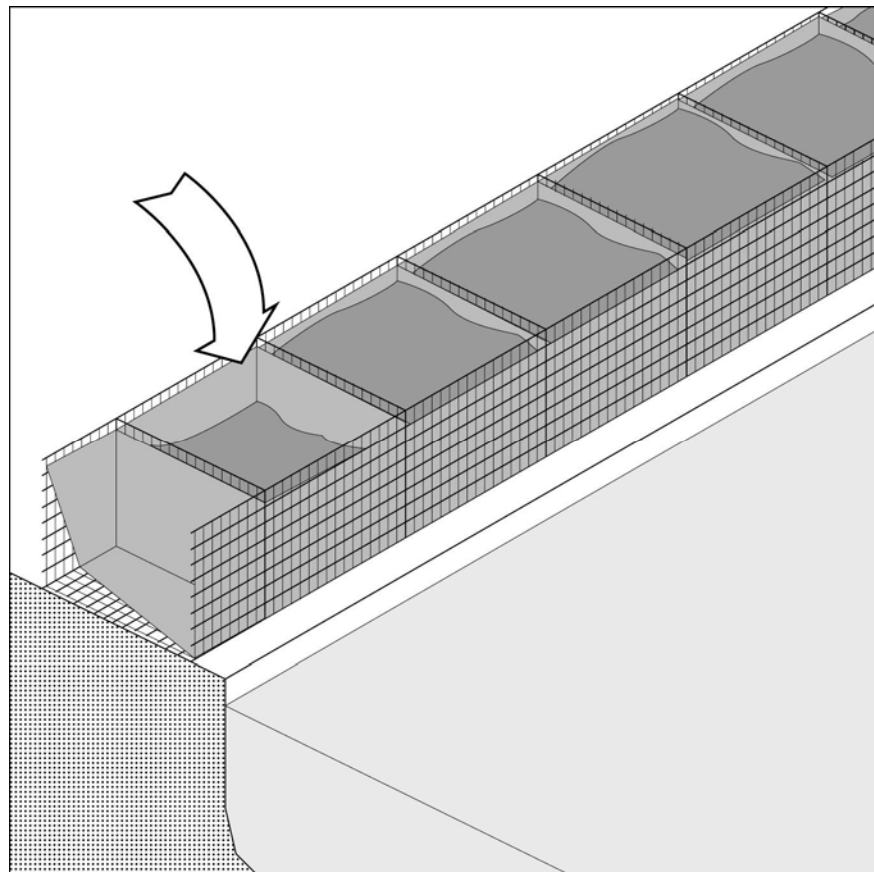
Im geplanten Hochwasserschutz (Kap. IV.2.1) angewendet, birgt die Maßnahme aufgrund der besser kontrollierbaren Logistik weniger Unsicherheiten und Risiken als im Katastrophen-Hochwasserschutz.

Sandsack-Ersatzsysteme

Derzeit gibt es eine Vielzahl von Sandsack-Ersatzsystemen auf dem Markt. Weit verbreitet sind offene Kastensysteme. Die mit Sand oder einem anderen Füllstoff befüllbaren Behälter sind stapelbar und werden horizontal und vertikal miteinander verbunden. Sie unterscheiden sich untereinander in der Dimensionierung und Materialität der Behälter sowie in ihren Arretiereinrichtungen.

So besteht der mobile Hochwasserschutz des Quickdamm-Prinzips aus armierten Kunststoffsäcken in einem würfelförmigen Metallrahmen. Per LKW, Bagger oder Betonmischfahrzeug werden diese mit Sand befüllt und anschließend miteinander verbunden (Bratfisch 2003a, 58).

Das Gitterkorb-Modell funktioniert nach dem gleichen Prinzip. Mit Vlies ausgefüllte Gitterkörbe werden ebenfalls mit Hilfe von Großfahrzeugen mit Sand befüllt und ggf. zu einer Wand gestapelt (Bratfisch 2003b, 35).



28 Sandsack-Ersatzsystem

Gegenüber dem Sandsackprinzip bieten die Sandsack-Ersatzsysteme den Vorteil, dass sie sich schneller und mit weniger Personal aufbauen lassen. Das aufwändige und zeitintensive Schichten von Sandsäcken entfällt. Zudem weisen die Konstruktionen, deren Elemente sich untereinander verbinden lassen, eine höhere Stabilität auf, wodurch sich die Gefahr des Dammbrechens, selbst bei Überströmung, minimieren lässt (ib.).

Voraussetzungen für den Einsatz der Sandsack-Ersatzsysteme sind ein annähernd ebener Untergrund und die Zufahrtmöglichkeit mit schwerem Gerät zur Befüllung der Elemente. Die örtliche Verfügbarkeit von Füllmaterial muss gewährleistet sein. Die Problematik der aufwendigen Entsorgung im Falle einer Kontamination besteht ebenso wie beim Sandsackprinzip.

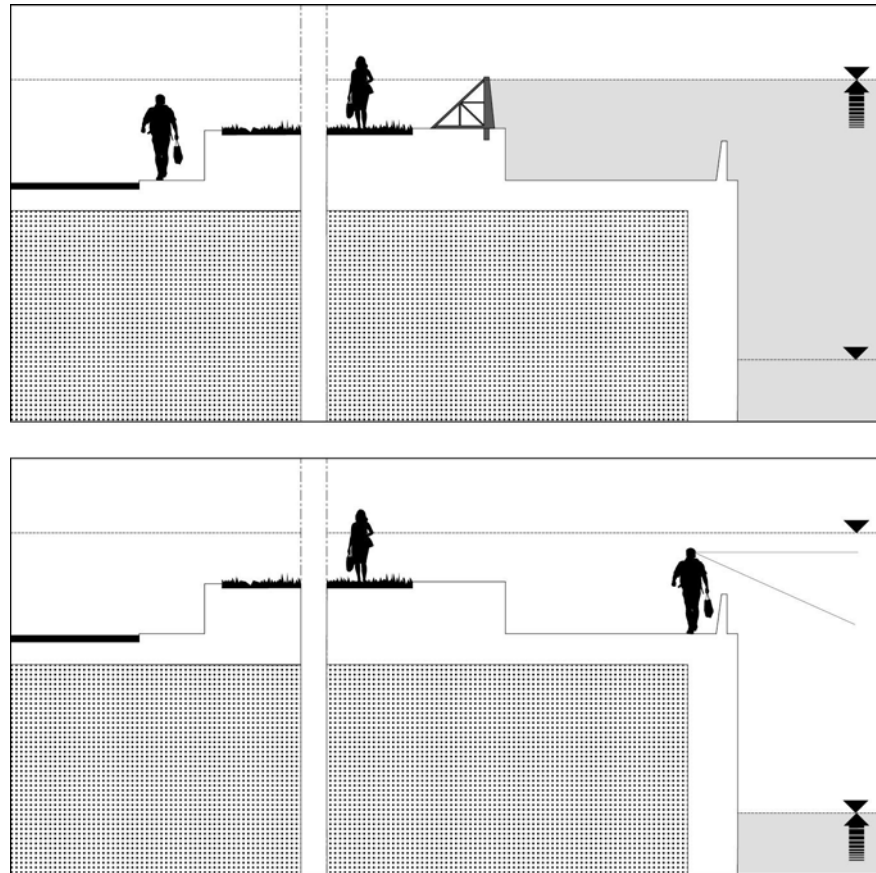
IV.3

Kombisysteme verbinden ortsfeste Hochwasserschutzanlagen mit temporären mobilen Schutzsystemen. Intention ist auch in diesem Falle, die Form und Gestalt des Ufers und eine freie Sicht aufs Wasser im Normalzustand möglichst wenig zu stören. Der ortsfeste Schutz ist für einen bestimmten Grundschutz HQ_G konzipiert. Erst wenn dieser nicht mehr ausreicht, wird er mit temporären, mobilen Elementen zum Vollschutz HQ_V ergänzt.

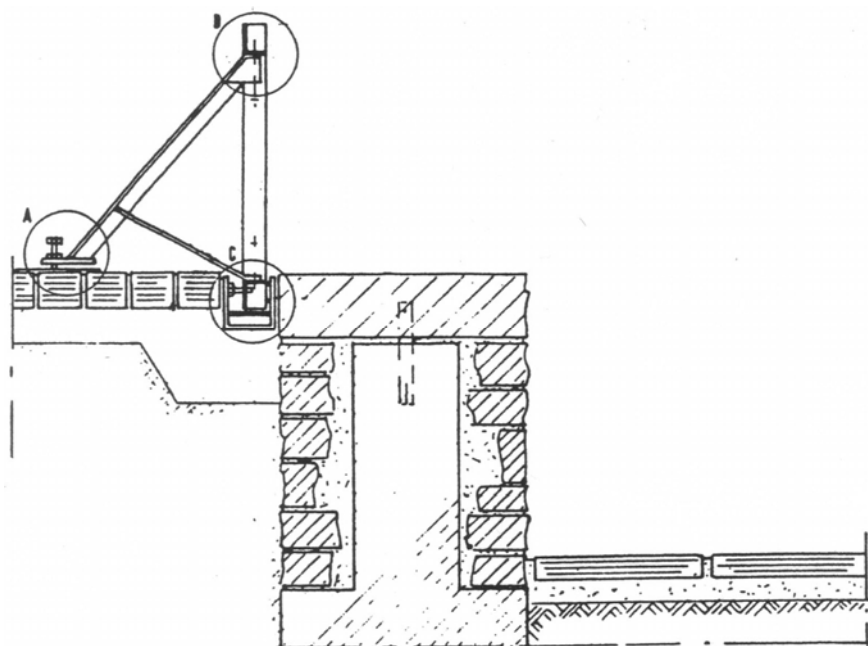
Die Risiken beim Einsatz von Kombi-Systemen liegen in der Vulnerabilität der mobilen Elemente, welche im vorangegangenen Kapitel ausführlich erläutert wurden. Allerdings sind die Teilsysteme im Vergleich zu vollständig mobilen Systemen meist von geringerer notwendiger Aufbauhöhe, wodurch sich Personal- und Zeitaufwand beim Aufbau reduzieren lassen. Zudem erlaubt der vorhandene Basischutz einen verzögerten Aufbau des mobilen Systems, was bei geringer Vorwarnzeit einen bedeutenden Vorteil darstellen kann (Koppe 2002, 161).

Kombi-Systeme

Kölner Modell



29 Kombi-System Kölner Modell



30 Detailschnitt Kölner Modell

Die innerstädtischen ortsfesten Hochwasserschutzanlagen der Stadt Köln bestehen in Form von Schutzmauern und erhöhten Grünstreifen als Puffer zum Wasser. Bei einem kritischen Anstieg des Rheins werden diese temporär mit Dammbalkensystemen aufgestockt. Diese Vorgehensweise stellt in der stark hochwassergefährdeten Altstadt seit mehreren Jahrzehnten die gängige Schutzpraxis dar. Verbunden ist sie allerdings mit den genannten Risiken der mobilen, temporären Systeme.



31 Kölner Modell im Hochwasserfall

Stadt Regensburg

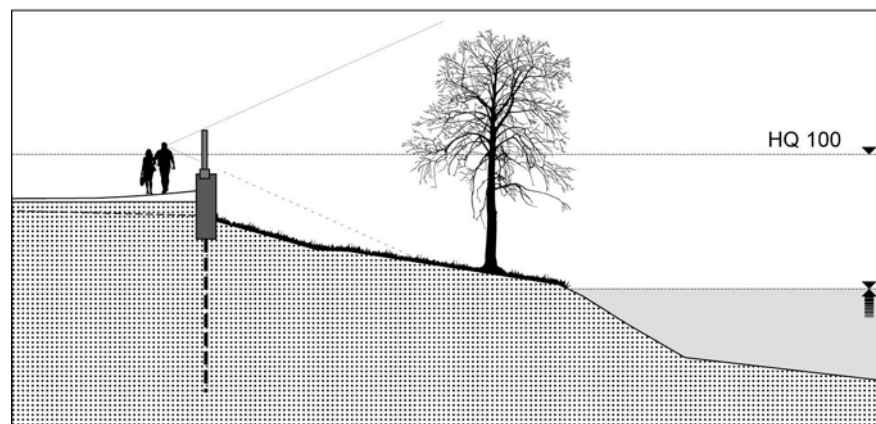
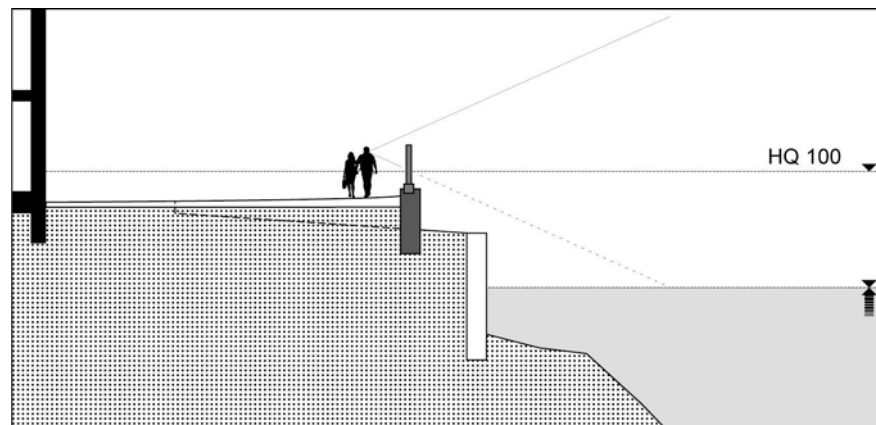
Architekt: V. Lampugnani, Mailand
Ingenieure: Goldbrunner + Grad, Spotka +
Partner, Geoffice Heerle

Landschaftsarchitekten: G. Aufmkolk, Weinzierl

Dieses Projekt ging im Jahre 2004 als Gewinner eines von der Stadt Regensburg und dem Wasserwirtschaftsamt Regensburg ausgelobten Wettbewerbs hervor, in dem es galt, wirksame Konzepte zum Hochwasserschutz und zur Neugestaltung der Uferabschnitte im gesamten Stadtgebiet Regensburg zu entwickeln. Das Team um V. Lampugnani lehnt sich in seinen Lösungsansätzen an die Funktions-

weise des Kölner Modells an. Die Anlage sieht zum einen die Ergänzung von ortsfesten Ufermauern mit temporären Dammbalkensystemen vor, an anderer Stelle soll das unbefestigte, grüne Ufer oberhalb der Böschung mit der Kombination von Schutzwand und dem mobilen System versehen werden.

Um mit den straßenseitigen Mauern des Grundschutzes eine angenehm niedrige Brüstungshöhe nicht überschreiten zu müssen, ist eine Anhebung des Straßenniveaus ange-dacht, mit zum Ufer hin leicht ansteigendem Gefälle. Die Höhe des Schutzlevels setzt sich zusammen aus der Höhe der Brüstungsmauer und der Höhe des aufgesetzten mobilen Systems $>HQ_{100}$. Die Blickbeziehungen vom Straßenraum sowie von den Fenstern im Erdgeschoss zur Donau und zum Altstadtpanorama auf der gegenüberliegenden Flussseite blieben somit im Normalfall erhalten (Blasch 2007).



IV.4

Die Kategorie der ortsfesten, aber beweglichen Anlagen entsteht aus dem Bedürfnis nach freier Sicht aufs Wasser bei gleichzeitiger Minimierung der logistisch begründeten Schwachstellen und Risiken temporärer, mobiler Systeme.

Ortsfeste, aber bewegliche Anlagen

IV.4.1

Schlauch-Wall-Prinzip

Das Schlauch-Wall-Prinzip arbeitet mit parallel zum Ufer verlaufenden Gummischläuchen oder geotextilen Kunststoffschläuchen, die im Einsatzfall mit Wasser oder Luft aufgepumpt werden und so einen temporären Hochwasserschutzwall bilden. Im Ruhezustand ist der Schlauch in einer mit befahrbarer Abdeckung versehenen Bodenkammer untergebracht. Schienen verankern ihn fest am Boden, um

Schlauchwehr-System

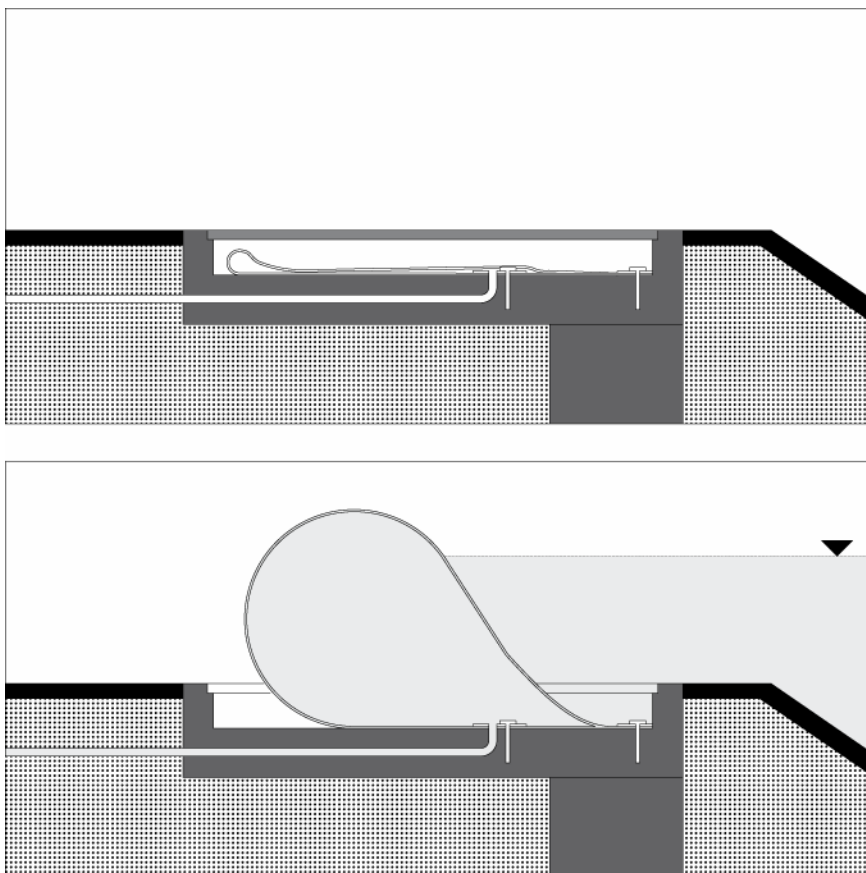


Abb. 33 Schlauch-Wall-Prinzip

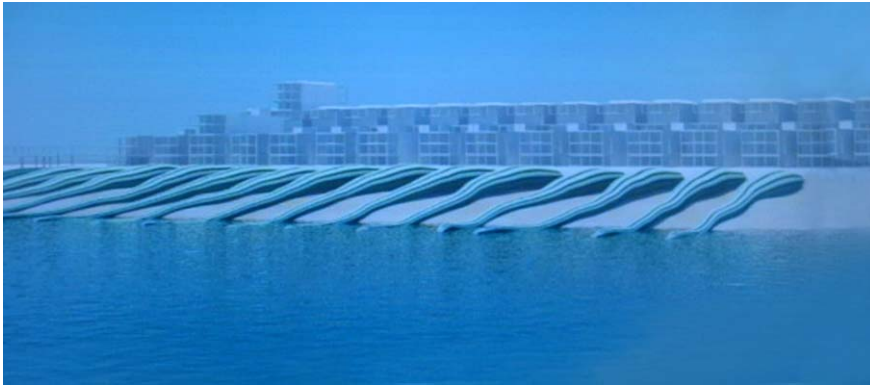
im befüllten Zustand ein Wegrollen zu verhindern. Seitlich wird der Schlauch in einem bestimmten Abstand von Wandauflagern flankiert. Die Befüllung erfolgt über unterirdische Leitungssysteme, geregelt über einen zentralen Schaltkasten. Dieser reguliert ebenso das Entleeren und die Druckkontrolle (BWK 2005, 52).

Schlauchwehrsysteme eignen sich besonders zur Hochwassersicherung bei geringen Vorwarnzeiten und häufigem Auftreten. Die Systeme erreichen Stauhöhen von 0,4 m bis 3 m. Die Länge eines einteiligen Schlauches beträgt bis zu 150 m (ib.). Risiken ergeben sich besonders durch die hohe Vulnerabilität des Materials gegenüber einem wasser- oder landseitigen Festkörperanprall. Die Festigkeit und Dichtigkeit des Materials hängt von seiner Resistenz gegenüber Austrocknung, UV-Bestrahlung, chemischen Wasserinhaltsstoffen und Salzen ab. Das System ist außerordentlich vulnerabel gegenüber mutwilliger Beschädigung (ib. 117) und sollte bei längerer Standzeit bewacht werden (Koppe 2002, 166). Materialdurchstöße oder ein Niederdrücken durch einen Festkörper bewirken eine sofortige Schutzminderung bzw. den vollständigen Schutzverlust.

Schlauch-Schwamm-Prinzip

Anderson Anderson Architecture

Unter dem Titel „After the flood“ präsentierte der amerikanischen Pavillon auf der Biennale in Venedig im Jahr 2006 vor dem Hintergrund der Flutkatastrophe in New Orleans Ideen und Projekte zum Thema Flutschutz. Ein von Anderson Anderson Architecture vorgestelltes Schutzsystem mit dem Titel „Alluvial Sponge Comb“ besteht aus Wasserschläuchen, die im Gegensatz zur oben beschriebenen Anlage senkrecht zur Uferkante verlaufend im Boden verankert sind. Die Schutzwirkung des Projektes soll sich im Einklang mit den natürlichen Kräften des Wassers vollziehen: „The central design criteria for our [...] landscape design focuses on adapting the human construction to harmonize with the cyclical flows and extremes of the natural site, absorbing



34 Biennale Venedig 2006, Alluvial Sponge Comb

and beneficially harnessing nature's impact rather than resisting it" (Anderson Anderson Architecture 2006, 1). Die Schläuche sind im Querschnitt mit acht Kammern versehen, welche aus hochgradig wasserabsorbierendem Material bestehen. Bei steigenden Pegeln saugen sich die Schläuche mit Wasser voll, quellen auf und dehnen sich zu einer Schutzwand von ca. 4-5 m Höhe aus. Sinken die Wasserstände, wird das Wasser nach und nach wieder abgegeben. Im ungefüllten Zustand soll die poröse Struktur des Wasser absorbierenden Materials zusätzlich einen Lebensraum für Meeresgetier und Meerespflanzen bieten (ib. 1-15). Neben seiner ungewöhnlichen Schutzfunktion wohnt dem Systementwurf eine spezielle ästhetische Ausstrahlung inne.

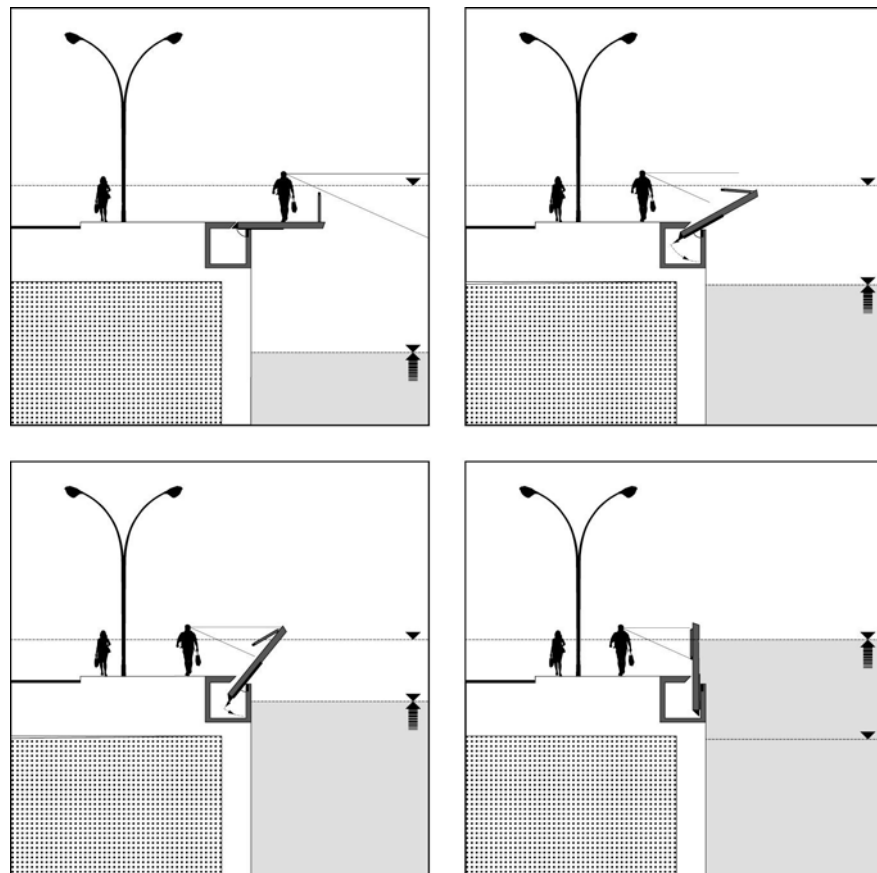
Aufklappbares System

IV.4.2

Hochklappbares Trottoir

Das System des hochklappbaren Trottoirs als semiflexibles Hochwasserschutzsystem setzt sich aus mehreren Elementen zusammen. Ein im Boden verankerter, massiver Stahlbeton-Gründungskörper umschließt den Antriebsmotor und fungiert zugleich als Träger der Klappenelemente. In unmittelbarer Nähe zum Gewässerufer installiert, erweitern die Elemente im Normalzustand die Verkehrsfläche in den Stromraum hinein (Zeif; Scheibe 2000, 25). Andernfalls liegen sie in dafür horizontal in den Untergrund eingelassenen Auflagerbetten und schließen stufenlos mit dem restlichen Boden ab (BWK 2005, 44). Somit bilden sie keinerlei Einschränkung des Blickes oder der Bewegungsfreiheit.

Im Falle eines Hochwassers werden die horizontal gelegenen



35 Hochklappbares Trottoir

Schutzelemente motorenbetrieben aufgerichtet und bilden eine abgeschlossene Hochwasserschutzwand. Der Mechanismus kann vor Ort oder ferngesteuert in Gang gesetzt werden. Bei Ausfall der Stromversorgung ist mit Hilfe von Elektroschraubgeräten, die über Notstrom versorgt werden, ein Aufklappen sichergestellt. Falls auch dieser Antrieb versagt, ist das Aufrichten der Schutzelemente ebenso durch Handkurbeln möglich. Der Klapp-Vorgang nimmt etwa 5 Minuten in Anspruch, wobei aus Sicherheitsgründen mindestens 20 Minuten zur Räumung der Elemente aufgeschlagen werden müssen. Ein Restrisiko verbleibt, da widerrechtlich abgestellte Fahrzeuge und Gegenstände die Räumung verzögern können, wodurch der Aufklappvorgang blockiert und die Funktion des Systems behindert würde (ib. 115).

Das System lässt sich für Stauhöhen bis zu 4 m dimensionieren, die Länge der Einzelelemente kann bis zu 10 m betragen. Die Ausführung der Schutzwand erfolgt in Stahlbeton, Aluminium, Edelstahl oder Kunststoff, angepasst an die jeweilige Umgebung und Anforderungen (ib. 45 und Zeif; Scheibe 2000, 25). Aufgrund der Begeh- und Befahrbarkeit des Systems muss eine ausreichende Tragfähigkeit gewährleistet sein; bei entsprechender konstruktiver Verstärkung und Dimensionierung der Wandstärke sind Belastungen bis zu 80 t möglich.

Klappsysteme eignen sich besonders für den Einsatz in dicht besiedelten Stadträumen und anderen Gebieten, die sich durch ein geringes Platzangebot auszeichnen. Sie können zum Schutz einzelner Gebäude eingesetzt werden – was speziell dann sinnvoll ist, wenn diese ein hohes Gefährdungspotential für Mensch und Umwelt bergen (Lagerung von Chemikalien, Öl o.a. Wasser gefährdenden Stoffen). Es können aber auch ganze Areale gesichert werden, zudem lassen sich die Systeme zur Aufstockung von bestehenden Hochwasserschutzbauten verwenden, z.B. auf Deichkronen (ib. 26).

Klappsysteme sind vulnerabel in Bezug auf Feststoffanprall von Treibgut, Schiffen und Fahrzeugen. Über längere Abschnitte eingesetzt, steigt zudem die Gefahr des Gesamt-

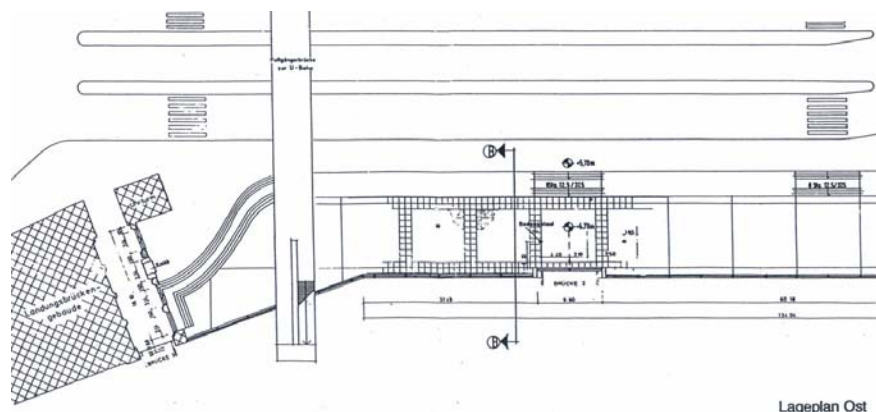
versagens an. Um einen Dominoeffekt zu verhindern, sollten daher in bestimmten Abständen feste Wände vorgesehen werden (BWK 2005, 115). Eine regelmäßige und fachgerechte Wartung des Systems ist notwendig. Das System ist vulnerabel gegenüber Verschmutzung und Korrosion der Klapp-Mechanik. Besonders die Unversehrtheit der Scharniere, die im Einsatzfall enormen Belastungen standhalten müssen, ist sicherzustellen. Sie stellt einen entscheidenden Faktor in der Funktionstüchtigkeit des gesamten Systems dar.

Hochfahrbarer Hochwasserschutz

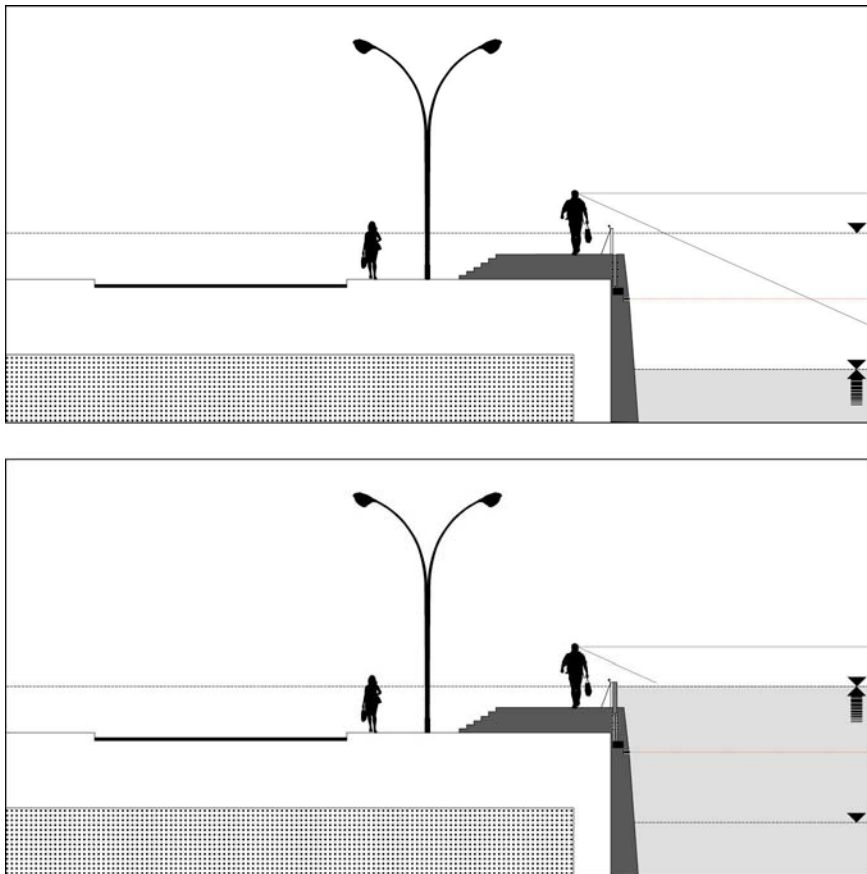
IV.4.3

Laser-Sensorik-Prinzip

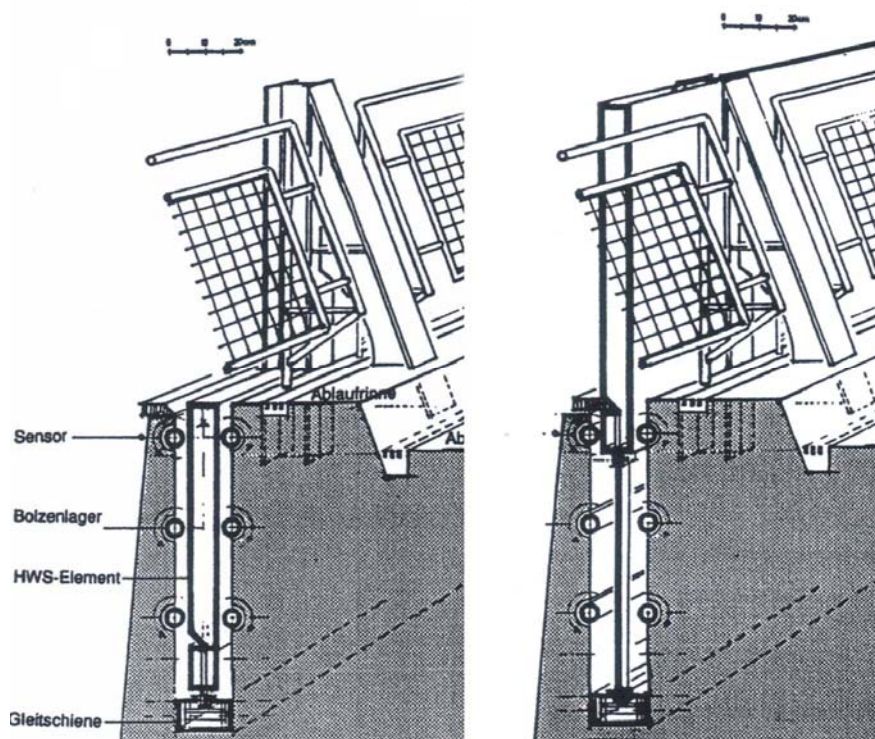
Im Zuge der Planung und des Entwurfs des Huckepacksystems als ortsfeste Hochwasserschutzanlage für die St. Pauli Landungsbrücken Hamburg entwickelte der Verfasser als Alternative dieses ortsfeste, aber bewegliche Schutzprinzip, das mit einer Laser-Sensorik arbeitet. Der strukturelle Aufbau des Laser-Sensorik-Prinzips, bestehend aus Kaimauer und Wandkrone, ähnelt dem des Huckepack-Systems. Die Unterscheidung liegt in der Detaillierung der Krone. Bei der Hochwasserschutzanlage St. Pauli Landungsbrücken besteht diese aus dem Huckepackelement, einer in Stahl ausgeformten undurchlässigen Brüstung auf einem massiven Stahlbeton-Sockel. Diese gewährleistet die erforderliche Schutzhöhe von 7,80 m über NN. Das Brüs-



36 Lageplan St. Pauli Landungsbrücken



37 Laser-Sensorik-Prinzip, Architekt: S.H. Zadeh



38 Brüstungs-Detail Laser-Sensorik-Prinzip

tungselement des Laser-Sensorik-Prinzips ist im Sinne einer optischen Minimierung und einer höheren Durchlässigkeit in drei Elemente aufgelöst. Das statische Element besteht aus in regelmäßigen Abständen fest montierten Stahlböcken mit Führungsschienen, an denen eine Absturzsicherung mit Handlauf angebracht ist. Im Bodenaufbau der Promenade ist der dynamische Teil des Systems versenkt, welcher aus ausfahrbaren Hohlkammertafeln besteht, deren Motoren im Hochwasserfall ab einem bestimmten Pegelstand durch die Laser-Sensorik ausgelöst werden. Die Schutztafeln rasten im ausgefahrenen Zustand in den Führungsschienen der Stahlböcke ein und stellen die notwendige Schutzhöhe von HQ_{100} sicher. Die enormen Kräfte des Wasserdrucks, denen die Elemente im Einsatzfall ausgesetzt sind, werden durch die Böcke in den Boden abgeleitet.

Das Laser-Sensorik-Prinzip stellt in seiner gestalterischen Intention, die Beziehung zwischen Ufer- und Wasserraum zu intensivieren, eine weitere Auflösung der trennenden Wirkung einer Schutzanlage dar. Das PDH-System versteht sich als gedankliche Weiterentwicklung dieses Prinzips.

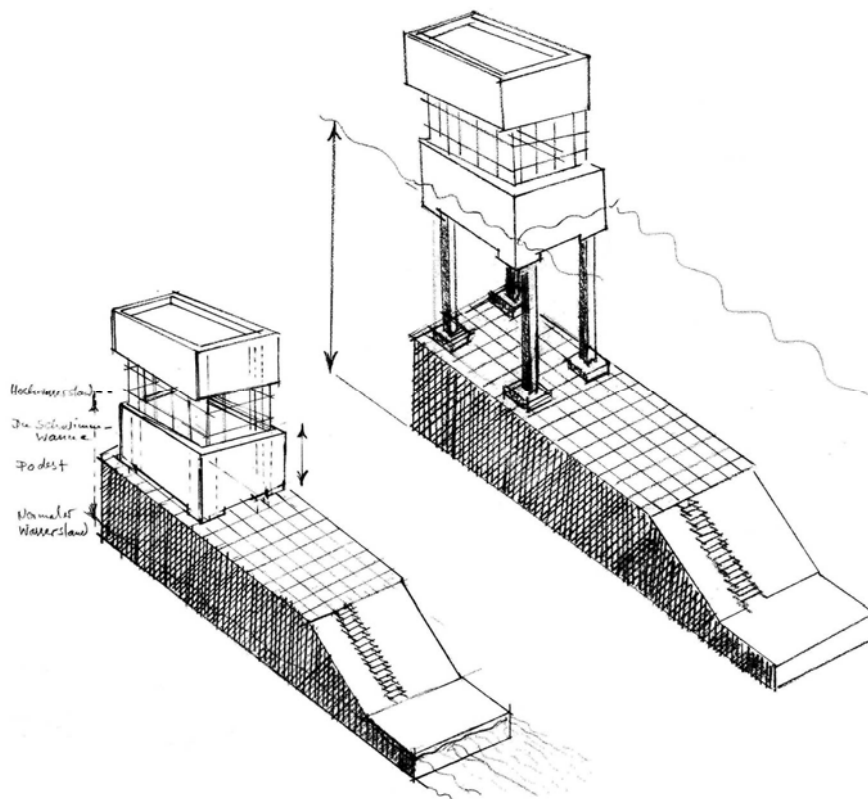
Permanent-dynamisches System, Dissertationsthema

Das PDH-System, dessen Funktionsweise ebenfalls auf einem ortfesten, aber beweglichen Prinzip beruht, wird in Kapitel V ausführlich vorgestellt.

Amphibische Systeme

IV.5

Gerade in den letzten Jahren kommt diesem Themenbereich große Aufmerksamkeit zu. Diverse Projekte beschäftigen sich mit dem Wohnen auf dem Wasser bzw. mit responsiven Systemen, die für steigende und fallende Wasserpegel konzipiert sind. Die Bandbreite reicht dabei von konkreten und ausgeführten Projekten bis hin zu ausformulierten Utopien oder dystopischen Zukunftsszenarien. Eine detaillierte Ausführung des Themenbereichs würde jedoch aufgrund seiner Weitläufigkeit den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Er soll hier nur am Rande erwähnt sein.



39 Amphibisches Haus, Prinzipskizze

IV.6

Unter den Hochwasserschutzsystemen stellen Systeme speziell gegen Sturmflut eine gesonderte Kategorie dar. Sturmflut-Schutzsysteme sind großmaßstäbliche Meeres-Bauwerke, die im Mündungsgebiet von Flüssen oder im Öffnungsgebiet einer Lagune platziert sind. Im Falle einer drohenden Sturmflut werden die enormen Konstruktionen geschlossen und die steigenden Wassermassen des Meeres vor dem Land gestaut und zurückgehalten. Uferkanten werden so entlastet und Überschwemmungen verhindert. Der Bau von Sturmflut-Schutzsystemen kann sowohl aus städtebaulichen als auch aus ökonomischen Gründen sinnvoll sein, da er z.B. die Instandhaltung bzw. Aufstockung von Deichen und anderen Schutzanlagen entbehrlich macht. Je nach Größe und Konstruktionsart der Bauten bedeuten sie allerdings einen großen Eingriff ins Ökosystem Wasser und sind daher teilweise sehr umstritten.

Sturmflutschutz-Systeme

Senktor-System

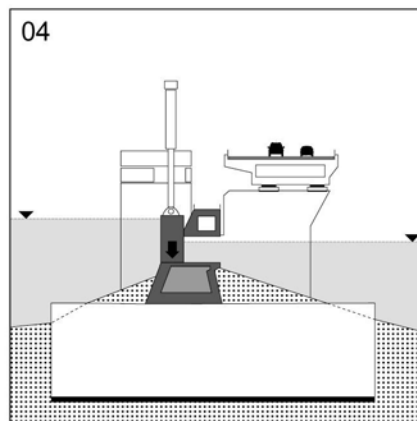
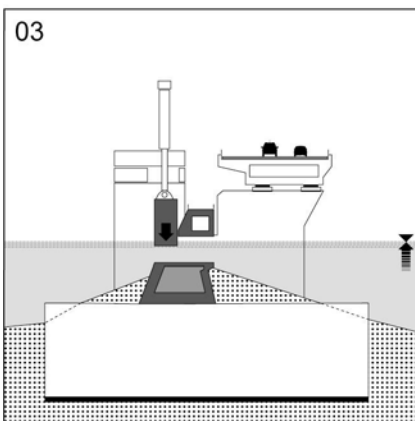
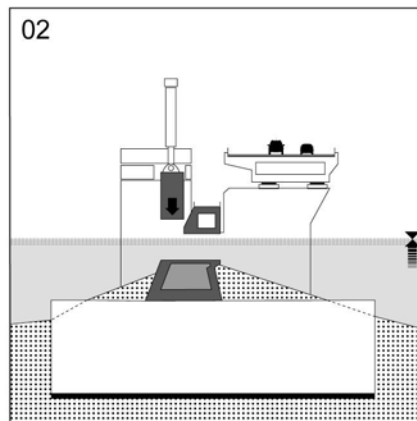
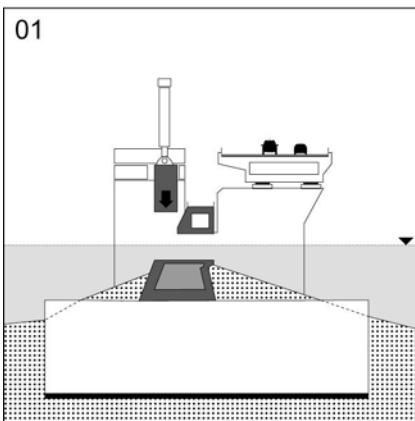
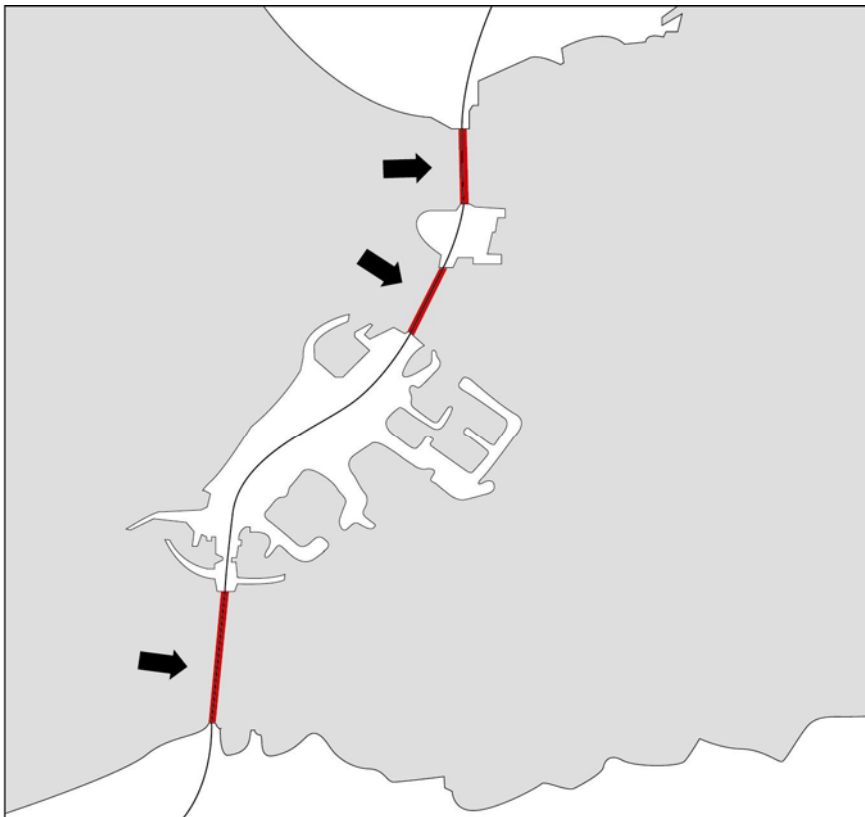
IV.6.1

Oosterschelde-Sperrwerk

Nicht für die Schiffsdurchfahrt konzipiert

Das Oosterschelde-Sperrwerk ist ein Teilprojekt des niederländischen *Deltaplans*, in dessen Rahmen eine Reihe von Großbauwerken zum Schutz des Landes vor Sturmfluten realisiert wurde. Mit der verheerenden Hochwasserkatastrophe im Jahre 1953, die 1835 Menschen das Leben kostete, wuchs das Bewusstsein der Niederländer für die Notwendigkeit, sich gegen die Gewalten des Wassers schützen zu müssen, stark an. Der daraufhin entwickelte Deltaplan sah ein Eindämmen der Flussmündungen von Brouwershavens Gat, Haringvliet, Westerschelde und Oosterschelde vor. Mit dem Oosterschelde-Sperrwerk, dessen Bausumme ca. 3,5 Milliarden Euro betrug, wurde das Deltaprojekt nach 30 Jahren Bauzeit fertig gestellt (Dechau 1986a, 5).

Der im Zuge des Deltaplans erbaute Haringvlietdamm bewirkte durch die vollständige Abtrennung vom Meer, dass im Haringvliet das Salzwasser allmählich in Süßwasser überging. Diese Art der Eindämmung war ursprünglich auch für die Oosterschelde geplant (Deltawerken 2004). Jedoch stieß das Vorhaben wegen der damit verbundenen Zerstörung des besonderen Salzwassermilieus der Schelde und der ökologischen Folgeschäden auf großen öffentlichen Widerstand. Im Jahre 1976 wurde daher der Bau eines Sturmflutwehres beschlossen, welches nur im Falle eines Sturmflutereignisses vollständig geschlossen wird, um den Einfluss der Gezeiten in der Oosterschelde weitestgehend zu erhalten. Die Durchlassöffnungen des 1986 in Betrieb genommenen Sperrwerks sind nicht durchfahrbar; die Schifffahrt gelangt an anderer Stelle über ein Schleusenbauwerk in die Oosterschelde (Koppe 2002, 144). Im Flutfall verschließt das Sturmflutwehr die Scheldemündung auf einer Breite von 7,5 km. In den Stromrinnen der Mündung sind 65 Spannbetonpfeiler mit Höhen von 31 m bis 39 m aufgestellt, deren Gewicht je nach Größe bis zu 18 000 t beträgt (Dechau, 1986b, 6). Zwischen den Pfeilern sind 62 Fluttore in Form von Stahlschützen gespannt, deren Höhen



40 Oosterschelde-Sperrwerk

je nach Wassertiefe zwischen 6 m und 12 m variieren (See-land-Informationen 2006). Auf den Schottenpfeilern ist zusätzlich eine Schnellstraße integriert, wodurch das Wehr zusätzlich eine Verbindungsfunktion erhält. Die Pfeiler des Wehres bestehen im Wesentlichen aus einem Fußteil, der die Standsicherheit gewährleistet und ständig vom Wasser der Schelde umspült wird. Auf der einen Seite der Pfeiler befinden sich die Aufsatzstutzen, auf denen der Straßenhohlträger aufgelegt ist, in dessen Inneren sich die Maschinen für den Antrieb der Senktore befinden. Um eine ausreichende Höhe für das Auffahren der Tore zu erreichen, sind die Pfeiler auf der gegenüberliegenden Seite zusätzlich mit einem Spannbetonaufsatz versehen. Innerhalb einer Stunde lassen sich die bis zu 480 t schweren Stahlschütze mittels großer Hydraulikzylinder in Sturmflut-Schutzstellung bringen (Koppe 2002, 144).

Durch die Sicherungsmaßnahmen der Küsten im Rahmen des Deltaplans hat sich die notwendige Verteidigungslinie der Niederlande gegen die Sturmfluten der Nordsee von 700 km auf 25 km verkürzt (Deltawerk-Informationen 2007). Die Sicherheit der Bewohner des Deltas ist um ein Vielfaches angestiegen. Dennoch stellt ein Bauwerk dieser Dimension einen einschneidenden Eingriff in das Ökosystem des Meeres dar, dessen Folgen nicht vollständig vorhersehbar sind.

Kreissegment- Verschluss-System

IV.6.2

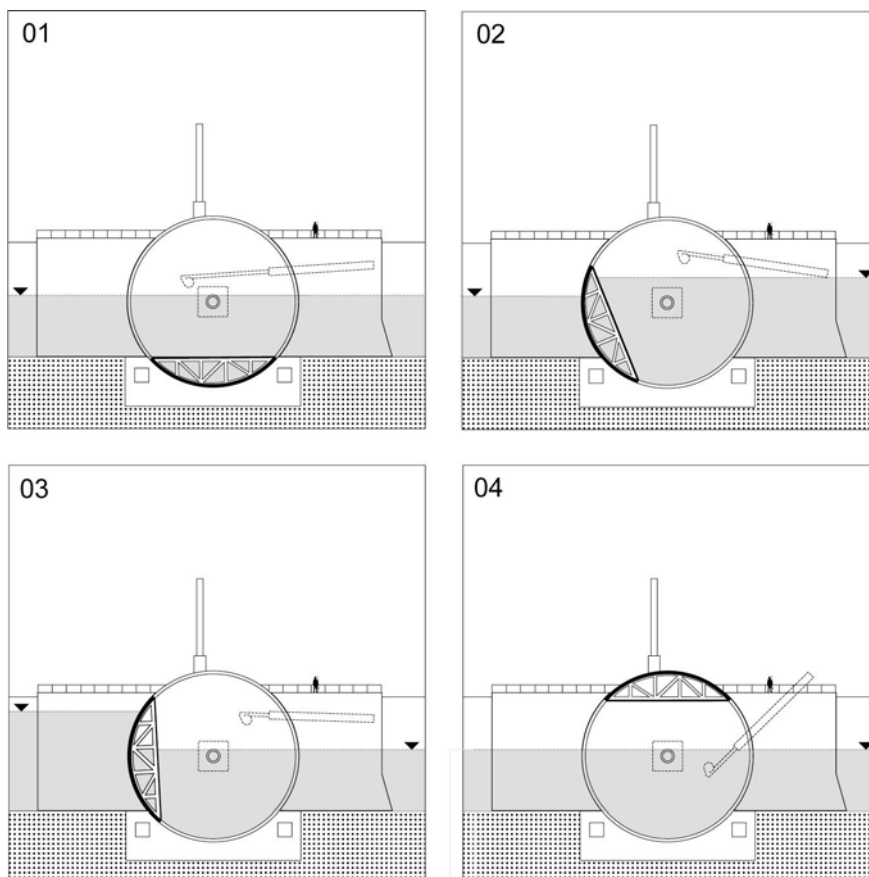
Ems-Sperrwerk

Für die Schifffahrt konzipiert

Das niedersächsische Ems-Sperrwerk wurde im Jahre 2002 in Betrieb genommen. Das vom Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz (NLWKN) unterhaltene Sperrwerk befindet sich etwa 60 km vor der Nordsee-Mündung in der Unter-Ems und ist für zweierlei Funktionen konzipiert. Zum einen dient es dem Sturmflutschutz der Ems im Bereich des Leda-Jümme-Gebiets. Zum anderen ermöglicht es ein Aufstauen des Flus-

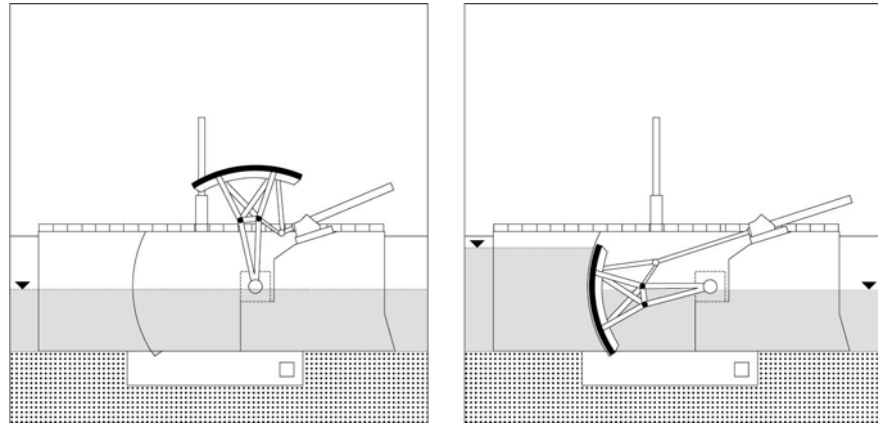
ses, um die in der Meyer-Werft gefertigten Hochseeschiffe mit einem Tiefgang bis zu 8,5 m reibungslos ausdocken und in die Nordsee überführen zu können (Konstruktionspraxis 2004).

Um beiden Aufgaben gerecht werden zu können, musste das Sperrwerk so konzipiert werden, dass es den Wasserdruckbelastungen von Stau und Flut in beiden Richtungen des Stroms standzuhalten vermag. Außerdem galt es, den stark frequentierten Binnenschiffahrtsweg der Ems uneingeschränkt zu erhalten. Für die Hauptöffnungen der insgesamt 476 m breiten Konstruktion wurde daher das Drehsegmenttor des Themse-Sperrwerks zum Vorbild genommen, das die Schiffsdurchfahrt auch für große Schiffe ermöglicht (Koppe 2002, 143). Der Drehsegmentverschluss des Ems-Sperrwerks ist in einer Breite von 60 m ausgeführt. Als Regeldurchfahrt für den Binnenschiffsverkehr ist eine weitere, jedoch in der Höhe beschränkte Durchfahrt



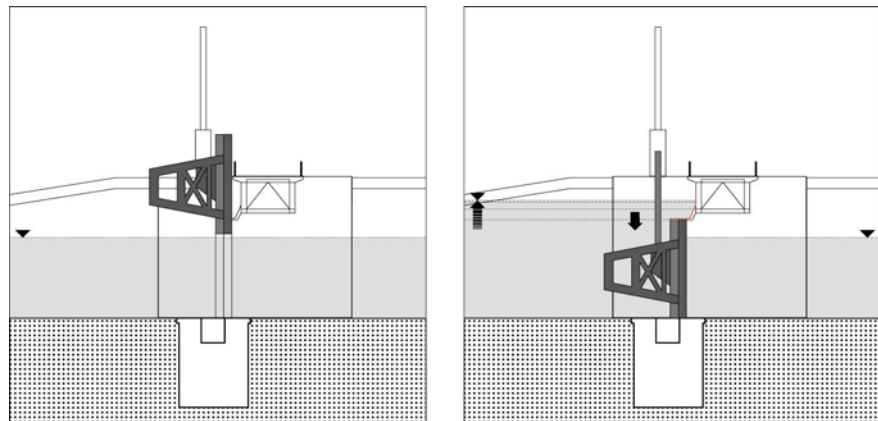
41 Hauptöffnung Ems-Sperrwerk, Drehsegmentverschluss

von 50 m Breite vorgesehen, deren Segmenttorverschluss sich mittels eines Hydraulikzylinders radial aus der Durchfahrtsöffnung bewegen lässt.



42 Nebenöffnung für Binnenschifffahrt, Ems-Sperrwerk

Fünf weitere Nebenöffnungen mit absenkbaren Hubtoren von ca. 50 m Breite sind nicht schiffbar und dienen ausschließlich der Stau- und Schutzfunktion (NLWKN 2007).



43 nicht schiffbare Nebenöffnung, Ems-Sperrwerk

Das Wehr ist für eine Bemessungsturmflut mit Pegelständen bis zu +6,40 m üNN ausgelegt. Im Falle einer Sturmflut werden die Stauschilde der Nebenöffnungen in die Ems abgesenkt und die Segmenttorverschlüsse der Binnenschiffahrtsöffnungen in die Öffnung gedreht. Der Drehsegmentverschluss, der bei Normalbetrieb mit Wasser ballastiert in einer Mulde im Drempel liegt (Abb. 41, Nr.01), wird zum Aufrichten in Sturmflutstellung leer gepumpt und über eine Hydraulikanlage um 90° gedreht in Position gebracht

(Abb. 41, Nr.03). Zu Wartungszwecken kann der Drehsegmentverschluss – um 180° gedreht – vollständig aus dem Wasser heraus gehoben werden (Abb. 41, Nr.04).

Bei einer Staustellung der Wehranlage werden ebenfalls alle Staulemente in die Ems abgesenkt. Der Unterschied zur Sturmflutstellung liegt im Drehsegmentverschluss, dessen Stauschild in einem verringerten Winkel in den Strom gedreht wird, wie in Abb. 41, Nr.02 dargestellt. Um die Aufstauung des Flusses bei geringem Abfluss der Ems zu beschleunigen, sind in den Pfeilern des Sperrwerks zusätzlich sechs Pumpen mit einer Gesamtleistung von 600m³/s installiert (ib.).

Der Bau des Sperrwerks stellt eine Verbesserung der Hochwasserschutzsituation des Gebietes dar. Durch die Sperrung des Flusslaufs wird eine Ausbreitung der Sturmflutwelle gestoppt und die Belastung der Deichlinie stromaufwärts deutlich vermindert.

Dennoch war das Wehr umstritten, da die aufstauende Funktion des Sperrwerks einen erheblichen Eingriff ins Ökosystem bedeutet. Die Aufstauung der Ems kommt flussaufwärts einem lang anhaltenden, künstlichen Binnenhochwasser gleich, wodurch Flora und Fauna des Uferraums bedroht sind. In einer gerichtlichen Auseinandersetzung wurde das Land Niedersachsen verpflichtet, ausgleichende ökologische Maßnahmen in Höhe von insgesamt 9 Millionen Euro vorzunehmen. Um die negativen Folgen des Eingriffs so gering wie möglich zu halten, ist die maximale Staudauer auf 104 Stunden beschränkt worden. Der Fluss darf zudem ausschließlich im Winterhalbjahr, von Mitte September bis Mitte März aufgestaut werden, um die Brutzeiten seltener Vogelarten nicht zu stören.

Schwimmendes Pendelwerk

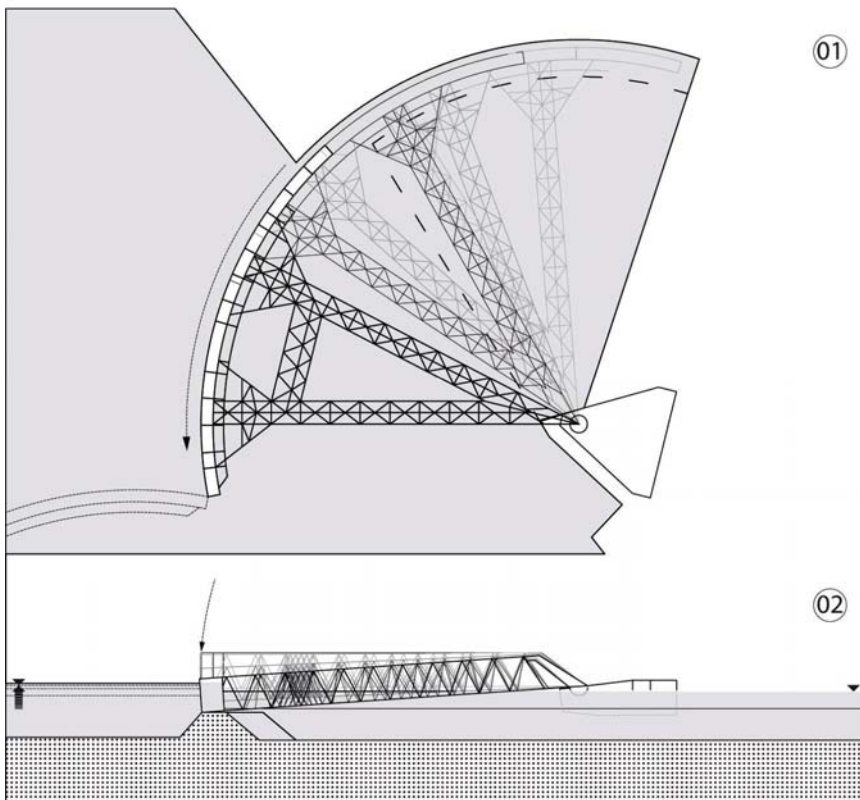
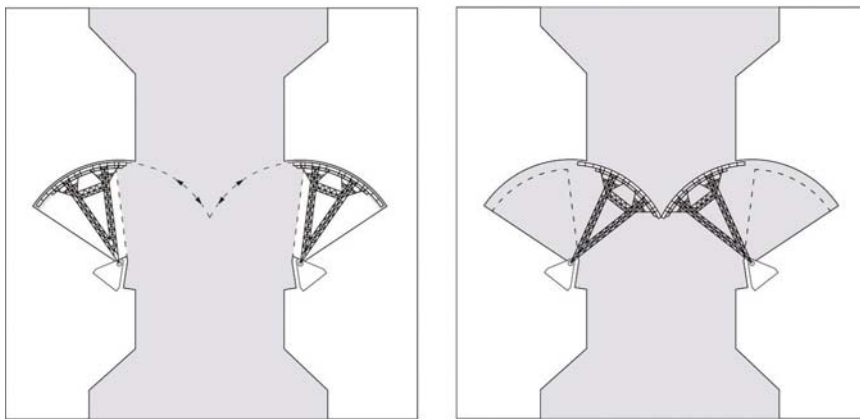
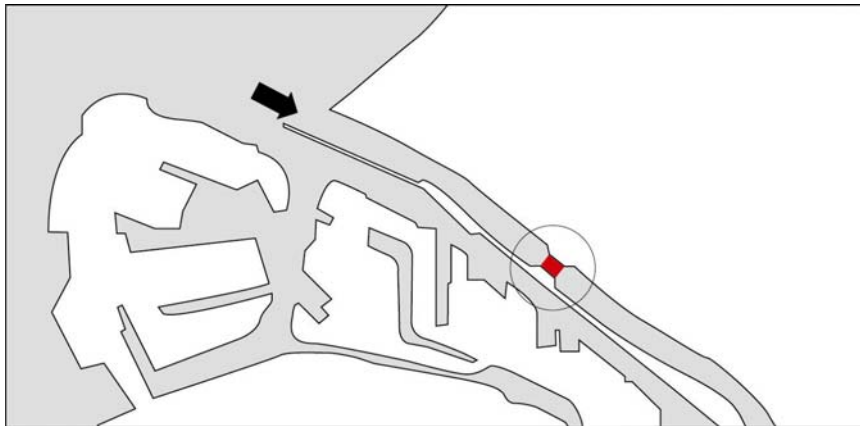
IV.6.3

Sturmflutwehr Rotterdam

Für die Schiffsdurchfahrt konzipiert

Das Sturmflutwehr an der Nordseemündung der Maas vor Rotterdam ist wie das Oosterschelde-Projekt ein Teilprojekt des Deltaplans (s. Kap. IV.6.1). In diesem Fall war zu berücksichtigen, dass die sehr stark befahrene Wasserstraße Maas hier als Zubringer zum Rotterdamer Hafen fungiert, der mit 300 Mio. t Warenumsatz den größten Frachthafen der Welt darstellt (Gunßer 1996, 26). Dieser Wasserweg sollte nicht durch statische, die Fahrrinne verengende Schutzbauten in seiner Funktion beeinträchtigt werden.

Das Prinzip der gefundenen Lösung ist einfach, stellte aber in der Umsetzung aufgrund der gewaltigen Größe eine außerordentliche Herausforderung für Planer und Konstrukteure dar. Das Sturmflutwehr besteht aus zwei bogenförmigen Pendeltoren, die zu beiden Seiten des Flusslaufs in flachen Docks liegen. Ab einem Pegelstand von +3,2 m üNN in Rotterdam werden die Tore geschlossen. Berechnungen zufolge wird dieser Fall alle 10 Jahre eintreten, sollte der Meeresspiegel weiter kontinuierlich ansteigen, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit auf alle 5 Jahre (Greiner-Mai 1994, 794). Der Schließvorgang des Wehres erfolgt mittels eines horizontal gelagerten Zahnantriebs, der eine Kraft von 6,5 MN gegen seinen Führungsturm entwickelt, während er die Pendeltore innerhalb von 30 min über die 360 m breite Wasserstraße fährt (ib.). Sobald sich die Pendel in der Mitte des Stroms treffen, werden die Ballasttanks in den 22 m hohen Torbögen mit Wasser geflutet und die Tore sinken innerhalb von 90 Minuten auf die in 17 m Wassertiefe liegende Fundamentschwelle ab (Herr 1994, 677). Damit wird der Strom gestoppt und die Flussmündung ist gegen Sturmfluten gesichert (s. Abb. 44). In diesem Fall wirken 35 000 t Wasserdruck auf jedes der Tore, die mit ihrem Eigengewicht von 15000 t jeweils das doppelte Gewicht des Eiffelturms aufweisen (Gunßer 1996, 26). Die Pendeltore,



44 Sturmflutwehr Rotterdam

die einen Radius von 246 m beschreiben, sind punktuell gelagert. Das Auflager besteht aus einem dreidimensional beweglichen Kugelgelenk mit einem Durchmesser von 10 m und einer Masse von 400 t, welches sich in einer Betonschale von feinmechanischer Oberflächenqualität dreht. Die Widerlager bestehen aus keilförmigen Betonwandkonstruktionen, die mit Ballasterde verfüllt sind, um die enormen Kräfte aus den Pendeltoren aufnehmen und ableiten zu können (Greiner-Mai 1994, 794).

Das Wehr ist größtenteils im Uferbereich des Stromes verortet und wird ausschließlich im Hochwasserfall zu Wasser gelassen. Dieser Umstand ermöglichte einen hohen Grad an Vorfertigung und Vor-Ort-Montage, ohne den hochfrequenten Schiffsverkehr in der Bauphase zu unterbrechen. Auch die Wartung des Systems nach Inbetriebnahme wird dadurch vereinfacht. Zudem wird der Eingriff ins Gewässer und dessen Strömung minimiert.

Das Pendelwerk-Prinzip eignet sich besonders für den Einsatz an linearen Gewässern (Flüssen), deren Schiffbarkeit aufgrund von regelmäßigem Schiffsverkehr nicht dauerhaft gestört werden darf. Ungeeignet ist es dagegen, wenn größere Meeresarme oder Buchten gegen Sturmfluten abgeschirmt werden müssen.

Das Sturmflutwehr stellt die Lösung eines komplexen Problems durch ein im Grunde einfaches Prinzip dar. Anhand der beschriebenen Eckdaten des Bauwerks kann dabei die Dimension des Wehres nur erahnt werden. Seine Realisierung ist beispielhaft für das Ausloten und die Erweiterung von Grenzen des Machbaren.

IV.6.4

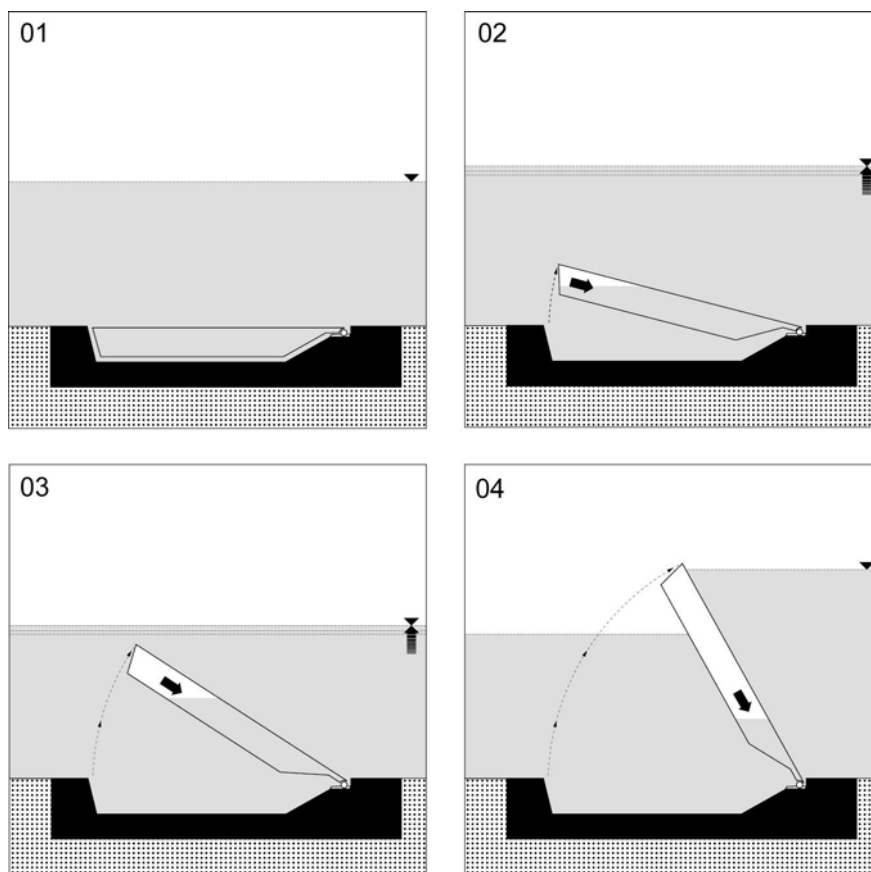
Luftkammer-System

MOSE-Projekt

Schiffsdurchfahrt möglich

Für den Hochwasserschutz der Lagunenstadt Venedig ist der Bau von klappbaren Sperrwerken in den drei Lagunenöffnungen zur Adria geplant. Die Idee stammt bereits aus den 60er Jahren, als die große Flut in Venedig katastrophale Schäden anrichtete. Das Projekt, ausformuliert *Modulo Sperimentale Elettromeccanico (Elektromechanisches Pilotmodul)*, ist allerdings umstritten.

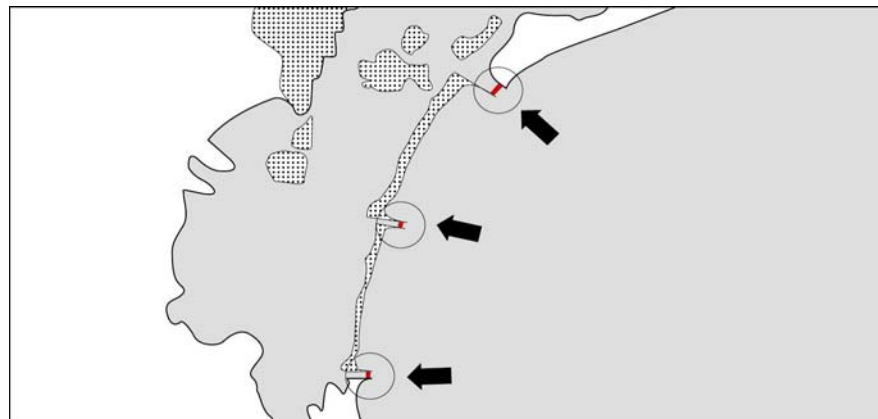
Das System besteht aus aneinander gereihten Klapp-elementen, welche als Hohlkammerstahl-tore ausgebildet sind und deren Drehachse am Sohlbauwerk verankert ist. Die rund 30 m breiten, 20-30 m hohen und 5 m tiefen Elemente liegen im Ruhezustand mit Wasser geflutet am Meeresboden in den dafür vorgesehenen Drempel-Mulden der massiven Stahlbetonfundamente. In Tunneln unter den



45 Sturmflutschutz Venedig, MOSE-Projekt

Drempeln ist die Betriebstechnik des Systems untergebracht. Notwendige Wartungs- und Reparaturkosten sind daher nur unter großem technischem Aufwand möglich, zumal sich auch die Drehachsen und die unteren Bereiche der Klappenelemente stets unter der Wasseroberfläche befinden (Koppe 2002, 145).

Insgesamt 79 der Klapptore sollen auf einer Länge von insgesamt 1,5 km in der Lagune installiert werden. Überschreitet der Meeresspiegel einen Pegelstand von +1,1 m üNN wird ihr Klappmechanismus ausgelöst. Mittels Pressluft wird das Wasser aus den Kammern der Schutzore gedrückt und die Elemente richten sich auf. Bei etwa 40-50° gegen die Waagerechte erreichen sie die Hochwasserstellung und riegeln die Lagunenstadt vom Meer ab.



46 Lageskizze MOSE-Projekt, Venedig

Unter anderem auf der Tatsache, dass sich die Planer des Sperrwerkes angesichts des ansteigenden Meeresspiegels auf veraltete Klimastudien stützen, gründet sich die Kritik an dem System. In den mittlerweile 20 Jahre alten Planungen geht man davon aus, dass die Tore achtmal im Jahr geschlossen werden müssten. Zieht man aber hinzu, dass der mittlere Pegel in Venedig in den letzten hundert Jahren um 23 cm gestiegen ist und als Folge eines Klimawandels ein weiterer Anstieg prognostiziert wird, muss von wesentlich größeren Zeiträumen ausgegangen werden, in denen die Tore verschlossen werden müssten. Eine anhaltendere Trennung der Lagune von der Frischwasserzufuhr aus dem Meer könnte aber eine Verschlechterung der Wasserqualität

zur Folge haben – bedenkt man allein, dass Venedig nicht über moderne Abwassersysteme verfügt und seine Abwässer ungeklärt in die Lagune leitet. Demgegenüber steht die Sorge um die einzigartige historische Bausubstanz Venedigs (ib.). Außerdem stellt das System aufgrund der im Normalzustand vollständig versenkten Klapptore einen geringen räumlichen Verbauungsgrad dar.

Nach jahrzehntelanger Diskussion über Machbarkeit und Kosten des Meeresbauwerkes wurde im September 2002 zunächst grünes Licht für das Projekt gegeben. Nach aktuellen Verlautbarungen der Tagespresse (06.08.07. <http://orf.at/060807-2554/?href=http%3A%2F%2Forf.at%2F060807-2554%2F2555txt_story.html>) ist die Realisierung zurzeit aber ungewiss.

V PDH-System

„Die Entwicklung der Technik hat zu dem Glauben geführt, dass im Gebiet des Ingenieurbaus die „Kunst“ keine Heimat habe. Das ist längst überwunden und unsere Zeit sieht ein, dass jedes Werk menschlicher Konstruktion künstlerischen Charakter hat “

Friedrich v. Thiersch
cit. Hermann v. Thiersch 1925, 213

Im vorliegenden Kapitel wird das PDH-System – das permanent-dynamische System als modularer Hochwasserschutz für befestigte Uferkanten und Hafenbecken – vorgestellt. Anhand seines Aufbaus, seiner Technik und Funktionsweise sowie anhand von ästhetischen, atmosphärischen und städtebaulichen Gesichtspunkten werden seine spezifischen Charakteristika erläutert.

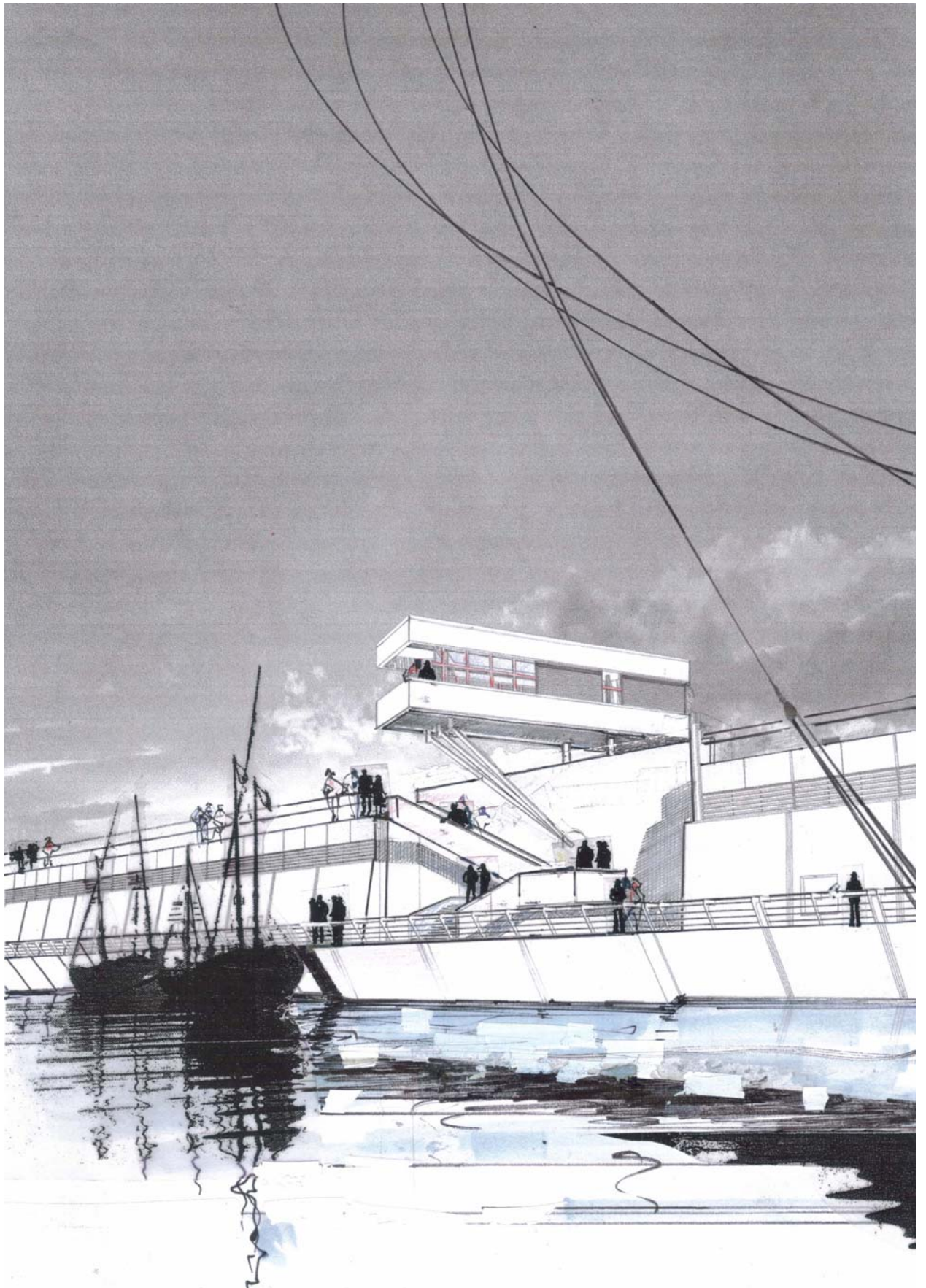
Leitidee und Zielvorstellungen des Entwurfes

V.1

Der PDH-Entwurf hat sich im Spannungsfeld der folgenden Themenkomplexe vollzogen:

- Funktionstauglichkeit des permanent-dynamischen Systems und
- Autonomie der Form und Architektur der PDH-Anlage

Parallel verlaufend haben sich die beiden Gedankenstränge im Entwurfs-Prozess gegenseitig miteinander verwoben und ergänzt.



Technische Zielsetzung

V.1.1

Als Leitidee für die Funktionsweise des PDH-Systems funktionierte das Ponton-Prinzip, verknüpft mit der Technologie des elektromagnetischen Schwebens – wie sie beim Transrapid angewendet wird.

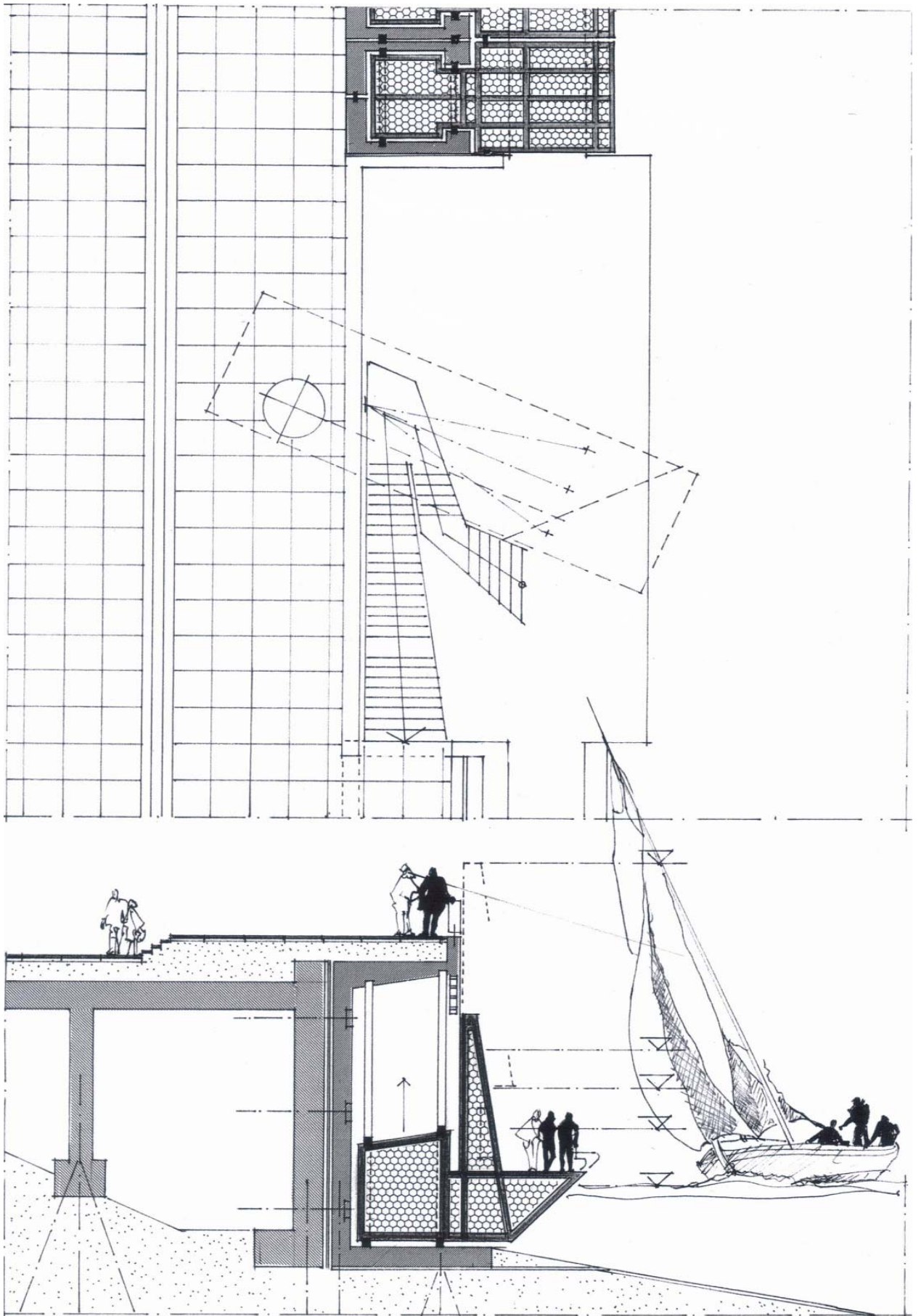
Das System wird auf technisch-konstruktiver Ebene anhand von Aspekten der funktionalen Gliederung, der Standfestigkeit, Tragfähigkeit und Stabilität beleuchtet. Es ist für den Einsatz an befestigten Uferkanten und Hafenbecken konzipiert. Es stellt sowohl gegen Binnenhochwasser als auch gegen Sturmfluten einen sicheren Schutz dar.

Zwingende Rahmenbedingung des Entwurfes war hierbei, das System derart auszubilden, dass besiedelte Flächen in Wassernähe vor einem 100-jährlichen Hochwasser HQ_{100} plus dem Klimaänderungs-Faktor von 15 % (s. Kap. III.2.2) ausreichend sicher geschützt werden können.

Architektonische Zielsetzung

V.1.2

Für die Konzeption des PDH-Systems war entscheidend, dass der Uferbereich in den Genuss architektonischer und ästhetischer Vorzüge kommt und die Problematiken, die häufig mit der Verwendung konventioneller Hochwasserschutzprinzipien verbunden sind – wie z.B. eine Abtrennung des Wassers vom Stadtgebiet – überwunden werden. Das System wurde daher derart ausgebildet, dass es sowohl einen sicheren Schutz vor Hochwasser bietet als auch im Normalfall den barrierefreien Blick aufs Wasser ermöglicht. Weiterhin sollte das Ambiente des Standortes mit dem Entwurf, der Konstruktion, den gewählten Baumaterialien und Technologien zu einer spannungsvollen Einheit zusammengefügt werden.



Modularität und funktionale Gliederung

V.2

Die PDH-Module, die in ihrer Aneinanderreihung das PDH-Schutzsystem bilden, setzen sich aus verschiedenen dynamischen und statischen Teilelementen zusammen. Industriell hergestellt, werden diese vor Ort an der Baustelle montiert, wodurch eine hohe Präzision und Passgenauigkeit ermöglicht wird.

Im Ruhezustand befinden sich die dynamischen Elemente der System-Module mit ihrer Oberkante unterhalb der Kaimauerhöhe und damit für den Spaziergänger auf der Promenade unterhalb der Sichtlinie. Im Hochwasserfall passen sie sich synchron an den steigenden Wasserpegel an und tauchen als vorübergehendes Trennelement zwischen Bebauung, Promenade und Wasserkante auf.

Eine modulare Einheit des Systems besteht jeweils aus vier Funktionsträgern:

Ufereinfassung: Basement des Moduls

V.2.1

Die Kaimauer stellt als befestigte Uferkante das Basement des Moduls dar. Die Höhe der Oberkante Kaimauer bildet den Grundschutz, z.B. gegen ein 20-jährliches Hochwasserereignis HQ_{20} .

Ummantelung des Moduls

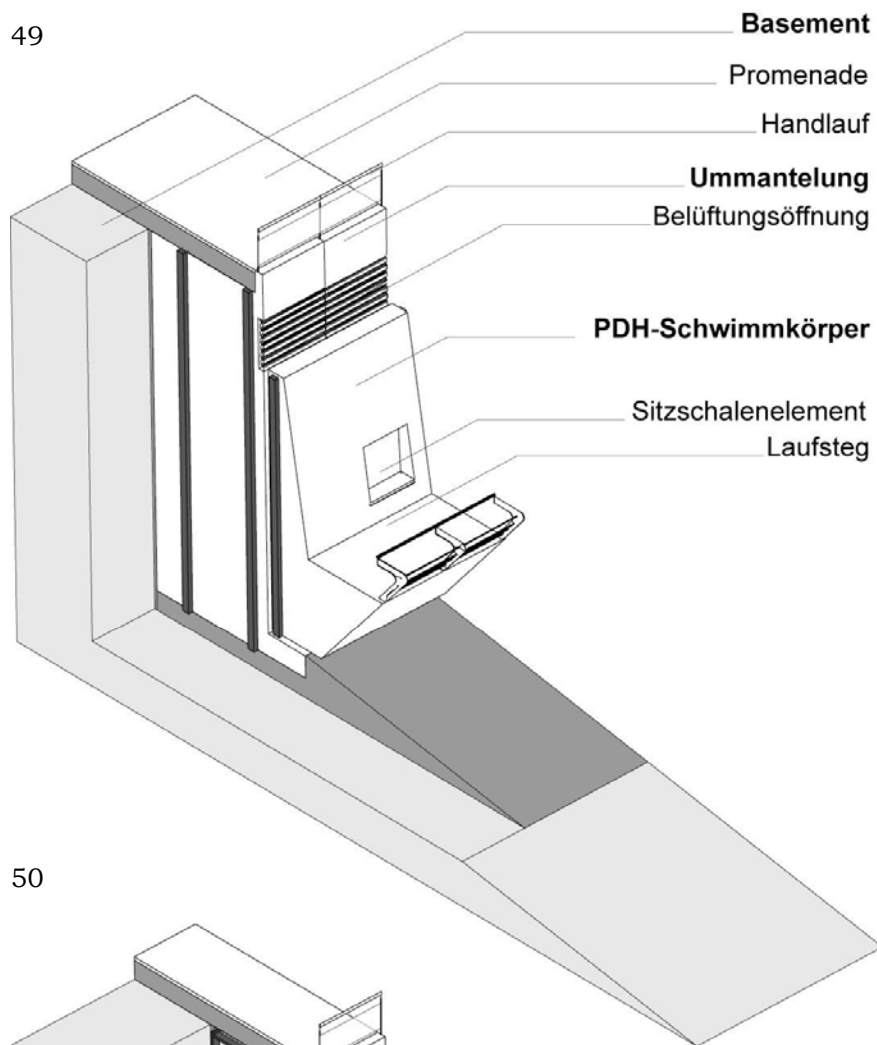
V.2.2

Die Ummantelung bildet die äußere Schale des Moduls, in dessen Inneren der Schwimmkörper – inklusive seiner Führungseinrichtungen – platziert ist. Sie besteht aus einem hohlen Stahlbeton-Quader, der wasserseitig geöffnet ist. In der Waagerechten wird er von einer abgedichteten Fuge durchzogen, an der sich der Körper zu Montagezwecken in zwei Teile zerlegen lässt.

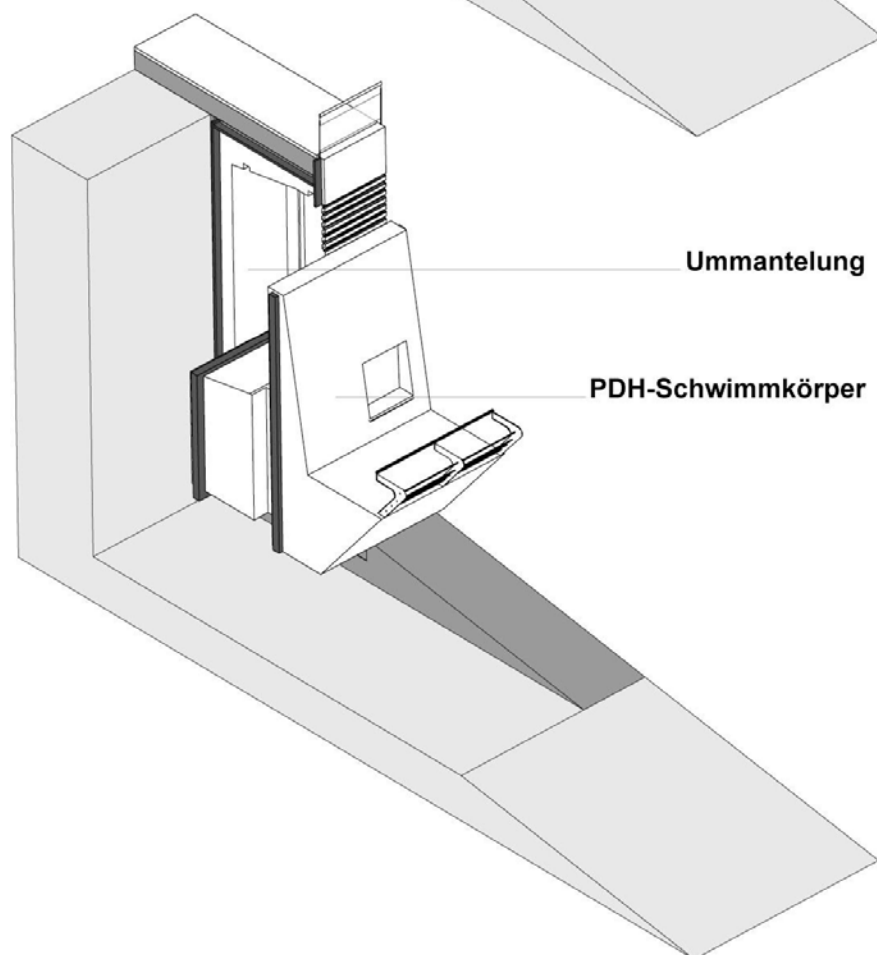
Als Rückgrat bzw. Träger des Systems wird die Ummantelung kraftschlüssig in der Ufereinfassung verankert. Zwischen Ummantelung und Kaimauer dichten Hartgummi-Hohlprofile die Fugen gegen Wasserdruck ab.

Formänderungen und Ausdehnungen in Längsrichtung auf-

49



50

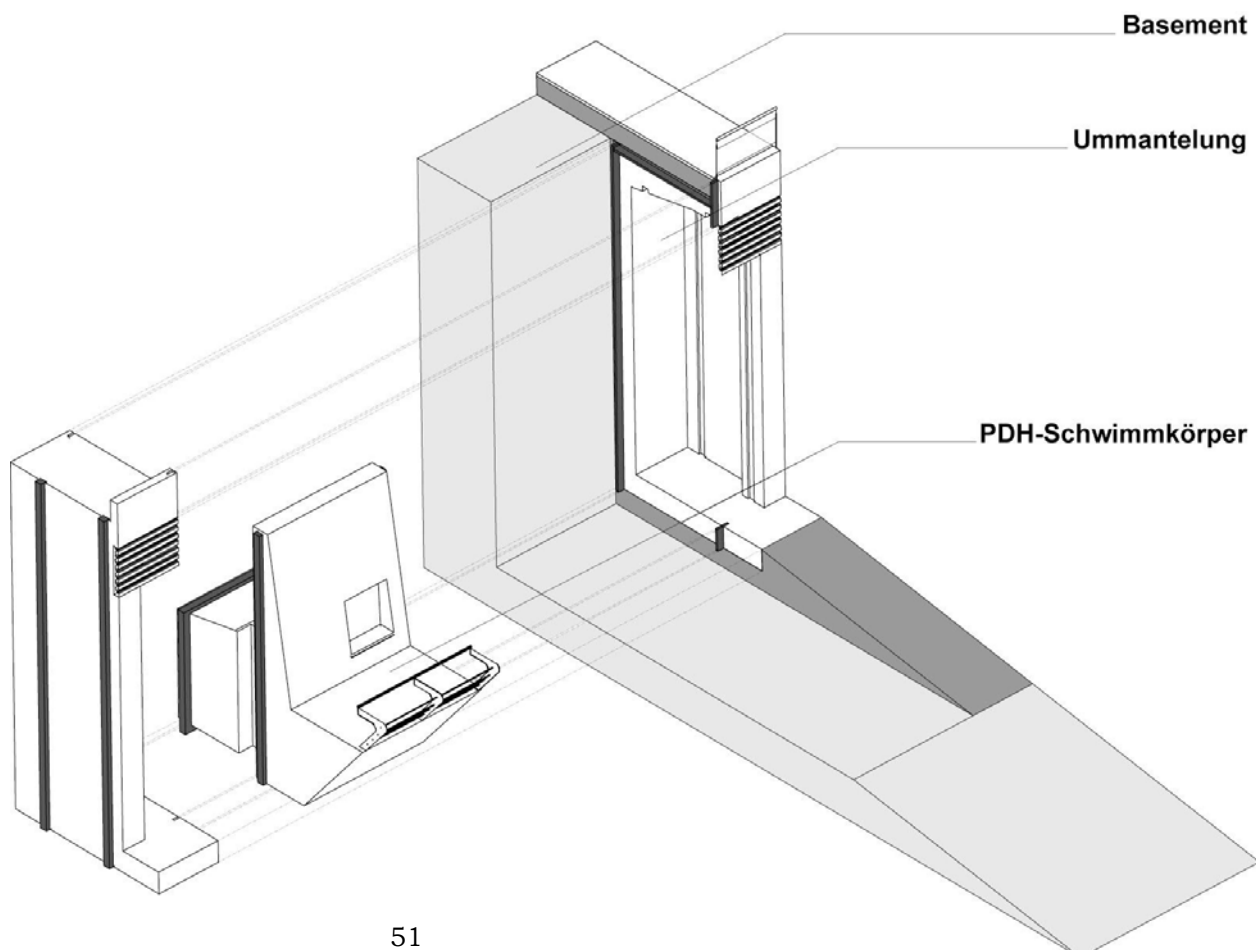


grund von thermischen Schwankungen werden ebenso durch Abdichtungshohlprofile ausgeglichen, welche zwischen den Modulen angebracht sind.

Schwimmkörper des Moduls

V.2.3

Der Schwimmkörper des Moduls kann sich innerhalb der umfassenden Ummantlung schwebend und reibungslos auf und ab bewegen. Er ist als Hohlkörper konzipiert und passt sich bei Hochwasser durch die Auftriebskraft des Wassers synchron an den aktuellen Wasserpegel an. Zur Erhöhung der Stabilität ist sein Inneres mit Rippen ausgesteift. Für die Dauer des Hochwassers wird der Körper in der ausgefahrenen Position automatisch arretiert. Auf diese Weise fungiert er als dynamisches Verschlusselement des Systems. Die Oberkante OK des Schwimmkörper-Schwertes erreicht im vollständig ausgefahrenen Zustand den Vollschutz



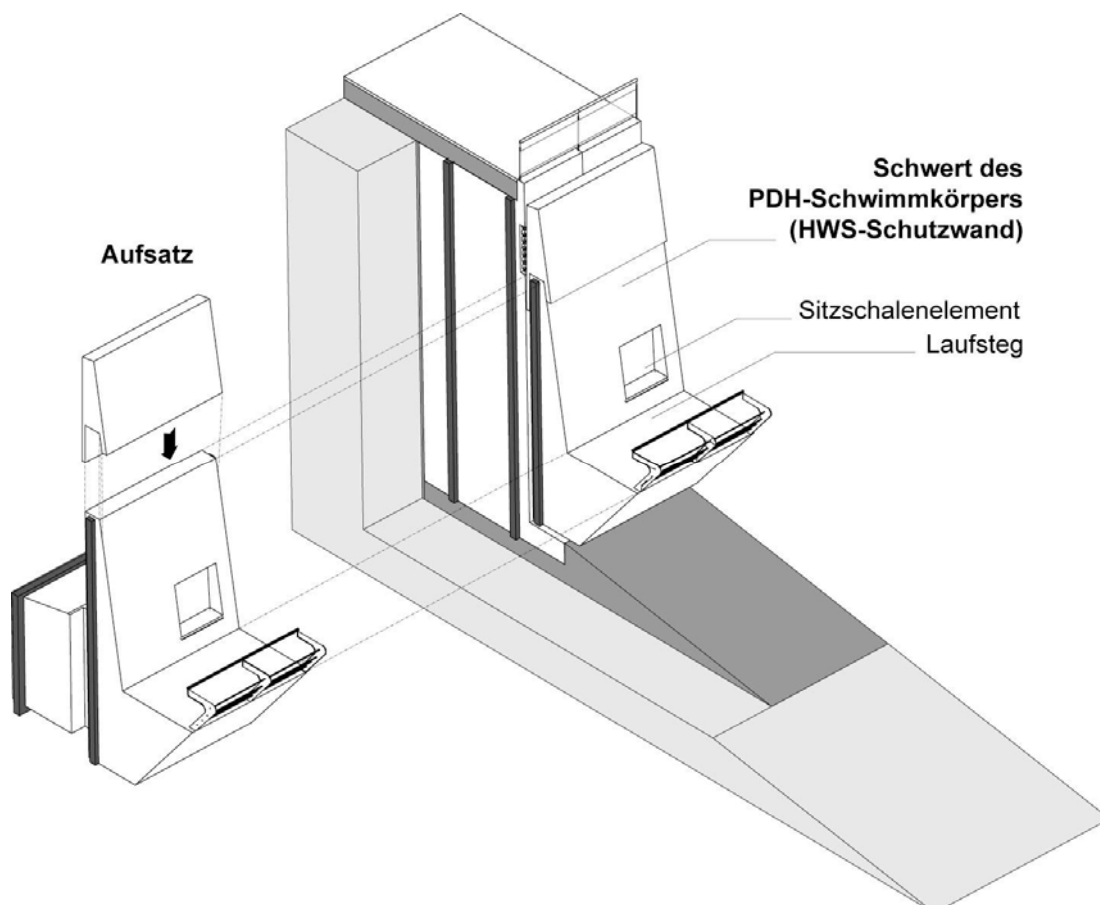
für z.B. ein 100-jährliches Hochwasserereignis HQ_{100} plus den Klimaänderungs-Faktor von 15 %.

Beim Absinken des Pegels und automatisch gelöster Arretierung nimmt der Schwimmkörper durch die Abtriebskraft des Wassers wieder seine Ausgangsposition ein, wo er wiederum einrastet.

Die Höhe des Schwimmkörper-Schwertes wird, je nach Höhe der Kaimauer verschieden hoch ausgebildet. Somit ist das System für diverse Uferkantenhöhen kompatibel.

Sollte durch veränderte Umweltbedingungen nachträglich eine Systemerhöhung notwendig sein, so ist dies ohne großen Aufwand möglich. In dem Fall wird ein Aufsatz auf das Schwert des Körpers geschoben und mit einer Abschlussdichtung kraftschlüssig verschraubt.

Der Schwimmkörper ist begehbar und im Basisbereich als Laufsteg ausgebildet. Dieser bietet Spaziergängern die Möglichkeit, sich in unmittelbarer Nähe zum Wasser fortzubewegen.



Führungssystem des Schwimmkörpers

V.2.4

Die Herausforderung der Konstruktion liegt darin, die reibungslose Balance zwischen dem Schwimmkörper und seiner umfassenden Ummantelung zu ermöglichen.

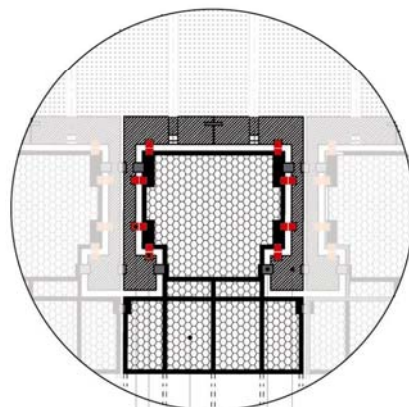
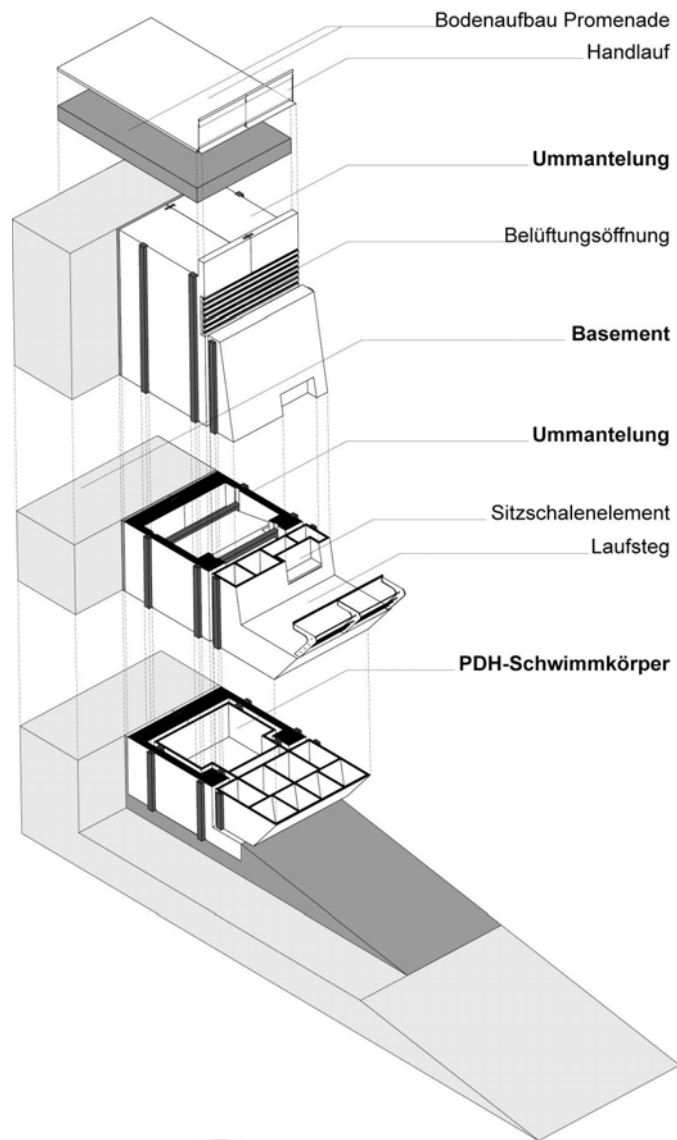
Diese Aufgabe lokalisiert sich in dem Führungssystem des Schwimmkörpers. Für seine Ausbildung wurde bewusst auf konventionelle Räder, Zahnräder und Kugellager verzichtet, um Haftungs- und Reibungskräfte gering zu halten und Verschleiß zu minimieren. Das Führungssystem nutzt stattdessen die physikalischen Kräfte des Elektromagnetismus. Der Schwebezustand des Schwimmkörpers innerhalb seiner Ummantelung wird durch die Anordnung von paarweise angeordneten elektromagnetischen Führungsschienen bewirkt. Insgesamt acht Schienenpaare sind sowohl an den Seiten des dynamischen Schwimm-Elements, als auch an den Seiten des Stahlbeton-Mantels jeweils einander gegenüberliegend angebracht. Die gleichpoligen Magnete stoßen sich gegenseitig ab und halten den Schwimmkörper so in der Spur. Ein elektronischer Regler stellt sicher, dass der Abstand zwischen Schwimmkörper und Stahlbeton-Mantel stets 10 mm beträgt.

Fahreinrichtung zur Wartung des Systems

V.2.5

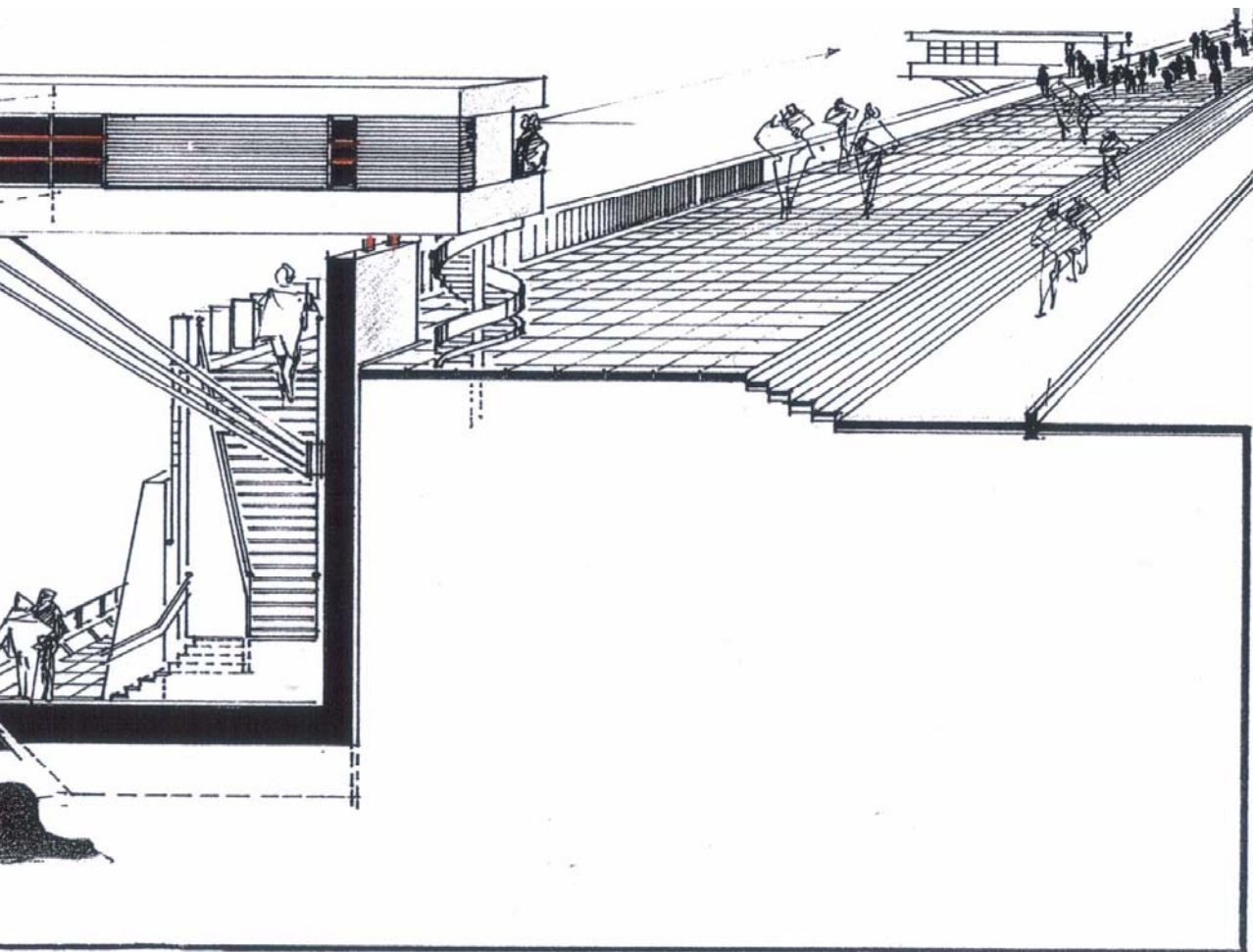
Zusätzlich zur wasserkraftbasierten Schwebetechnologie ist das PDH-System mit einem zweiten Hebemechanismus ausgestattet. Zum Hochfahren des Schwimmkörpers für Reparaturen und Wartung kommt dieser zum Tragen.

Die Fahreinrichtung funktioniert nach dem gleichen Prinzip wie das Antriebssystem einer elektromagnetischen Schwebbahn. Sie arbeitet mit intervallweise anziehenden und abstoßenden Kräften zwischen den am Schwimmkörper angebrachten Elektromagneten, die bei dieser Funktionsweise einzeln geregelt werden, und den elektromagnetischen Führungsschienen der Ummantelung, die in dem Fall als Tragelemente fungieren. Bei Aktivierung ziehen diese den Schwimmkörper nach oben bzw. nach unten.



Führungssystem
Schwimmkörper
Abdichtungen
Ummantlung





Materialität des Systems

V.3

Das Material stellt das verbindende Element zwischen den gedanklichen, virtuellen Formvorstellungen des Entwerfers und den konkreten Konstruktionszeichnungen und Plänen bis hin zum ausgeführten Bauwerk dar. Die Materialien sind nach ihren stofflich-technischen Eigenschaften entsprechend der Funktion und Konstruktion und unter Berücksichtigung ihres ästhetischen Charakters auszuwählen.

"In der Architektur können technische Korrektheit oder Rücksicht auf die statischen und konstruktiven Erfordernisse und die Anwendung der Baustoffe gemäß ihren spezifischen Eigenschaften eine unerschöpfliche Quelle der Form-Inspiration sein. Natürlich kann der Wert jeder technischen oder konstruktiven Eingebung immer richtungweisend im Sinne einer Inspiration sein, deshalb bleibt stets ein beträchtlicher Spielraum für die persönliche Sensibilität des Entwerfers" (Nervi 1963, 8).

Hierbei kann es aus statischen Gründen durchaus sinnvoll sein, bestimmte Materialsschwächen mit Hilfe der Technologie auszugleichen (Verbundmaterialien, Legierungen).

Die Nutzungsdauer von Bauwerken wird laut Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin je nach Bauwerksart, Konstruktion und Instandhaltungsaufwand im Allgemeinen mit 30 bis 100 Jahren angesetzt, in Ausnahmefällen bis zu 200 Jahren (Plank 1983, 1439).

Für das PDH-System wird eine Mindest-Nutzungsdauer von 100 Jahren angenommen.

Materialität des Basements

V.3.1

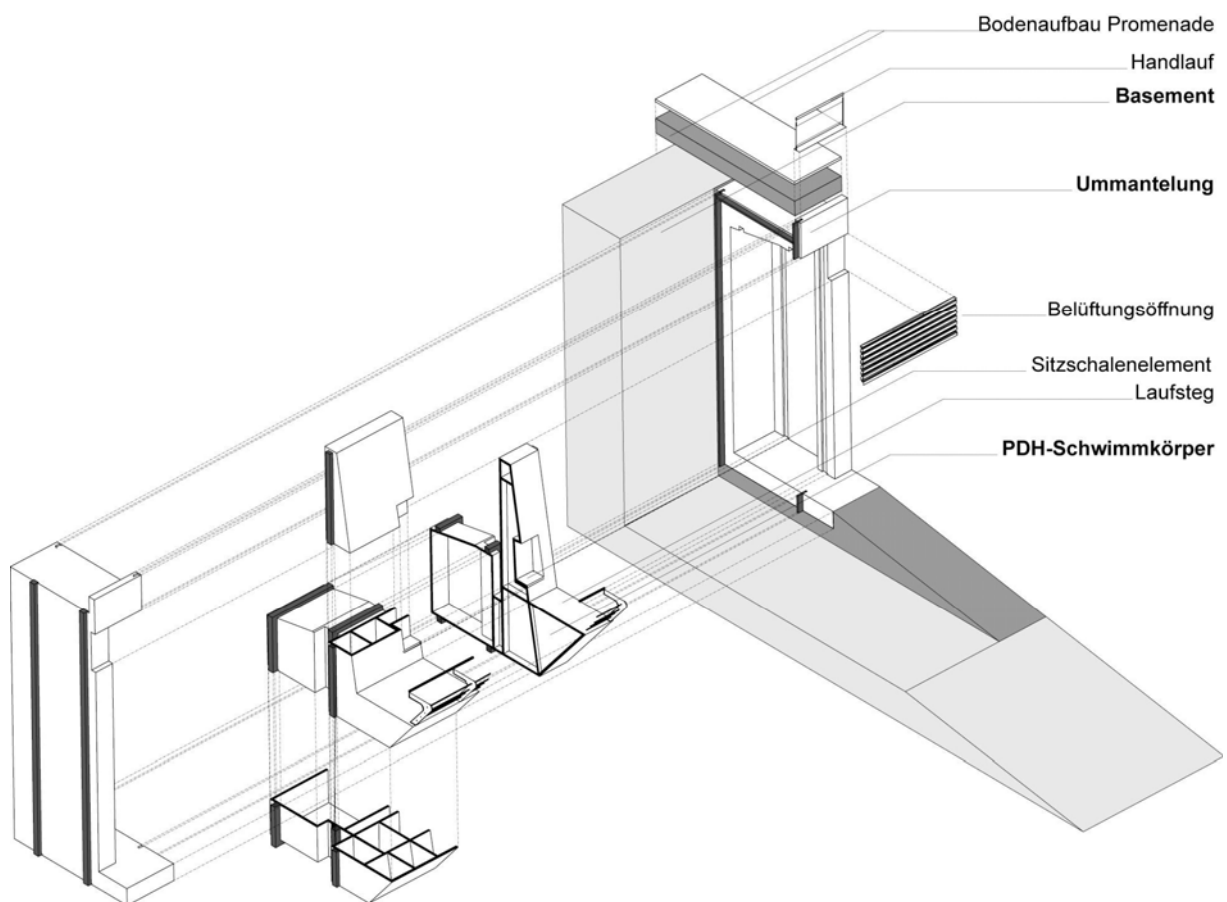
Die Ausführung des Basements erfolgt in Stahlbeton (nach Statik) mit vertikalen, horizontalen und diagonalen Pfahlverankerungen in den Uferbereich.

Materialität der Ummantelung

V.3.2

Für die Ummantelung, den Träger des Moduls, wird die Ausführung in ultrahochfestem Beton, UHPC (*Ultra High*

Performance Concrete), vorgeschlagen. Dieser sehr gefügedichte Beton verfügt über äußerst hohe Druck- und Biegezugfestigkeiten (Knöfel 2007, 355). Die Tragfähigkeit des Elements wird dadurch stark erhöht, was eine Reduktion der Konstruktionsquerschnitte und des Gewichts ermöglicht. Dies erweist sich beim Transport der Bauteile vom Werk zum Montage-Ort als vorteilhaft.



55

V.3.3

Der Schwimmkörper, das Verschlusselement des Moduls, ist aus Aluminiumlegierung hergestellt. Sein Eigengewicht reduziert sich auf diese Weise und seine Schwimmfähigkeit erhöht sich.

Die gute Eignung des Materials auch in aggressiven Gewässern – wie z.B. Brackwasser oder mit Chemikalien kontaminiertes Wasser – hat sich bereits im Schiffbau gezeigt:

Materialität des Schwimmkörpers

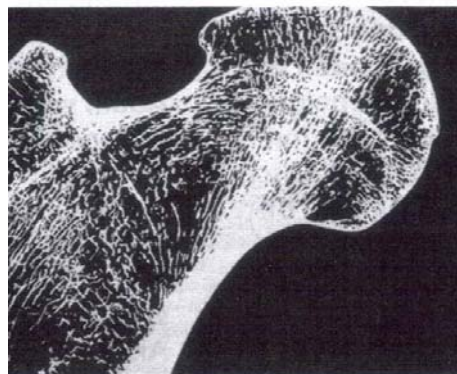
"Der Einsatz von Aluminium im Schiffbau setzte [...] um 1922 ein. [...] [Es] wurde nach Möglichkeiten gesucht, um durch den so genannten „Stoffleichtbau“ die Masse der Einbauten zu verringern und einen möglichst großen Anteil des Displacements [Wasserverdrängung eines Schiffes] für den Antrieb, die Bewaffnung und die Panzerung verwenden zu können. [...] Um 1930 entwickelte das britische Unternehmen „Birmingham Aluminium Casting Co.“ patentierte seewasserbeständige Alu-Legierungen und gründete in Southampton die Versuchswerft „Birmal Boats“ zur Erprobung dieser Legierung. Bis 1938 wurden auf dieser Bootswerft [...] Kleinfahrzeuge gebaut, die sich gut bewährten. Mit der Einführung kombinierter Niet- und Schweißkonstruktionen setzte sich die Leichtmetall-Bauweise für schnelle Sport[boote], leichte Fahrgastschiffe und schnelle leichte Kriegsschiffe allgemein durch“ (Dudszus; Köpcke 1995, Anhang A 33).

Alternativer Baustoff für den Schwimmkörper

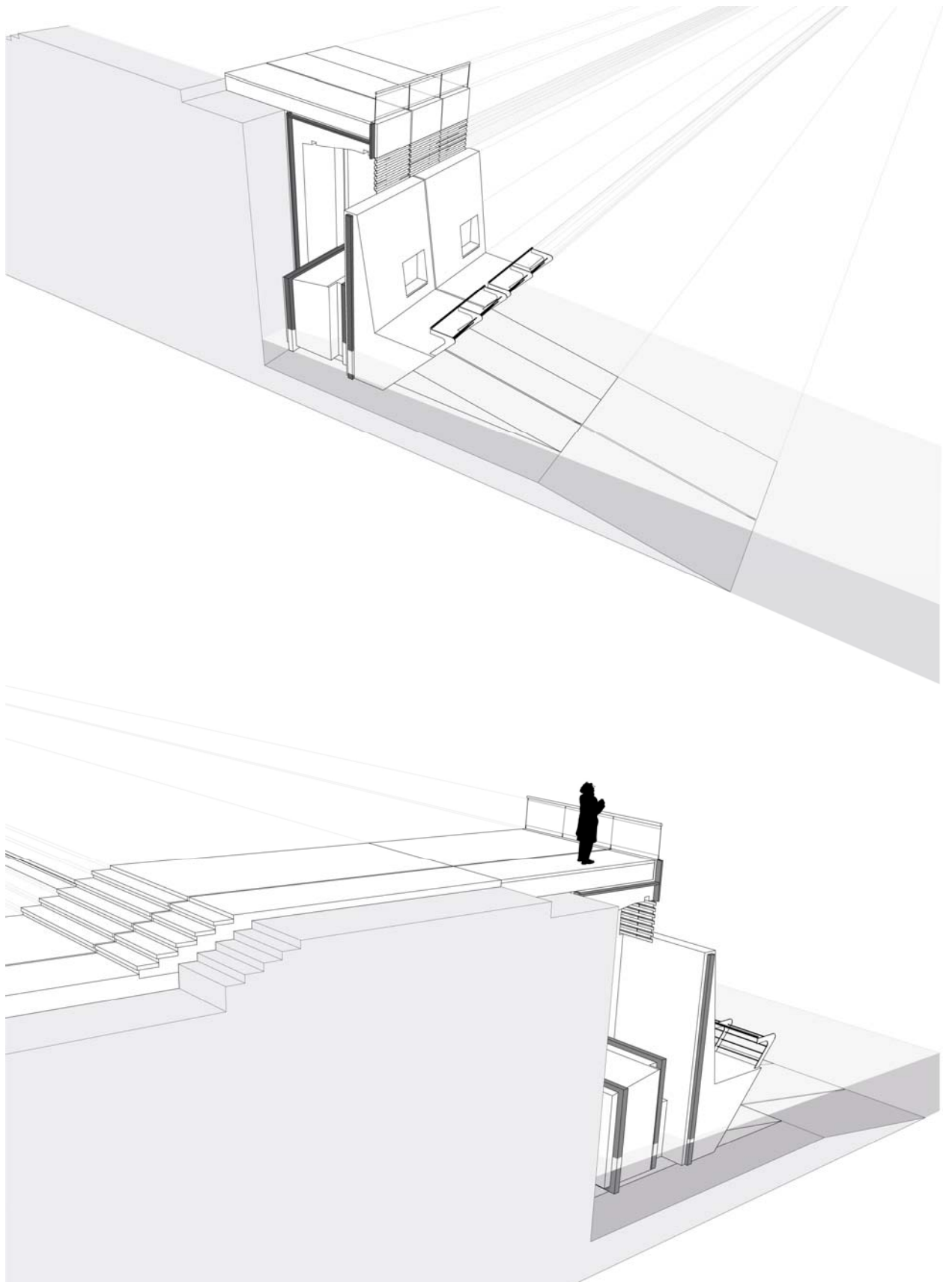
V.3.4

Alternativ zu der Ausführung in Aluminiumlegierung wird für den Schwimmkörper ein spezieller Beton-Verbundstoff vorgeschlagen, der aus einer Verbindung vom o.g. UHPC mit Siliziumgranulat (Mikrohohlkugeln aus Blähglas) besteht und infolgedessen ein geringes Eigengewicht aufweist. Dieser Verbundbaustoff ist aufgrund seiner Leichtigkeit aber dennoch hoher Tragfähigkeit hier sehr gut einsetzbar.

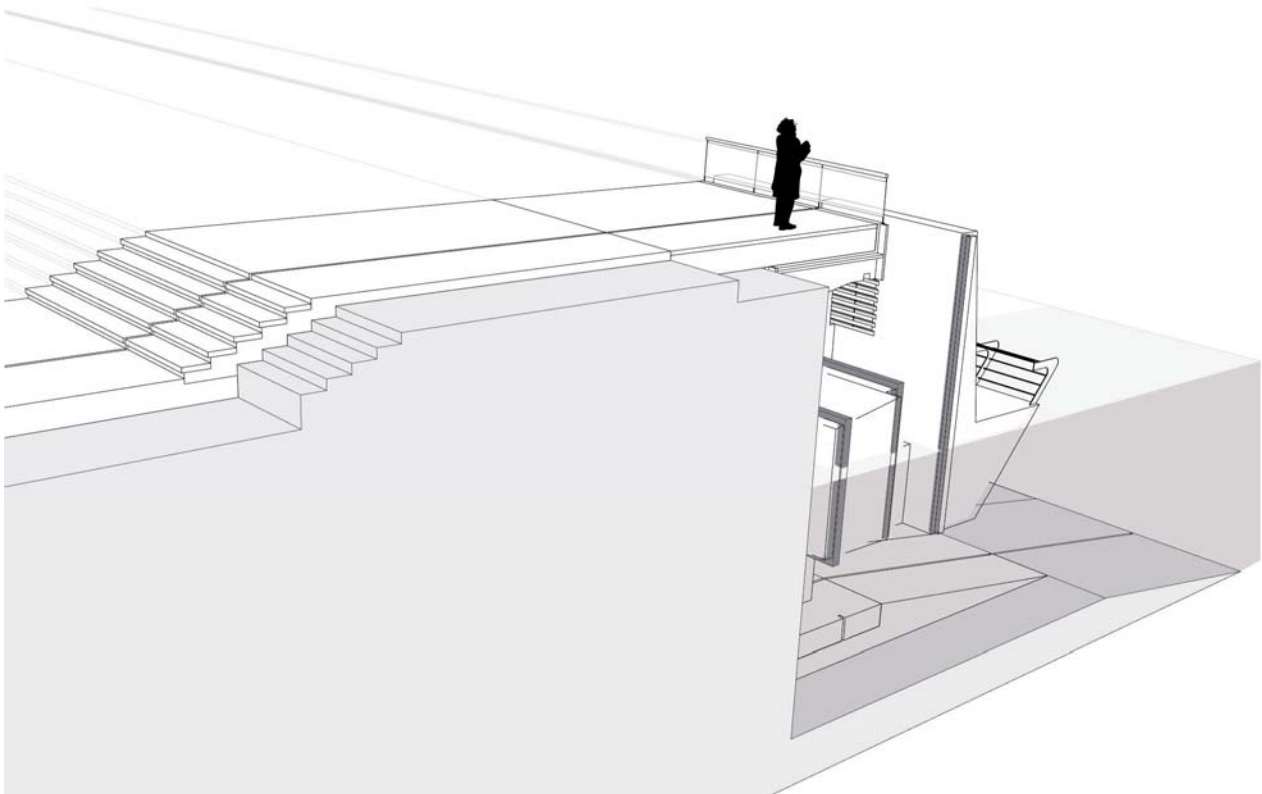
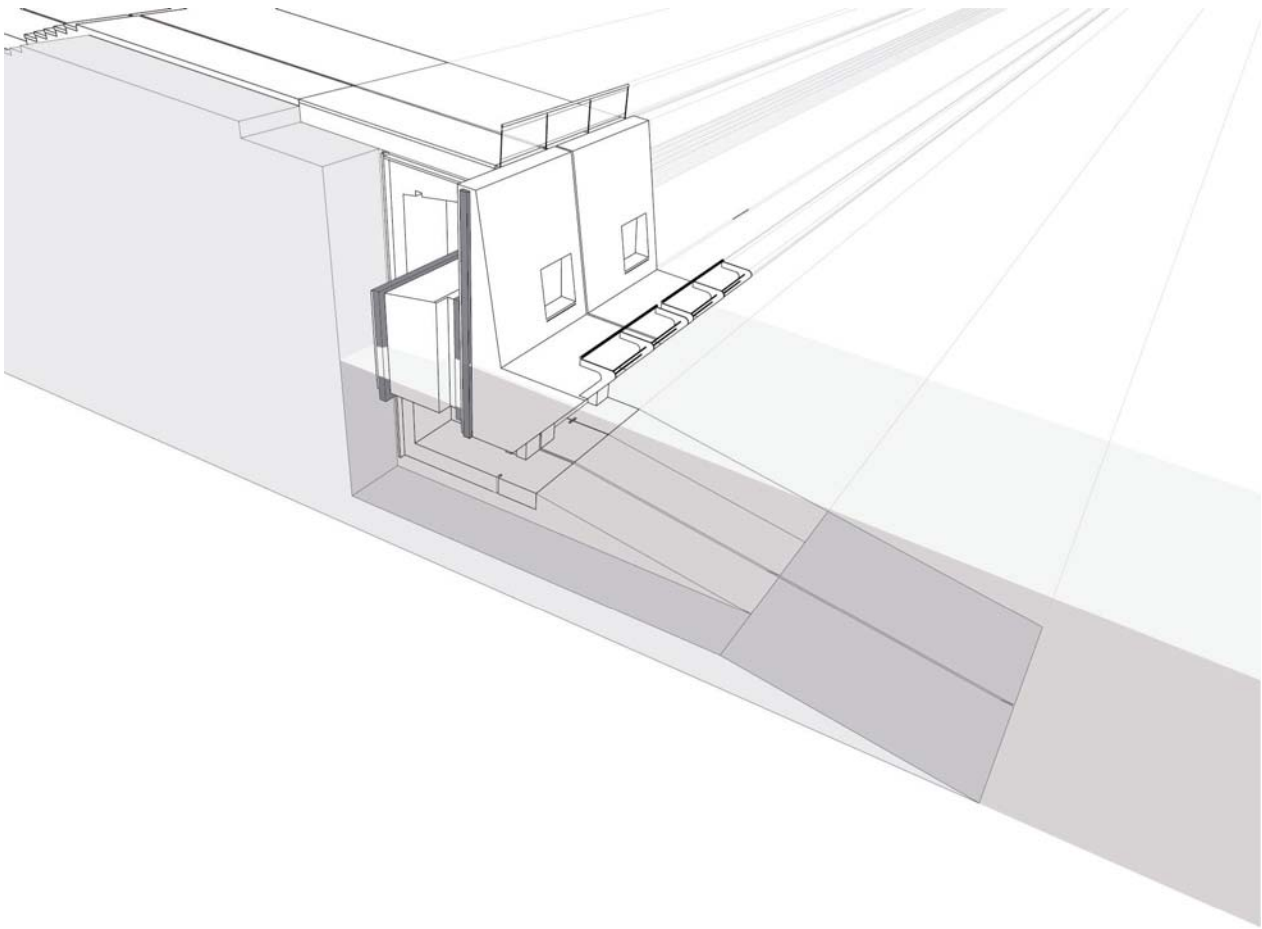
Der Hohlraum des Körpers wird mit extrudiertem Polyurethanschaum modelliert, welcher nach der Betonierung als verlorene Schalung im Schwimmkörper verbleibt (beton 2007, 342-345).



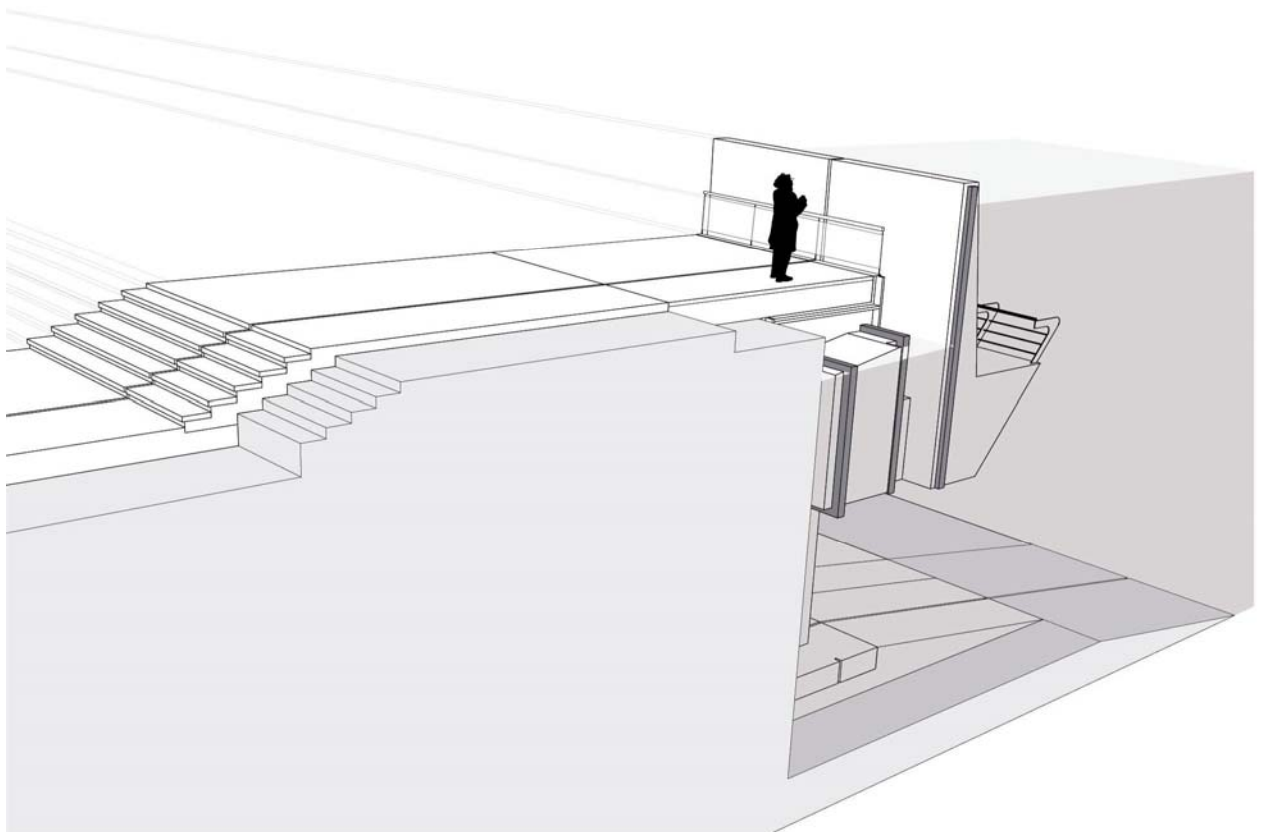
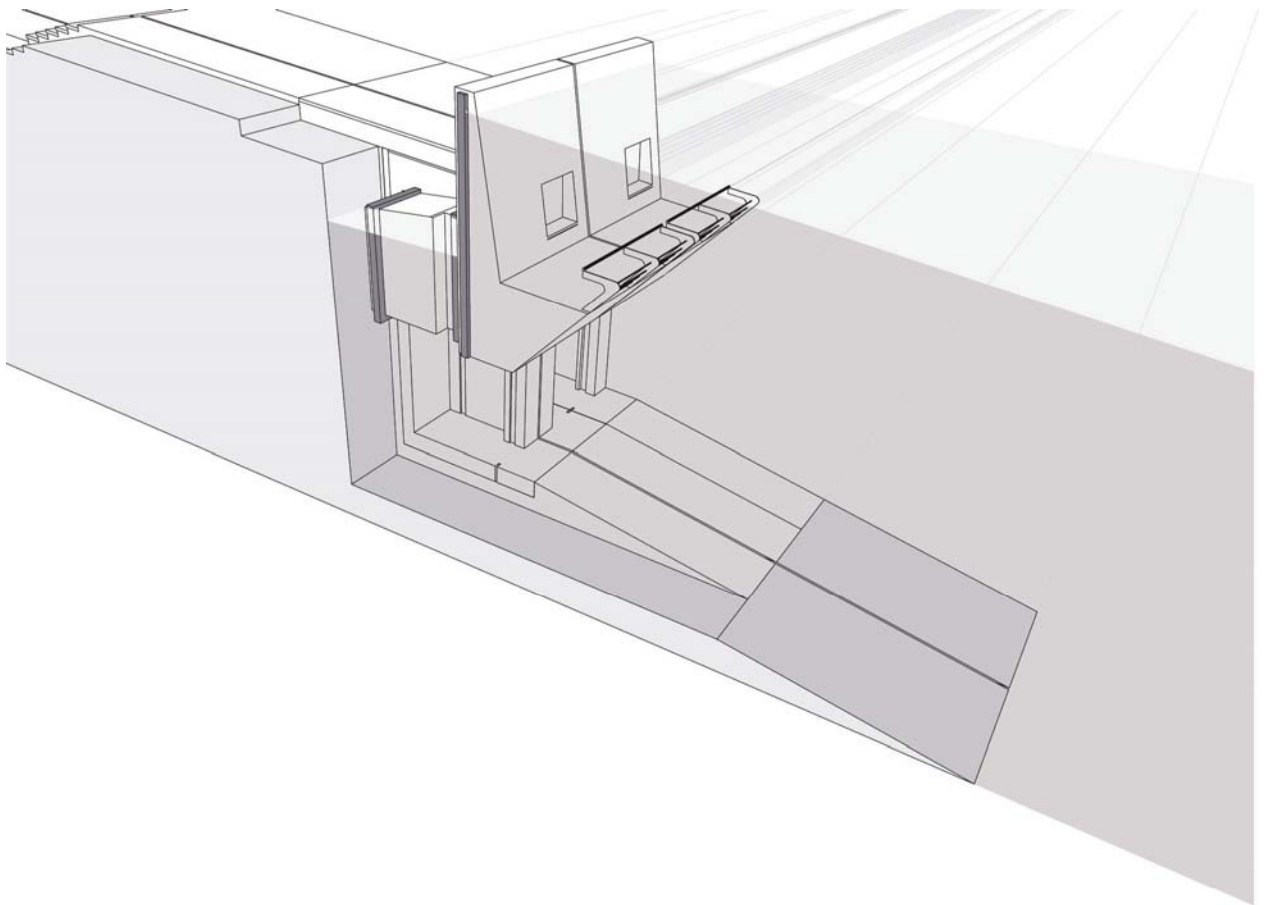
56 und 57 Knochenstruktur analog zu Beton-Verbundstruktur



58 PDH-System bei normalem Wasserstand

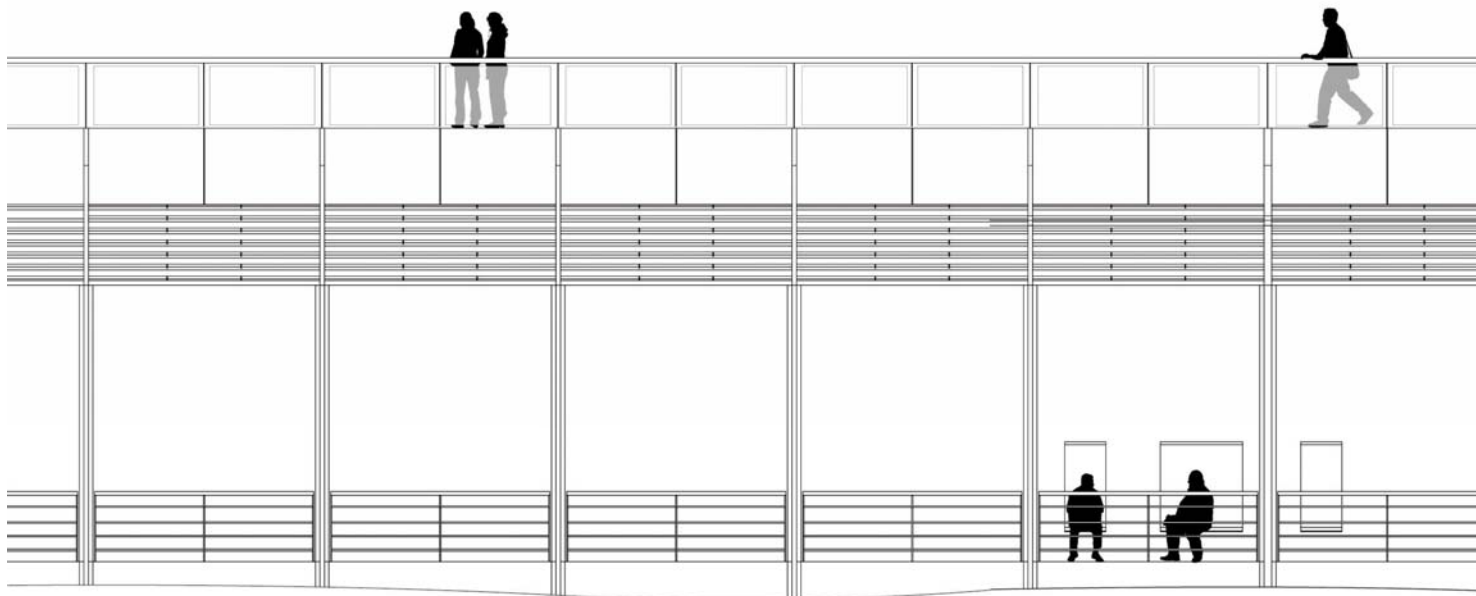


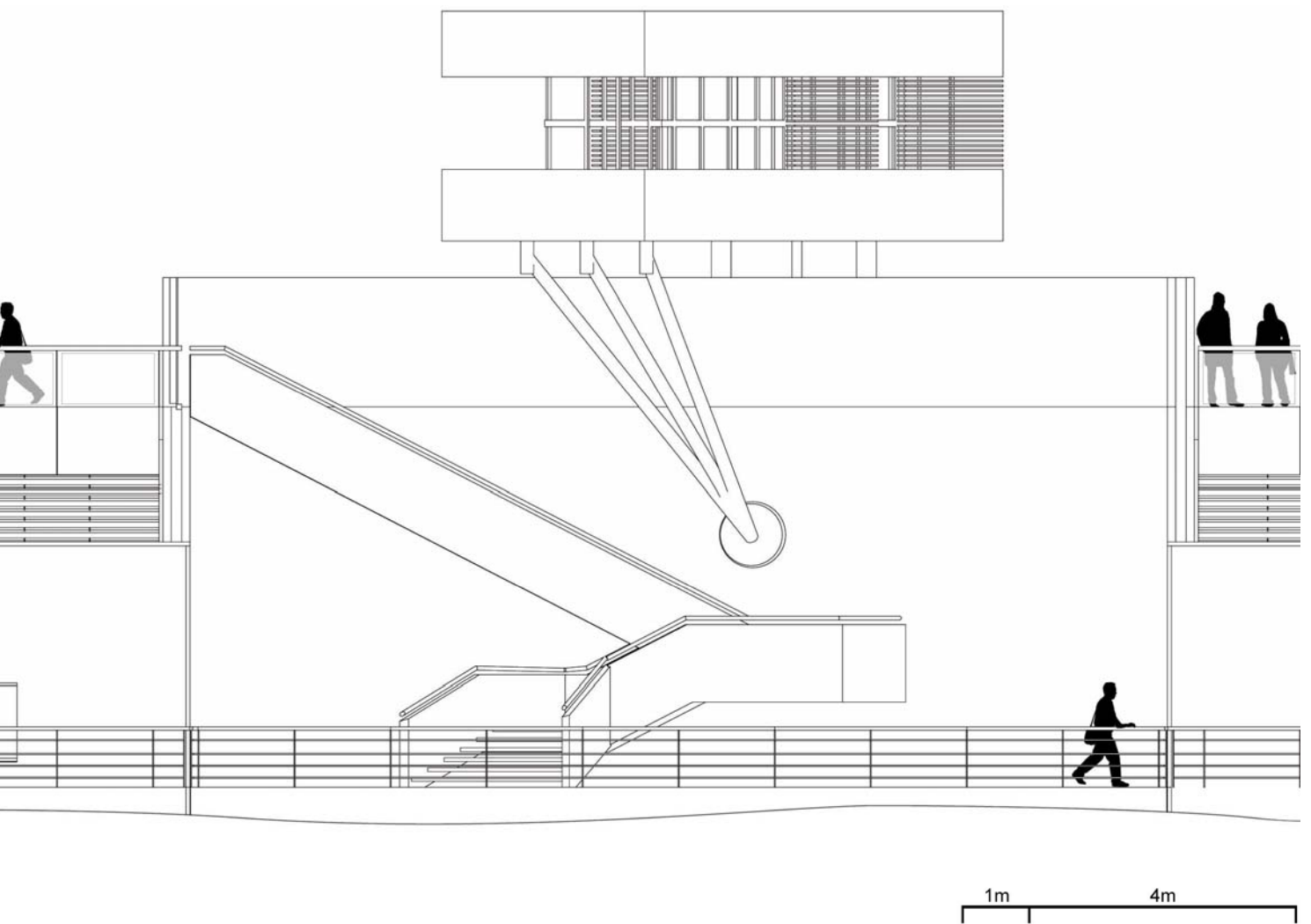
59 PDH-System bei mittlerem Hochwasser



60 PDH-System bei Hochwasser

61 Ansicht PDH-System von Wasserseite M. 1:100

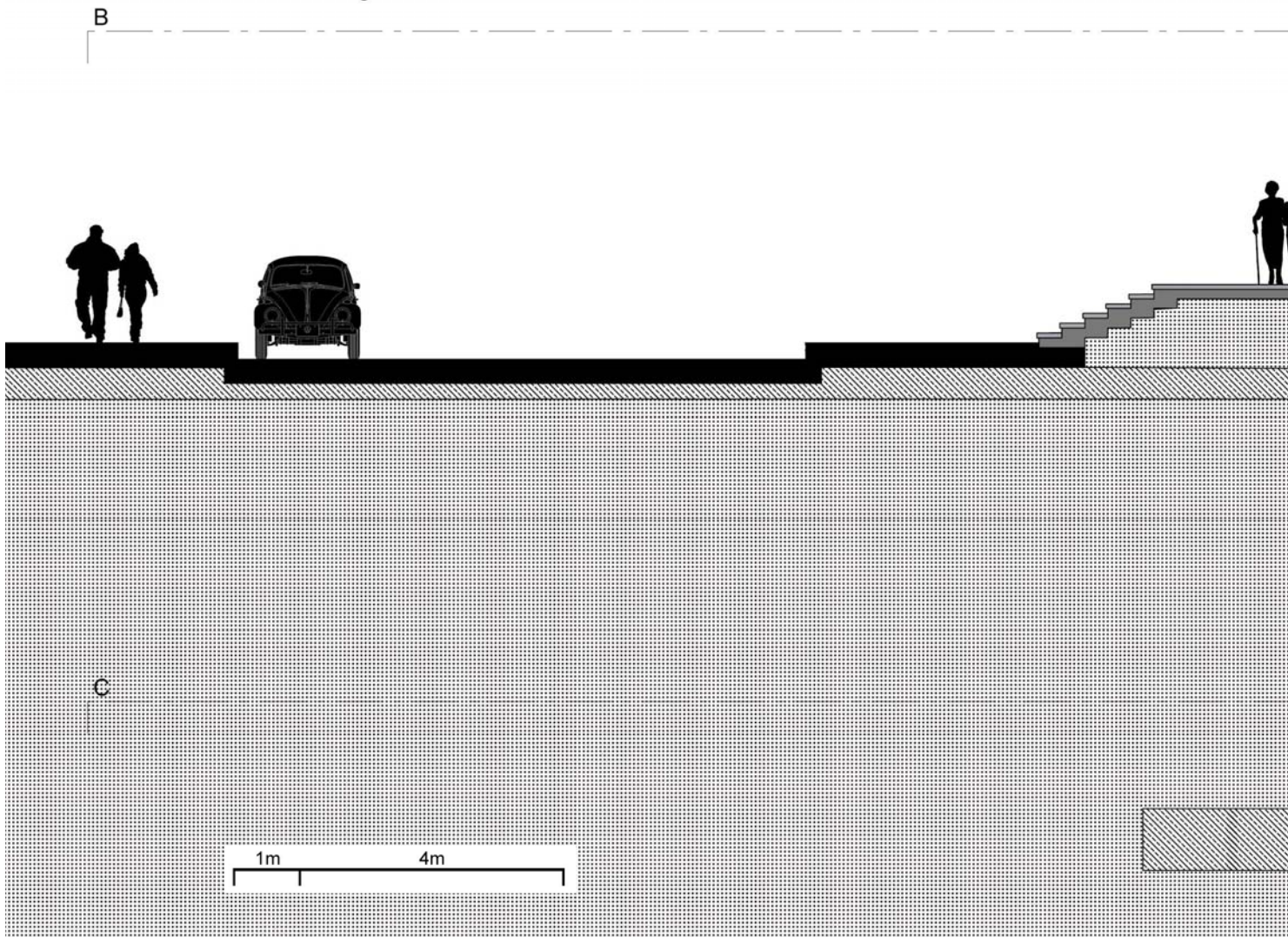


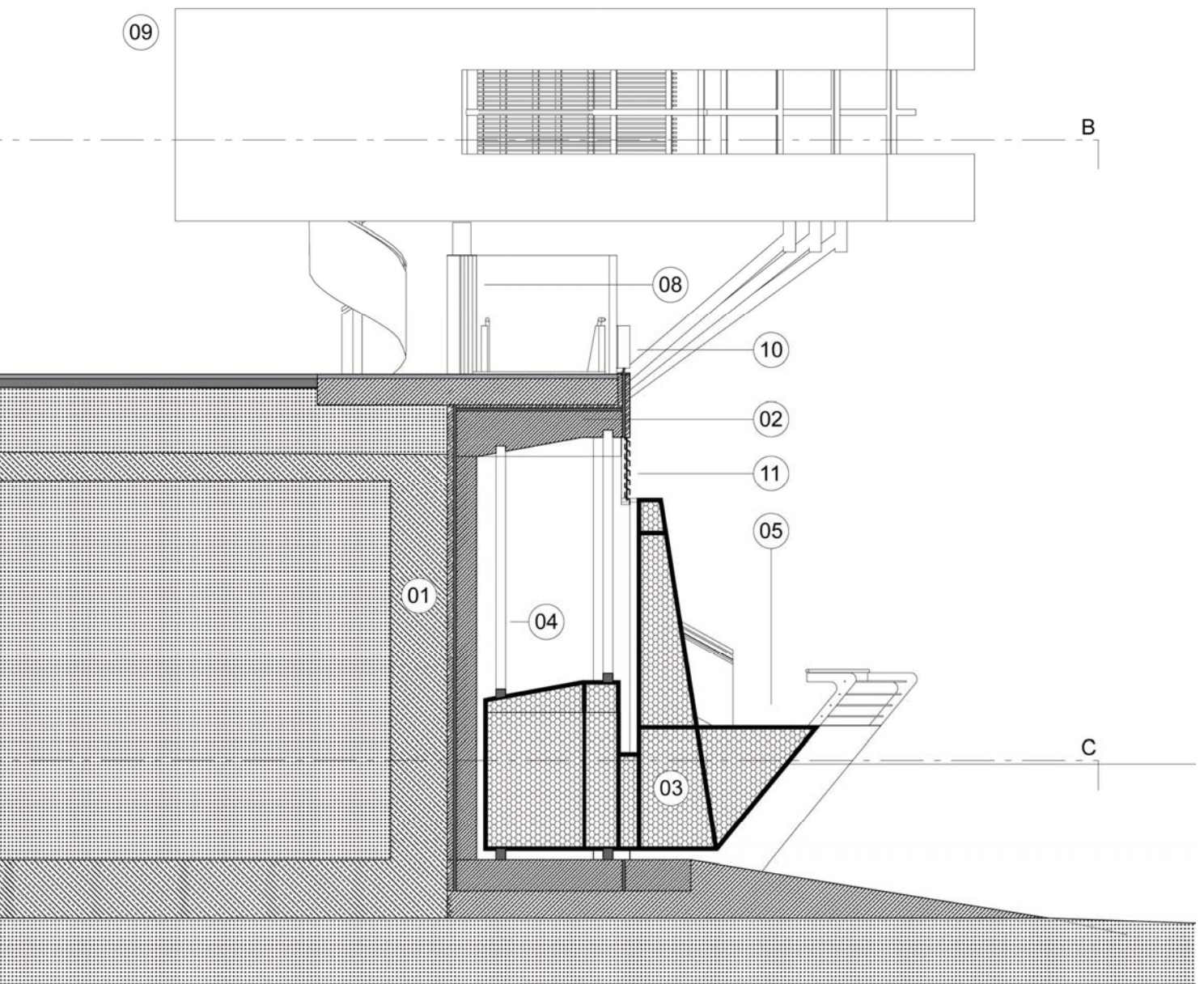


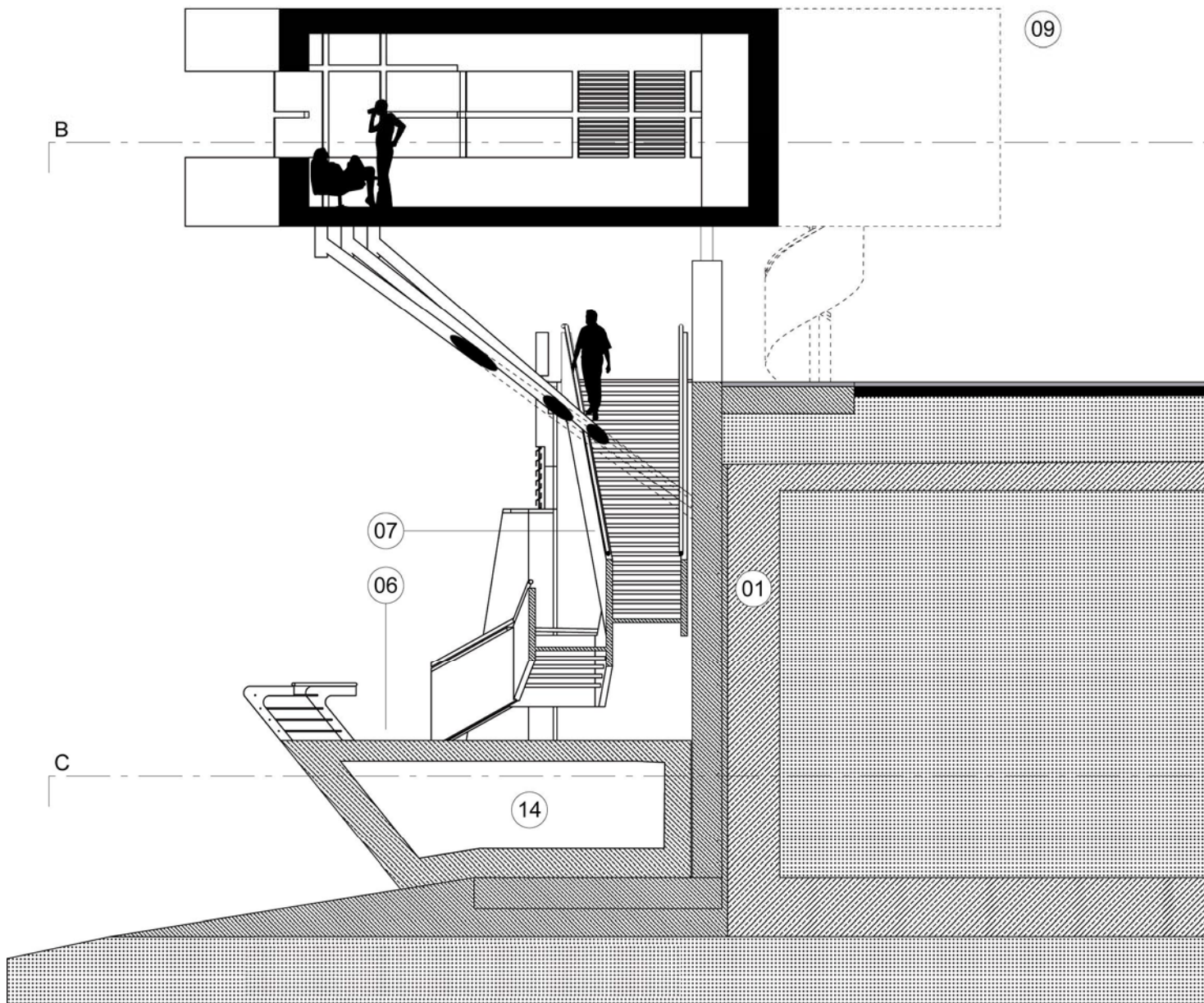
62

Querschnitt D-D M. 1:100

- 01. Basement
- 02. Ummantelung
- 03. PDH-Schwimmkörper
- 04. elektromagnetische Führungsschienen
- 05. Laufsteg am Wasser
- 08. Hochwasserschutztor
- 09. Pavillon
- 10. Brüstungselement
- 11. Belüftungslamellen



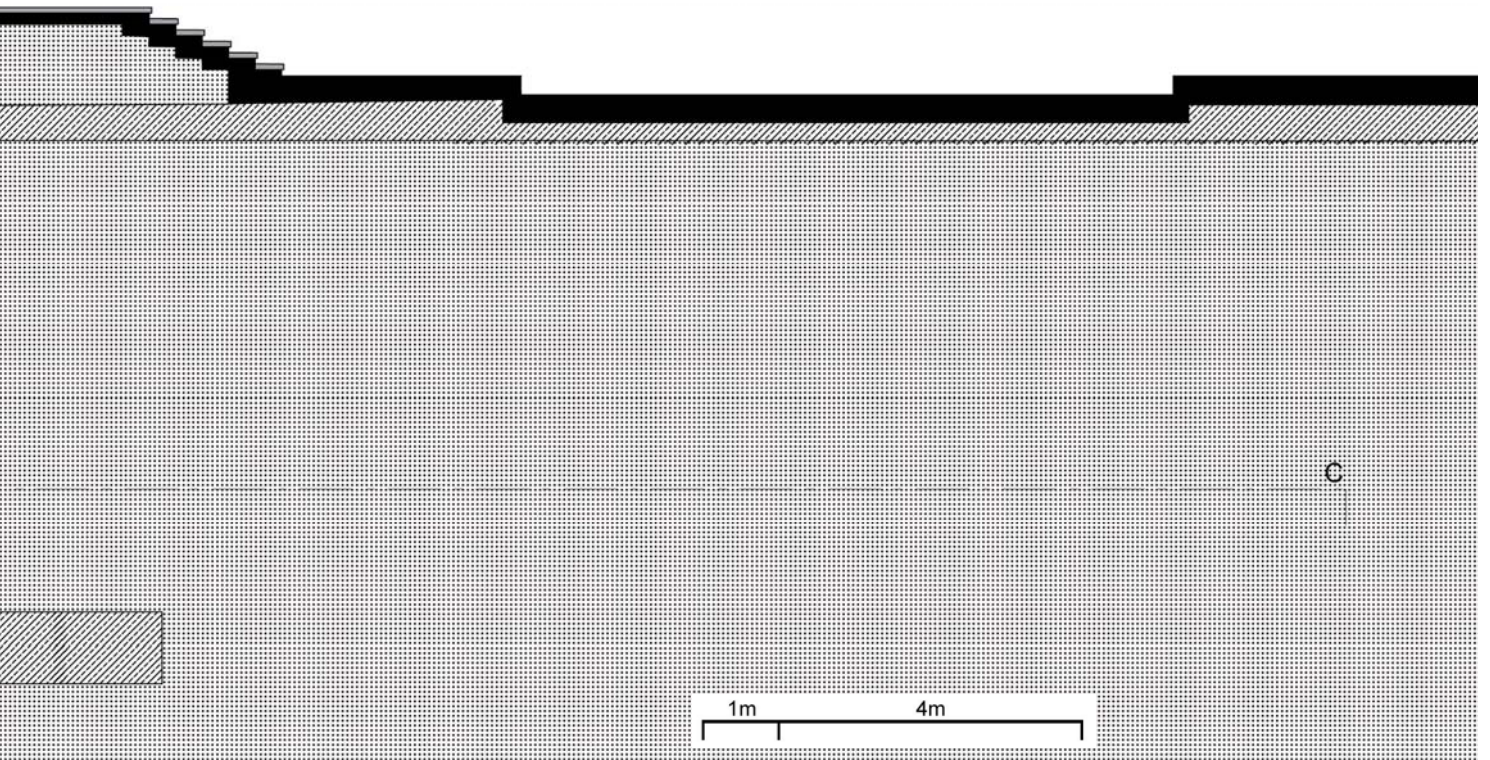




63 Querschnitt E-E M. 1:100

- 01. Basement
- 06. maritimer Platz
- 07. mäandrierende Treppe
- 09. Pavillon
- 14. Stahlbetonhohlkörper

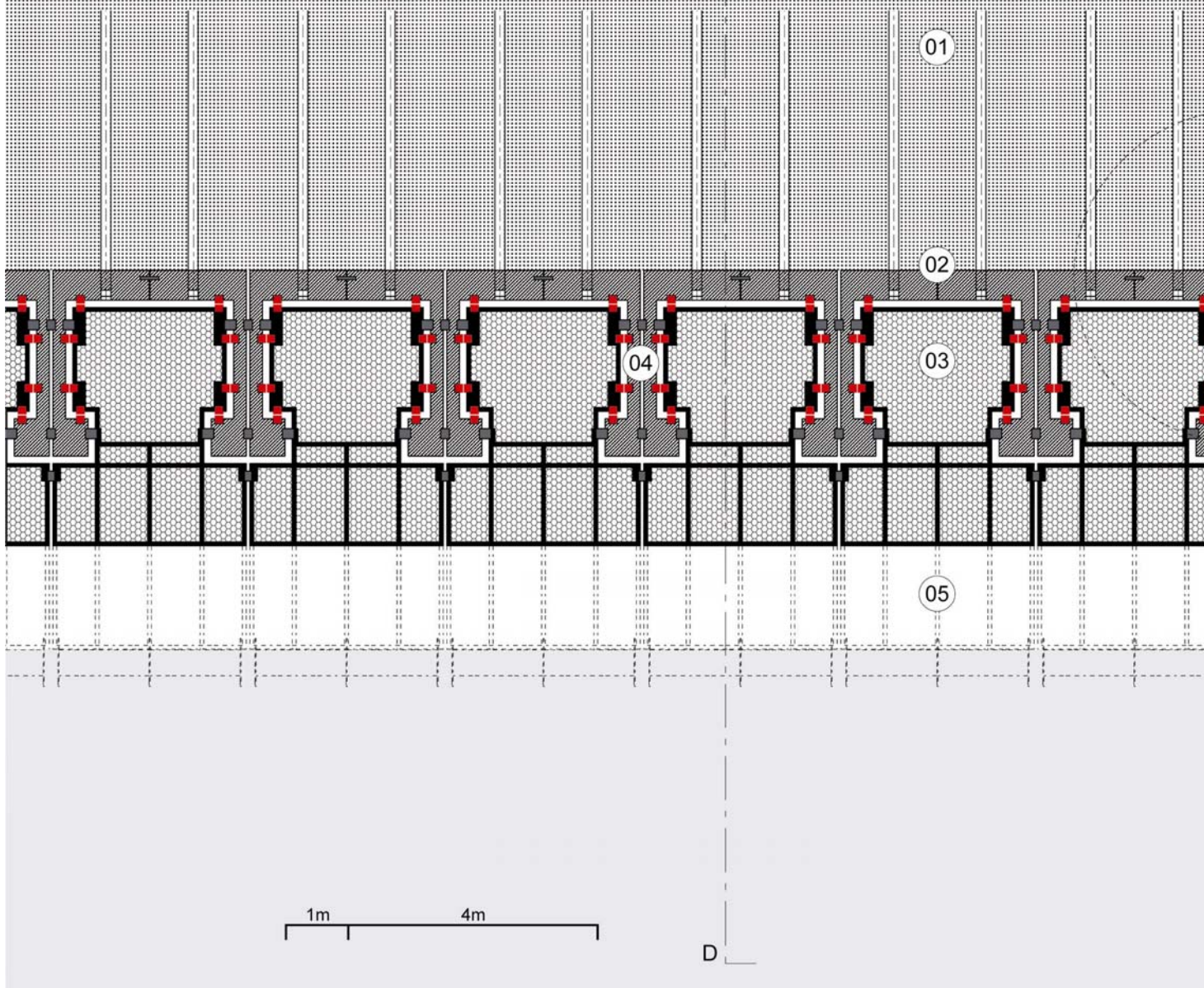
B

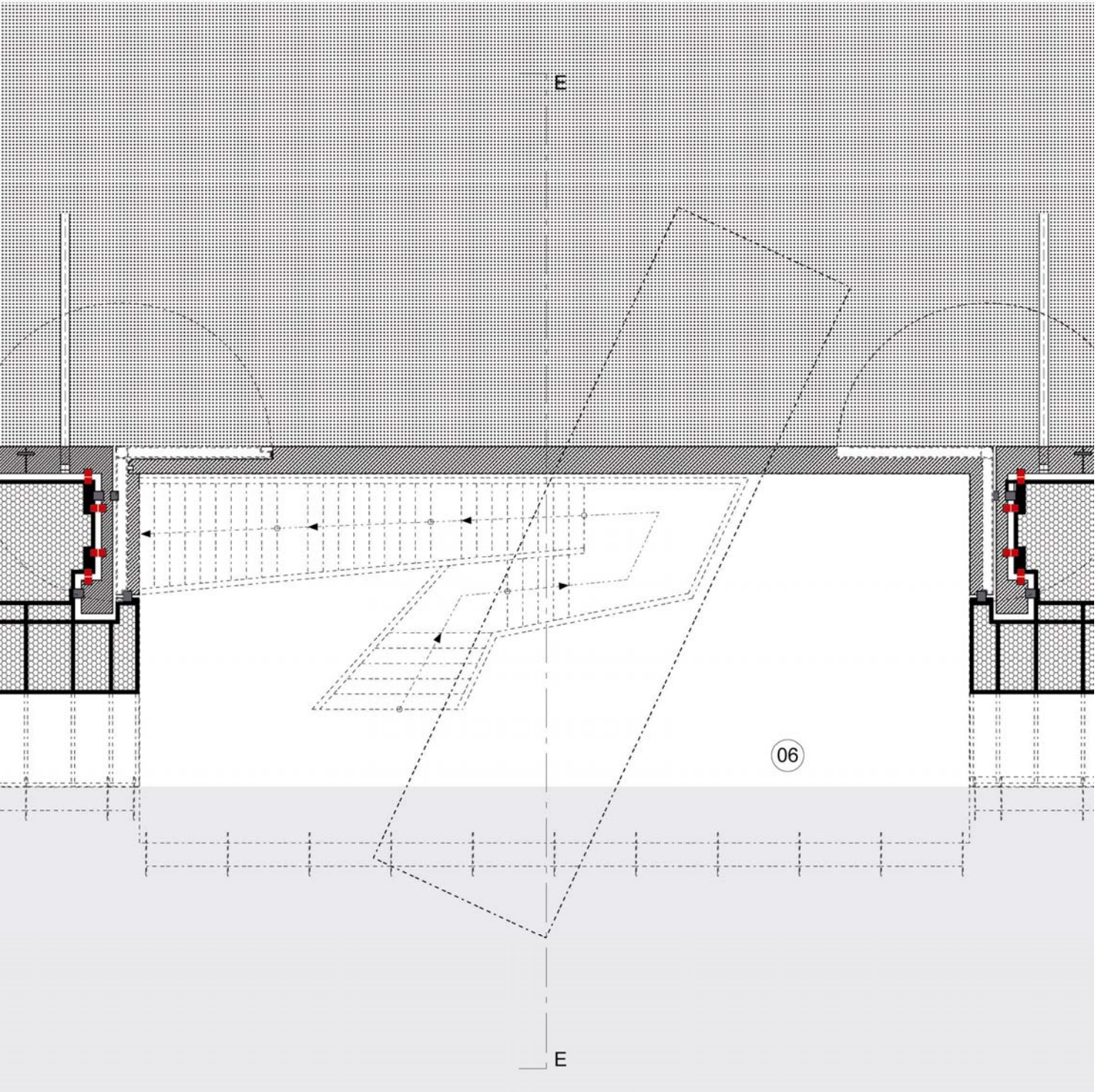


64

Grundriss C-C M. 1:100

- 01 Basement
- 02 Ummantelung
- 03 PDH-Schwimmkörper
- 04 elektromagnetische Führungsschienen
- 05 Laufsteg am Wasser

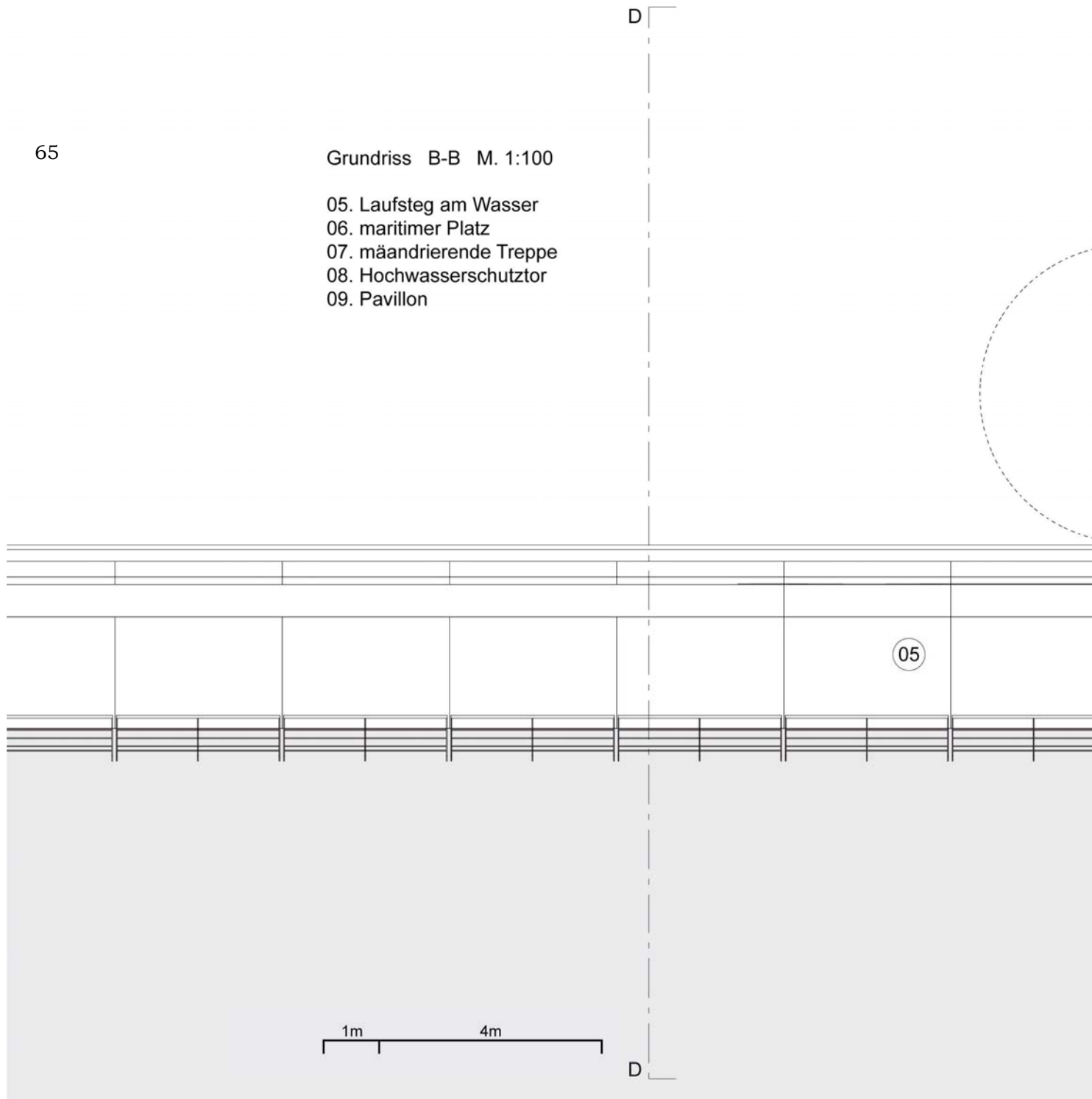


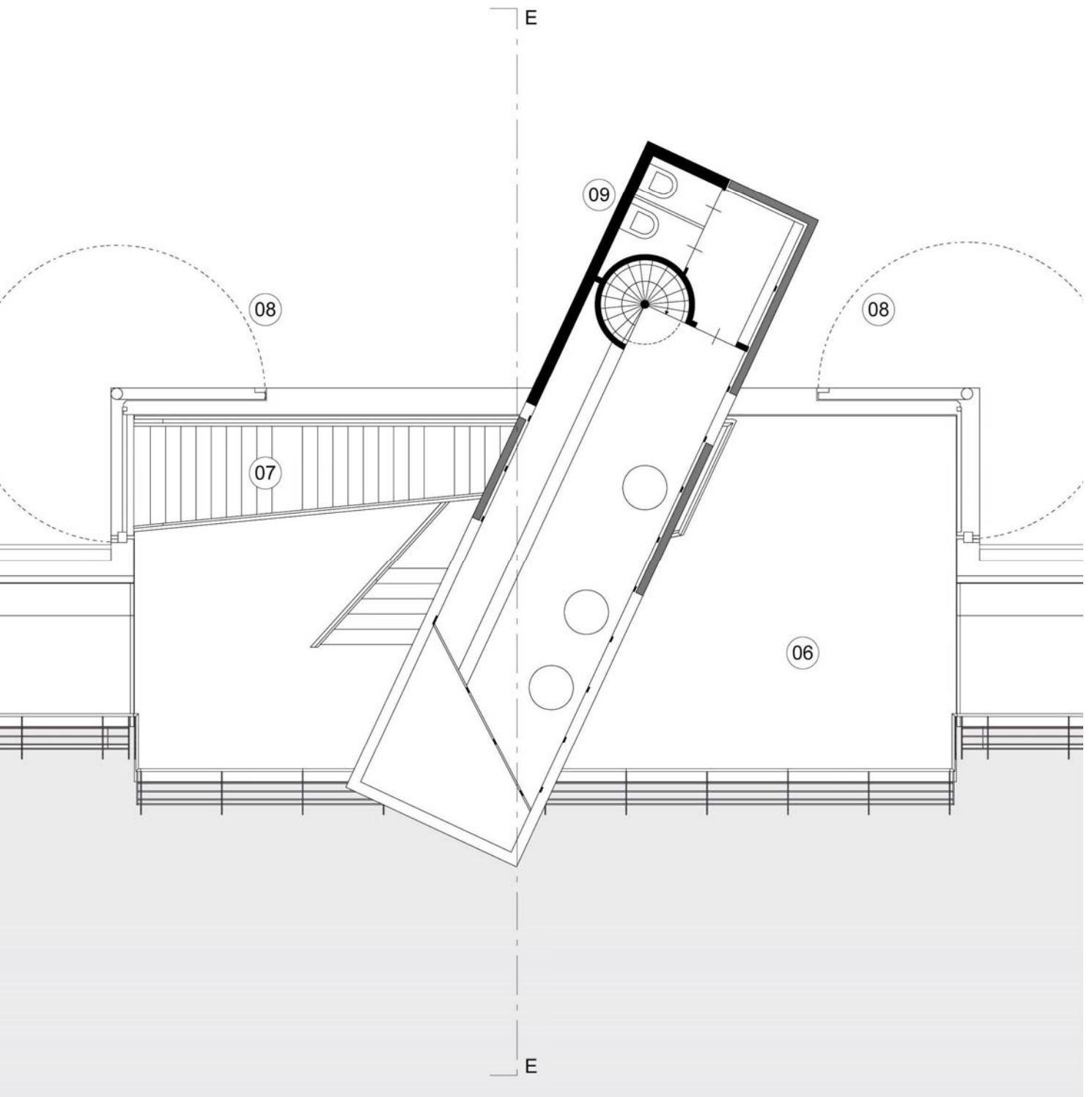


65

Grundriss B-B M. 1:100

- 05. Laufsteg am Wasser
- 06. maritimer Platz
- 07. mäandrierende Treppe
- 08. Hochwasserschutztor
- 09. Pavillon





66

Aufsicht M. 1:100

- 05. Laufsteg am Wasser
- 06. maritimer Platz
- 07. mäandrierende Treppe
- 08. Hochwasserschutztor
- 09. Pavillon

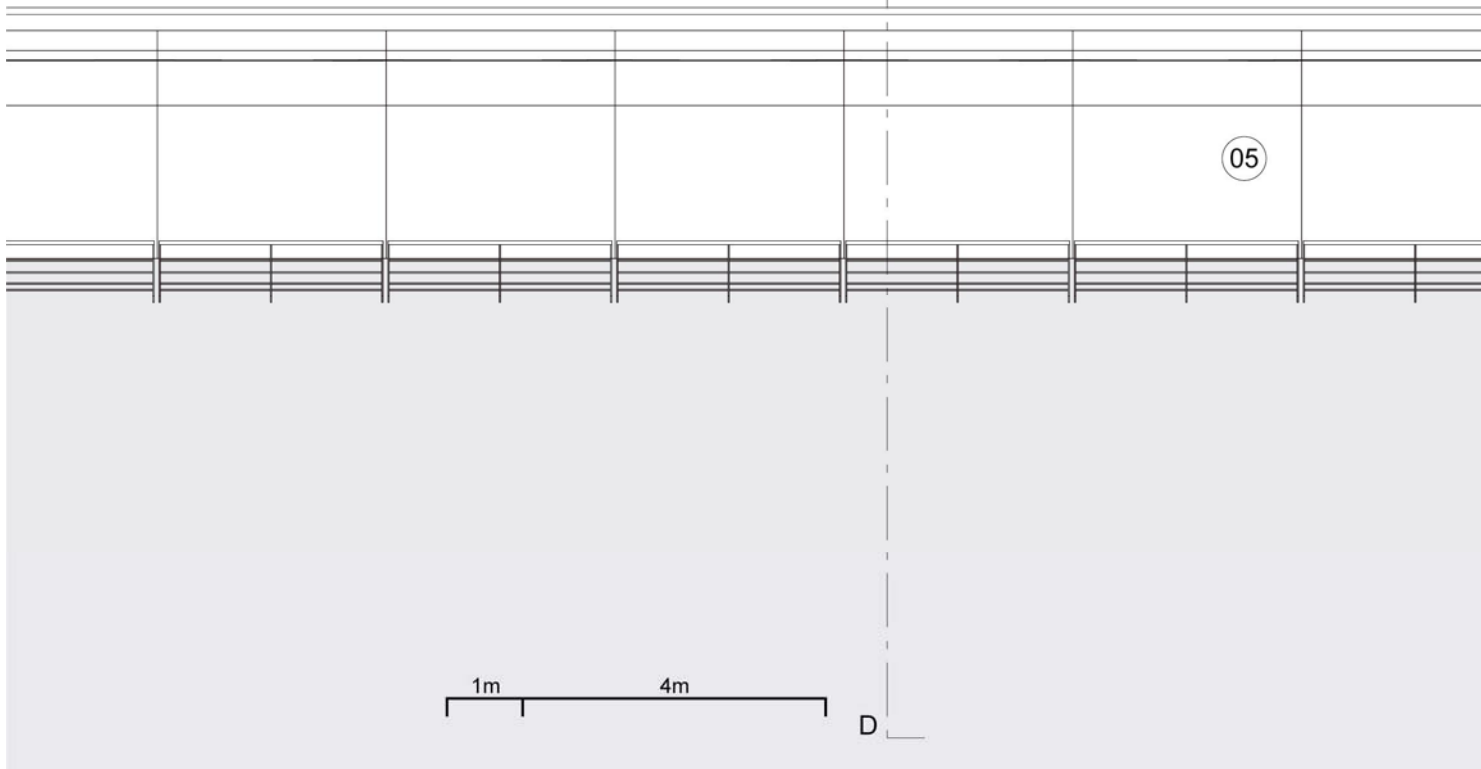
D

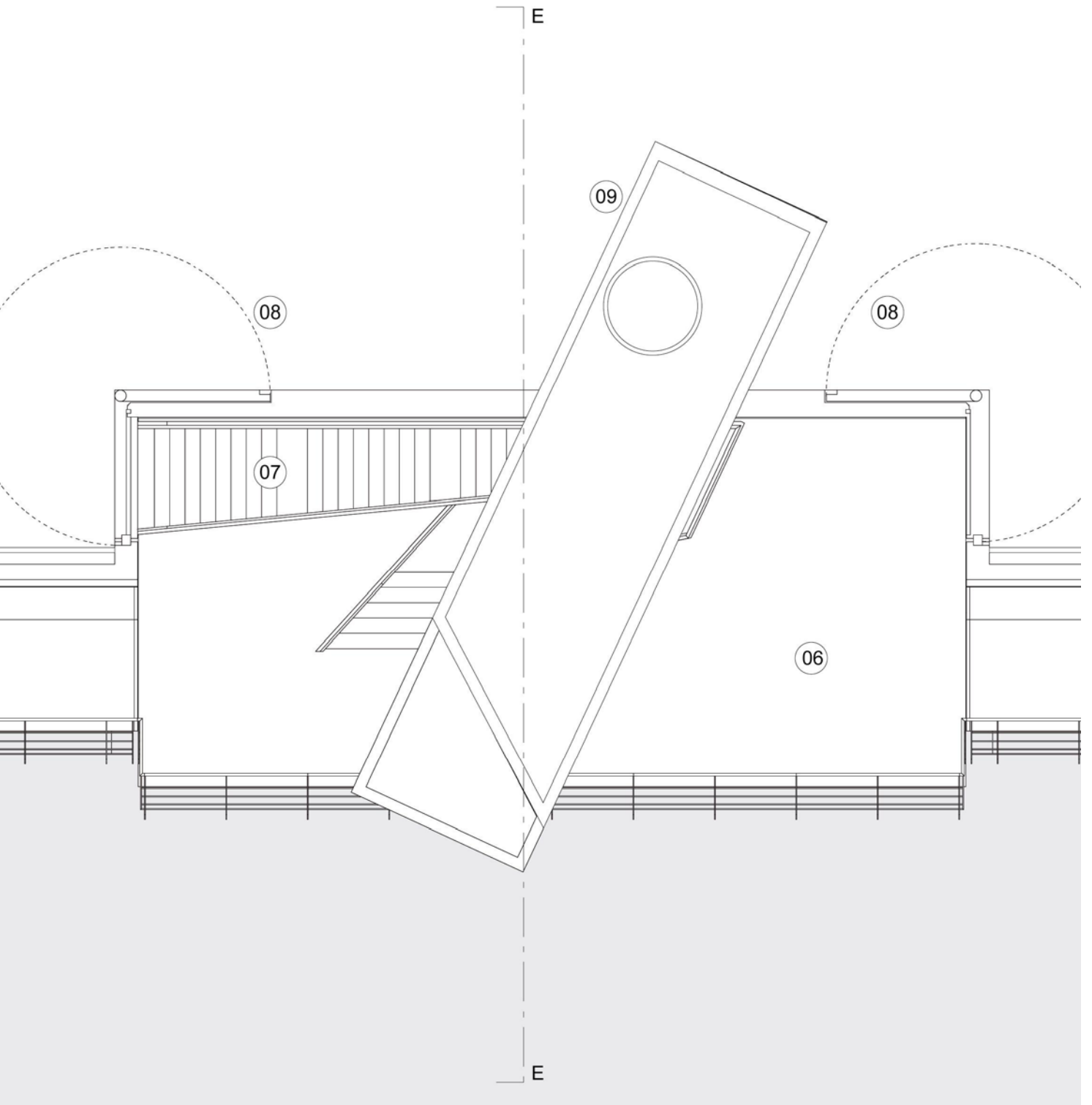
D

05

1m

4m





Autonomie der Form

V.4

„Ohne Form kein Kunstwerk.
Da sie Gattung sui generis ist,
könnte man auch tautologisch definieren,
der Inhalt der Architektur
sei nichts als eben Architektur.“

Wilhelm Kücker, 1990, 123

„Die Durchbildung der Form
ist der Prüfstein für den Architekten.“

Le Corbusier, 1922, 24

Alle Dinge des Lebens – in Natur, Kunst und Technik – haben eine Gestalt. Sie haben eine Form oder äußere Erscheinung, welche uns sagt, was sie sind und wie sie sich voneinander unterscheiden.

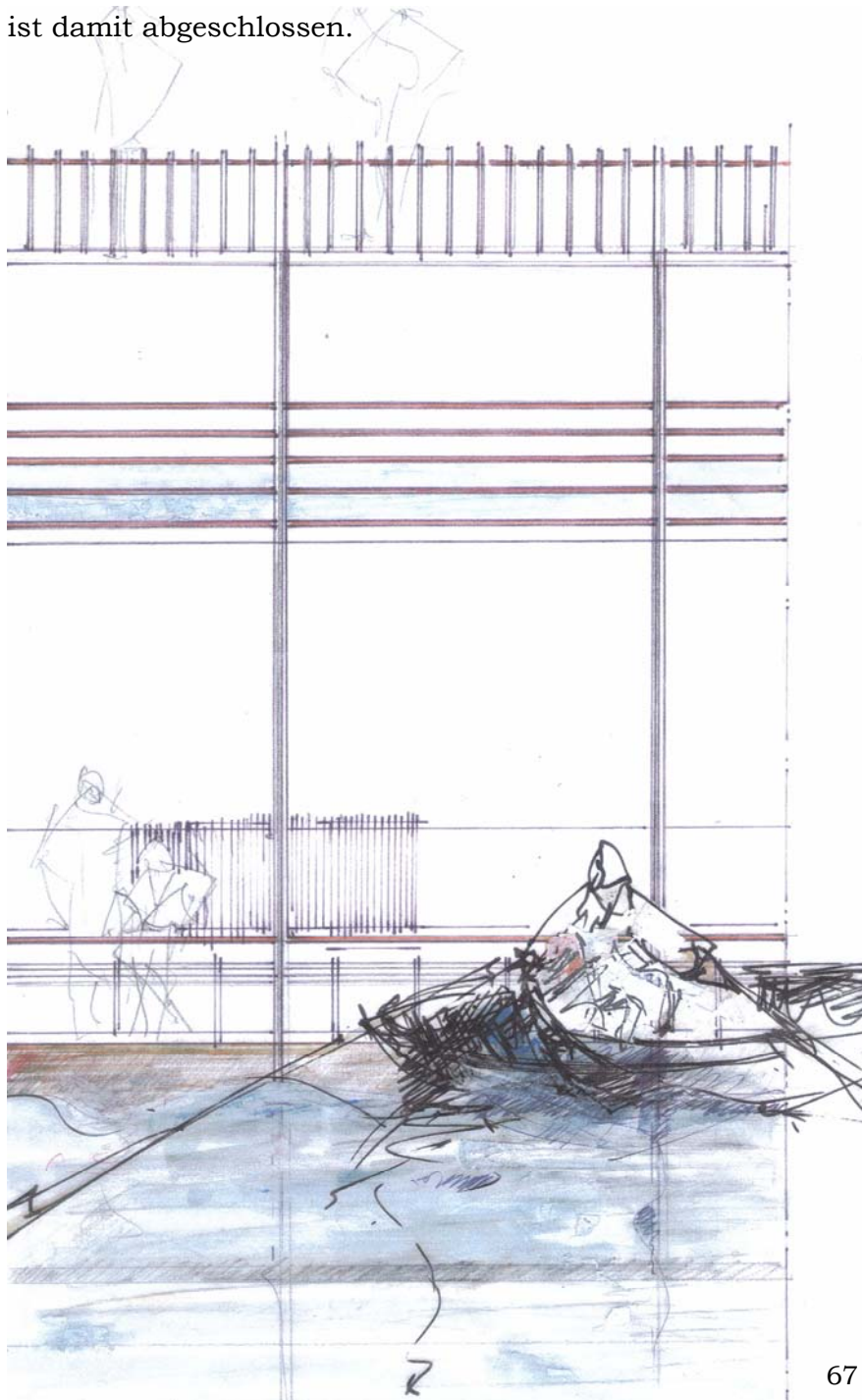
So unbestritten die Funktionalität des PDH-Systems als Hochwasserschutzsystem zunächst Priorität hat, so wenig bewahrheitet sich an ihm die These „form follows function“, wonach sich aus der Funktion unmittelbar die Form herleiten ließe. Kaum ein Hochwasserschutzsystem gleicht dem anderen, trotz der identischen Funktion, dem Wasser eine Barriere entgegenzusetzen.

Von Gerkan definiert das Verhältnis von Form und Funktion treffend als innere Wechselwirkung, in welchem „die Form eben nicht der Funktion folgt“ (1978, 26). Diese eindimensionale Determiniertheit sei eine gestaltideologische Fiktion. Vielmehr seien Form und Funktion „zwei gleichwertige Komponenten, die teils unabhängig voneinander, teils in gegenseitiger Bedingtheit das Wesen und Erscheinungsbild eines Gebäudes bestimmen“. In diesem Vorgang sei aber nicht nur die Funktion partiell von der Form bedingt. Die Form bedinge ex aequo auch die Funktion:

„Funktion wird mindestens im gleichen Maße durch die Form beeinflusst, wie umgekehrt sich Form aus funktionellen Bedingungen herleitet. Sowenig wie sich die funktionellen Abläufe [...] nur abstrakt und ohne konkrete räumliche und bauliche Vorstellungen gedanklich konstruieren lassen, sowenig kann eine sinnvolle bauliche Form konzipiert wer-

den, ohne dass die funktionellen Zusammenhänge gleichzeitig und komplex mit konzipiert werden“ (ib.).

Eine architektonische Idee legt sich mit dem konkreten Entwurf, der Wahl der Konstruktion und des Materials auf eine bestimmte Gestalt fest. Die Formgebung, die sich – wie von v. Gerkan sinnfällig beschrieben – unter Berücksichtigung der jeweiligen funktionellen Anforderungen vollzieht, ist damit abgeschlossen.



Auch die Entwicklung des Dissertationsprojektes stellt sich als ein solcher Prozess dar. Dem Prinzip des PDH-Systems als ein zunächst gedankliches Konstrukt wurde vor dem inneren Auge des Entwerfers bereits ein materieller Kokon zugeordnet. Bezeichnet man das Prinzip, die Idee PDH, als Seele des Systems, dann lässt sich analog dazu die Architektur der Anlage als ihr untrennbar damit verbundener Körper verstehen, welcher die Idee sichtbar werden lässt, indem er sie als physische Form nach außen trägt. Die Form des Körpers, die Komposition der Hochwasserschutzanlage, lässt sich von seiner Funktion also nicht entkoppelt betrachten.

„ [...] Zweckhaftes und Zweckfreies lassen sich nicht [...] säuberlich voneinander lösen, weil sie historisch nie getrennt waren. Noch die scheinbar reinste Zweckform wird beeinflusst von ästhetischen Leitbildern. Deshalb kann es nicht genügen, die Funktion und die Konstruktion – wie die moderne Bewegung postulierte – zum Inhalt und Thema der architektonischen Ästhetik zu machen. Zweckerfüllung ist in der Architektur kein objektivierbarer, sondern ein in weiten Grenzen künstlerisch gestaltbarer Tatbestand.“ (Kücker 1990, 123).

Welcher Art die Gestaltung eines Körpers resp. eines Bauwerkes ist, definiert sich also in einem gegenseitigen Abhängigkeitsverhältnis. Oder, um mit Adornos Worten zu sprechen: „Keine Form ist gänzlich aus ihrem Zweck geschöpft“ (ib.).

Oftmals wird einer speziellen Funktion jedoch auf einem historischen Schatz von Erfahrung fußend eine bestimmte Form zugeordnet. So verlangt ein Hochwasserschutzsystem traditionell nach dem baulichen Typus der Mauer. Die Mauer ist der Inbegriff eines schützenden Bauwerkes und hat sich als solches seit Jahrhunderten bewährt.

Dennoch kann sich die Ausformung eines derartigen Typus unter der Einwirkung bestimmter Faktoren verändern oder erweitern. Gesellschaftliche und politische Faktoren beeinflussen die als adäquat empfundenen Lösungen, so z.B. Veränderungen im vorherrschenden Zeitgeist.

Ob sich eine Form introvertiert oder extrovertiert zeigt, welcher Art Formsprache sie sich dabei bedient, ob sie sich an die Umgebung anpasst oder diese kontrastiert, ob sie eher an Vergangenen anknüpft oder in die Zukunft weist und ob sie dadurch in den Genuss der gesellschaftlichen Zustimmung kommt oder nicht – alle diese Möglichkeiten generieren sich im Spannungsverhältnis von wissenschaftlichen Entwicklungen, aktuellen Strömungen und Stilen.

Die Umsetzbarkeit entsprechend den Möglichkeiten und dem Forschungsstand der Zeit spielt ebenso eine Rolle. Aufgrund technologischer Entwicklungen sind Änderungen in Herstellungsmethoden und Innovationen auf dem Gebiet der Baustoffe zu verzeichnen.

Additiv dazu ändern sich auch die Bedingungen der natürlichen Umwelt. So unterliegen Ereignisse wie Hochwasser oder andere meteorologische Szenarien einem Wandel.

In diesem Sinne entsteht jede Form vor dem Hintergrund eines kollektiven Bewusstseins. Sie ist Manifestation gesellschaftlicher und globaler Tendenzen und ein Spiegel der Zeit. Gleichzeitig stellt sie aber immer die individuelle Interpretation und Lesart des Entwerfenden dar, in Abhängigkeit von dessen jeweiligen Prägungen und Erfahrungen.

Die Frage nach der Autonomie der Form ist von Architekten und Wegweisern der klassischen Moderne individuell und in teilweise konträrer Formsprache in ebendiesem Sinne beantwortet worden. Ihre Werke präsentieren sich selbstbewusst wie Primadonnen im städtischen Raum. In einer egozentrischen Art und Weise offenbaren die Unikate ihr architektonisches Wesen und behaupten sich als autonome technische Kunstwerke.

Auch wenn wir uns den zeitgenössischen Architekten zuwenden, stellen wir fest, dass deren Werke – ebenfalls kaum Bezug nehmend auf konventionelle Bauweisen des Umfelds – eminente Kunstwerke sind. Allein durch ihre formale Autonomie und die Ausstrahlungskraft ihrer Erscheinung sind sie in der Lage, die Umfeldsentwicklung positiv zu beeinflussen.

Das PDH-System als autonome architektonische Formulierung sucht bewusst den Dialog zu seiner Umgebung. Die

Komposition manifestiert sich dabei durch eine Reihe technischer Gesetzmäßigkeiten und Regularien, die sich schließlich – in der Verwendung zeitgemäßer Technologie und unter Berücksichtigung des städtebaulichen Verlangens und der Anforderungen des Uferraumes – zu einer architektonischen Form ausbilden.

Die Architektur der PDH-Anlage weist damit sowohl einen technischen als auch einen künstlerischen Charakter auf, der rationale und emotionale Elemente in sich vereint. Durch die individuelle Auseinandersetzung mit dem Problem Hochwasser und unter Berücksichtigung des genius loci stellt die Anlage die Individualisierung und Erneuerung des Typus „Schutzmauer“ dar und unterstreicht so ihren autonomen Charakter. Die Formkomposition des Bauwerks fügt sich jenseits ihrer inhärenten technischen Zweckbezogenheit als ein gestaltetes Bauwerk in den Stadtraum ein und ergänzt als solches den Kontext ihres gebauten und natürlichen Umfelds.

Formvariabilität

V.5

Das System unterliegt als technoide Neuauflage eines Hochwasserschutzsystems bestimmten, funktionell bedingten Formdeterminanten. Diese Faktoren machen das Wesen des Systems aus, welches stets und unter allen Umständen konstant bleibt.

Im Rahmen der autonomen Eigenständigkeit seines Wesens ist das PDH-System nun in der Lage, sich extrem konträren örtlichen Gegebenheiten anzupassen. Vor diesem Hintergrund bietet es eine ausgeprägte Gestaltungsvariabilität im Erscheinungsbild.

Die Hülle, die „Karosserie“ des Systems, kann durch verschiedene Interpreten und an verschiedenen Orten in immer neue Erscheinungsbilder überführt werden. Das individuelle Architekturverständnis und die spezielle Architektursprache des jeweiligen Entwerfers sowie die örtlichen Gegebenheiten der spezifischen Uferkante können hierbei in die Ausformung einfließen.

V.6

V.6.1

Ungestörte Sicht aufs Wasser

Das PDH-System ermöglicht im Normalfall den barrierefreien Blick aufs Wasser. In diesem Sinne stellt es ein nahezu unsichtbares Bollwerk gegen Hochwasser dar.

Haptisches Erleben des Wassers

Die haptische Wahrnehmung des Wassers ist aufgrund der Tiefe befestigter Uferkanten häufig nicht möglich. Der im PDH-System integrierte Laufsteg am Wasser, der am Fuße der Konstruktion praktisch auf Höhe des Wasserspiegels entlangführt, ermöglicht das direkte Erleben des Wassers.

Identitätsstiftende Gestalt

Das System kann in hohem Maße identitätsstiftend für seinen Standort sein. Unter Berücksichtigung der jeweiligen architektonischen Gegebenheiten und der je nach Standort variierenden Ausformung trägt es zur Corporate Identity der Stadt bei.

Die städtebaulich-ästhetischen Überlegungen zum PDH-System werden im Zuge des PDH-Rahmenplans in Kapitel VI vertieft behandelt.

V.6.2

Erweiterbarkeit in der Horizontalen

Das System bietet eine neue Nutzungsflexibilität und Erweiterbarkeit in der Horizontalen. Die additive Kombination von Modulen ermöglicht den präzisen Einsatz für beliebig lange oder kurze Uferkanten und Hafenbecken. Durch die beschränkte Modulbreite ist das System dabei anpassungsfähig für die Krümmungsradien verschiedener Ufermorphologien.

Zusammenstellung der System-Vorzüge

Städtebaulich- ästhetische Vorzüge

Architektonisch- konstruktive Vorzüge

Erweiterbarkeit in der Vertikalen

Je nach Standort sind die Module in der Höhe gemäß der jeweils erforderlichen Schutzhöhe dimensioniert. Sollte sich die notwendige Schutzhöhe nachträglich, aufgrund von sich verändernden Umweltbedingungen wie einem steigenden Meeresspiegel, erhöhen, ist eine Erweiterung des Systems ohne großen Aufwand möglich. Das Schwert des Schwimmkörpers wird in dem Fall durch einen Aufsatz in der Vertikalen aufgestockt.

Nachhaltigkeit

Das System bietet eine gesteigerte Nachhaltigkeit. Einzelne Module können aufgrund der Modularität bei Beschädigung einfach ausgetauscht werden.

Die Modularität des Systems bewirkt zudem eine Vereinfachung und Kostensenkung bei der Wartung und Reparatur der Elemente.

Rentabilität

Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz definiert die Rentabilität einer Hochwasserschutzmaßnahme wie folgt:

„Der Hochwasserschutz ist [dann] optimal eingestellt, wenn die Investitions- und Betriebskosten für die Schutzanlagen geringer sind als der Wert der zu erwartenden Hochwasserschäden.“ (NLWKN 2005, 58).

In der Herstellung des PDH-Systems stellt eine industrielle Massenproduktion einen ökonomischen Vorteil dar, da die Stückkosten der Module gering gehalten werden.

Industriell hergestellten Einheiten ermöglichen zudem eine relativ kurze Bauzeit und eine einfache Montage vor Ort, bei der durch die Vorfertigung eine hohe Präzision sichergestellt ist.

Für das bewegliche System werden keinerlei Kugellager, Räder oder Zahnräder verwendet, die durch Kalkablagerung und Oxidationsprozesse im Wasser schnell verschleifen würden.

Hohe Sicherheit

Durch die Konzeption des Systems als permanent-dynamisch, entfallen alle negativen Punkte, die beim Einsatz mobiler Systeme risikoreich sind. Das heißt:

- kein Transport der Elemente zum Einsatzort notwendig
- unabhängig von menschlichem Versagen, kein Personalstamm erforderlich
- keine unsichere Montage unter Zeitdruck
- garantierte Stabilität auch bei Wind, Wellenschlag, Treibgut- und Eisstößen
- keine aufwändige und unschöne Lagerung der Elemente bei Nichtgebrauch notwendig.

V.6.3

Technische Vorzüge

Prinzip Aktion und Reaktion

Der Antrieb des Systems nutzt energieeffizient die Auftriebskraft des Wassers. Im Falle eines Hochwasserereignisses löst es selbsttätig aus und wird automatisch in den vorgesehenen Halteeinrichtungen arretiert.

Prinzip Elektromagnetismus

Der Führungsmechanismus des Systems basiert auf dem elektromagnetischen Schwebeprinzip. Das System bewegt sich ohne jegliches Räderwerk völlig berührungsfrei und ist daher ausgesprochen verschleiß- und wartungsarm.

Prinzip Nano -Technologie

Das System nutzt die Errungenschaften der Nano-Technologie im Bereich der verwendeten Baustoffe bezüglich Festigkeit und Tragfähigkeit. Durch die ständige Überwachung während des industriellen Herstellungsprozesses ist eine gleich bleibend gute Qualität der Materialien sichergestellt.

VI PDH-Rahmenplan

Ein Architekt, der an der Ordnung der Umwelt interessiert ist, muss notwendigerweise davon überzeugt sein, dass architektonischer Raum – die Heimat all unserer Unternehmungen – bedeutungsvoll ist. Die Qualität eines Raumes, seine Beständigkeit als ein „Ort“ gehört zu den Grundwerten des Menschen.

Richard Meier 1989, 73

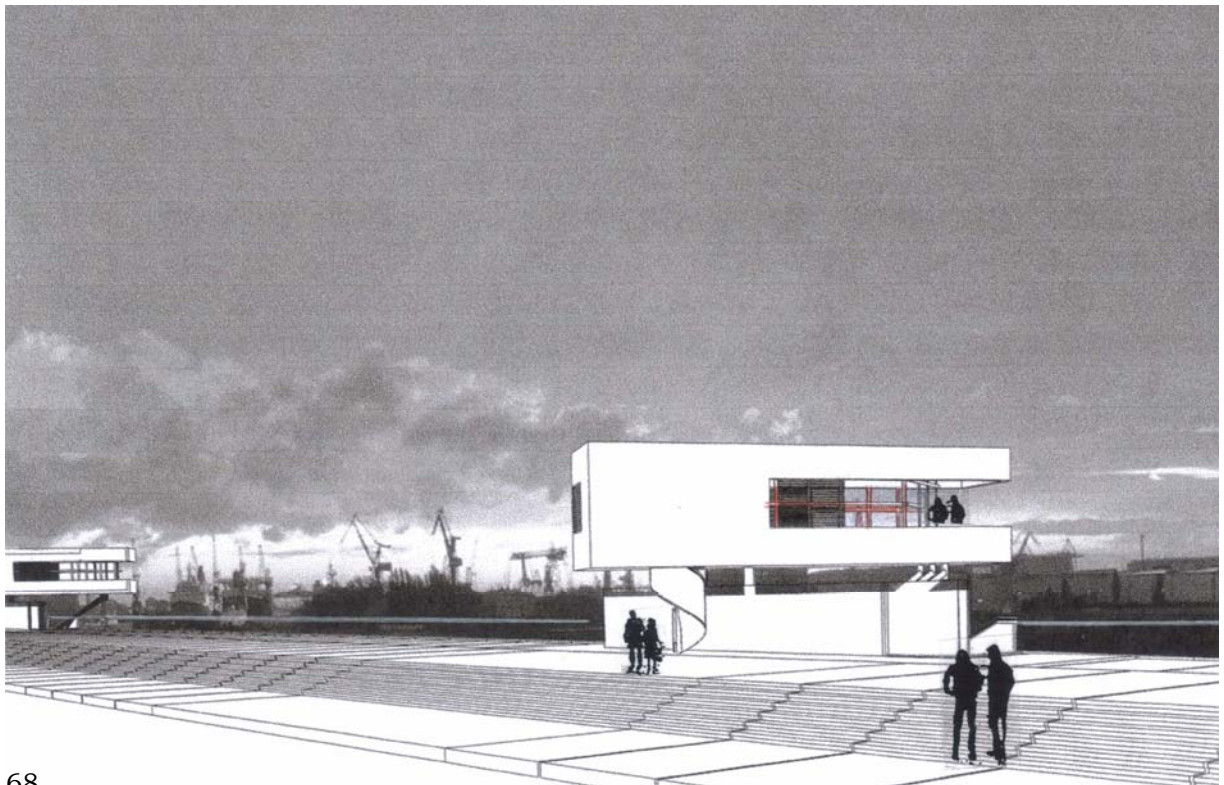
„Formen sind nicht auf ihre körperliche Ausdehnung beschränkt. Formen strahlen Raum aus und modellieren ihn.“

Siegfried Giedion, 1965, 397

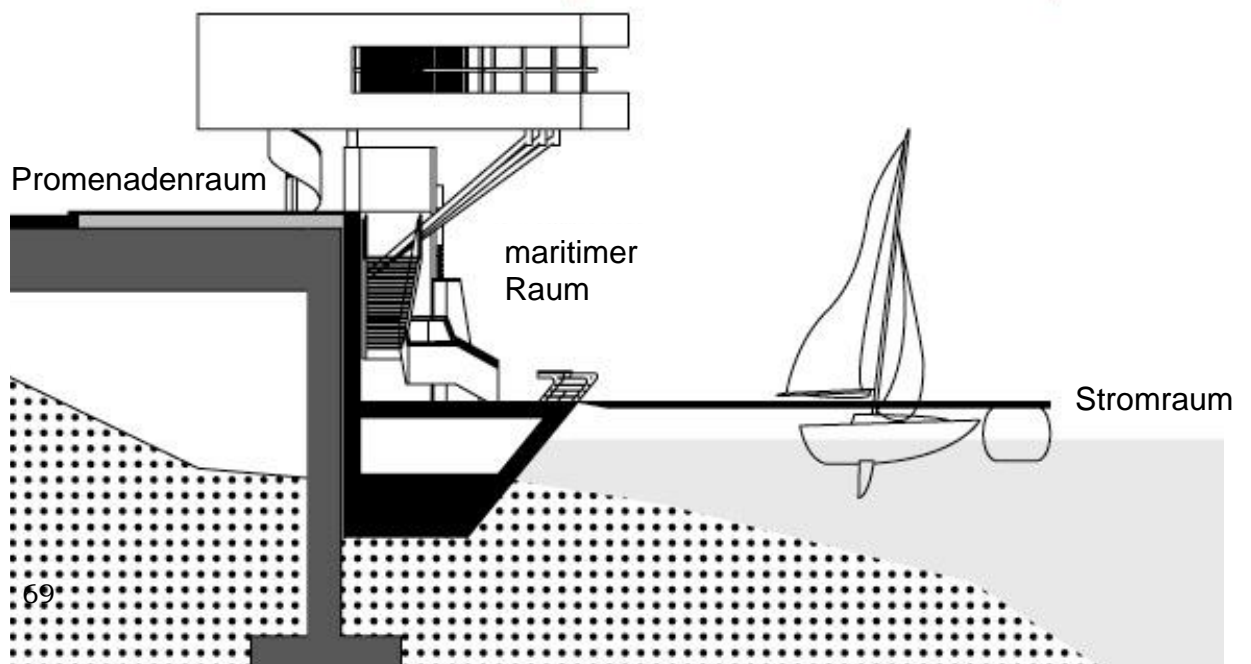
Der Raum, den wir als Lebensraum erfahren, ist Handlungs-, Orientierungs- und Kommunikationsraum. Die architektonische Qualität dieses Raumes definiert sich in Abhängigkeit von seinem Standort und seiner Lage, seiner Dimensionierung, Form und Komposition, der weit gefassten Einbindung in das städtische Areal sowie der Anbindung an den unmittelbaren Bestand.

Unter Berücksichtigung dieser Einflussgrößen ist – im Zuge der Untersuchung der Wasserkanten im Rahmen des PDH-Systems – der PDH-Rahmenplan für das entsprechende Terrain entwickelt worden.

Die Überlegungen bezüglich der Charakteristika und Qualitäten verschiedener Uferräume, welche die potentiellen Einsatzorte des PDH-Systems darstellen, werden in den folgenden Abschnitten VI.1 und VI.2 erläutert. Die anhand der erarbeiteten Kriterien entwickelten konkreten Maßnahmen des Rahmenplans werden in Abschnitt VI.3 vorgestellt.



68



69

Wahrnehmung des Raumes

VI.1

Der Physiker definiert den Raum als unendlichen, zweck- und eigenschaftslosen, homogenen und isotropen Raum (Wienands 1985, 83). Dagegen beschreibt der Architekt diesen als einen exakt begrenzten, zu einem bestimmten Zweck physikalisch-mathematisch zugeschnittenen, dreidimensionalen Bereich (ib). Dabei ist der Raum als Wahrnehmungsobjekt „jedoch mehr als er selbst. Es haften ihm Zeichen an. [Er] wird zum Medium einer Nachricht, die von uns als Erinnerung an etwas anderes aufgenommen wird. Diese mitkommunizierten Assoziationen lassen uns [den Raum] als angenehm [...] erscheinen oder als unangenehm [...]“ (Borgeest 1977, 53). Die persönliche Prägung und der jeweilige Hintergrund des Betrachters sind dabei von Bedeutung: Seine Erfahrungen, sein Geschmack – der wiederum vom Zeitgeist beeinflusst sein kann – und ebenso flüchtige Faktoren wie die aktuelle Gemütslage oder Umweltfaktoren (Sonne/Regen, Tag/Nacht). Überdies wird die vom Raum vermittelte Botschaft aber von objektiven Gesetzmäßigkeiten geprägt. Im Wahrnehmungsprozess stecken diese den Rahmen ab, innerhalb dessen sich die subjektive Wahrnehmung des Einzelnen bewegt. Zu lange Uferstraßen ohne Seitenwege, zu schmale Trottoirs, ein unproportioniertes Straßen-Profil (Verhältnis der Gebäudehöhe zur Straßenbreite) oder ein unproportioniertes Flussraum-Profil (Verhältnis der Kaimauerhöhe zur Flussbreite) können die Anziehungskraft eines Stadtareals am Wasser beeinträchtigen.

Die Verantwortung des Architekten besteht darin, die vom Raum vermittelte Botschaft für den Betrachter möglichst positiv zu gestalten. Die entwurflichen Mittel, welche für die Raumkomposition zur Verfügung stehen, beruhen dabei zum einen auf der Schöpfungskraft und den kreativen Erfahrungswerten des Architekten, zum anderen werden sie von bestimmten architektonischen Regularien gelenkt, die sich anhand von Proportions- und Winkelstudien, Feststellungen über die Höhen- und Tiefenverhältnisse von Räumen und Objekten destillieren lassen. Das Verhältnis von baulichen Maßnahmen und Atmosphäre im Uferbereich

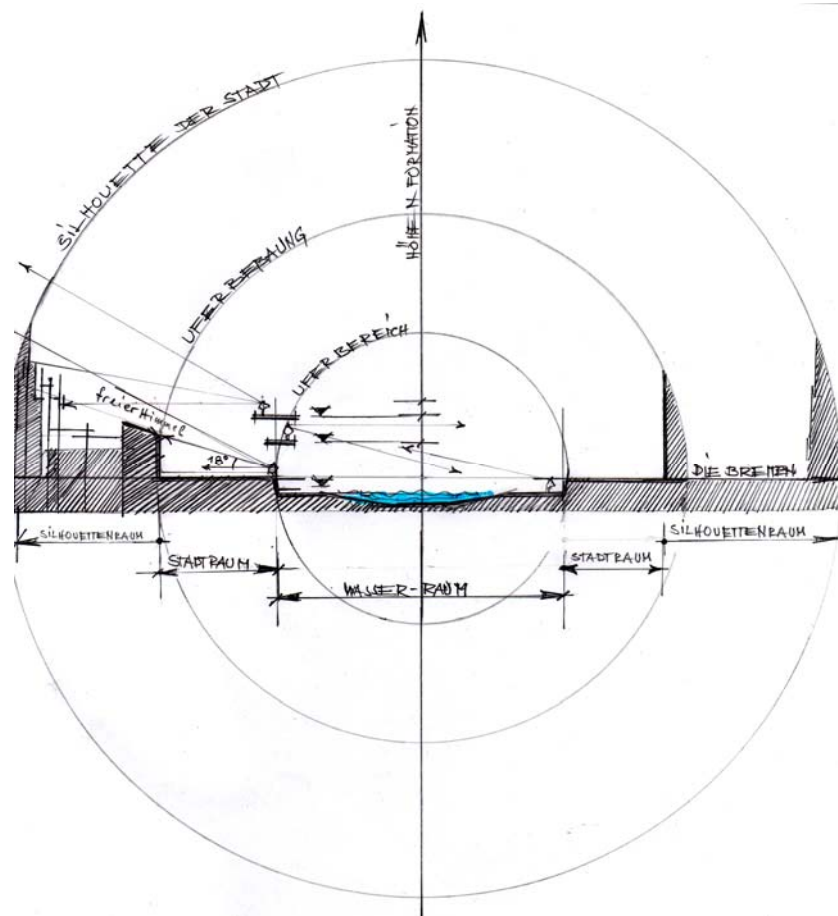
ist in dieser Arbeit anhand folgender Fragen untersucht worden:

- Unter welchen räumlichen Konstellationen kann der Uferraum seine Atmosphäre am besten entfalten?
- Wie muss der Straßen- bzw. Promenadenraum gestaltet sein, um ihn von einem Ort des Durchgangs in einen Ort des Verweilens umzuwandeln?
- Unter welchen Blickwinkeln erscheint die Fassade am Straßenrand im Auge des Betrachters am angenehmsten?
- Wie hoch darf eine Kaimauer im Uferbereich eines Flusses sein, ohne die Verbindung zwischen Land und Wasser zu schwächen?
- Wie muss ein Weg am Ufer ausgebildet sein, damit er als verbindendes Element zwischen Wasser und Land wirkt?

Die notwendigen aktuellen Bestimmungen und Sicherheitsmaßnahmen gegen Hochwasser – die in sich einen radikalen Angriff auf die Sichtverhältnisse in Bezug auf die städtebauliche Ufer-Situation darstellen – werden als positive Impulse verstanden. Der vom Verfasser an das PDH-System und den PDH-Rahmenplan gestellte Anspruch besteht darin, die im Status quo oftmals stark getrennten Teilräume des Uferbereichs wieder miteinander zu verbinden.

Die Skizze in Abb. 70 beschreibt die spezifische Zonierung einer Stadt in ihrer Lage am Wasser. Der Wasserraum erstreckt sich zwischen den Kaimauern eines Flusses bzw. an einer Meeresküste von der Kaimauer aus über das Meer. Der benachbarte Raum wird durch die Fassaden der angrenzenden Bebauung definiert und im Folgenden als Stadt-
raum bezeichnet. Darüber hinaus öffnet sich der Silhouet-

tenraum bis zur dahinter liegenden Stadtsilhouette, dessen räumliche Struktur durch seine Konturen, Masse und Höhenkomposition – die Wechselwirkung seiner vertikalen Akzente mit der weiteren Bebauung – bestimmt wird. Durch die Inszenierung der ineinander fließenden Ebenen des PDH-Rahmenplans wird sowohl die Silhouette optisch in den Promenaderaum integriert als auch das Wasser haptisch wieder erlebbar.



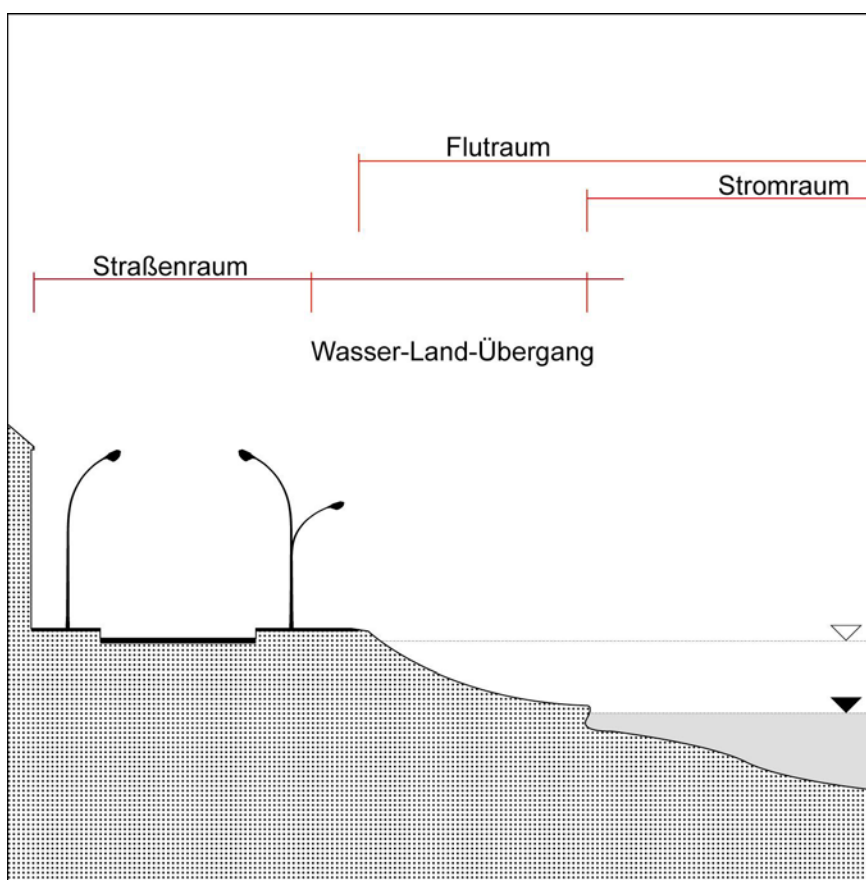
70 Wasser-, Stadt- und Silhouettenraum

Morphologie städtischer Uferkanten

VI.2

Der Uferbereich stellt als verbindendes Element zwischen Wasser- und Stadtraum den Interventionsbereich dieser Arbeit dar. Um auf die gestellten Fragen nach den räumlichen, die Wahrnehmung bestimmenden Zusammenhänge präzise reagieren zu können, untergliedert der Verfasser den Uferbereich zunächst in seine möglichen Teilräume. Dabei wer-

den hier nur die Fälle betrachtet, in denen der Uferbereich als öffentlicher Raum für den Fußgänger- und/oder Autoverkehr freigegeben und somit von urbaner Bedeutung ist. Die Charaktere der Ufer-Teilräume bilden sich in Abhängigkeit voneinander aus. Ein Raum wird jeweils von seinen benachbarten Räumen beeinflusst. Im Gesamtcharakter des Uferbereiches kommt den verschiedenen Teilräumen unterschiedliche Bedeutung zu.



71 Teilräume des Uferbereiches

VI.2.1

Der Straßenraum umfasst neben der Fahrbahn auch den Gehsteig der Straße. Im räumlichen Zusammenhang des Ufers kommt der Straße eine große Bedeutung zu. Abhängig von ihrer Verkehrsdichte werden die umgebenden Räume in einer bestimmten Richtung geprägt.

Der Zusammenhang zwischen den beiden Seiten eines Straßenraumes ist bei geringem bis mäßigem Verkehrsauf-

Straßenraum

kommen stark ausgeprägt, da die Straße als Erweiterung des Fußgängerraumes wahrgenommen wird. In dem Fall erschließt sich bereits von der dem Wasser gegenüberliegenden Straßenseite die Nähe zum Wasser.

Ein wichtiger Faktor in Bezug auf die Belebung des Straßenraumes ist die Befahrbarkeit einer Straße; eine Verkehrsberuhigung kann dementsprechend negative Auswirkungen auf den Fußgängerverkehr haben. So geschehen in den *Colonnaden*, einer Straße der Hamburger Innenstadt. Einst ein sehr beliebtes Einkaufsziel mit florierenden Läden und Cafés, vereinsamte die Straße nach ihrer Umwandlung zur reinen Fußgängerzone zusehends. Um diese Entwicklung umzukehren, wurde als Reaktivierungsmaßnahme der Autoverkehr auf einem Teilabschnitt der Straße wieder zugelassen – jedoch konnte die ursprüngliche Beliebtheit nicht wieder erreicht werden.

Eine starke Frequentierung der Straße kann sich ebenfalls negativ auf den Straßenraum auswirken. Hohe Abgas- und Lärmemissionen stellen im Allgemeinen einen Angriff auf die Aufenthaltsqualität dar, was zu einer Schwächung der Fußgängerdichte führen und dazu beitragen kann, dass der Straßenraum sich verstärkt zum Durchgangsraum ausbildet und einen trennenden Charakter bekommt.

Das für Uferbereiche in Großstädten unvermeidlich hohe Verkehrsaufkommen muss sich jedoch nicht per se negativ auf den Straßenraum auswirken. Der Faktor Verkehr muss allerdings durch andere Anreize ausgeglichen und der Platzbedarf des Straßenraumes entsprechend bemessen werden. Ein großzügiger Fußgängerraum, genügend gefahrlose Fahrbahnübergänge, Fahrradwege und Parkplätze sowie eventuell Bepflanzung sind Faktoren, die ausgleichend wirken. Man denke an die bekannten großen Alleen und Boulevards der Hauptstädte Europas. Auf diese Weise können auch Straßen mit hohem Verkehrsaufkommen zum Flanieren einladen und den Bezug zum Ufer belassen.

VI.2.2

Unter dem Stromraum wird hier das Bett des Flusses oder die Ausdehnung des Meeres im Normalzustand. verstanden. Der Flutraum fasst das übertretende Wasser im Hochwasserfall. Er überschneidet sich insoweit mit dem Uferraum.

Strom- und Flutraum

VI.2.3

Der Wasser-Land-Übergang bildet die Grenze zwischen dem Wasser und dem angrenzenden Terrain, an der das örtliche Hochwasserschutzsystem lokalisiert ist. Für die Land- wie für die Wasserseite ist die Form des Übergangs von entscheidender Bedeutung. Dessen Komposition und Höhenentwicklung und seine Anbindung an Straßen- und Wasser- raum sind ausschlaggebend dafür, wie bzw. ob das angrenzende Wasser im Stadtraum wahrgenommen werden kann. Im städtischen Kontext steht für den Strom- und Flutraum eines Flusses oder Meeres meist nur wenig Platz in der Breite zur Verfügung. Der Wasser-Land-Übergang ist daher häufig platz sparend als befestigte Uferkante ausgeführt, aufgrund des hohen Siedlungsdrucks ist der Querschnitt eines Flusses oft noch zusätzlich verengt. Der Flutraum dehnt sich nach oben aus und muss entsprechend höher eingegrenzt werden. Durch die erhöhte Fließgeschwindigkeit und Schleppkraft des Wassers vollzieht sich zudem eine immer stärkere Eintiefung der Flusssohlen, weshalb sich der Höhenversprung in Bezug auf die Uferkante zusätzlich vergrößert. Es ist festzustellen, dass die stark höhendifferenzierten Übergänge (Abb. 74, 76-78) im Gegensatz zu unmittelbaren Wasser-Land-Übergängen (Abb. 72, 73) eine Entfremdung zwischen Land und Wasser bewirken können. Im Folgenden werden die möglichen Konstellationen von Wasser-Land-Übergängen, ihre Auswirkungen auf das Raumgefühl und die Anwendbarkeit des PDH-Systems behandelt.

Wasser-Land-Übergang

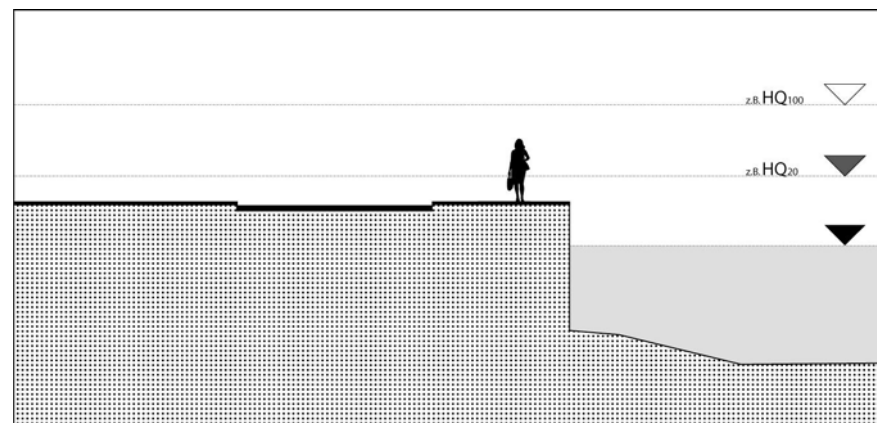
Fall 1

Unmittelbarer Wasser-Land-Übergang

Straßenraum: Verkehr, Fußgänger

Stromraum: Flussbett / Meeresraum im Normalzustand

Unmittelbare, niedrige Wasser-Land-Übergänge finden sich teilweise an Ufersituationen gezeitenfreier Meere wie der Ostsee oder auch an unzureichend gegen Hochwasser geschützten Fließgewässern. Bezüglich der sinnlichen Erfahrbarkeit des Wassers ist dieser Fall günstig. Durch den fehlenden Hochwasserschutz ist keine Barriere vorhanden, die eine Beeinträchtigung für die Erlebbarkeit des Wassers bilden könnte. Durch den unmittelbaren Übergang wirken die



72 unmittelbarer Wasser-Land-Übergang

atmosphärischen Qualitäten des Wassers in direkter Weise auf das Ufer ein. Der Einsatz des PDH-Systems würde in dieser Situation einen sicheren Schutz vor Binnenhochwasser und Sturmflut gewährleisten, ohne diese Qualitäten zu beeinträchtigen.

Fall 2

Abgeöschter Wasser-Land-Übergang

Straßenraum: Verkehr, Fußgänger

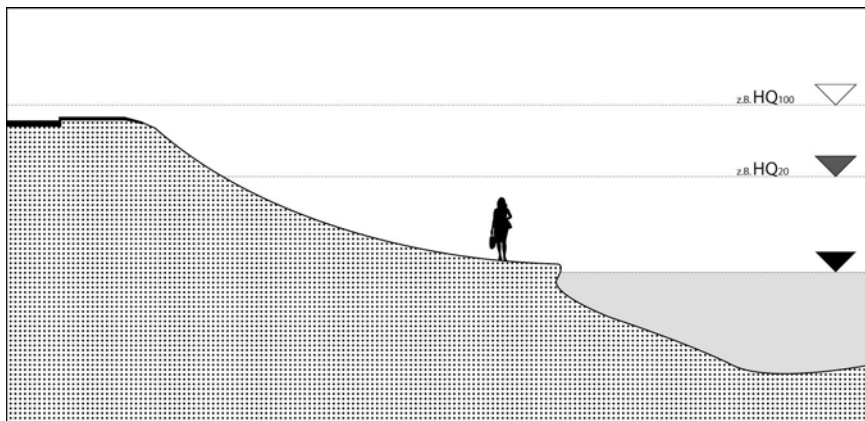
Stromraum: Flussbett/Meeresraum im Normalzustand

Flutraum: Flussbett/Meeresraum im Flutzustand

In diesem Fall ist dem Flutraum des Flusses oder Meeres Platz in der Weite eingeräumt, z.B. in Form von Strand oder Grünanlagen. Das PDH-System ist hier nicht anzuwenden, da es sich nicht um eine befestigte Uferkante handelt und

der Übergang zum Wasser fließend und niedrig ist. Die notwendige Höhe für den Hochwasserschutz bildet die Uferböschung. Ist die Schutzhöhe nicht mehr ausreichend, muss sie mit entsprechenden Maßnahmen angepasst werden.

Je größer die Breite des Flutraumes ist, desto geringer ist die Steigung der Böschung. Durch den sanften Übergang hat das Wasser einen umfassenden Einfluss auf die Atmosphäre des Uferbereiches. Der Abstand von dem angrenzenden Straßenraum und der Bebauung ist entsprechend größer und die Erfahrbarkeit des Wassers im Stadtraum damit geringer als in Fall 1.



73 abgeböschter Wasser-Land-Übergang

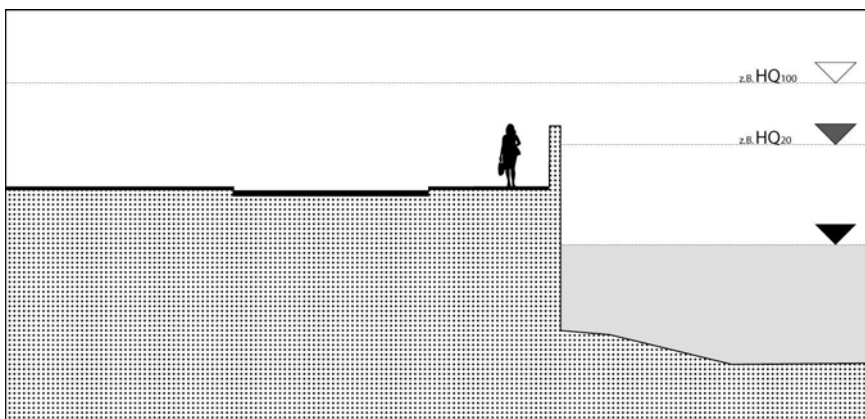
Getrennter Wasser-Land-Übergang

Straßenraum: Verkehr, Fußgänger

Stromraum: Flussbett/Meeresraum im Normalzustand

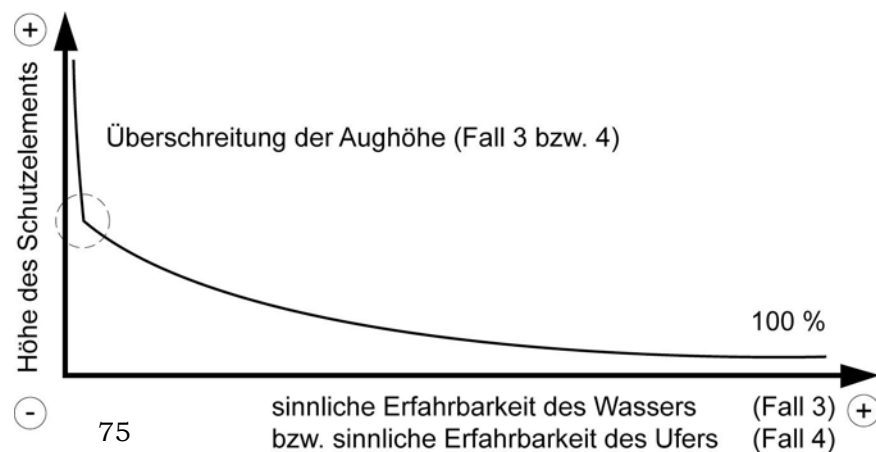
Flutraum: Flussbett/Meeresraum im Flutzustand

Fall 3



74 getrennter Wasser-Land-Übergang

Zum Schutz vor Hochwasser ist die befestigte Uferkante hier durch eine Mauer ergänzt. Die optische und haptische Verbindung vom Land zum Wasser ist aufgehoben. Je höher die Mauer ist, desto stärker stellt sich auch die trennende Wirkung dar. Bei Überschreitung der Aughöhe steigt sie sprunghaft an und erreicht ihren Maximalwert. Um gegebenenfalls den Hochwasserschutz anzupassen und gleichzeitig die Qualität des Uferbereiches zu steigern, ist in dieser Situation der Einsatz des PDH-Systems günstig.



Fall 4

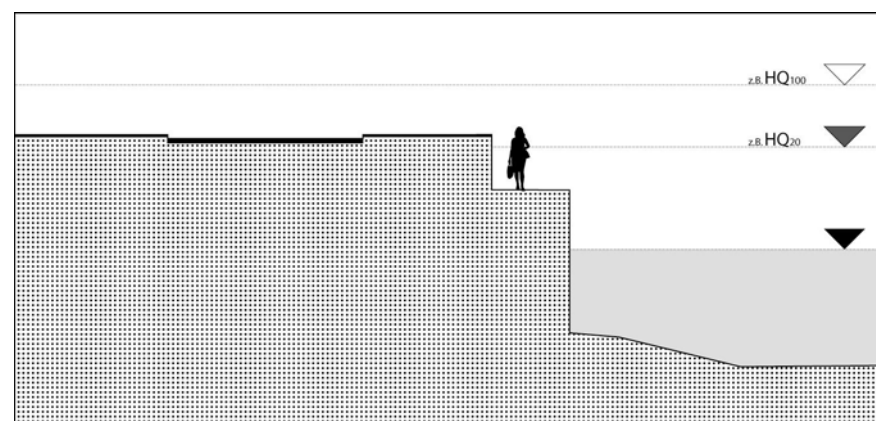
Wasser-Land-Übergang mit erhöhtem Straßenniveau

Straßenraum: Verkehr, Fußgänger

Promenadenraum: Spazierweg Fußgänger

Stromraum: Flussbett/Meeresraum im Normalzustand

Flutraum: Flussbett/ Meeresraum im Flutzustand



76 Wasser-Land-Übergang mit erhöhtem Straßenniveau

Mit Ausnahme des Uferweges ist in diesem Fall das gesamte Straßenniveau erhöht. Dem Spaziergänger wird so die Möglichkeit gegeben, sich direkt am Wasser entlang zu bewegen und es unmittelbar zu erleben. Der Höhenversprung schwächt jedoch die Beziehung zum Stadtraum, da er zu dieser Seite trennend wirkt. Die Intensität der trennenden Wirkung vollzieht sich ebenso wie in Fall 3 nach höhen-spezifischen Kriterien. Die Höhe, ab welcher ein Versprung eine überwiegend trennende Wirkung hat, liegt erfahrungsgemäß im Bereich von 1 m bis 1,5 m. Ist dieses der Fall oder muss die Hochwasserschutzhöhe angehoben werden, ist der Einsatz des PDH-Systems günstig.

Erhöhter Wasser-Land-Übergang

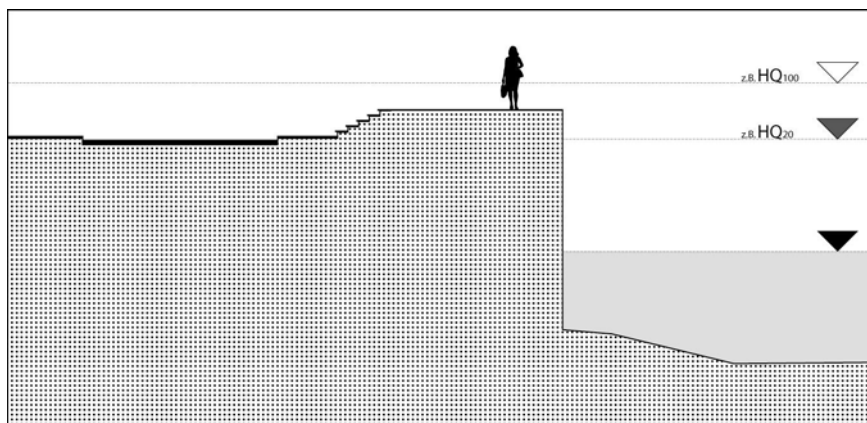
Fall 5

Straßenraum: Verkehr, Fußgänger

Promenadenraum: Verweilen, Flanieren, evtl. Gastronomie

Stromraum: Flussbett/ Meeresraum im Normalzustand

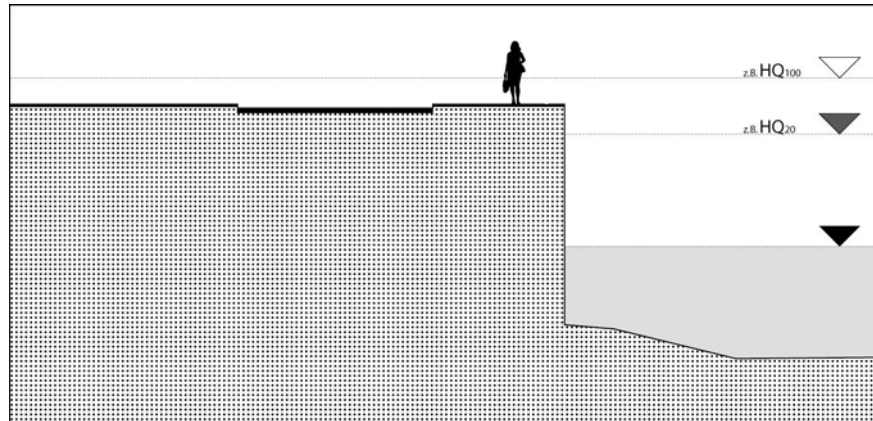
Flutraum: Flussbett/ Meeresraum im Flutzustand



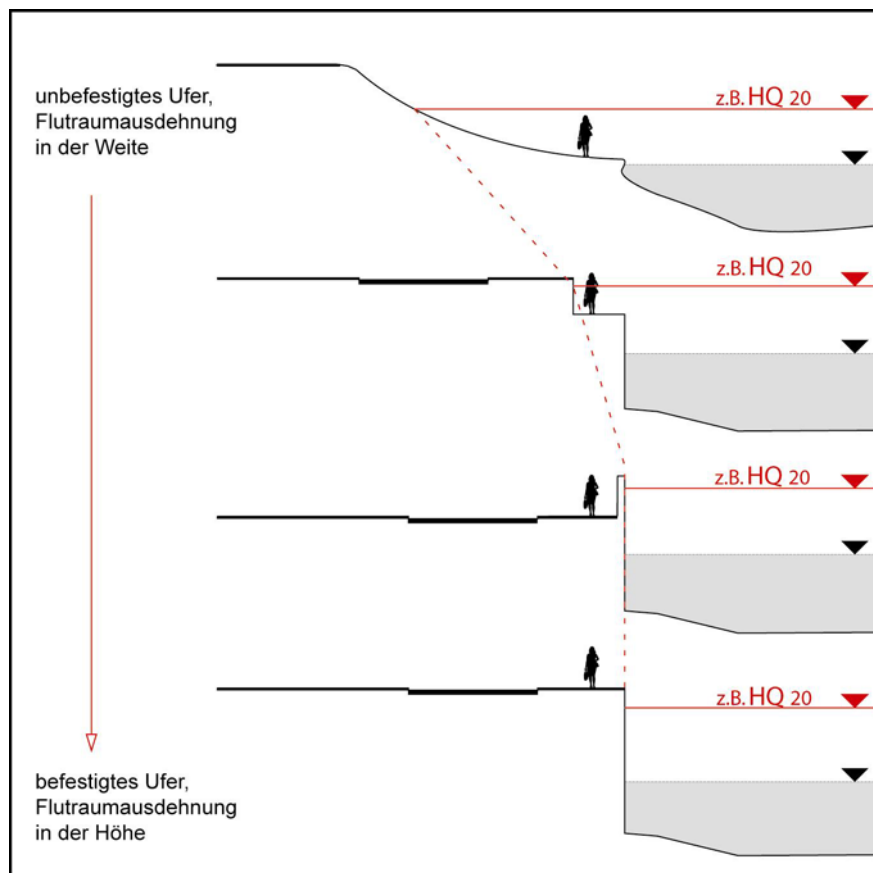
77 Wasser-Land-Übergang mit erhöhter Promenade

Diese Situation ist an den meisten Tide-Gewässern und (stillgelegten) größeren Hafenbecken zu finden. Infolge der notwendigen Hochwasserschutzhöhe und im Falle großer Fahrrinntiefen ist der Niveausprung entsprechend hoch. Die Promaden-Ebene ist erhöht und gegebenenfalls, in Abhängigkeit von den örtlichen Konstellationen, auch das Straßenniveau. Der Uferbereich ist in einer harten, steilen Kante ausgebildet. Von der Promaden-Ebene aus ist der

Sichtkontakt zum Wasser gewährleistet, die haptische Verbindung aber wegen des großen Höhenversprungs geschwächt. Der Einsatz des PDH-Systems bietet sich im Zuge einer notwendigen Schutzerhöhung und zur atmosphärischen Verbesserung des Uferraumes an.



78 Wasser-Land-Übergang mit erhöhter Promenade und erhöhtem Straßenniveau



79 Verhältnis Höhe zu Weite des Flutraumes

VI.3

VI.3.1

Uferräume sind als städtische Räume in ihrer Wirkung von einer Reihe unterschiedlicher Faktoren abhängig, wie z.B.:

- Horizontalität (Breiten-, Längenbetonung) bzw.
- Vertikalität (Höhenbetonung)
- Farbgestaltung und Licht
- Proportionalität der Raumdimensionen
- Verhältnis der Flächen / Betrachtungswinkel

Die Wahrnehmung einer räumlichen Komposition wird zum großen Teil vom anatomischen Aufbau des menschlichen Auges bestimmt. In der Horizontalen beträgt das Wahrnehmungsfeld des Betrachters 50° , ergänzt von den seitlich angrenzenden Bildrändern, in welchen die Umgebung nur verzerrt wahrgenommen wird (Gull 1964, 16-17).

In der Vertikalen öffnet sich das Blickfeld in einem Sehkegel von 27° vom Hauptsehstrahl nach oben bzw. nach unten (Maertens 1884, cit. Semsroth 1992, 17).

Unter anderem anhand dieser Wahrnehmungs-Determinanten lassen sich die optimalen Maßverhältnisse eines städtischen Raumes festlegen. Die Relation von der Höhe seiner profilbildenden Wände zur Raumbreite sollte im Spektrum von $1 : 2,69$ bis $1 : 1,4$ liegen (Baranow 1985, 74-80) – wobei Letzteres in etwa dem Längenverhältnis des Goldenen Schnitts gleichkommt (Abb. 80). Vom Rand eines Platzes aus betrachtet und mit Blickrichtung auf die gegenüberliegende, begrenzende Bebauung, entspricht dies einem Winkel von etwa 20° bis 35° . Nach Maertens stellen sich die Gesetze des ästhetischen Sehens in der weiteren Differenzierung folgendermaßen dar:

Beträgt das Verhältnis eines Stadtraumes Höhe : Breite = $1 : 1$, so nimmt der Betrachter lediglich die Hälfte der gegenüberliegenden Fassade wahr. In diesem Fall wirkt die Raumtiefe als eine dem Gebäude vorgelagerte Fläche.

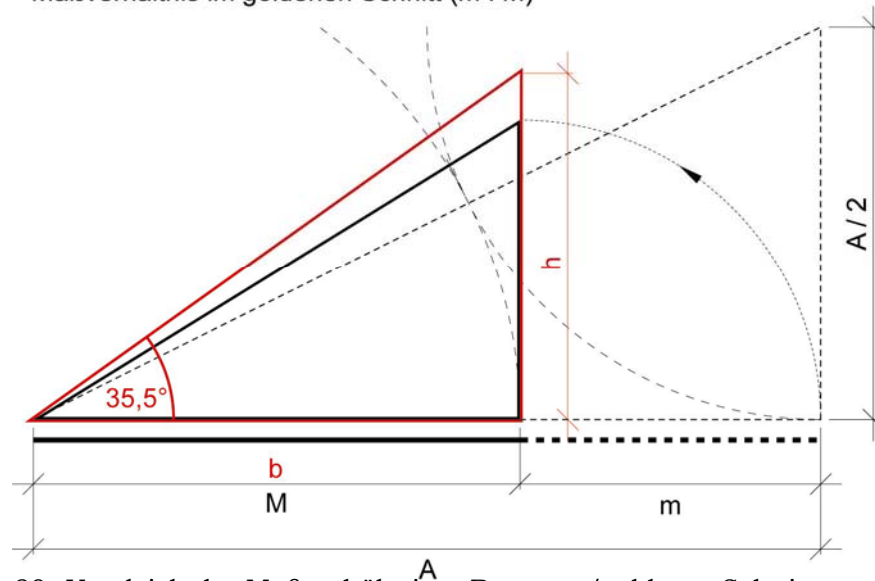
Beträgt das Verhältnis von Höhe zu Breite $1 : 2$, so wird die gegenüberliegende Fassade in vollständiger Höhe wahrgenommen. Der Raum hat einen geschlossenen Charakter.

Bei einem Verhältnis $h : b = 1 : 3$ sieht der Betrachter die

Raumkonzeption des PDH- Rahmenplans

Optimale Raum- proportionen und Betrachtungswinkel

Maßverhältnis nach Baranow ($h : b = 1 : 1,4$)
 Maßverhältnis im goldenen Schnitt ($m : M$)



80 Vergleich der Maßverhältnisse Baranow/goldener Schnitt

vollständige Fassade sowie darüber ein Stück vom Himmel. Diese Proportion wird als angenehm und angemessen für einen Stadtplatz empfunden.

Je mehr die Distanz zunimmt, desto weniger definiert ist der Raum. Bei einem Verhältnis von $h : b = 1 : 6$ wird er vom Betrachter allenfalls noch als sehr weitläufig eingefasst empfunden. Bei weiterer Reduzierung des Verhältnisses, verliert sich dieses Charakteristikum gänzlich (ib).

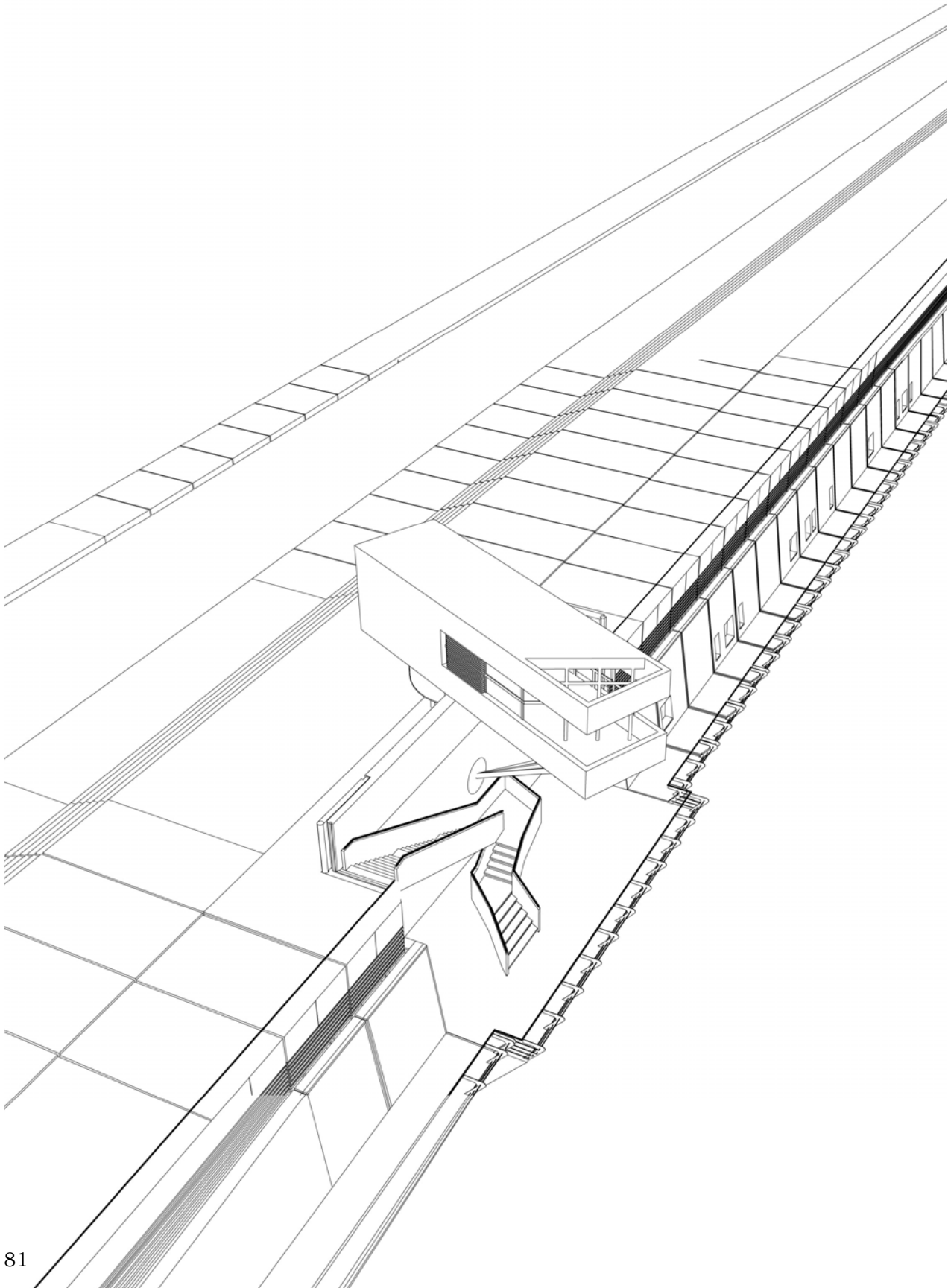
Weitere Feststellungen lassen sich speziell in Bezug auf den Uferraum vornehmen. Ob das Wasser in der Stadt einen trennenden Charakter aufweist oder sich die Uferseiten eines Flusses und deren Bebauungen optisch miteinander verbinden, hängt von bestimmten Voraussetzungen ab:

Bei einem Betrachtungswinkel von $5^\circ - 7^\circ$ dringt der Sehstrahl nicht ins Wasser ein, sondern wird vom Wasserspiegel reflektiert und lässt ihn als geschlossene Fläche erscheinen. So wirkt die Wasseroberfläche als Verbindungselement zwischen den Uferseiten (Heigl 1991). Die optische Verbindung wird zudem unterstützt, wenn die Uferböschung in einem möglichst allmählichen Übergang mit geringem Gefälle ausgebildet ist (s. Kap. VI.2.3).

Untersuchen wir die Winkelverhältnisse eines bestimmten Uferraumes, so stellen wir fest, dass diese häufig nicht der

als ideal erkannten Raumproportion entsprechen. Die Ufersituation ist mit ihren Baukörpern, Fassadenfronten, Kai-mauern und Straßenbreiten a priori festgelegt, jedoch ist sie nicht unveränderlich. Der Prozess der Raumbildung ist ein lebendiger Vorgang, der nie abgeschlossen ist (Meurer 1994, 13). In der Konfrontation mit dem Bestand muss der Planer die vorhandene Situation analysieren und darauf reagieren. Die Komposition der Uferzone muss mehrere Funktionen parallel erfüllen. Sie sollte Raum bieten für den motorisierten und ruhenden Verkehr, für Begegnungen und entspanntes Verweilen, ebenso für Feste und sportliche Aktivitäten. „Zu diesem Zweck muss sie bestimmten Forderungen entsprechen [...] Sie ist nur dann zweckentsprechend und sinnvoll, wenn genügend Publikum sie bevölkert“ (Pietro 1972, 113).

Da die Breite des Ufers durch den Baubestand meist präfixiert ist, ist der Spielraum des Architekten bei der Gestaltung des Ufers in dieser Richtung eher begrenzt. Um die Verhältnisse des Uferraumes den oben genannten Gesetzmäßigkeiten entsprechend zu modifizieren, bleibt ihm jedoch die Möglichkeit, mit Höhen zu arbeiten. Die Höhenformation stellt den wesentlichen Bestandteil des PDH-Rahmenplans dar. Durch Anheben und Absenken des Betrachterhorizonts werden die Bezüge von Ufer- und Wasserbereich gestärkt und wenn möglich der häufig versteckte Wahrnehmungsraum der attraktiven Stadtsilhouette im Promenadenraum erlebbar gemacht werden.

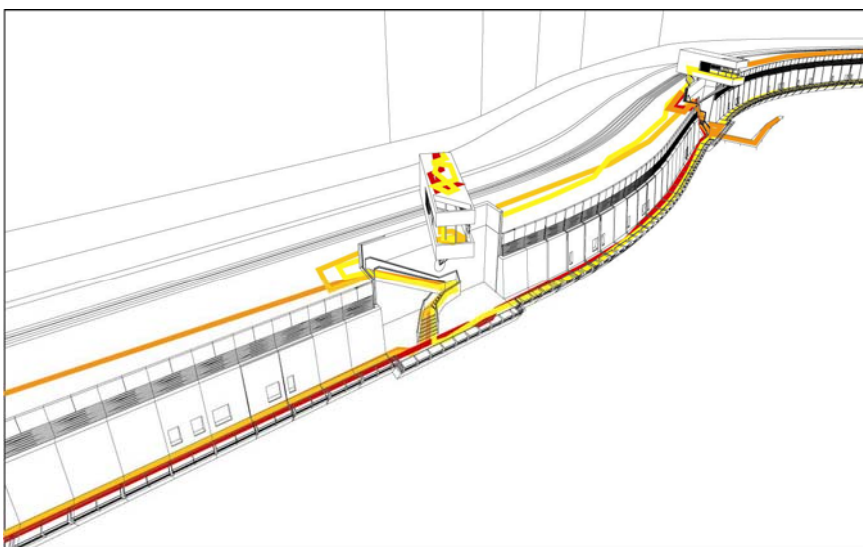


VI.3.2

Maßnahmen der PDH-Raumkonzeption

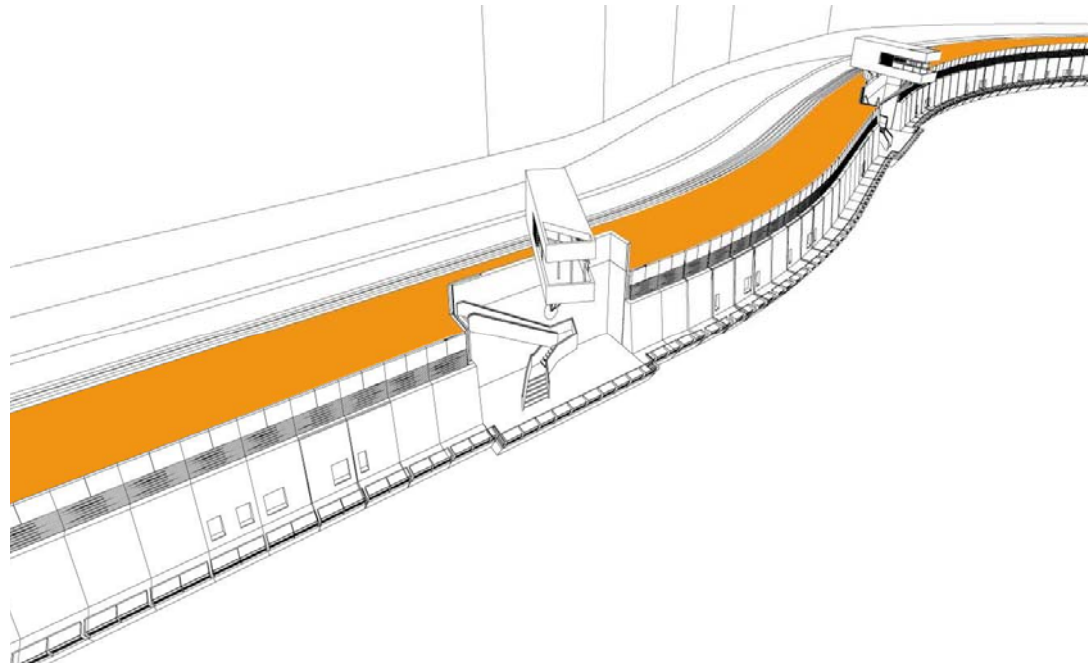
Konzept der kontinuierlichen Erlebbarkeit

Der PDH-Rahmenplan versteht sich als Strategie zur Neuordnung des städtischen Uferbereichs. Er soll ein neues Verständnis bezüglich Raumbildung, Raumordnung und Raumkontinuität im Besucher hervorrufen. Das Uferareal als Teil des Stadtraums wird mit einem Duktus belegt, welcher durch die gezielte Inszenierung von Blickwinkeln, Sichtschneisen und der Überlagerung von Perspektiven geprägt ist. Niveausprünge, Richtungswechsel und verbindende Wege bewirken eine Auflösung der Grenzen und ermöglichen das Ineinanderfließen der Atmosphären der verschiedenen Uferräume. Der PDH-Rahmenplan ermöglicht eine kontinuierliche Erlebbarkeit des Raumgefüges. Eine auf mehreren Niveaus frei wählbare Wegekombination lässt die Bewegung in verschiedene Richtungen zu. Die auf diese Weise erzeugte Raumdynamik in Kombination mit bewusst gesetzten Sichtmarken erleichtert die Orientierung und prägt den Gesamteindruck. Durch die Fortbewegung nach oben oder nach unten eröffnen sich jeweils neue Aussichten, die sich aus der veränderten Richtung und der Überlagerung von Räumen und Ebenen ergeben.



82 Wegeföhrung PDH-Rahmenplan

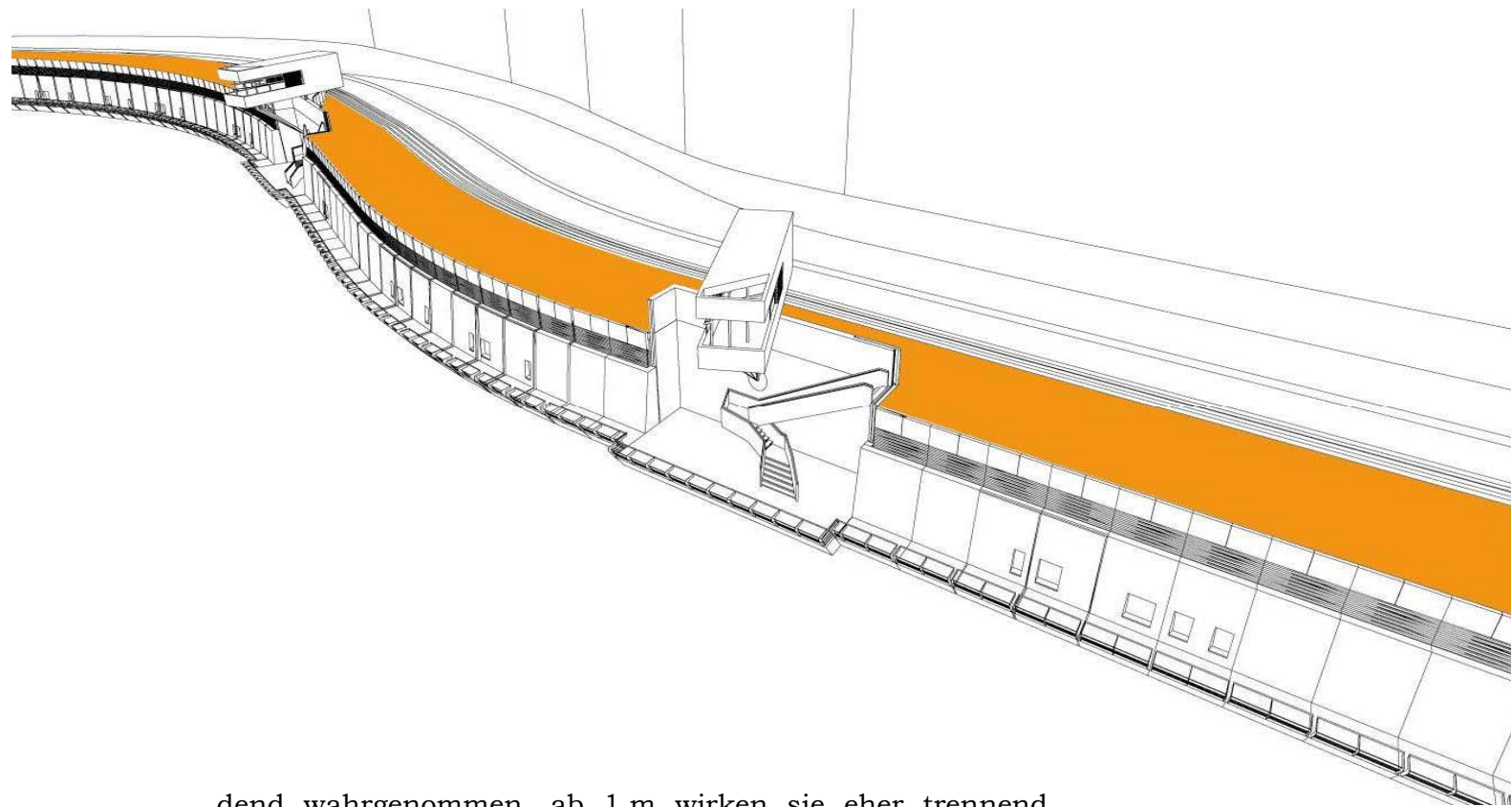
Promenadenraum



83 Promenadenraum, PDH-Rahmenplan

Vom Promenadenraum aus öffnet sich der Blick aufs Wasser. Dieser Ort dient dem Flanieren und dem Verweilen. Der Charakter der Promenade als Umschlagplatz zwischen Land und Wasser wird durch den Sichtbezug in beide Richtungen betont. Die Brüstung bietet dabei in ihrer filigranen Ausformung eine hohe Durchlässigkeit und stellt kaum eine Sichtbarriere dar. Durch die Einrichtung von markanten, schwebenden Pavillons wird der Promenadenraum zusätzlich belebt. Treppenanlagen verbinden ihn mit dem darunter liegenden maritimen Raum.

Bei einem hohem Verkehrsaufkommen der benachbarten Straße mit starker Lärmintensität und Abgasemissionen kommt eine Erhöhung des Promenadenniveaus im Verhältnis zum Straßenniveau in Betracht, kombiniert mit einer Treppenanlage, die sich großzügig über die gesamte Länge des Niveausprungs erstreckt und dessen trennende Wirkung mindert. Der Grad der Erhöhung ist standortabhängig – unter Berücksichtigung der Höhe der angrenzenden Bebauung und deren Infrastruktur – zu wählen. Höhenversprünge von 30 - 50 cm werden noch als verbind-



dend wahrgenommen, ab 1 m wirken sie eher trennend (vgl.VI.2.3). Bei geringer Beeinträchtigung durch den Straßenverkehr kann auf die Erhöhung verzichtet werden und die Atmosphäre der gegenüberliegenden Straßenseite stärker auf den Uferraum wirken.

Maritimer Raum

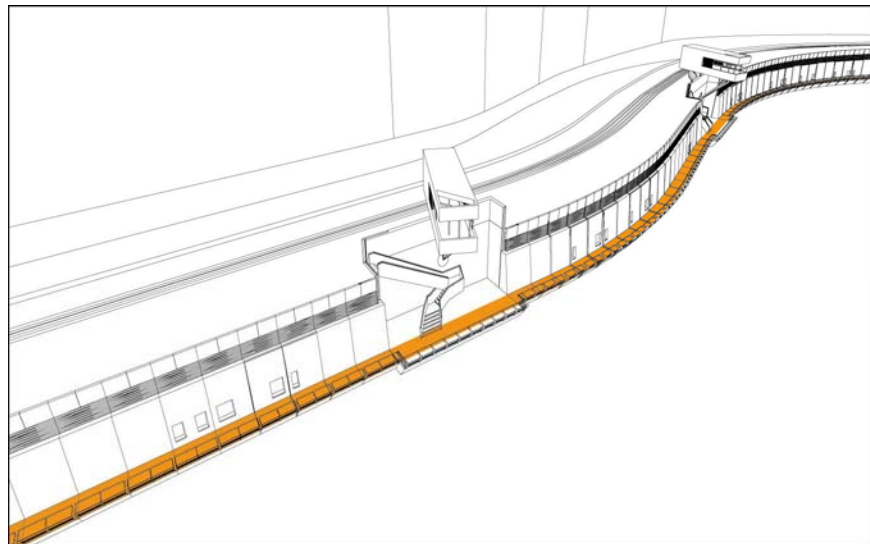
Der maritime Raum ist ein Kern-Element des PDH-Rahmenplans. Unmittelbar an der Grenze zwischen Wasser und Kaimauer lokalisiert, verzahnt er die beiden Bereiche. Dem Besucher bietet er vielfältige Möglichkeiten der Freizeit- und Sportnutzung. Da er sich praktisch auf der Höhe des Wasserspiegels befindet, macht er das Wasser für alle Sinne wieder erlebbar. Der maritime Raum setzt sich aus drei Komponenten zusammen:

1. Komponente → Laufsteg am Wasser
2. Komponente → Maritime Plätze
3. Komponente → Segel- und Sportboot-Pier

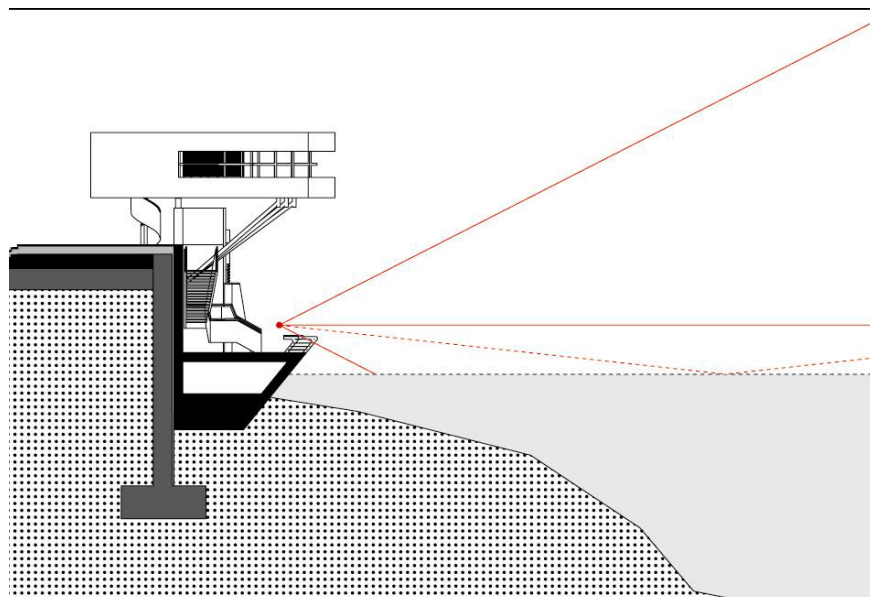
Laufsteg am Wasser

(Komponente 1 des maritimen Raumes)

Der Laufsteg am Wasser ist Teil der PDH-Schwimmkörper und entsteht in der Aneinanderreihung der PDH-Module. Der tief gelegene, sich parallel zum Ufer erstreckende Laufsteg am Wasser stimuliert die Bewegung. Er fördert im Entlangschreiten der Spazierroute die Entdeckung neuer Reize im maritimen Raum. In unregelmäßigen Abständen sind Sitzschalen in die Schwimmkörper eingelassen.



84 Laufsteg am Wasser, PDH-Rahmenplan



85 Haptische und optische Verbindung zum Wasser

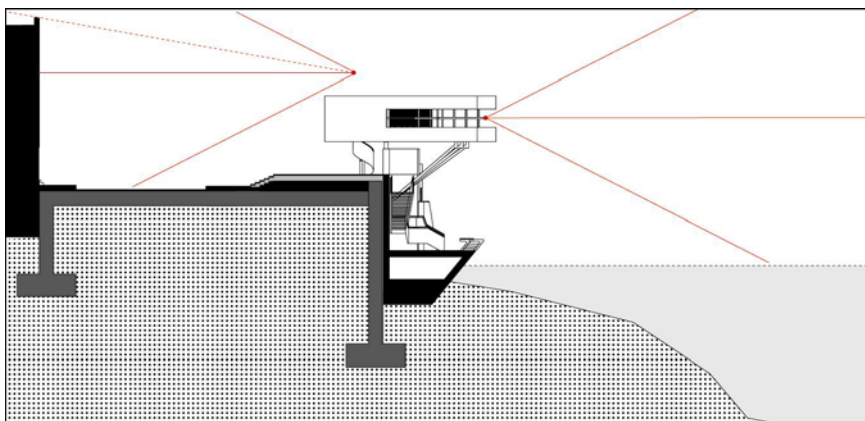
Schwebende Pavillons

Die schwebenden Pavillons verleihen dem Uferraum eine weithin sichtbare, signifikante äußere Erscheinung. Sie erheben sich jeweils oberhalb einer Platz- und Treppenstation in einem Winkel von ca. 30° zum Uferverlauf gedreht.

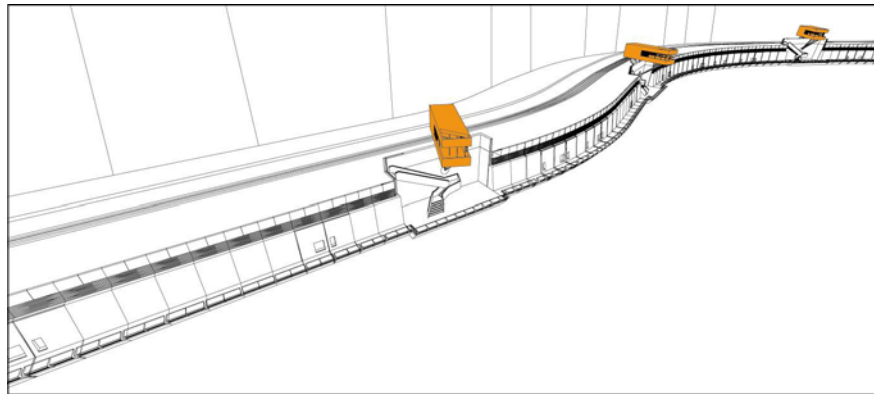
Zu Zweidritteln über dem Flussraum angeordnet, scheinen sie in der Luft zu schweben und ermöglichen aus ihrem Innenraum heraus einen Panoramablick auf Wasser und Uferstreifen. Ihre Dachfläche wird als Aussichtsplateau genutzt und eröffnet so eine weitere Ebene. Von beiden Pavillonetagen aus eröffnen sich neue Blickbeziehungen, welche ggf. eine Integration des Silhouettenraums ermöglichen.

Von außen entfalten die Pavillons ihre Signalwirkung als Sichtmarke und Wegweiser auf Promenaden- und auf Laufsteg-Ebene, wodurch sie die obere und untere Uferkante optisch miteinander verbinden. Neben der Nutzung der Stationen für gastronomische Zwecke ist die Belegung mit Sportclubs, Bars oder Ähnlichem denkbar.

Bei der Wahl des 30°-Winkels zur Anordnung der Pavillons waren Überlegungen zur Tiefe und Stärkung der perspektivischen Wahrnehmung der Baukörper ausschlaggebend. Durch die Drehung zur Uferkante wird die Plastizität der Körper betont, unabhängig davon, ob der Betrachter sich auf der Promenade, dem Laufsteg am Wasser oder auf einem Boot befindet. Die Fassade wird durch die gewonnene Tiefe in die Dreidimensionalität überführt und zum Relief aufgewertet.



86 Blick von Pavillon und Aussichtsplattform



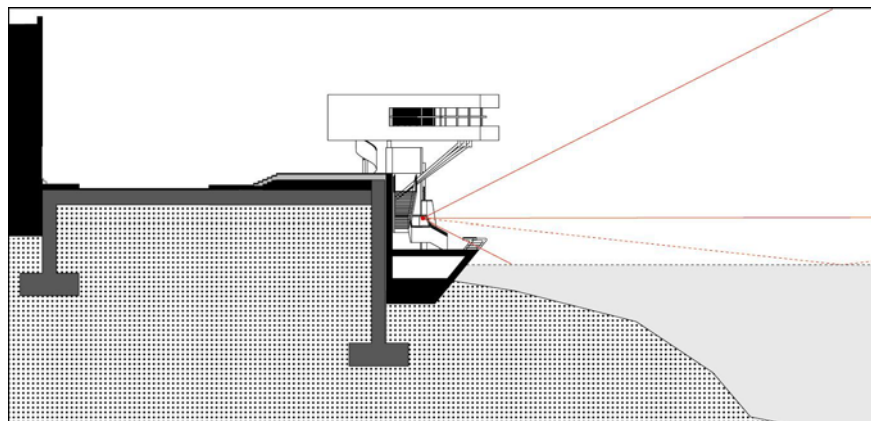
87 Schwebende Pavillons, PDH-Rahmenplan

Das Phänomen der größeren Tiefe bei einer Verschiebung und Drehung ist bereits in mittelalterlichen Straßenprofilen zu finden. Das Zurückspringen der Baukörper in verwinkelten Gassen bewirkt ein plastisches Erscheinungsbild. Von zeitgenössischen Architekten wieder geschätzt, findet sich dieses Phänomen und seine Wirkung z.B. in den Kompositionen von Daniel Libeskind und Steven Holl wieder.

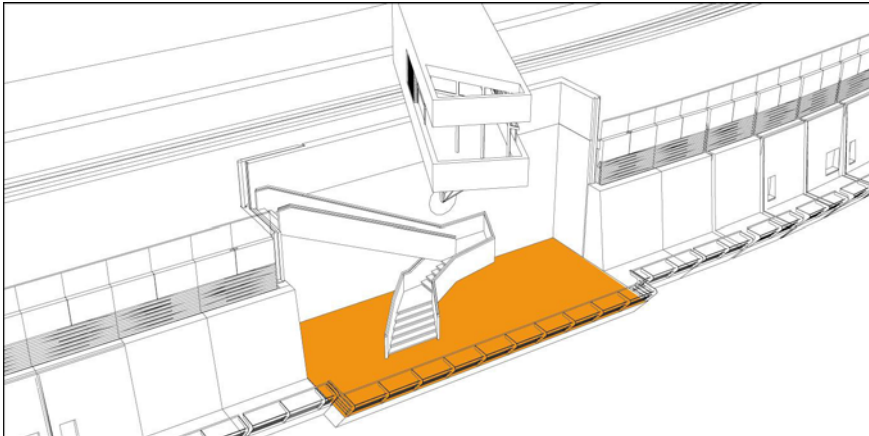
Maritime Plätze

(Komponente 2 des maritimen Raumes)

Die maritimen Plätze animieren zur Ruhe und Kontemplation und kontrapunktieren den längs betonten Laufsteg am Wasser. Auf Wasserspiegel-Niveau unterhalb der schwebenden Pavillons gelegen, wirken sie von der Promenade aus als Anziehungspunkte und verlocken zum Etagenwechsel. Die wassernahe Lage verleiht den Plätzen ein besonderes Flair.



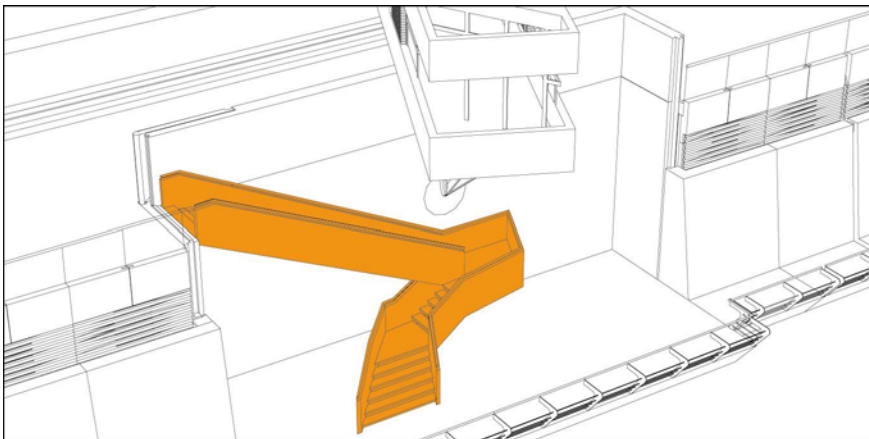
88 Blick aufs Wasser



89 Maritime Plätze, PDH-Rahmenplan

Durch den Niveausprung vom Lärm und den Emissionen des Straßenraumes abgeschottet, wird das Ufer zum Naherholungsgebiet der Stadt.

Mäandrierende Treppe



90 mäandrierende Treppe, PDH-Rahmenplan

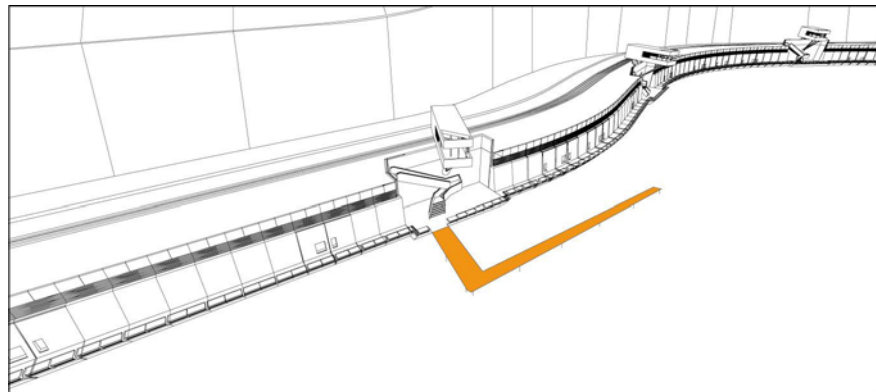
Die mäandrierende Treppe bewirkt, trichterförmig auslaufend, eine Streckenverkürzung in der Wahrnehmung zwischen Promenadenbereich und maritimem Raum. Das in einem Drittel der Höhe angeordnete Podest schafft in einer weiteren Ebene spannende und attraktive Blickwinkel auf das Wasser und seine Spiegelungen. Durch den Richtungswechsel im Treppenlauf eröffnen sich immer neue Perspektivräume. Bei der Anordnung und formalen Ausformung der Treppe stehen ebenso wie bei den schwebenden Pavillons

die Stärkung der Plastizität und der perspektivischen Wahrnehmung im Vordergrund.

Segel- und Yachthafen

(Komponente 3 des maritimen Raumes)

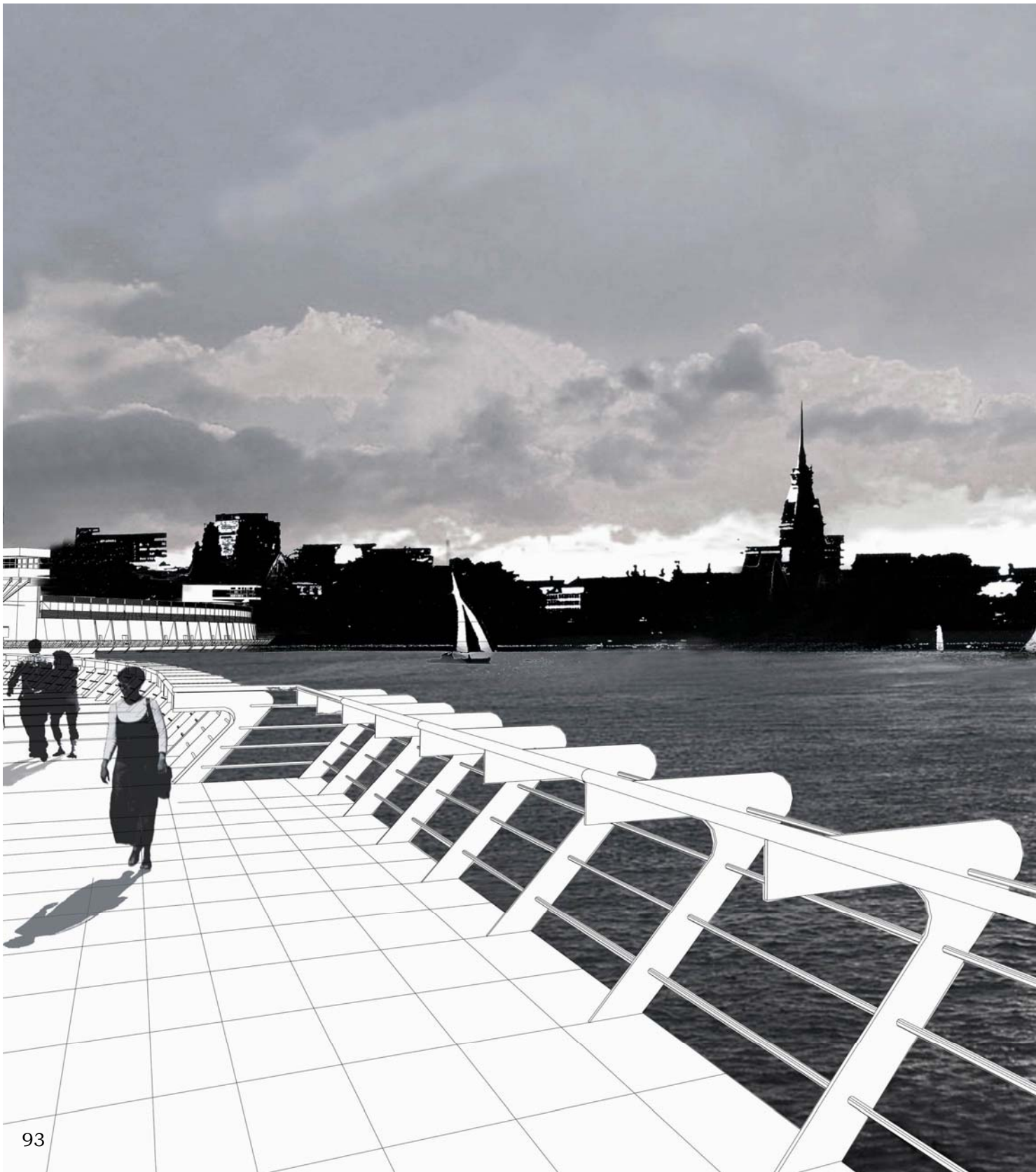
Vor dem Hintergrund der Privatisierung und Urbanisierung der alten Hafengebiete und im Sinne ihrer ehemaligen Funktion ist der Uferbereich heute prädestiniert für die Wassersportnutzung. In der Fortsetzung der maritimen Plätze sieht der PDH-Rahmenplan daher als dritte Komponente die Möglichkeit vor, die Plätze zu Segel- oder Yachthäfen zu erweitern. Somit sind die Promenade und die zugehörigen Stadtquartiere auch vom Wasser aus erschließbar.



91 Segel- und Yachthafen, PDH-Masterplan









VII Ausblick

„Solange wir daran festhalten,
dass Städte die komplexesten Kunstgebilde sind, die Menschen geschaffen
haben,
in denen unsere sozialen Werte ruhen und die uns den Hintergrund liefern,
vor dem wir das Zusammenleben lernen können,
solange ist es unsere kollektive Verantwortung, ihre Gestaltung in unsere eigenen
Hände zu nehmen.“

Spiro Kostof 1992,336

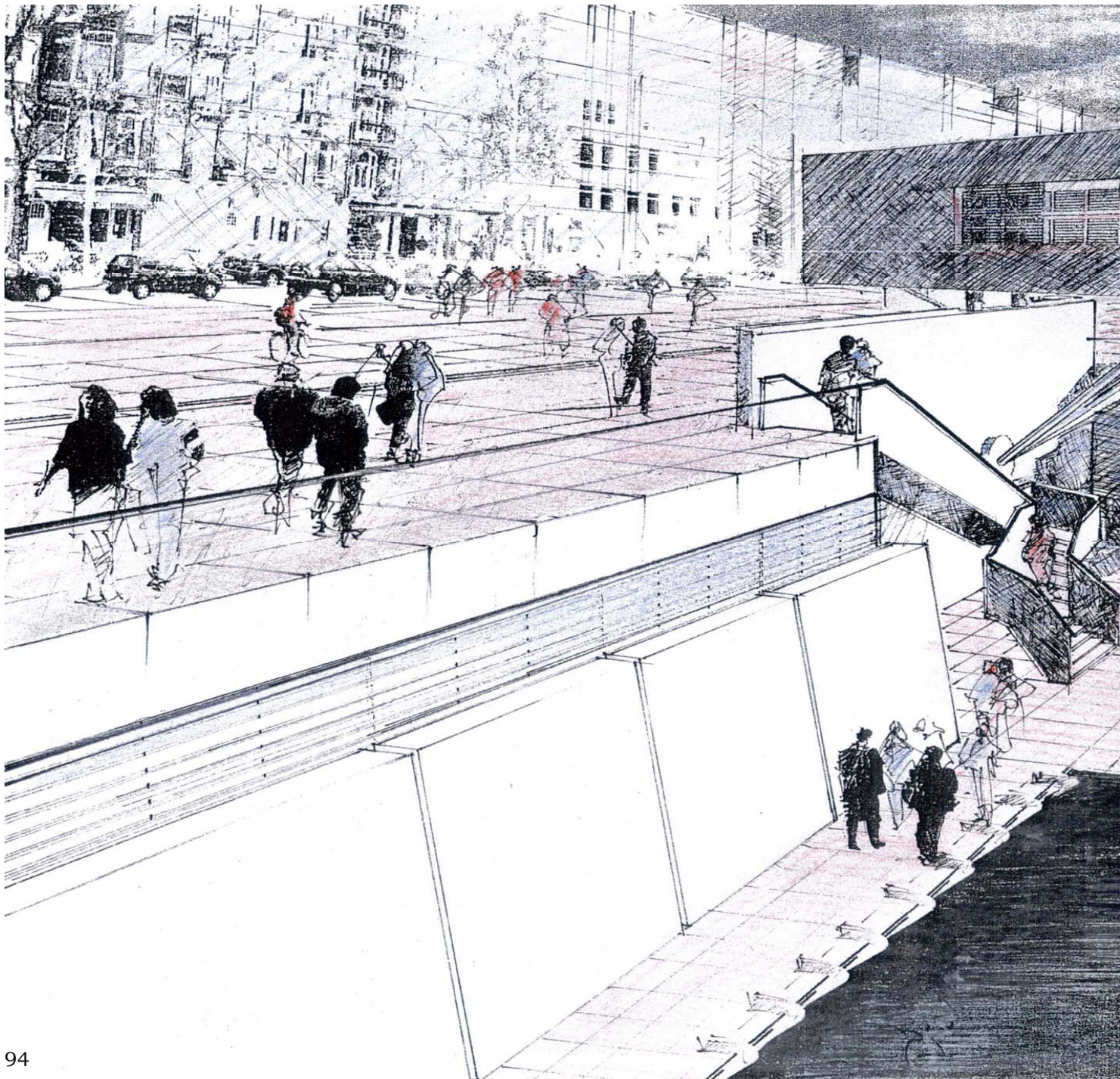
Das Neue bleibt nie für die Ewigkeit neu. Die Architekturen, die unseren Lebensraum gestalten, generieren in ihrer Überlagerung eine Collage von Vergangenheits- und Zukunftsformen. Die Gestaltung des Raumes zeigt sich als ein nie abgeschlossener Prozess, der in der Vergangenheit verankert ist, die Gegenwart durchquert und sich in der Zukunft fortsetzt. Der Übergang zum digitalen Informationszeitalter macht sich dabei heute deutlich bemerkbar. Durch die Verkürzung der Zugriffsmöglichkeiten, die Abrufbarkeit von Informationen und die Verwendung von computergestützten Techniken und Steuerungsprozessen haben sich die Logik und die Vorstellung der Welt innerhalb kürzester Zeit gewandelt. Die veränderte Situation löst zunehmend konventionelle Modelle von Nutzungsobjekten und Lösungsstrategien ab. Die Chancen unseres Zeitalters liegen in Nano-Technologien, in innovativen Fertigungsverfahren und Produkten und in der Eröffnung von neuen Technologiefeldern sowie neuen technischen Prinzipien. Auf der Basis unseres Wissens und der Errungenschaften, die mit der Erfindung des Rades und der Zahnradtechnologie einhergingen, stehen wir an der Schwelle zur Hinwendung zu neuen Technologien – bzw. haben diese bereits überschritten. So basiert das dynamische Prinzip des PDH-Systems nicht auf Rollen oder Kugellagern, sondern nutzt die Technologie des elektromagnetischen Schwebens.

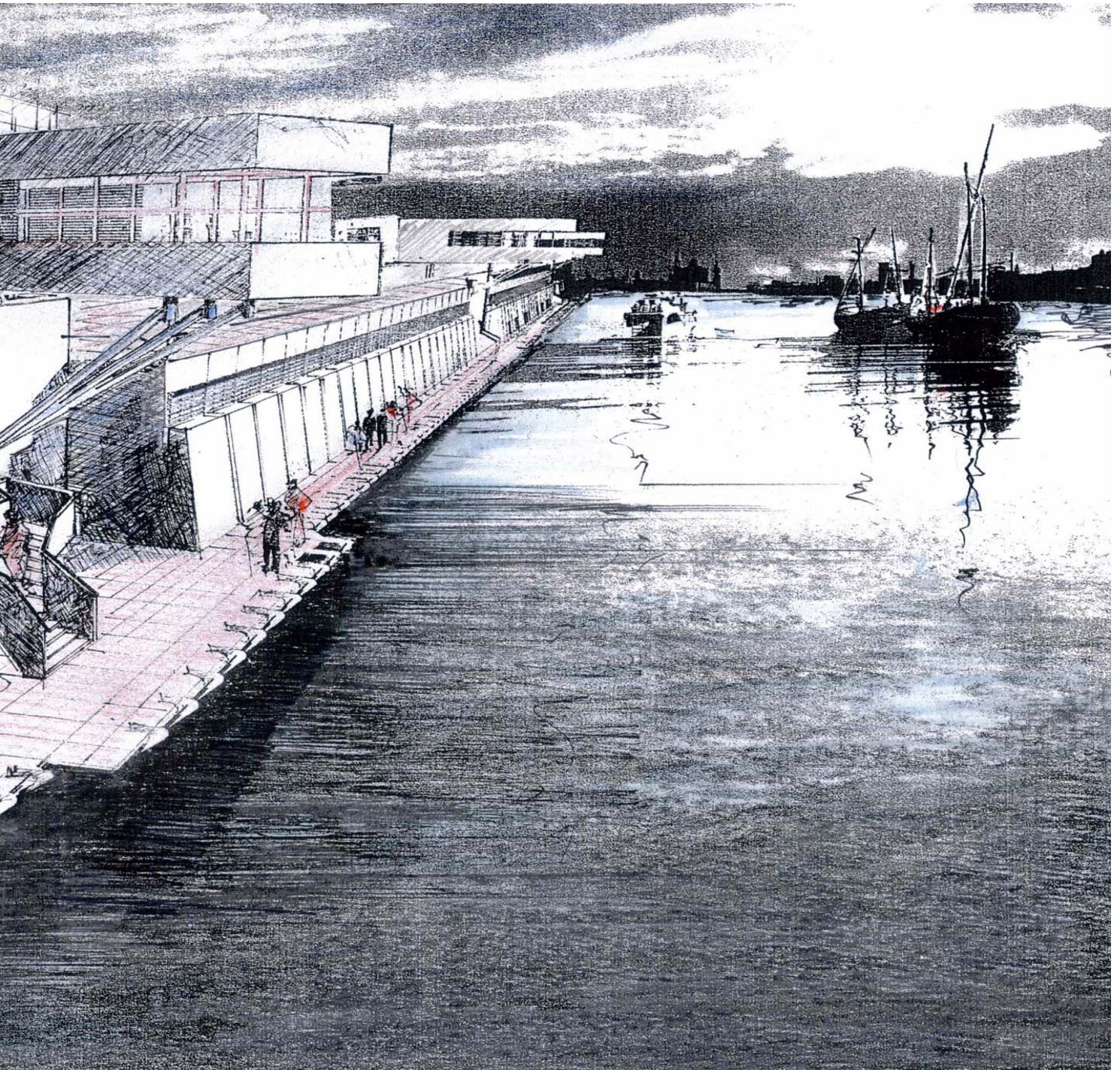
Die Herausforderung in der Entwicklung des PDH-Systems als Hochwasserschutz für urbane Räume bestand darin, funktionale, statische und wirtschaftliche Sachzwänge in

Einklang zu bringen mit den Standortfaktoren, veränderten Umweltbedingungen und den ästhetischen Anforderungen. Hochwasserschutz bedeutet einen Eingriff in das Stadtbild, welcher häufig eine trennende Zäsur zwischen Wasser und Ufer mit sich bringt. Doch ist urbaner Raum am Wasser ohne entsprechende Schutzmaßnahmen nicht denkbar:

„Städte und Dörfer müssen mit technischen Schutzanlagen gegen [...] Hochwasserereignisse geschützt werden. Dazu gibt es keine Alternative. Die mit Renaturierungsmaßnahmen und Rückdeichungen verbundene Rückhaltung von Hochwasser reicht normalerweise nicht aus, um spezielle Schutzansprüche für hochwertig genutzte Flächen [...] erfüllen zu können“ (NLWKN 2005, 57).

Die Schutzfunktion des PDH-Systems entspricht diesen Anforderungen, wobei eine sinnvolle Verbindung von gesellschaftlich-ästhetischen Ansprüchen und technischer Funktionalität prioritär war. Das bewusste Erleben des Wassers im Stadtraum und die Bewahrung des besonderen Flairs an den Hafen- und Wasserkanten zu ermöglichen und dennoch einen permanent vorhandenen, sicheren Schutz gegen Hochwasser zu bieten – das ist das Bestreben des Verfassers und war Antrieb für die Entwicklung des PDH-Systems. Eingebettet in den PDH-Rahmenplan ist es daher neben seiner Funktion als Hochwasserschutz als Verbindungselement zwischen Straßenraum, Promenadenraum und Uferbereich entwickelt worden. In Analogie zu einem natürlichen Ufergefälle ermöglicht es einen fließenden Übergang vom Land hinunter zum Wasser. Die Bewegung als Gestaltungs- und Planungsprinzip bildet dabei die Basis des permanent-dynamischen Systems und offenbart sich ebenso in der Aneignung und Inbesitznahme des Uferbereichs durch die Bewohner der Stadt. Das System, das an jeglichen befestigten Uferkanten universell anwendbar ist, befördert in seiner Ausformung die Bildung von attraktiven Stadträumen. Unabhängig davon, ob es sich um bestehende Infrastrukturen handelt oder um die Reaktivierung von ehemals brachliegenden Hafengebieten, unterstützt es die Belebung der wassernahen Areale – welche so ihrer Bestimmung als Ufer wieder gerecht werden.





VIII Exkurs zum Gestaltungsprinzip Bewegung

Bewegung in der Umwelt

VIII.1

In unserer Umwelt werden wir permanent mit dem Phänomen Bewegung in den verschiedensten Varianten konfrontiert. Nicht nur Menschen und Maschinen bewegen sich, auch subtile Ausprägungen des Phänomens, wie Wind in den Bäumen oder die Ausformung immer neuer, bizarrer Wolkenformationen, bedeuten ständig neue Bilder im Raum.

Sich bewegende Dinge erregen unsere Aufmerksamkeit immer als Erstes, unabhängig davon, ob sie in freier Natur oder in gebauter Umgebung, ob sie eindimensional auf einer Linie, zweidimensional in der Fläche oder frei im Raum auftreten.

„Schon für das Kleinkind sind Licht und Bewegung das erste, worauf es aufmerksam wird. [...] Bewegungen vermitteln uns immer wichtige optische Informationen“ (Weber 1975, 28).

Bei näherer Betrachtung unserer Umgebung erweisen sich die wenigsten Dinge als vollkommen unbeweglich. Eine zunächst als statisch angenommene Fassade eines Gebäudes offenbart sich als Kulisse diverser, parallel verlaufender Bewegungsabläufe und -inszenierungen. Bewegung von Menschen hinter Fenstern, in gläsernen Fluren, Fahrstühlen oder Treppenhäusern bilden sich als Bewegung auf der Fläche ab und lassen das Gebäude einem Organismus gleichen. Durch Einwirkung der Sonne und dem ständigen Wechsel ihrer Intensität und ihres Einfallswinkels vollzieht sich am Tage ein lebendiges Spiel von Licht und Schatten auf den unterschiedlich strukturierten Oberflächen. Nach Sonnenuntergang kehrt sich das Geschehen um: Die Fenster der Fassaden werden zu Leuchtpunkten, die sich in immer wieder neuen Konstellationen auf der Fassade ausbreiten, sich verdichten und schließlich wieder erlöschen. Der Lebensrhythmus der Nutzer wird an den Fassaden ab-

lesbar. Einer ähnlichen Sprache bedienen sich Medienfasaden, die bewusst agieren oder auch in eine Interaktion mit ihrer Umgebung treten.

Spielen sich Bewegungen im dreidimensionalen Raum ab, haben sie eine noch direktere Wirkung auf uns. Einem fliegenden Drachen im Park oder einem aktiven Roboter in der Fabrik folgen wir fast automatisch mit den Augen. Einer beweglichen Brückenkonstruktion oder einer dynamischen Wehranlage zwischen Wasser und Land begegnen wir interessiert oder neugierig.

VIII.2

VIII.2.1

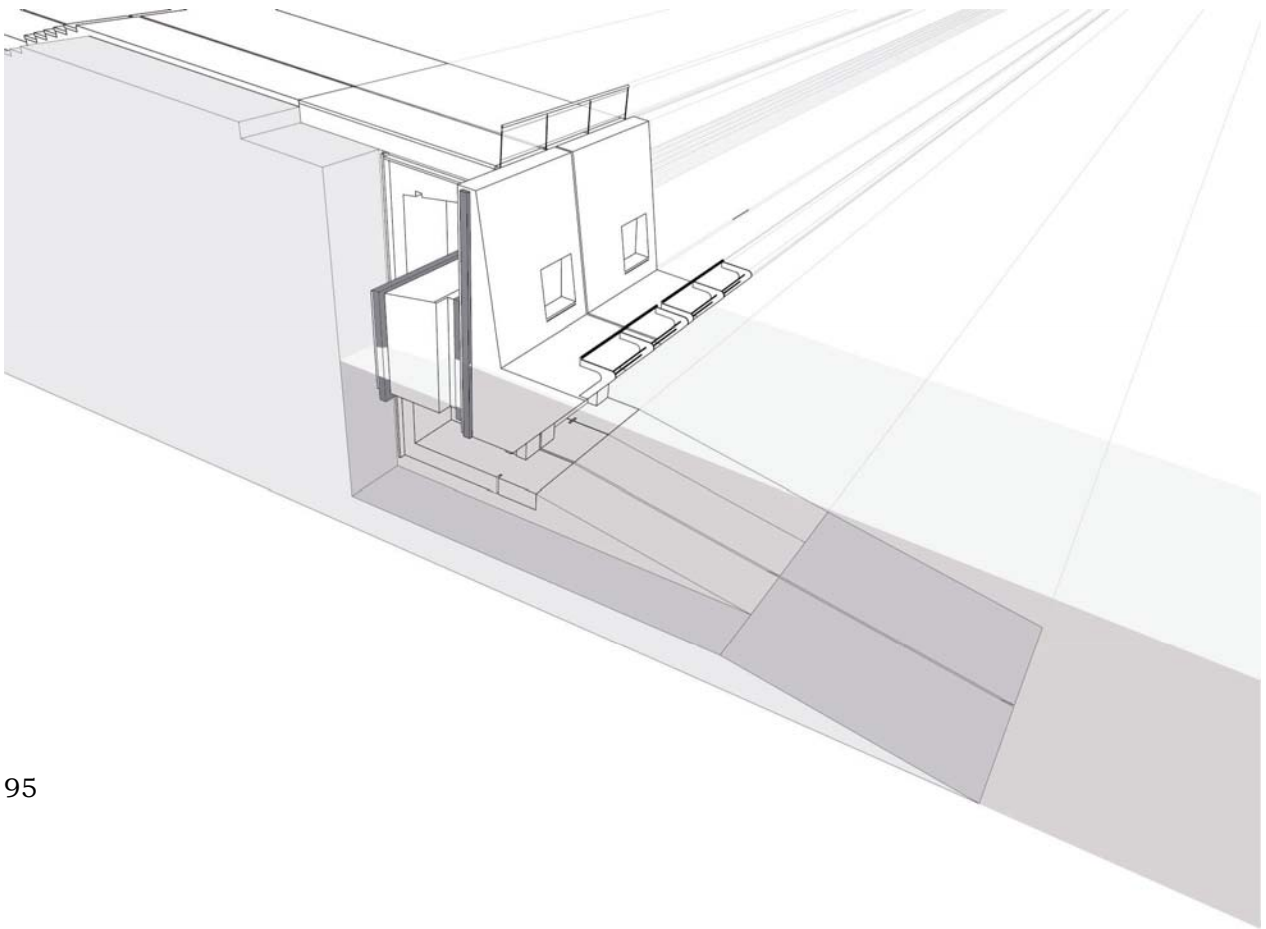
Dynamik und Kinetik bilden die wesentlichen Voraussetzungen für die Entstehung und Entwicklung des PDH-Systems und des PDH-Rahmenplans. Mit dem Anspruch des permanenten Schutzes – unter Berücksichtigung elementarer optischer und haptischer Bedürfnisse – entwickeln sich Form und Funktion der System-Module um das Gestaltungs-Axiom Bewegung.

Die Funktionsweise des PDH-Systems und die Bewegung evozierende Ausformung des Uferbereiches durch den PDH-Rahmenplan artikulieren die Uferlinie als dynamisches Areal. Den Passanten eröffnet sich ein neuer Bewegungsrhythmus. Die verschiedenen Bewegungsebenen und Blickwinkel beeinflussen die Raumkulisse und bewirken die Überschneidung der Teilräume des Uferraumes.

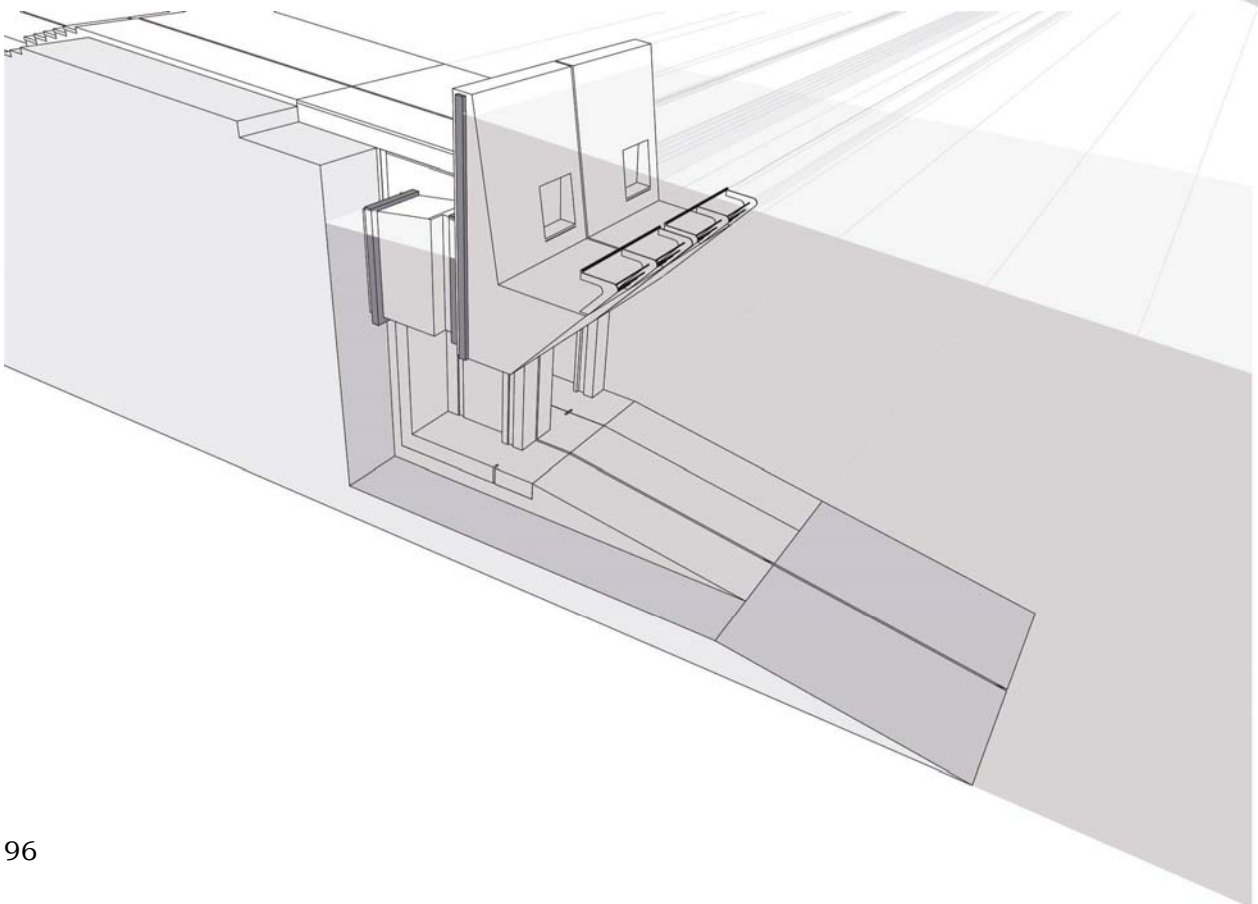
„Wir [...] nehmen [unsere Umwelt] wahr, indem wir uns auch bewegen. Unsere Augen schweifen umher und vermitteln uns so einen Eindruck von dem Raum [und von der Architektur], die uns umgeben. [...] Objekte, die uns interessieren, betrachten wir von allen Seiten. Unser Raumerlebnis hängt in hohem Maße von unserer eigenen Bewegung und der Bewegung unserer Umwelt ab. Wenn wir gehen oder nur unseren Kopf drehen, ändern sich alle Überschneidungen – im Vordergrund rasch, nach hinten immer langsamer werdend – so dass die Raumkulissen zu rotieren scheinen. Unklare Überschneidungen von komplizierten Objekten lösen sich so voneinander und werden als Gestal-

Bewegung als Gestaltungsmittel

Bewegung des PDH-Systems



95



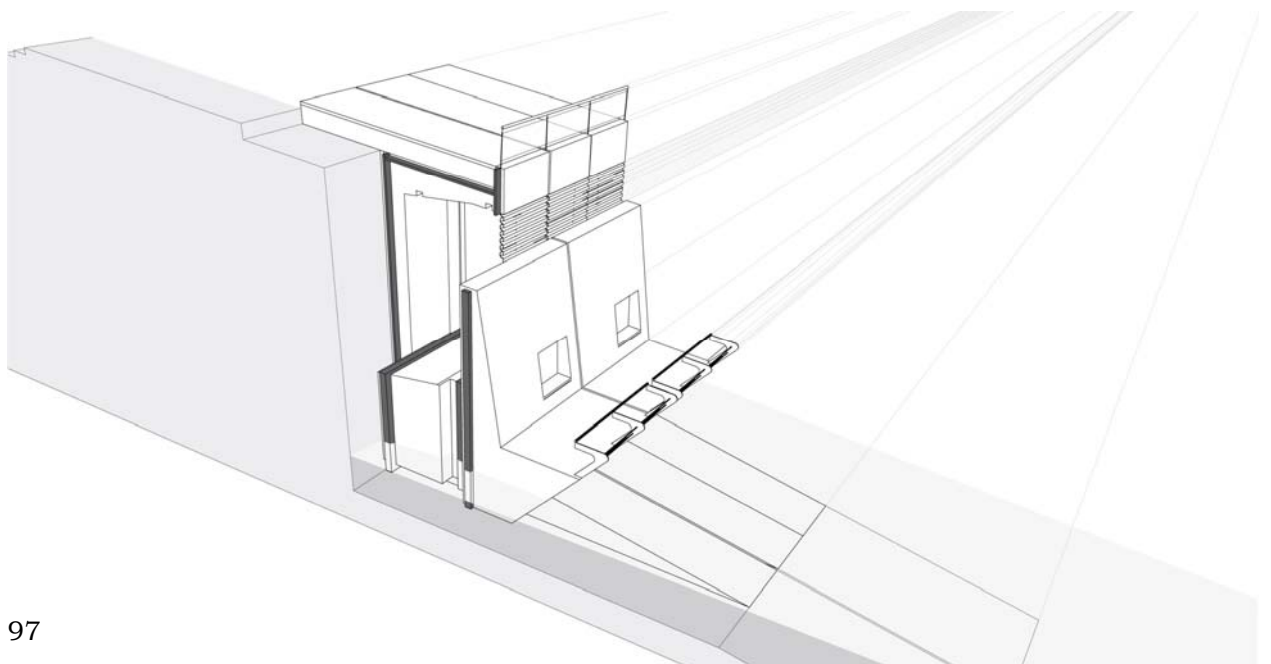
96

ten klarer erkennbar. Die [sich bewegenden Elemente] [...] vereinen sich mit den Veränderungen, die durch unsere Eigenbewegungen entstehen, zu einem lebendigen Raumerlebnis“ (Weber 1975, 28).

Das dynamische Prinzip zieht sich durch die gesamte Architektur- und Kunstgeschichte. Einigen Bauten kommt durch ihre funktionsbedingte Bewegung und ihre spezifische konstruktive Formation eine besondere Position zu. Ihr dualer Charakter basiert auf der Wechselwirkung zwischen der Dynamik von Konstruktionselementen und der allgemeinen Statik des Baukörpers. Im Zusammenspiel des Ganzen bildet sich die besondere kinetische Ästhetik heraus.

Im vorliegenden Exkurs werden wesentliche Beispiele beleuchtet, bei denen die Bewegung ein charakteristisches Prinzip darstellt. Obwohl die kinetischen Bauwerke offensichtlich sehr unterschiedlicher Natur sind in Bezug auf Ursachen und Art ihrer Bewegung, deren Zeitfolge sowie deren Rhythmus, können sie allgemein in vier Kategorien unterteilt werden.

- Kinetik als Element der Überraschung und des Schauspiels
- Kinetik als Bindeglied zwischen Funktion und Gestalt
- Kinetik als Erscheinungsbild der Funktion
- Kinetik in der Kunst und Malerei



Kinetik als Element der Überraschung und des Schauspiels

VIII.2.2

Menar Jomban (Shaking Minarets)

Isfahan, Persien 14. Jh.

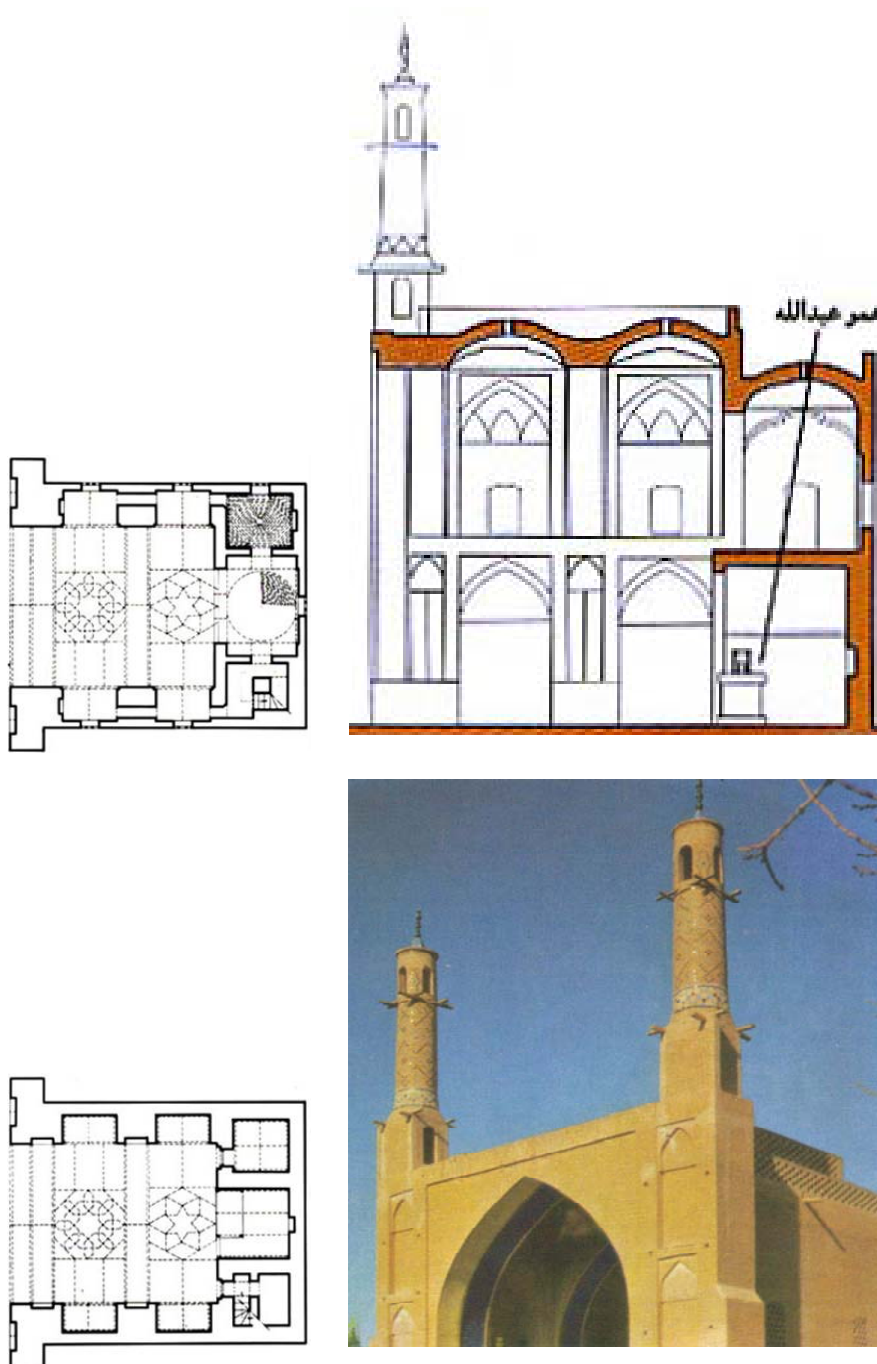
Der Baumeister dieses eigenartigen Bauwerks ist unbekannt. Das Gebäude der „Shaking Minarets“ beherbergt das Mausoleum des Scheichs Abdullah Soghlabi, gestorben im Jahre 1316 n. Chr. in Isfahan. Auf den ersten Blick erscheint es wie ein typisches, traditionelles Gebäude der mongolischen Herrschaftsperiode Persiens um das 14. Jh. n. Chr. (Beheshti 2005, 142).

Der monolithische Baukörper ist auf einem quadratischen Grundriss (13 m x 13 m) aufgebaut. Die rechteckige Eingangshalle mit großem Spitzbogenportal erhebt sich mit etwa 10 m Höhe über zwei Geschosse. Außen- und Innenhaut bestehen aus gelben Ziegelsteinen verschiedener Verbandmuster, zum Teil mit sternförmigen Mosaiken in zurückhaltender Farbkomposition.

Aufgrund seines unscheinbaren äußeren Erscheinungsbildes steht das Mausoleum eher im Schatten der weltberühmten Prachtbauten Isfahans – zu Unrecht. Es birgt ein bis heute ungelöstes Konstruktions-Geheimnis, welches es zu einem architektonisch und technisch einzigartigen und faszinierenden Bauwerk macht. Schon im Jahre 1711 berichtet der Niederländer Cornelis de Bruijn, dass sich das Bauwerk in eine dynamische Maschine verwandeln ließe. Auch der Engländer C. E. Stewart beschreibt 1911 das erstaunliche Schauspiel in seinem Buch „Through Persia in Disguise“ (ib). Tatsächlich lassen sich die beiden 18 m hohen Minarette des Gebäudes ins Wanken bringen. Auf einer Studienreise 1968 hat der Verfasser dieses Schauspiel selbst erlebt bzw. den Mechanismus in Gang gesetzt. Dazu ist nur ein geringer Kraftaufwand erforderlich:

Man betritt einen der beiden kleinen, zylinderförmigen Räume (Ø 1,5 m) – die sich in der Spitze der Minarette befinden – und berührt mit ausgebreiteten Armen die gegenüberliegenden Bereiche der Innenwand des kleinen Raumes. Durch rhythmisches Hin- und Herwiegen beginnen die beiden Minarette, sich parallel hin und her zu bewegen.

Wie der ungewöhnliche kinetische Mechanismus der Türme funktioniert, ist ein Rätsel. Ebenso ist bis heute nicht geklärt, wie es möglich sein kann, dass der Ziegelverband des Mauerwerkes der Bewegung seit knapp 700 Jahren standhält.



98 und 99 (Foto) Shaking Minarets, Isfahan, Persien

Kinetik als Bindeglied zwischen Funktion und Gestalt

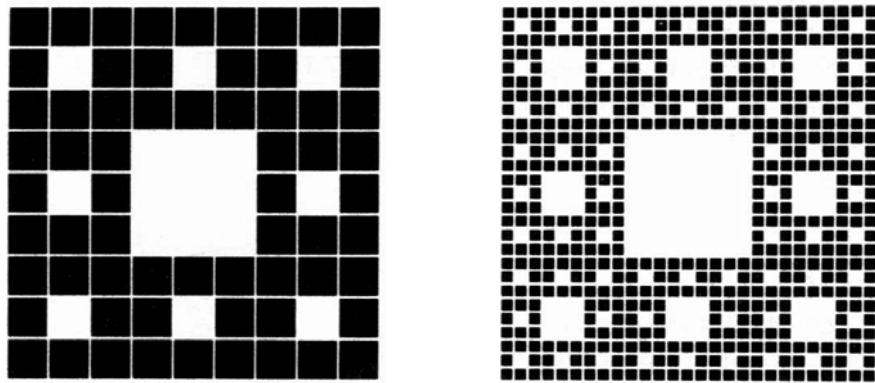
VIII.2.3

Südwest-Fassade des Instituts du Monde Arabe

Paris, 1987-1994

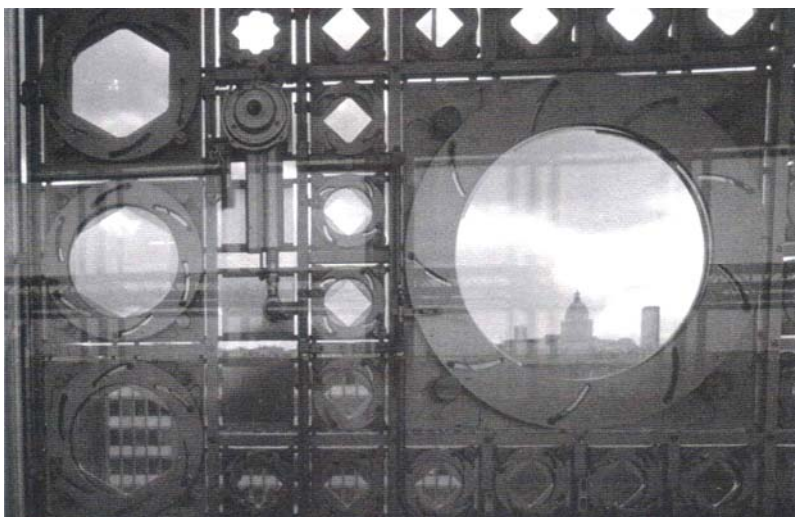
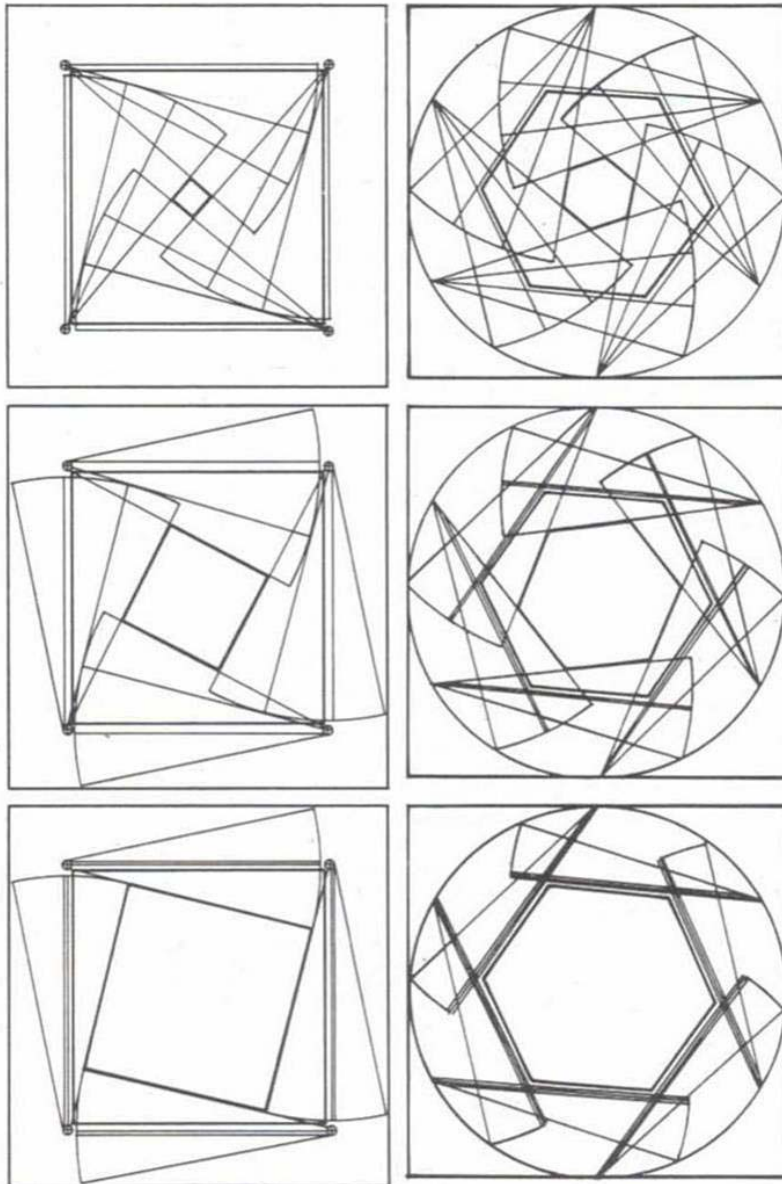
Architekt. Jean Nouvel

Die Südwest-Fassade des *Institut du Monde Arabe* wird gegen starken Sonneneinfall mittels elektrisch angetriebener, beweglicher Fensteröffnungen geschützt. Diese sind in einem quadratischen Raster an der Fassade angeordnet, welches nach dem Prinzip des *Sierpinski-Teppichs* unterteilt ist.



100 Struktur des Sierpinski-Teppichs

Die gitterförmigen Fensterkonstruktionen, die analog zum Mechanismus einer Kamerablende funktionieren, öffnen und schließen sich computergesteuert. Stufenlos lassen sich, je nach Intensität der UV-Strahlung, die Durchmesser der Einfallöffnungen anpassen und das Licht bedarfsweise einfallen. Die Kinematik der Blendenöffnungen erzeugt auf der Fassade eine fließende Bewegung. Im Innenraum bewirkt das durch die filigranen Öffnungen fallende Licht eine magisch-geheimnisvolle Atmosphäre. Diese Lichtinszenierung ähnelt der diffusen Lichtdurchdringung orientalischemaurischer Wand-Konstruktionen wie beispielsweise in der Alhambra (Jean Nouvel 1994a u.1994b]. Gleichzeitig strahlt die computerinszenierte kinetische Kunst eine dynamische Ästhetik aus, die durch eine konstruktive Formgebung erzeugt wird und – verstärkt durch Lichtreflexionen und Spiegelungen – die Dialektik von Offenheit und Geschlossenheit demonstriert.



101 (oben) und 102 Fensterblenden, Institut du Monde Arabe

Klappbrücke Pont de Langlois

Arles, Frankreich

Die Holzklappbrücke *Pont de Langlois* südlich von Arles erlangte ihren Bekanntheitsgrad durch Gemälde van Goghs. Bei der Brücke handelt es sich um eine Seilkonstruktion mit Dreh-Hub-Mechanismus und oben liegendem Gegengewicht, einer Technikentwicklung des 19. Jahrhunderts (Knippers 1998, 74). Die hochklappbaren Brückenscheiben sind durch Seile zugfest mit den Brückenköpfen verbunden. Die Bewegung der unspektakulären, zarten Konstruktion wird durch das Gleichgewicht zwischen Druck- und Zugkräften ermöglicht.

Die Brücke führt über einen schmalen Wasserweg und lässt sowohl die Fortsetzung der Straße zu als auch die Schiffbarkeit des Kanals. Durch den maschinenhaften Charakter und die Beweglichkeit der drehbaren Verankerungen an den massiven Uferkanten fasziniert, malte Vincent van Gogh 1888 die Brücke in mehreren Variationen und erfasste mit klaren Strichen die Struktur des Antriebsmechanismus.



103 Zugbrücke von Arles, Vincent van Gogh
skizziert vom Verfasser

Klappbrücke Kiel-Hörn, gmp

über die Kieler Förde, 1996-1997

Architekt Volkwin Marg (gmp)

Ingenieur Jörg Schlaich

Sehr viel jüngeren Datums ist die Klappbrücke in Kiel-Hörn. Mit ihrem ebenso expressiven Antriebsmechanismus und ihrer leicht-eleganten Bewegung stellt die Klappbrücke eine bauliche Attraktion dar. Die kinetische Konstruktion der einseitig zusammenfaltbaren Dreifeldbrücke ist im Gegensatz zu den meisten mit versteckter Hydraulik angetriebenen, beweglichen Brücken offen und ablesbar konzipiert. Sie besteht aus drei gelenkig verbundenen Platten, welche durch beidseitig angebrachte Seile und zwei Stahlbügel bewegt werden. Die einer Ziehharmonika ähnelnde Komposition inszeniert die Verbindung beider Ufer und stellt in ihrer Art eine technische Innovation dar. „Zweifeld-Klappbrücken gehören [...] zum technischen Standard; [...] deren weltweit neue Weiterentwicklung zu einer Dreifeld-Klappbrücke [wirkt] als kunstvolles, maritimes Zeichen“ (v. Gerkan und Marg 2006, 250-251)



104 Dreifeld-Klappbrücke, Architekt V. Marg, gmp

Kinetik als Erscheinungsbild der Funktion

VIII.2.4

Die Faszination und der Daseinszweck fliegender Bauten wie Karussells, Achterbahnen, Luftschaukeln oder Riesenrädern liegt in ihrer Funktion, der Bewegung. Eine Behandlung dieses Kapitels würde aber den Rahmen dieser Arbeit überschreiten.

Kinetik in Malerei und Plastik

VIII.2.5

In der Malerei setzten sich die Futuristen durch die Darstellung von Bewegungsabläufen intensiv mit dem Phänomen Bewegung auseinander. 1909 forderte der italienische Schriftsteller Marinetti in dem von ihm verfassten *Manifest des Futurismus* die Künstler auf, sich auf neue Inhalte zu konzentrieren, welche die technischen Errungenschaften der Zeit widerspiegeln (Baldacci 1988, 14-17). Maschinen – Autos, Eisenbahnen, Flugzeuge – wurden zu ihren wichtigsten Sujets – Kunst im Zeichen der Dynamik des modernen urbanen Lebens.

Der Maler Boccioni, einer der Haupttheoretiker des Futurismus, reduzierte die Farbgebung zugunsten einer starken Dynamik der Formen – im Gegensatz zu den Vertretern des russischen Futurismus wie beispielsweise Kljun. Ab 1912



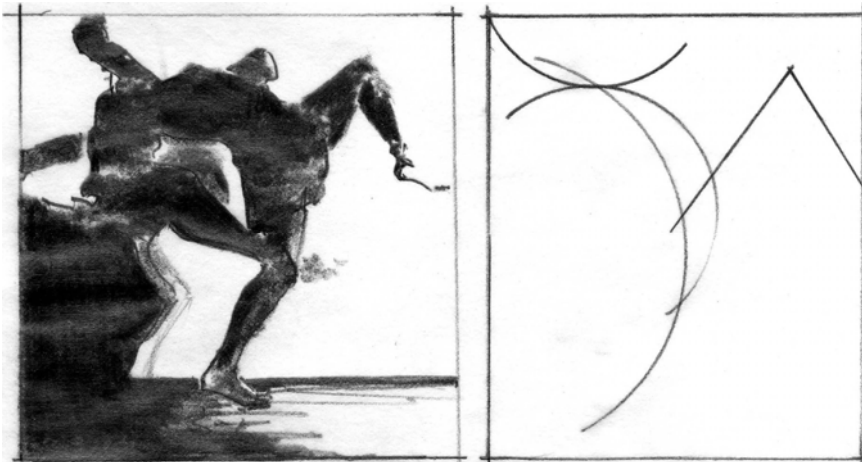
105 Futuristische Lokomotive von Ivan Kljun,
Zeichnung des Verfassers

schuf er auch Skulpturen, bei denen neue Beziehungen zwischen den Objekten und ihrem umgebenden Raum dargestellt sind (Baumgarth 1966, 74).

VIII.3

Die Faszination, welche uns angesichts bestimmter Bewegungen ergreift, ist affin zu der Begeisterung, die wir bei der Betrachtung der Körperartikulation und der Choreographie eines Tanzes empfinden. Ebenso inszeniert die Architektur den Raum, in dem wir uns bewegen. Sie macht ihn zur Bühne der Bewegung, in welchem sich die Poesie der Architektur entfalten kann.

Faszination Bewegung



106 Bewegung im Raum, Skizze des Verfassers nach Wassily Kandinsky, Analyse einer Tanzbewegung

IX Bibliographie

- Anderson Anderson Architecture. 2006. *High-Density on the High Ground: Proposals for the Rebuilding of New Orleans*.
<http://www.archrecord.construction.com/biennale2006/6/spongeComb.pdf>
- Achilles, Fritz W. 1985. *Rhein-Ruhr Hafen Duisburg. Größter Binnenhafen der Welt*. Duisburg.
- Baldacci, Paolo. 1988. „Mario Sironi und die Schaffung einer nationalen Malsprache“. In: Jürgen Harten; Jochen Poetter (Hgg.). *Mario Sironi (1985-1961)*. (Städtische Kunsthalle Düsseldorf). Köln.
- Baranow, Nikolai N. 1985. *Die Silhouette der Stadt*. 1.deutschsprachige Aufl., Berlin.
- Bartels, Olaf. 2005. „Die Hafencity lebt?“ In: *Deutsches Architektenblatt* 09
- Baumgarth, Christa. 1966. *Geschichte des Futurismus*. Hamburg.
- Beheshti, Oksana. 2005. *Isfahan. The Great World Heritage*. Teheran.
- Benevolo, Leonardo. 1990. *Die Geschichte der Stadt*. Frankfurt/Main, New York.
- Benevolo, Leonardo. 1978. *Geschichte der Architektur des 19. und 20. Jahrhunderts*. 2 Bde. München.
- Bense, Max. 1965. *Aesthetica. Einführung in die neue Aesthetik*. Baden-Baden.
- Bernhard, Christoph. 2003. „Stadt am Wasser.“ In: Martin Baumeister [et al.] (Hgg.). *Informationen zur modernen Stadtgeschichte. Stadt am Wasser*. o.O, 4-13.
- [Beton]. 2007. „Beton & Gestaltung.“ In: *beton*. 7+8. 342-345.
- Blasch Architekten Regensburg. 2007. *Hochwasserschutz Regensburg. Gesamtkonzept. Infoblatt 4*. Stadt Regensburg und Wasserwirtschaftsamt Regensburg (Hg.).
- [BLU] Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hg.). 2007. *Hochwasser. Grundsätze und Ziele. Aktionsprogramm 2020*. <http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/hochwasser_grundsaeetze_ziele/index.htm>

- [BMU] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.). 2007. *Hochwasservorsorge. Entstehung von Hochwassersituationen*. http://www.bmu.de/fb_gew/?fb=3238
- [BMV] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.). 2006. *Hochwasserschutzfibel. Schutz- und Vorsorgemaßnahmen in hochwassergefährdeten Gebieten*. Berlin.
- Bodemann, Uwe. 2001. „Hafencity – Anlass, Masterplan, Chancen.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 99-118.
- Borgeest, Claus. 1977. *Das sogenannte Schöne*. Frankfurt/Main.
- Bratfisch, Rainer (Hg.). 2003a. *Hochwasserschutz. (Ernst & Sohn Special)*. 1/03. Berlin.
- Bratfisch, Rainer. 2003b. „Gitterkorb statt Sandsäcke.“ In: Rainer Bratfisch (Hg.). 2003a, 35.
- Bratfisch, Rainer (Hg.). 2003c. *Hochwasserschutz und Katastrophenmanagement. (Ernst & Sohn Special)*. 4/03. Berlin.
- Brencher, Jan [et al.]. 2007. „Risiko und Risikominderung in einer Tideregion.“ In: C. Zimmermann (Hg.): *Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen. Mitteilungen*. (Leibniz Universität Hannover) Heft 94/2007, Hannover, 155-267.
- Brinkmann, Brigitte. 2005. *Seehäfen. Planung und Entwurf*. Berlin.
- Bruijn, Cornelis de. 1711. *Reizen over Moskovie, door Persie en Indie*. Amsterdam. <http://www.livius.org/bn-bz/bruijn/cornelis_de_bruijn4.html#Persia>
- Bundesgesetzblatt. 2005. *Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes*, BGBl. Teil I, Nr. 26. (ausgegeben zu Bonn am 3. Mai 2005).
- [BWK] Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (Hg.). 2005. *Mobile Hochwasserschutzsysteme. Grundlagen für Planung und Einsatz*. Merkblatt 6. Sindelfingen.
- Chramosta, Walter M. 1992. „Vorspiel zu einer Stadtraumvorstellung.“ In: Stadtplanung Wien. Wolfgang Dvorak (Hg.). Wien. *Stadtraum. Der Stand der Dinge*. Wien, 6-7.
- Le Corbusier. 1963. *Ausblicke auf eine Architektur*. Berlin.
- db *deutsche bauzeitung* (Hg.). 1985. Coiffeur ou architecture? Institut der arabischen Welt. 1. 46-47
- Dechau, Wilfried. 1986a. „Sturmflutwehr.“ In: *db deutsche bauzeitung*. 10/86, 5

- Dechau, Wilfried. 1986b. „Schelde-Sperrwerk.“ In: *db deutsche bauzeitung*. 7/86, 6.
- Deecke, Helmut. 2001. „Globalisierung, Container und Seehafen.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 37-62.
- Deltawerken. 2004. *Die Deltawerke*. (Betriebswerke) <<http://www.deltawerken.com/Deltawerke/557.html>>
- Deltawerk-Informationen. 2007. *Deltawerke*. <<http://deltawerke.know-library.net>>
- Dücker, Hans Peter [et al.]. 2006. *Konzept für eine nachhaltige Entwicklung der Tideelbe als Lebensader der Metropolregion Hamburg*. Hamburg Port Authority und Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (Hgg.). Hamburg.
- Dudszus, Alfred; Alfred Köpcke. 1995. *Schiffstypen. Schiffe, Boote, Flöße unter Riemen und Segel. Dampfschiffe, Motorschiffe, Meerestechnik*. Augsburg.
- Duisburg Stadtinformationen (2007): <<http://www.innenhafenportal.de/>> 22.03.2007
- Eco, Umberto. 2006. *Die Geschichte der Schönheit*. München, Wien.
- Eliade, Mircea. 1966. *Kosmos und Geschichte. Der Mythos der ewigen Wiederkehr*. Düsseldorf
- EU-Kommission.2004. *Hochwasserrisikomanagement - Vermeidungs-, Schutz- und Minderungsmaßnahmen* (Mitteilung der EU-Kommission vom 12. Juli 2004). <<http://europa.eu/scadplus/leg/de/lvb/128146.htm>> (Letzte Änderung: 9.3.2007)
- Fiederling, Otto. 1975. *Theorie des Entwerfens*. Hannover.
- Gefroi, Claas. 2005. „Fern dem Wasser, fern der Stadt: Der Sandtorkai.“ In: *Jahrbuch 2005. (Architektur in Hamburg)*. Hamburg, 10-15.
- Geller, Walter [et al.]. 2004. „Schadstoffbelastungen nach dem Elbe-Hochwasser 2002“. (Endbericht des Ad-hoc-Projekts: Schadstoffbelastung nach dem Elbe-Hochwasser 2002 – Ermittlung der Gefährdungspotentiale an Elbe und Mulde). Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (Hg.). Magdeburg. <<http://www.ufz.de/data/HWEnd1333.pdf>>
- Gerkan, Meinhard von; Volkwin Marg (Hgg.). 2007. *von Gerkan Marg und Partner / Bauten Buildings*. München [et al.].
- Gerkan, Meinhard von. 1997. *Architektur für den Verkehr*. Basel [et al.].

- Gerkan, Meinhard von. 1978. *Architektur 1966-78. Von Gerkan, Marg und Partner*. Stuttgart.
- Giedion, Siegfried. 1965. *Raum, Zeit, Architektur. Die Entstehung einer neuen Tradition*. Ravensburg.
- Godard, André [et al.]. 1992. *Athar-e Iran* [deutsch: *Klassische Bauten im Iran*]. Bd.3-4, Mashad/Iran.
- Gregorry, Richard L. 1966. *Auge und Gehirn. Zur Psychophysiologie des Sehens*. München.
- Greiner-Mai, D. 1994. „Das Sturmflutwehr im Nieuwe Waterweg vor Rotterdam.“ In: *Bautechnik* 71. Heft 12, 791-794.
- Gull, Erhard. 1964. *Perspektivlehre*. Zürich, Stuttgart.
- Gunßer, Christoph. 1996. „Schwimmende Eiffeltürme.“ In: *deutsche bauzeitung*. 1/96, 26
- HafenCity Hamburg GmbH. 2006. *Vom Werden einer Stadt*. Hamburg.
- Hammel, Pietro. 1972. *Unsere Zukunft: die Stadt*. Frankfurt/Main.
- Heigl, Franz. 1991. „Wasser in Dorf und Stadt.“ *DBZ. Deutsche Bauzeitschrift*. 9, 1271-1278.
- Herr, Roland. 1994. „Sturmflutwehr vor Rotterdam.“ In: *Beton*. 11, 677-679.
- Herrmann, Richard A.; Jensen, Jürgen. (Hg.). 2006. *Sicherung von Dämmen, Deichen und Stauanlagen - Handbuch für Theorie und Praxis*. II. Siegen.
- Hohn, Uta. 2001. „Von Teleport zu Rainbow Town: Stadterweiterung und Stadtumbau an der Waterfront Tokios zwischen ‚global‘ und ‚lokal‘. ‚Top down‘ und ‚bottom up‘ “. In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 451-484.
- [IPCC] International Panel on Climate Change – internationaler Wissenschaftsrat des United Nations Environment Programme (UNEP) und der World Meteorological Organisation (WMO). *4. Sachstandsbericht (AR4) des IPCC (2007) über Klimaänderung. Wissenschaftliche Grundlagen*. Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hgg.). 2007. [Kurzzusammenfassung]. http://www.bmbf.de/pub/IPCC_kurzfassung.pdf
- Klotz, Heinrich. 1978. *Gestaltung einer neuen Umwelt. Kritische Essays zur Architektur der Gegenwart*. Luzern, Frankfurt/Main.

- Knippers, Jan. 1998. „Klappbrücke in Kiel. Jetzt klappt's!“ *db deutsche bauzeitung*. 5. 73-77
- Knöfel, D. 2007. „Nanooptimierte Hightech-Baustoffe.“ In: *beton*. 7+8. 354-355
- Koch, Peter. 2001. „Der Hamburger Binnenhafen – Mischgebiet der Zukunft.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 119-134.
- Konstruktionspraxis. 2004. *Fluidtechnik. Bollwerk gegen Sturmflut*. 11/2004. <http://www.konstruktionspraxis.de/fachartikel/kp_fachartikel_1655827.html>
- Koppe, Bärbel. 2002. *Hochwasserschutzmanagement an der deutschen Ostseeküste*. Fachbereich Bauingenieurwesen der Universität Rostock (Hg.). Rostock.
- Kostof, Spiro. 1992. *Das Gesicht der Stadt. Geschichte städtischer Vielfalt*. Frankfurt/Main.
- Krause, Cornelia. 2004. „Bauen am Wasser.“ In: *db deutsche bauzeitung*. 12. 26-60.
- Kron, Wolfgang. 2005. „Sturmfluten, Flussüberschwemmungen, Sturzfluten – Schäden und Vorsorgestrategien.“ In: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (Hg.). *Schadenspiegel 3/2005. Risikofaktor Wasser*. (Themenheft). München, 8-13.
- Kücker, Wilhelm. 1990. „Architektur als autonome Kunst?“ In: *Der Architekt*. 3. 123.
- Laban, Rudolf von. 1920. *Die Welt des Tänzers*. Stuttgart.
- Lahl, Uwe. 1992. „Stadt am Fluß. Bremen an der Weser.“ In: *arcus. Wasser im Fluss. Das Lebelement Wasser*. 19 (Architektur und Wissenschaft). Köln, 73-77.
- Lattermann, Eberhard. 2005. *Wasserbau-Praxis*. Bd.1. Berlin.
- Lembke, Carl. 1947. *Freiraum am Wasser. Städtebauliche Grundlagen für den Wiederaufbau in Nordwestdeutschland*. Hamburg.
- Liebermann, Eva. 2001. „Neues Leben für San Franciscos Hafengebiete.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 361-374.
- Loat, Roberto; Elmar Meier. (2003.): *Wörterbuch Hochwasserschutz*. Bundesamt für Wasser und Geologie (Hg.). Bern.
- Maisch, Inge. 1994. „Bauen gegen die steigende Flut.“ In: Architekten- und Ingenieurverein Hamburg (Hg.). *Konstruktion zwischen Kunst und Konvention. Ingenieurbaukunst in Hamburg von 1950 bis 2000*. Hamburg, S.30-35.

- Meier, Richard. 1989. „Museum für Kunsthandwerk, Frankfurt am Main. Gedanken zur Aufgabe.“ In: Meinhard von Gerkan (Hg.). *Innenausbau. Edition Detail*. Köln, 63-72.
- Meurer, Bernd. 1994. *Die Zukunft des Raums*. Frankfurt/Main, New York.
- [MLUR]. 2001. Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein (Hg.). *Generalplan Küstenschutz. Integriertes Küstenschutzmanagement in Schleswig-Holstein*. Kiel.
- [MLUR]. 2007. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (Hg.). *Wasserwirtschaft, Meeres- und Küstenschutz. Agrar- und Umweltportal Schleswig-Holstein*. <<http://www.umwelt.schleswig-holstein.de/servlet/is/22624/wasser.htm>> Letzte Änderung: 17.01.2007
- Nervi jun., Pier Luigi; Giuseppe Positano. 1982. *Pier Luigi Nervi*. Zürich, München.
- Nervi, Pier Luigi. 1963. *Neue Strukturen*. Stuttgart.
- [NLWKN] 2005. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz (Hg.). *Hochwasserschutz in Niedersachsen. Oberirdische Gewässer*. Bd.23. o.O.
- [NLWKN] 2007. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten und Naturschutz (Hg.). *Das Emssperrwerk bei Gandersum - Sturmflutschutz und Staufunktion*. <http://www.nlwkn.niedersachsen.de/master/C6533317_N5747028_L20_D0_I5231158.html>
- [Nouvel, Jean].1994a. „Incorporating: Interview with Jean Nouvel.“ In: Fernando Márquez Cecilia; Richard Levene (Hgg). *Jean Nouvel 1987 1994. EL croquis*. 65/66. Madrid, 8-41.
- [Nouvel, Jean].1994b. „Institute of the Arab World.“ In: Fernando Márquez Cecilia; Richard Levene (Hgg). *Jean Nouvel 1987 1994. EL croquis*. 65/66. Madrid, 60-87.
- Ockenfeld, Klaus. 2004. „Die Flutkatastrophe im Elbe-Einzugsgebiet 2002 - ein Ereignisüberblick.“ In: Walter Geller [et al.]. 2004, 12-13.
- Passavand, Zia. 1968. *Isfahan*. Teheran.
- Plank, A. 1983. „Materialprüfung. Verfahren für die Beurteilung des Zustandes von Hochbauten.“ In: *DBZ Deutsche Bauzeitschrift*. 10.

- Priebs, Axel. 2001. „Kopenhagen und sein Hafen – Transformation und Reintegration der innenstadtnahen Waterfront“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 219-246.
- Puhlmann, Guido. 2004. „Ökologische Aspekte in Verbindung mit flussbaulichen Maßnahmen an der mittleren Elbe.“ In: Christoph Ohlig (Hg.). *Wasserhistorische Forschungen. Schwerpunkte. Hochwasserschutz/Elbe*. Norderstedt, 77-83.
- Santifaller, Enrico. 2007. „Das Wörther Modell.“ In: werk, bauen + wohnen. 7-8. *Hochwasser*. Zürich, 42-47.
- Schaarwächter, Georg. ²1967. *Perspektive für Architekten*. Stuttgart.
- Scheibe, Klaus W.; Zeif, Andreas. 2000. „Hochwasserschutz auf Knopfdruck. Semiflexibles Hochwasserschutzzelement.“ *SMM Schweizer Maschinenmarkt*. 1/2, 25-26.
- Scheuermann, A.; J. Brauns; S. Schlaeger; R. Becker; C. Hübner. 2003. „Monitoring von Deichen und Dämmen mittels TDR.“ In: Rainer Bratfisch (Hg.). 2003a, 24-28.
- Schubert, Dirk. 2003. „Aus der Geschichte lernen? Hafen- und Uferzonen im Wandel.“ In: Martin Baumeister [et al.] (Hgg.). *Informationen zur modernen Stadtgeschichte. Stadt am Wasser*. o.O, 34-42.
- Schubert, Dirk (Hg.). 2001a. *Hafen- und Uferzonen im Wandel. Analysen und Planungen zur Revitalisierung der Waterfront in Hafenstädten*. Berlin.
- Schubert, Dirk. 2001b. „Revitalisierung von (brachgefallenen) Hafen- und Uferzonen in Seehafenstädten. Anlässe, Ziele, Ergebnisse sowie Forschungsansätze und -defizite.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 15-36.
- Schubert, Dirk. 2001c. „Festival Market Places als Revitalisierungsstrategie für brachgefallene Hafen- und Uferzonen in Baltimore, New York, Boston und Seattle: „Learning from North-America and see you in Disneyland?“ In: Dirk Schubert (Hg.). 20041, 319-360.
- Schubert, Dirk. 2001d. „Vom Traum zum Alptraum? Von den Docks zu den Docklands – Strukturwandel und Umbau der ehemaligen Hafensareale in London. In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 195-218.
- Schubert, Dirk. 2001e. „Neues von der Wasserkante – Stadtumbau am nördlichen Elbufer in Hamburg.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 135-158.

- Schubert, Dirk. 2001f. „Canadians do it better’ – Der Umbau von Hafen- und Uferzonen in Toronto und Vancouver.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 375-400.
- Schubert, Dirk. 2001g. „Making Cities Fun’– Die Umnutzung von Hafensarealen in Sydney und Melbourne.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 419-450.
- Schubert, Dirk. 2001h. „Ever Changing Waterfronts’ in Singapur und Hongkong. Stadt- und Hafenentwicklung und der Umbau von Uferzonen.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 485-510.
- Schubert, Dirk. 2001i. „Schanghai – ‚Stadt über dem Meer’ – Stadtbau im Zeitraffertempo.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 511-538.
- Seeland-Informationen. 2006. *Das Sturmflutwehr in der Oosterschelde*. < <http://www.sturmflutwehr.de/> >
- Semsroth, Klaus. 1992. „Grundlagen der Stadtraumgestaltung.“ In: Wolfgang Dvorak (Hg.). *Wien. Stadtraum. Der Stand der Dinge*. (Stadtplanung Wien) Wien, 12-22.
- Simon, Manfred. 2004. „Die Elbe und ihr Einzugsgebiet.“ In: Christoph Ohlig (Hg.). *Wasserhistorische Forschungen. Schwerpunkte. Hochwasserschutz / Elbe*. Norderstedt, 31-49.
- Stewart, Charles Edward. 1911. *Through Persia in disguise*. London.
- Strobl, Theodor; Franz Zunic. 2006. *Wasserbau. Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen*. Berlin, Heidelberg.
- Teughels, Philippe; Kristiaan Borret. 2007. „Redevelopment of Antwerp’s Quays.“ In: *The international Review of Landscape, Architecture and urban Design. Water. Design and Management*. (Topos). 59. München, 92-97.
- Thiersch, Hermann von. 1925. *Friedrich von Thiersch. Der Architekt. 1852 - 1921. Ein Lebensbild*. München.
- Topolnicki, Michal. 2003. „Sanierung von Deichen in Polen mit dem Verfahren der Tiefen-Bodenvermörtelung.“ In: Bratfisch, Rainer (Hg.). 2003a. 45-53.
- [UBA] 2006. Umweltbundesamt (Hg.). *Was Sie über vorsorgenden Hochwasserschutz wissen sollten*. Dessau.
- [UBA] 2005. Umweltbundesamt (Hg.). *Maßnahmen zum Hochwasserschutz*. (Kommentar zum Hochwasserschutzgesetz) <<http://www.umweltbundesamt.de/wasser/themen/hochwasser/hw3.htm>> Letzte Änderung: 16.09.2005.

- [Vierlingh, Andries. 1578]. 2002. „Das Oosterschelde-Sperrwerk.“ In: Neil Parkyn [et al.] (Hgg.). *70 Werke der Architektur*. Frankfurt/Main. 271-273.
- Vögele, Jörg. 2003. „Hafenstadt und Gesundheit im 19. Jahrhundert.“ In: Martin Baumeister [et al.] (Hgg.). *Informationen zur modernen Stadtgeschichte. Stadt am Wasser*, o.O, 14-17.
- Weber, Jürgen. 1975. *Gestalt. Bewegung. Farbe. Kunst und anschauliches Denken*. Braunschweig.
- Weiss, Klaus Dieter. 2007. „Hafencity – Ein Eckgebäude von Jan Störmer Partner.“ In: *Hochwasser*. (werk, bauen + wohnen). 7-8. Zürich, 40-41.
- Wienands, Rudolf. 1985. *Grundlagen der Gestaltung zu Bau und Stadtbau*. Basel.
- Wilson, Ariane. 2002. „Alte und neue Identitäten. Zur Typologie der Hafenstädte und der Gefahr ihrer Selbstaflösung.“ In: *Hafenstädte*. (werk, bauen + wohnen). 5. Zürich, 11-17.
- Wittenberg, Hartmut. 2004. „Zeitreihen von Pegelmessungen – ausreichende Grundlage für Bemessungshochwasser?“ In: Christoph Ohlig (Hg.). *Wasserhistorische Forschungen. Schwerpunkte. Hochwasserschutz/Elbe*. Norderstedt, 173-179.
- Zillmann, Kerstin. 2001. „Montevideo. Stadt an den Hafen? Die Revitalisierung der Bucht und der Plan Fénix.“ In: Dirk Schubert (Hg.). 2001a, 401-418.

X Zur Person

X.1 Angaben zum Architekturstudium

Diplomarbeit / summa cum laude
Thema: „Internationaler Seegerichtshof in Hamburg“
an der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig bei Prof. Meinhard von Gerkan
am Institut für Gebäudelehre und Entwerfen, 1982

X.2 Berufung in den Bund Deutscher Architekten BDA 1988

X.3 Lehrtätigkeit an Hochschulen

Gastdozent für Entwerfen in Bremen an der Hochschule für Gestaltende Kunst und Musik SS. 1988

Gastdozent für Entwerfen am Bauhaus Dessau SS. 1992

Durchgehend elfjährige Lehraufträge an der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg für:

Entwerfen
Theorie des Entwerfens
Konstruktion
Raumgestaltung 1989-2000

Siebenjährige wissenschaftliche Mitarbeit und Lehraufträge für Entwerfen an der Leibniz Universität Hannover, Institut für Entwerfen und Gebäudelehre, Prof. Jörg Friedrich 2000-2007

X.4 Vorträge

Thema: Form, Funktion, Konstruktion und Ästhetik im Dialog mit dem Standort, Gesamtkonzept für die Landungsbrücken, Hochschule für bildende Künste, Hamburg 1988

Thema: Bauen am Wasser, Reaktivierung des Hafens Vegesack, Hochschule für Gestaltende Kunst und Musik, Bremen 1988

Thema: Bauen im Stadtkern
Baubehörde Lübeck 1988

Thema: Bauen im Bestand Bauhaus, Dessau	1992
Thema: Wechselwirkungen zwischen Entwurf, Konstruktion und Detail Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Hamburg	1994
Thema: Konstruktion der Hochwasserschutzanlage Technische Universität Hamburg	1995
Thema: Bauen für den Denkmalschutz, Bauen am Hang Universität Reggio Calabria, Italien	2003

X.5 Veröffentlichungen

Fassaden-Details.

In: Walter Henn (Hg.). Außenwände. München, 1975, 40-104.

Alter Fischereihafen.

In: Egbert Kossak. Stadt am Hafen. Hamburg, 1985, 112-115.

Urban Ideas.

In: Architectural Review. No.1069. London, March 1986, 33.

Zadeh, Soheél. *Architektur AZ 1984 - 87.* Hamburg, 1987.

Gesamtkonzept für 33 Hektar Innenstadtraum. In: Bauwelt. No. 46. Berlin, Dez. 1987.

Urban Ideas. In: Blodby. No. 43/44. Arhus, DK, 1988, 76f, 82.

Entwurf für die St. Pauli-Landungsbrücken. In: Arcus No. 5. Köln. 1989, 49-54.

Radarturm in Alt-Bülk.

In: Wettbewerbe aktuell. No.9. München. 1989, 596.

Architektur AZ.

In: Fremde bauen eine Stadt. Kürschner-Pelkmann, Hamburg, 1989, 51 und 101.

Musik- und Kongresshalle Lübeck.

In: Architekturmagazin DBZ. No.6, Gütersloh, 1990, 778-779.

Musik- und Kongresshalle Lübeck.

In: Wettbewerbe aktuell. No.7. München. 1990, 436.

Spitze Schnauze. In: Hamburgische Architektenkammer (Hrsg.).
Architektur in Hamburg / Jahrbuch 1993
Hamburg. 1993, 56.

Bebauungskonzept für das Millerntor.
In: Hamburgische Architektenkammer (Hrsg.).
Architektur in Hamburg / Jahrbuch 1993
Hamburg, 1993, 101.

Hochschule für Musik in Koblenz.
In: Peter Wels. Architekturzeichnungen.
Hamburg. 1993, 46-47.

Hotelgebäude Reeperbahn / Hamburg.
In: Peter Wels. Architekturzeichnungen.
Hamburg. 1993, 56-57.

Salzburger Häuser
In: BDA der Hansestadt Hamburg (Hrsg.).
Architektur für Hamburg.
Hamburg, 1994 S. 88 bis 90.

Architekturverständnis.
In: Junge Beiträge zur Architektur / Norddeutschland.
Wiesbaden. 1994, 68-69.

Parkhaus am Holstentor / Lübeck.
In: BDA Schleswig-Holstein (Hrsg.). Architektur in Schleswig-
Holstein. Kiel, 1994, 18-19.

Parkhaus am Holstentor, Lübeck.
In: BDA Handbuch. Bonn, 1995, 185.

Bunker als Bautypus.
Hochschule für angewandte Wissenschaften. Hamburg. 1995.

Zadeh, Soheél; Jürgen Stahr. *Stadtbild Hamburg.*
Konzept für Stadtentwicklung in Hamburg.
Stadtentwicklungsbehörde (Hrsg.). Hamburg, 1996.

Tourismuscenter Landungsbrücken.
In: Stadtentwicklungsbehörde (Hrsg.).
Perlenkette / Hamburgs Hafenrand. Hamburg, 2000, 79.

Sanierung von Hochwasserschutz
In: Stadtentwicklungsbehörde (Hrsg.).
Perlenkette / Hamburgs Hafenrand. Hamburg, 2000, 81.

Architektur der Hochschule für Wirtschaft und Politik.
In: HWP-Magazin / April 01. Hamburg 2001, 6 und 26

X.6 Aktive bzw. lehrende Teilnahme an Fachkongressen

II. Internationales Bauforum zur Planung
für den alten Fischerei-Hafen und das Elbufer,
Hamburg, 1985

III. Internationales Bauforum
Industriebau im Kontext der Natur
Hamburg, 1987.

IV. Internationales Bauforum
Hamburg, 1989.

Internationaler Workshop zur
Neuplanung und Gestaltung der Lübecker Innenstadt:
Schrangen und Anbau des Karstadt-Warenhauses.
Lübeck, 1989.

Internationaler Workshop zur
Neuplanung und Gestaltung der Hafenstadt Schwerin.
Schwerin, 1991.

Internationaler Workshop zum
Museumsbau in historischem Umfeld.
Vibo Valentia, Italien, 2003.

X.7 Architektur-Preise

Förderpreis der Stadt Hamburg, 1985
BDA-Preis für vorbildliche Bebauung, Lübeck, 1994.
Egon Eiermann-Preis, 1998.
Förderpreis der Universität Vibo Valentia, 2003.

X.8 Preise für Wettbewerbe

In der Zeit von 1984 bis 2007 erfolgte die Bearbeitung
von über 100 Wettbewerbsentwürfen, Gutachten und Projekten.

37 Arbeiten davon wurden ausgezeichnet.
19 davon erhielten einen 1. Preis.

X.9 Architektur-Ausstellungen

Handelskammer Hamburg, 1985
Bauzentrum Rotterdam, 1986
Kunstakademie Rotterdam, 1986
Kunstakademie Düsseldorf, 1986

Kultur-Kontor Hamburg, 1987
Bauzentrum Bordeaux, 1987
Atelier du Patrimoine Marseille, 1987
Lübeck, Bauamt Hamburg, 1988
Deichtorhallen Hamburg, 1994
Stadthalle Lübeck, 1995
Stadtentwicklungsbehörde Hamburg, 1995
Amt für Wasserwirtschaft Hamburg, 1997
Convitto Nazionale Gaetano Filangieri
Vibo Valentia, 2003
Pheno, Wolfsburg, 2006

X.10 Bauten und realisierte Wettbewerbsentwürfe

Villa Dr. Esch, Königsdorf, Köln, 1975
Verwaltungsgebäude, Salzburger, Häuser,
Wb.1. Preis Harburg, 1991-1992
Arbeitsamt, Wb.1. Preis , Harburg, 1991-1992
Studentenheim, Wb. 1. Preis, Harburg, 1992-1993
Parkhaus am Holstentor, 1. BDA-Preis, Lübeck, 1993-1994
St. Pauli Landungsbrücken Ost, Wb.1. Preis, Hamburg, 1995-
1996
Pavillons an den Landungsbrücken, Hamburg, 1997
St. Pauli Landungsbrücken West, Wb.1. Preis, Hamburg, 1996-
1997
Landhaus Dr. A., Blankensee, Lübeck, 1997
Hochwasserschutz, Meißberg, Hamburg, 1998
Villa G., Bremerhafen, 1998
Eingangshalle HWP, Hochschule für Wirtschaft und Politik,
Hamburg, 2001 -2002
Villa am Hang, Poppenbüttel, Hamburg, 2004 -2005

X.11 Tätigkeit als Bauleiter

Pavillons an den Landungsbrücken Hamburg, 1997
Eingangshalle HWP, Hochschule für Wirtschaft und Politik,
Hamburg, 2001 -2002
Landhaus Dr. A., Blankensee Lübeck, 1997
Villa G., Bremerhafen, 1998
Villa am Hang, Poppenbüttel, Hamburg, 2004 -2005

XI Zusammenfassung

Die Zukunft der Häfen und Städte am Wasser beschäftigt Planer, Architekten und Ingenieure nach wie vor – das Thema hat nicht an Aktualität eingebüßt. Die Situation im Spannungsfeld von Hochwassergefahr und Stadtentwicklung, die wieder verstärkt auf Integration der Gewässer setzt, erfordert neue Lösungen. Technische Errungenschaften und ästhetische Ansprüche, klimatologische Einflüsse sowie ökonomische, soziale und politische Belange müssen hierbei zusammengeführt werden. Nur so, in der Verknüpfung aller Faktoren, können möglichst sichere Prognosen erstellt und sinnvolle Lösungen bezüglich des Hochwasserschutzes erzielt werden. Dabei müssen die vorhandenen Möglichkeiten und Lösungsansätze aufgrund von ständig neuen Entwicklungen kontinuierlich Korrekturen und Ergänzungen erfahren.

Die vorliegende Arbeit stellt im Zuge der Recherche und des Vergleichs einen neuen Typus von Hochwasserschutzsystem vor. Das modulare, permanent-dynamische Hochwasserschutzsystem – kurz PDH-System – ist als Reaktion auf die sich verschärfende Hochwasserproblematik in Kombination mit den städtebaulichen Erfordernissen urbaner Räume entwickelt worden.

Unserem Zeitalter entsprechend, bedient sich das PDH-System modernster technischer Möglichkeiten im Bau, wie beispielsweise Nanotechnologie und elektro-magnetische Schwebetechnik anstatt herkömmlicher Antriebstechnik.

Der Schwerpunkt der Ausführung liegt sowohl im architektonisch-ästhetischen als auch im technisch innovativen Bereich.

Das PDH-System ist ein ortsfestes, aber dynamisches Hochwasserschutzprinzip, das in der Addition gleichartiger, in sich beweglicher Module besteht. Diese setzen sich jeweils aus einem an der Uferkante fixierten, festen Teil und einem an elektromagnetischen Schienen geführten, beweglichen Teil zusammen. Im Hochwasserfall schwimmen die dynamischen

Elemente auf und bilden eine temporäre Hochwasserschutzwand aus. Da durch die systeminhärente Anpassbarkeit die Schutzhöhe mit dem Wasserpegel variiert, können alle situativen Anforderungen erfüllt werden.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich unter Berücksichtigung theoretischer und angewandter Forschungsgebiete in mehrere Abschnitte. Als notwendige Voraussetzung für die Entwicklung und die Beurteilung des PDH-Systems werden zunächst die folgenden, das System beeinflussenden Themenbereiche behandelt:

- Entwicklung und Geomorphologie einer Stadt am Wasser, welche den potentiellen Anwendungsort des Systems darstellt
- das Phänomen Hochwasser, dessen Ursprung, Eigenschaften und Wirkungsrichtungen sowie dessen prognostizierte Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten
- Auseinandersetzung mit dem technischen Kontext des PDH-Systems anhand von wirkungsspezifisch ausgewählten Projekten und Anlagen gegen Sturmflut und Binnenhochwasser

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf dem vom Verfasser entwickelten permanent-dynamischen Hochwasserschutzsystem PDH-System und dessen Innovationspotential. Er gliedert sich in vier weitere Abschnitte:

- Vorstellung der Leitidee und Konzeption des Entwurfs, Formentwicklung, Konstruktion und Materialwahl, Aufbau, Technik und Mechanismus der modularen Einheiten sowie Vorteile des Systems

- Auseinandersetzung mit den Einsatzmöglichkeiten des PDH-Systems anhand der Morphologie und der Standorteigenschaften der Uferbereiche
- Vorstellung des PDH-Rahmenplans, welcher die städtebauliche Einbindung des Systems behandelt und die Raumgliederung und Raumproportion der städtischen Ufer-Areale neu formuliert
- Reflexion der Bewegung als Gestaltungsprinzip des PDH-Systems im Kontext von deren Auftreten in Architektur- und Kunstgeschichte.
- **Schlagwörter:**
 - Hochwasser
 - Hochwasser-Schutzsysteme
 - PDH-System

XII Summary

The future of the harbours and the waterside cities are still keeping the planners, architects and engineers occupied. The topic is of vital importance. New solutions are required for the conflicting situations between the inevitable flood hazard and the city development, which is increasingly integrating streams and rivers. Technical achievements, aesthetic demands and climatic influences have to be united with economic, social and political concerns. Only when all the factors are connected, is it possible to achieve the most secure predictions and the most useful solutions in regard to flood protection. In the process of this, the existing possibilities and approaches to a solution must be continuously corrected and amended due to the constant new developments.

The present work introduces a new type of flood protection system in the course of the research and comparison. The modular, permanent dynamic flood protection system – abbreviated the PDH system has been developed as a reaction to the aggravating problem with flood defense in combination with the demands from the town planning over urban space.

The PDH system echoes the spirit of our time as it uses the most modern technical possibilities in construction such as the nanotechnology and the electro-magnetic suspension technology instead of the traditional technology. The focal point of the execution is in the architectural aesthetic as well as in the innovative area of technology.

The PDH system is a fixed “curtain-dam” based on the dynamic flood protection principle which consists of a homogeneous addition as well as an adjustable module. This combines a static element attached to the embankment edge and a constructed flexible dynamic element made of electro-magnetic metals. In the case of a flood, the flexible dynamic elements float to the top and form a temporary flood wall. All types of situational requirements can be satisfied through the inherent

system of adaptability which varies the level of protection with the water level.

The present work is divided into several sections concerning theoretical and practical areas of research. The following topic areas that influence the system as a necessary requirement for the development and the evaluation of the PDH system, are dealt with first:

- The development and geomorphology of a town at the waterside which portrays the potential locations where the system can be used.
- The flood phenomenon, its origins, characteristics and effective directions as well as its predicted development in the next century.
- The debate about the technical context of the PDH system on the basis of the specific effects of the chosen projects and constructions against storm tides and floods from within.
- The focal point of the work is on the developed permanent dynamic flood protection system, the PDF system by the creator and its potential for innovation.

The main part of the present work focuses on the author's invention of the PDH system. This work is divided into further four sections:

- A presentation of the central themes and conception of the draft, development of form, construction and choice of material, structure, technology and mechanism of the modular units as well as the advantages of the system.
- A debate about the possibilities from use of the PDH system on the basis of morphology and location characteristics of the waterside areas.
- A presentation of the overall plan of PDH which deals with the integration of town planning within the system and restates the structure of space and the proportion of space for the urban embankment area.

- A reflection of the movement of the design principle of the PDH system in the context of appearances within architectural and art history.

- **Keywords:**

flood,
flood protection systems,
PDH-system

Schnitt D-D M. 1:100

01. Basement
02. Ummantelung
03. PDH-Schwimmkörper
04. elektromagnetische Führungsschienen
05. Laufsteg am Wasser
06. Hochwasserschutztor
07. Pavillon
08. Brüstungselement
09. Belüftungselement

Section D-D M. 1:100

01. basement
02. PDH fixed element
03. PDH-dynamic flood protection
04. electro-magnetically guide rail
05. gangway on the water
06. flood protection gate
07. pavillon
08. handrail element
09. natural ventilation element

107

