

**Prime Properties GmbH**

**REMAGEN  
„HOTEL AM FRIEDENSMUSEUM“**

**Hydraulisches Gutachten zum vorhabenbezogenen  
Bebauungsplan Nr. 10.57/00  
auf Basis eines zweidimensionalen Strömungsmodells des  
Rheins (Fluss-km 629+500 bis 635+100)**

**BCE**

**BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE**

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Maria Trost 3 · D-56070 Koblenz  
Telefon (02 61) 88 51-0  
Telefax (02 61) 80 57 25

Mai 2014

NiS/13211.11



## Inhaltsverzeichnis

<b>Hydraulisches Gutachten</b>	<b>Seite</b>
Abbildungen	II
Tabellen	II
Verwendete Unterlagen & Literatur	III
1 Zusammenfassung	1
2 Veranlassung und Aufgabenstellung	1
3 Grundlagen	2
3.1 Modellgebiet	2
3.2 Hydrologische Verhältnisse	6
3.3 Datengrundlage	7
3.4 Bearbeitungsmethodik	7
4 Ist-Zustand	8
4.1 Aufbau des hydrodynamischen Strömungsmodells	8
4.2 Kalibrierung des Strömungsmodells	10
4.3 Bewertung des Strömungsschattens hinter dem Friedensmuseum	16
5 Plan-Zustand	16
5.1 Geplante Ausbausituation	16
5.2 Ergebnisse	17
5.2.1 Retentionsraum	18
5.2.2 Auswirkungen auf das Strömungsfeld	18
6 Zusammenfassung und Fazit	21

## Abbildungen

Abbildung 1	Lage des Untersuchungsgebiets und des Modellgebiets	3
Abbildung 2	Lage des geplanten Objektes im Retentionsbereich des Rheins	4
Abbildung 3	Aufspaltung des Rheins bei Unkel / Erpel	5
Abbildung 4	Unterführung Unkel von Oberstrom	5
Abbildung 5	Abfluss- und hochwasserstatistische Werte bezogen auf die Lage des geplanten Hotels „Brücke von Remagen“ (ca. Rhein-km 629+900)	6
Abbildung 6	Vernetzung / Geländemodell in 3-dimensionaler, 5-fach überhöhter Darstellung	10
Abbildung 7	Längsschnittvergleich der Kalibrierung für ein HQ <sub>1</sub>	13
Abbildung 8	Längsschnittvergleich der Kalibrierung für ein HQ <sub>100</sub>	14
Abbildung 9	Vergleich des offiziellen Ü-Gebietes mit den Wasserspiegellagen des 2-D-Modells (blauer Farbverlauf, weiße Isohypsen) im Bereich des geplanten Hotels (HQ <sub>100</sub> )	15
Abbildung 10	Vergleich des Abflussbereiches mit dem Geschwindigkeitsfeld (ab 0,1 m/s) des eigenen Modells (gelber Farbverlauf, blaue Isotachen) im Bereich des geplanten Hotels (HQ <sub>100</sub> )	15
Abbildung 11	Asymmetrischer Strömungsschatten des Friedensmuseums im Falle des Bemessungshochwassers HQ <sub>100</sub>	16
Abbildung 12	Plansituation des „Hotels am Friedensmuseum“	17
Abbildung 13	Änderungen der Wasserstände im Vergleich zwischen Ist- und Plan-Zustand	19
Abbildung 14	Änderungen der Geschwindigkeiten im Vergleich zw. Ist- u. Plan-Zustand	19
Abbildung 15	Vergleich der Wasserstände im Hauptstrom des Rheins zwischen Ist- und Plan-Zustand	20

## Tabellen

Tabelle 1	Datengrundlage	7
Tabelle 2	Randbedingungen für HQ <sub>1</sub> und HQ <sub>100</sub>	11
Tabelle 3	Fließwiderstandsklasse und Beiwerte	12

## **Verwendete Unterlagen & Literatur**

- [1] Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.)  
Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG).  
Fassung vom 31.07.2009.
  
- [2] Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V. (BWK)  
(Hrsg.)  
Merkblatt BWK-M1. Hydraulische Berechnung von naturnahen Fließgewässern.  
Teil 1: Stationäre Berechnung der Spiegellinie unter besonderer Berücksichtigung  
von Bewuchs- und Bauwerkseinflüssen  
Sindelfingen 2009.
  
- [3] Springer-Verlag (Hrsg.)  
Triangle: Engineering a 2D Quality Mesh Generator and Delaunay Triangulator. In:  
Applied Computational Geometry: Towards Geometric Engineering. Lin, M.-C.;  
Manocha, D. [Hrsg.]. Vol. 1148 of Lecture Notes in Computer Science. S. 203-222,  
Berlin 1996.  
Verfasser: Shewchuk, J. R.:

## 1 Zusammenfassung

Die Auswirkungen des Neubaus „Hotel am Friedensmuseum“ im amtlichen Retentionsbereich des Rheins wurden mit einem 2-dimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modell ermittelt. Die durchgeführte Untersuchung hat gezeigt, dass die vorliegende Planung auf Basis der amtlichen Planungsunterlagen die gesetzlich gestellten Anforderungen hinsichtlich der hydraulischen Auswirkungen erfüllt:

- Die Retentionsraumbilanz ist positiv.
- Die Strömungssituation bei Hochwasser wird nicht nachteilig verändert.
- Weder der private noch der öffentliche Hochwasserschutz sind durch die Planung des Objektes betroffen.

Die weitere Planung des Bauvorhabens sieht eine hochwasserangepasste Bauweise unter Berücksichtigung der einschlägigen Normen und Regelwerke vor. Das Vorhaben kann hydraulisch hinsichtlich der Strömungssituation (Wasserstände, Fließgeschwindigkeiten, etc.) als hochwasserneutral eingestuft werden.

## 2 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Prime Properties GmbH, Wiesbaden betreibt die Entwicklung eines Hotelstandortes in der Nähe des Friedensmuseums in Remagen. Ein Bestandteil der Hotelanlage ist ein kleines, über den Leinpfad auskragendes Bistro. Der Gründungssockel des geplanten Bistros liegt im ausgewiesenen Abflussbereich des Rheins. Teile des Grundstücks und des geplanten Hotelgebäudes liegen im Retentionsbereich des Überschwemmungsgebiets des Rheins.

Das Vorhaben soll auf dem Wege eines vorhabenbezogenen Bebauungsplanes genehmigt werden. Da das Planungsgebiet im festgesetzten Überschwemmungsgebiet des Rheins liegt wurde seitens der SGD Nord im Rahmen der Beteiligung der Träger öffentlicher Belange ein Nachweis gefordert, dass die Planung des Hotels im Einklang mit den Festlegungen des § 78 des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) steht.

Grundsätzlich untersagt das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [1] bauliche Maßnahmen in festgesetzten Überschwemmungsgebieten (vgl. [1], § 78 Abs. 1). Ausnahmen können zugelassen werden, wenn gemäß WHG § 78 Absatz (3) *“ im Einzelfall das Vorhaben*

- 1.) *die Hochwasserrückhaltung nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt und der Verlust von verloren gehendem Rückhalteraum zeitgleich ausgeglichen wird,*
- 2.) *den Wasserstand und den Abfluss bei Hochwasser nicht nachteilig verändert,*
- 3.) *den bestehenden Hochwasserschutz nicht beeinträchtigt und*
- 4.) *Hochwasserangepasst ausgeführt wird [...]“*

Die Punkte 1 bis 3 beziehen sich auf die direkten hydraulischen Auswirkungen der Maßnahme. Punkt 4 ist im Wesentlichen durch geeignete hochwasserangepasste Planung des Objektes zu erfüllen.

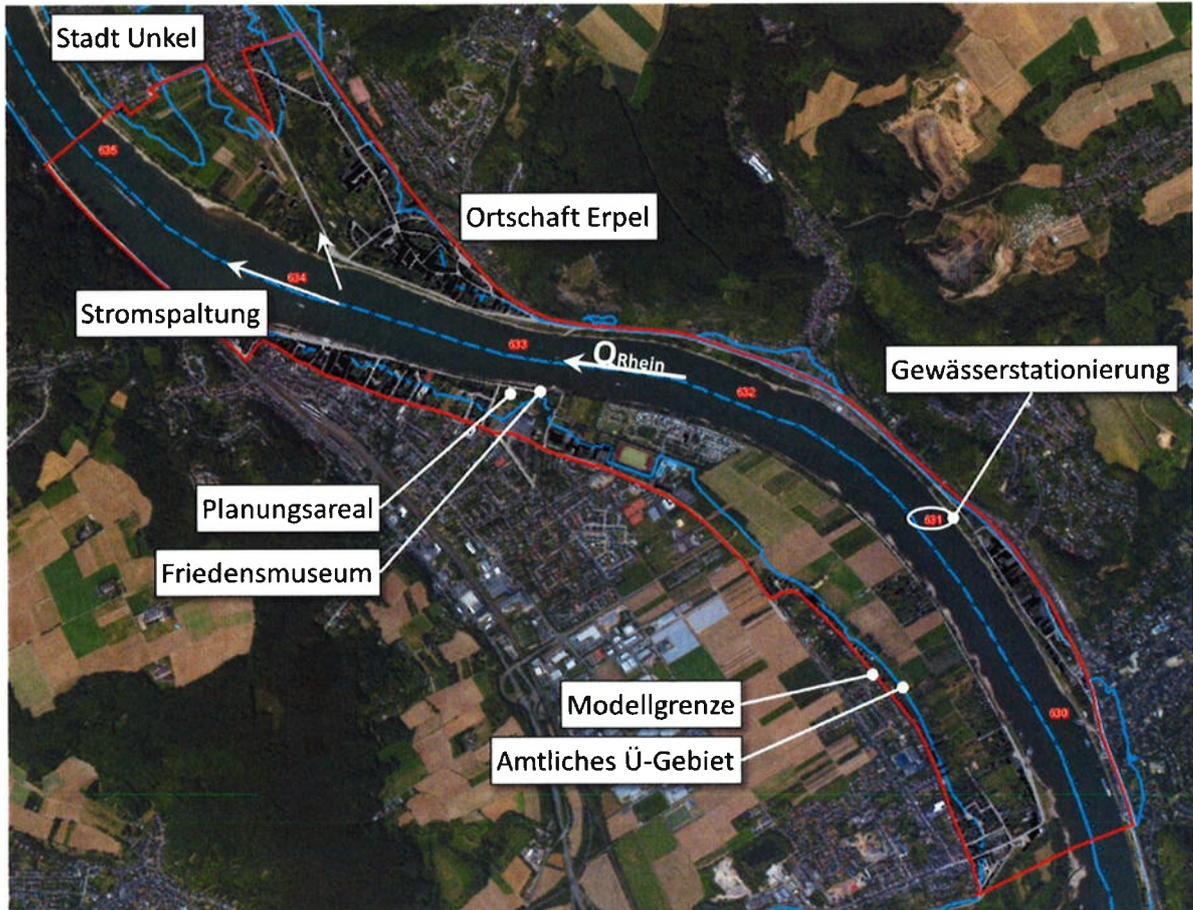
Im Rahmen dieses hydraulischen Gutachtens werden die Punkte 1 bis 3 unter Anwendung eines 2-dimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modells geklärt. Der Rhein wird dazu großräumig, auf einer Strecke von mehreren Kilometern modelliert. Im Planungsareal werden sowohl die Bestandssituation als auch der Plan-Zustand modelltechnisch abgebildet, so dass im direkten Vergleich die Auswirkungen des Plan-Zustands ermittelt und hinsichtlich der o. g. rechtlichen Grundlagen und Anforderungen bzgl. der Ausnahmetatbestände bewertet werden können. In den Kapiteln 2 bis 4 werden vornehmlich die Grundlagen der hydraulischen Modellierung und der geplanten Bauwerke erläutert, bevor in Kapitel 5 die Ergebnisse der hydraulischen Studie zusammengestellt, beschrieben und bewertet werden. Neben einer ausführlichen Zusammenfassung mit Fazit in Kapitel 6 beinhaltet Kapitel 1 eine Kurzzusammenfassung, was es vereinfachen soll, die wichtigen projektrelevanten Ergebnisse zu erfassen.

## **3 Grundlagen**

### **3.1 Modellgebiet**

Das geplante „Hotel am Friedensmuseum“ befindet sich im gesetzlich ausgewiesenen, linksseitigen Überschwemmungsgebiet (Ü-Gebiet) des Rheins bei Gewässerkilometer 632+900, auf Höhe der historischen Ruine der „Brücke von Remagen“, in welcher heute das „Friedensmuseum“ untergebracht ist. Das Planungsareal liegt im Sattelpunkt zwischen einer Links- und Rechtskurve des Rheins. Die linksseitigen Ausuferungen klingen von Oberwasser kommend bis ca. KM 634+500, ca. 1,5 Kilometer stromabwärts vom Planungsgebiet ab, während sich die rechtsseitigen Ausuferungen etwa auf Höhe des Planungsgebietes bei der

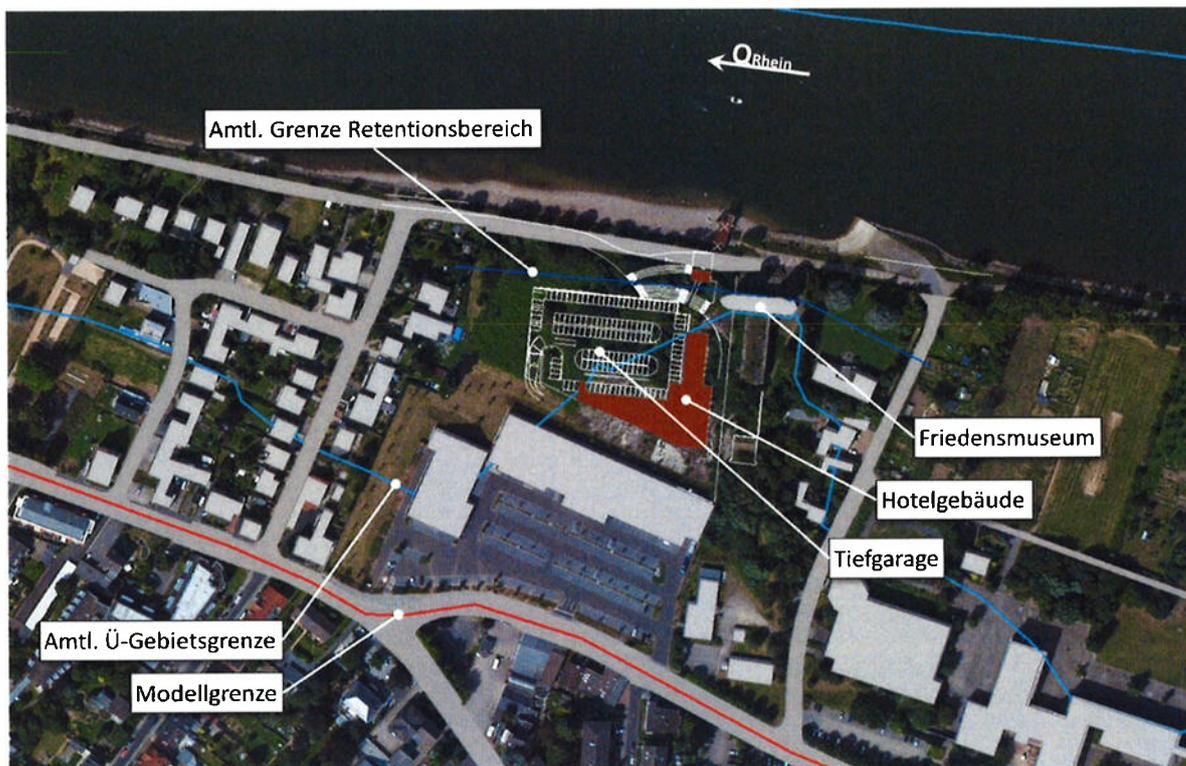
Ortschaft Erpel nach Unterwasser aufbauen. Das Überschwemmungsgebiet (Ü-Gebiet) erstreckt sich rechtsrheinisch durch eine Flutrinne und umschließt Teile der Stadt Unkel.



**Abbildung 1 Lage des Untersuchungsgebiets und des Modellgebiets**

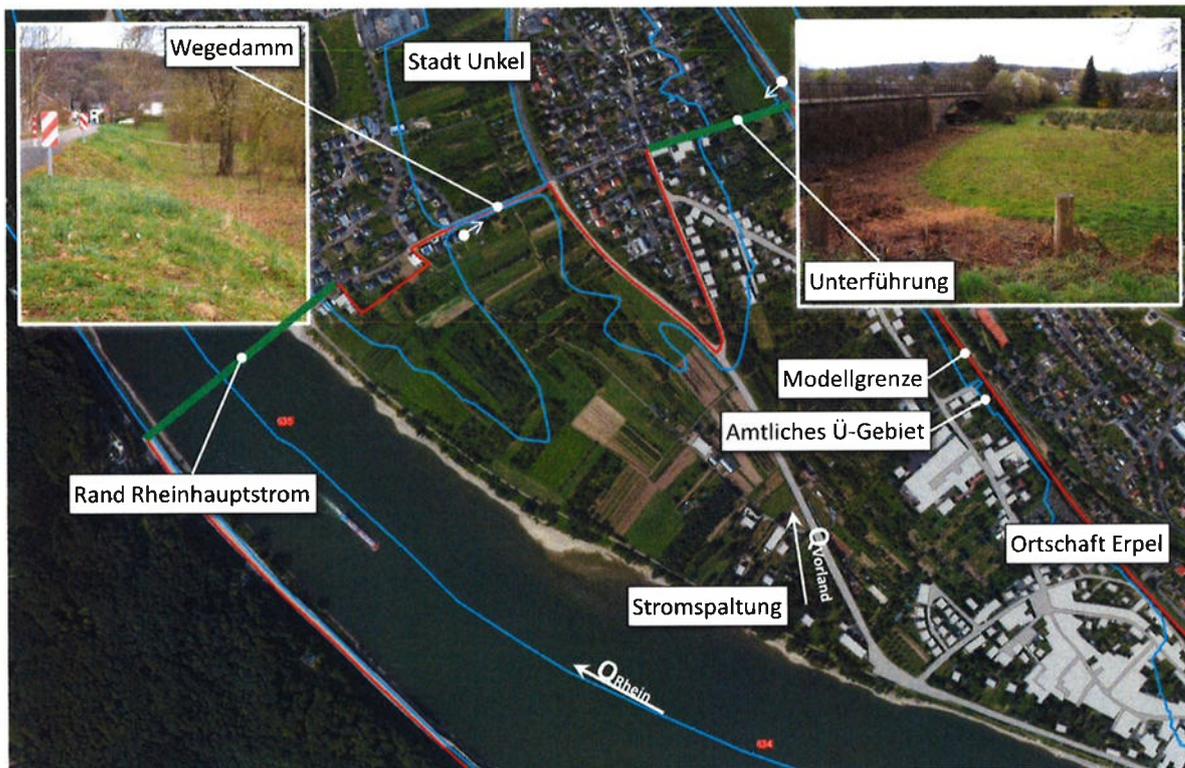
Bezüglich der Überschwemmungsgrenzen beim Bemessungshochwasser (HQ100) stellt die Brückenruine eine Einschnürung dar, in dem das amtliche Ü-Gebiet bis zum Rhein zurück gedrängt wird. Die erneute Ausweitung des Ü-Gebietes baut sich über das Planungs-Grundstück sukzessive wieder auf, so dass sich das geplante Hotel im Strömungsschatten der Ruine befindet. Auch der Gründungssockel des geplanten Bistros ist im direkten Strömungsschatten des historischen Brückenportals am Rheinsüdufer angeordnet. Die geplanten Gebäudeausmaße sind im Kontext der Ausdehnungen von Ü-Gebiet und Retentionsbereich in Abbildung 2 dargestellt. Ausgehend von den amtlichen Planungsgrundlagen wurde gemeinschaftlich mit dem Planer des Hotels eine Hochwasser-optimierte Situation des Hotels vorgesehen, so dass

- 1.) die Retentionsraumneutralität gewährleistet ist,
- 2.) die Beeinflussung der Strömung minimiert wird und
- 3.) eine hochwasserangepasste Planung der Bauwerke möglich ist.



**Abbildung 2 Lage des geplanten Objektes im Retentionsbereich des Rheins**

Wie bereits erwähnt liegt im Unterwasser des Modellgebietes die Besonderheit vor, dass sich der Rhein bei Hochwasser über das Vorland ausbreitet. Diese zweite Stromröhre teilt sich weiterhin auf und umschließt im Bemessungshochwasser einen Teil der Stadt Unkel. (siehe Abbildung 3) Im Rahmen einer Ortsbegehung wurden die Gegebenheiten vor Ort In Augenschein genommen. Dabei stellt sich heraus, dass nur der außen liegende Zweig strömungsaktiv ist. Der mittlere Zweig ist durch eine Wegerhebung über der Hochwassermarke liegend vom Unterwasser abgetrennt. Die weiter außen liegende Verzweigung durchfließt den Auenbereich mittels einer Unterführung und schließt sich weiter stromabwärts wieder mit dem Rhein zusammen. Die Unterführung in Unkel ist in Abbildung 4 dargestellt.



**Abbildung 3** Aufspaltung des Rheins bei Unkel / Erpel

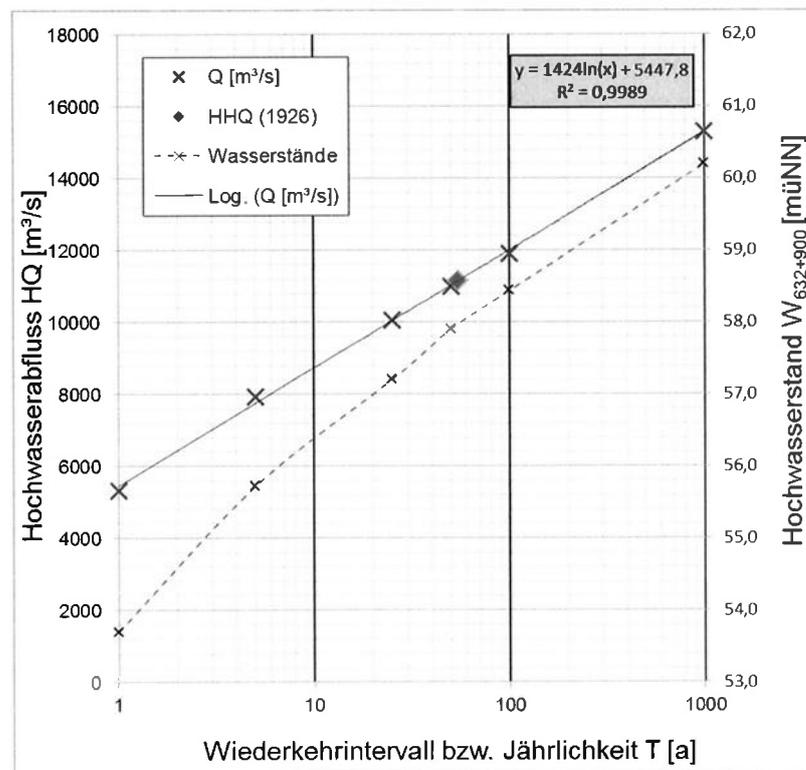


**Abbildung 4** Unterführung Unkel von Oberstrom

### 3.2 Hydrologische Verhältnisse

Der Rhein ist einer der größten Flüsse Deutschlands und zugleich Bundeswasserstraße. Der Abschnitt bei Remagen wird dem Mittelrhein zugeordnet, der bei Bonn endet. Kurz oberhalb des Modellgebietes mündet die Ahr mit einem mittleren Zufluss von  $9 \text{ m}^3/\text{s}$  und einem  $\text{HQ}_{100}$ -Zufluss von ca.  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Der Rhein hat einen Mittelwasserabfluss von  $\text{MQ} = 2.065 \text{ m}^3/\text{s}$  (FLYS 3). Das Ü-Gebiet und dessen Abflussbereich werden auf der Basis des 100-jährlichen Hochwassers ermittelt. Dieses beträgt mit  $\text{HQ}_{100} = 11.910 \text{ m}^3/\text{s}$  das etwa 5 bis 6-fache des Mittelwasserabflusses. In die Abflussstatistik (s. Abbildung 5) des Rheins (hier bei km 632+900) ist der bis dato höchste gemessene Abfluss ( $\text{HHQ} = 11.152 \text{ m}^3/\text{s}$ , Jan. 1926) eingetragen. Er ist im Hinblick auf die aktuellen, hochwasserstatistischen Zahlen als ein 50 bis 60-jährliches Hochwasser einzuordnen. Die Auslegung des Hochwasserschutzes (hier, die geplanten Maßnahmen zur hochwasserangepassten Bauweise) erfolgt gegenüber dem Bemessungshochwasser  $\text{HQ}_{100}$ , welches in dieser Höhe noch nicht beobachtet wurde.



**Abbildung 5** Abfluss- und hochwasserstatistische Werte bezogen auf die Lage des geplanten Hotels „Brücke von Remagen“ (ca. Rhein-km 629+900)

### 3.3 Datengrundlage

Als Grundlage des hydraulischen Modells dienen Gelände-/ Vermessungsdaten und -karten ebenso wie Abflussdaten. Wesentliche Bausteine für die Bewertung von Änderungen im Abflussbereich von Gewässern und die dafür notwendige hydraulische Modellierung sind Referenz- und Kalibrierungsgrößen, bei denen Wasserstands- und Abflussdaten vorliegen. Als Referenzwasserspiegellagen dienen die Berechnungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) am Rhein. Wesentliche Eingangsgröße sind die Planungen des zuständigen Architekten, mit welchem die technischen Anforderungen besprochen und umgesetzt wurden. Folgende Daten wurden für die Erstellung des Gutachtens verwendet:

**Tabelle 1 Datengrundlage**

Beschreibung	Datenherkunft	Aktualität
DGM-W	WSA Bingen <sup>1)</sup>	2004 (aktuell)
DBWK2	WSA Bingen	Aktuell
ATKIS-Daten (aus älterem Projekt)	Stadt Remagen	Genaueres Datum unbekannt; ~ 2000
Überschwemmungsgebietsgrenzen, digitaler Datensatz	LUWG RP <sup>2)</sup>	2009; aktuell
Abflüsse/ Wasserstände Rhein	BfG <sup>3)</sup> ; FLYS 3-Daten	03/2014; aktuell
Überschwemmungsgebiete GIS-Datensatz	SGD Nord <sup>3)</sup>	Letzter Zugriff 03/2014
„Aerial Fotos“	ESRI-GIS	Aktuell
Planungsunterlagen und Bestandsvermessung	Krause/ Bohne Architekten	2014

1) Wasser- und Schifffahrtsamt Bingen

2) Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht (LUWG) des Landes Rheinland-Pfalz

3) Bundesanstalt für Gewässerkunde

4) Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord

### 3.4 Bearbeitungsmethodik

Für den hydraulischen Nachweis wird das Modul Kalypso1D/2D des Open Source Programmpaketes KALYPSO (<http://kalypso.bjoernsen.de/>, Eigenentwicklung BCE und TU Hamburg-Harburg) eingesetzt. Dieses fasst alle Bearbeitungsschritte von der Modellerstellung (Preprocessing) über die Berechnungsdurchführung (Rechenkern) bis zur Ergebnisvisualisierung und -auswertung (Postprocessing) in einer grafisch-interaktiven Oberfläche zusammen.

Das verwendete Software-Paket hat sich bei der Lösung und Bearbeitung ähnlicher Problemstellungen bereits mehrfach bewährt und spiegelt somit im Rahmen der 2-dimensionalen Simulationsmodelle den Stand der Technik wider.

Grundlage des 2-dimensionalen Strömungsmodells sind die 3-dimensionalen Navier-Stokes Gleichungen (NSG) und die Kontinuitätsgleichung für inkompressible, isotrope Medien. Aufgrund der Annahme, dass die vertikale Ausdehnung des Strömungsgebietes wesentlich kleiner ist als die horizontale, können vertikale Impulskomponenten vernachlässigt und eine hydrostatische Druckverteilung vorausgesetzt werden.

Daraus resultierend werden die NSG mittels Zeitmittelung nach Reynolds und Tiefenintegration in die 2-dimensionalen Flachwassergleichungen überführt. Diese nichtlinearen Differentialgleichungen werden im Berechnungsverfahren mittels der Methode der Finiten Elemente (FEM) gelöst.

Auf Basis des Geländemodells bzw. der Gewässerprofile wird ein Finite-Elemente Diskretisierung, bestehend aus unregelmäßigen Drei- und Vierecken, generiert. An den Eckknoten dieser Elemente werden die Geländehöhen aus dem Geländemodell übernommen, so dass eine quasi-dreidimensionale Modellgeometrie des Untersuchungsraumes entsteht.

Die Rauheitsmodellierung erfolgt gemäß BWK-Merkblatt 1 [2] über das Colebrook-White'sche Widerstandsgesetz und beinhaltet die Modellierung von Fließverlusten infolge durchströmten Bewuchses.

## **4 Ist-Zustand**

### **4.1 Aufbau des hydrodynamischen Strömungsmodells**

Das Strömungsmodell wird in zwei Schritten gebildet. Ziel ist, den Flussschlauch des Rheins über Rechteckelemente und das Vorland über Dreieckselemente abzubilden. Aufgrund der geringen räumlichen Varianz der Sohlbathymetrie<sup>1</sup> innerhalb des Flussschlauches kann zur Einsparung von Rechenknoten eine grobe, nahezu regelmäßige Vermaschung - im Wesentlichen mit Rechtecken - innerhalb des Flussschlauches vorgenommen werden.

---

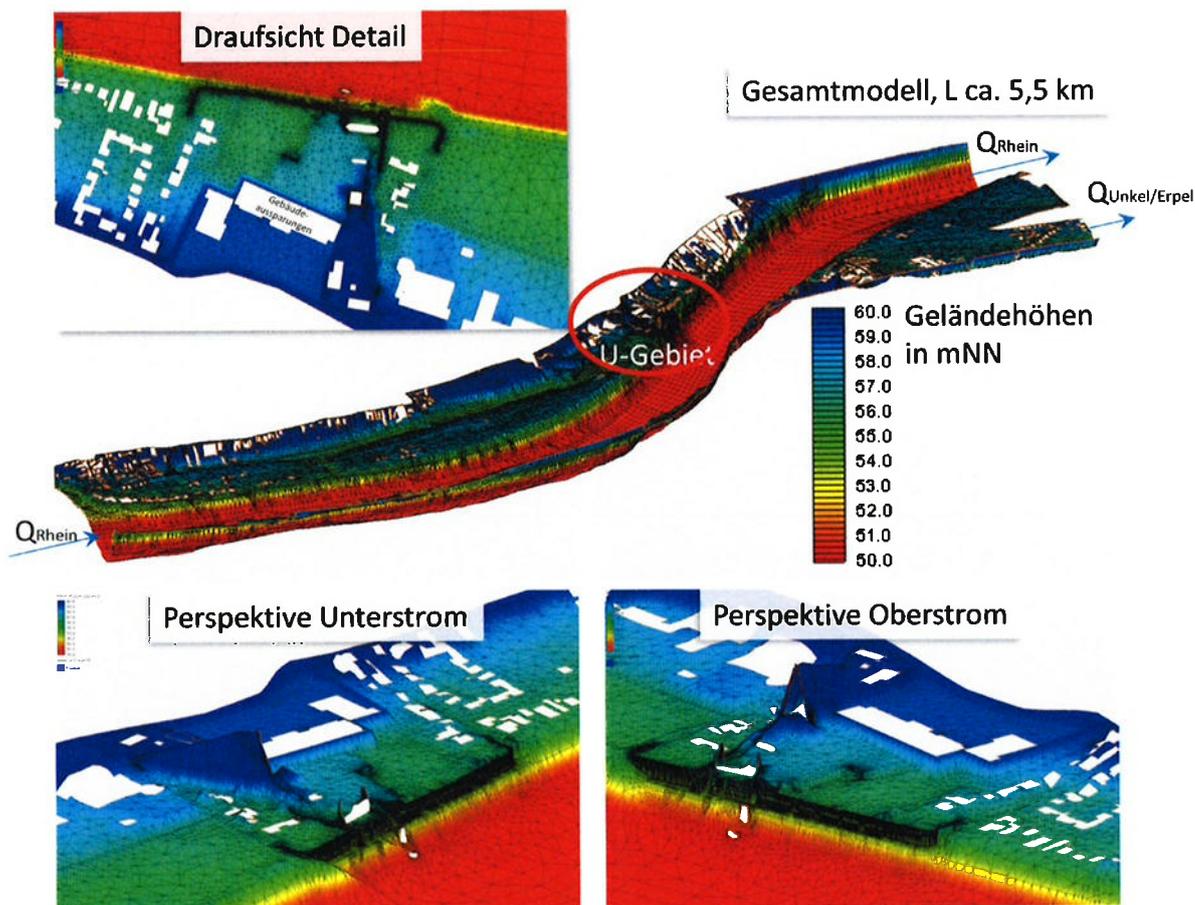
<sup>1</sup> Vermessung der topographischen Gestalt der Sohle des Gewässers (hier: Rhein).

Anhand der Uferlinie aus der DBWK 2 wurde der Übergang zum Vorland festgelegt. Die an den Flussschlauch anschließende Vorlandvermaschung erfolgt automatisiert mit dem Programm „Triangle“ [3]. Die Verteilung der Knoten und Kanten basiert auf vorgegebenen Zwangskanten, welche die hydraulische Wirksamkeit des Untersuchungsgebietes wiedergeben. Folgende Linienstrukturen fließen ein:

- Grenzen der Landnutzungszonen
- Geländebruchkanten
- Gebäudekanten
- Wichtige, ausgewählte Höhenlinien
- Böschungsoberkante

Weitere Knoten werden im Gebiet so verteilt, dass die Gesamtvernetzung das Delauney-Kriterium einhält, d.h. im kleinsten Umkreis eines Dreiecks befindet sich kein Knoten eines anderen Dreiecks. Dies gewährleistet bei Vorgabe eines minimalen Innenwinkels für die Dreiecksecken eine möglichst kompakte Gesamtvernetzung und wirkt sich positiv auf die Simulationsstabilität und mathematische Genauigkeit der Ergebnisse aus. Nicht durchströmbare Bereiche wie z. B. Gebäude werden aus der Vernetzung in Form von nicht modellierten „Löchern“ ausgespart. Generell liegt dieser Annahme die Tatsache zugrunde, dass Gebäude nicht durchströmt werden können (Ausnahme hier: Die Kfz-Einstellebene)

Die resultierende Vernetzung ist mit farblichem Verlauf der Geländehöhen und fünffacher Überhöhung in Abbildung 6 dargestellt. Aus der Darstellung ist zu erkennen, dass insbesondere bei der Modellierung der Geometrien im Nahfeld des Untersuchungsgebietes ein hoher Detailgrad durch die Diskretisierung erreicht wurde.



**Abbildung 6 Vernetzung / Geländemodell in 3-dimensionaler, 5-fach überhöhter Darstellung**

## 4.2 Kalibrierung des Strömungsmodells

Ziel der Kalibrierung ist die Herstellung der Konsistenz mit dem numerischen 1-dimensionalen Strömungsmodell der BfG, da besagtes 1D-Modell die Grundlage der festgesetzten Überflutungsflächen bildet. Das angepasste 2-dimensionale Modell liefert als zusätzliche Aussage die flächige Verteilung der Wasserstände und Geschwindigkeiten. Kalibriert wurde anhand der Hochwasserereignisse HQ<sub>1</sub> (nur Flussschlauch) und HQ<sub>100</sub> (Gesamtmodell). Alle Randbedingungen wurden aus den vorhandenen hydrologischen Daten und Dokumenten abgeleitet (Kapitel 0) und können Tabelle 2 entnommen werden. Q<sub>OW</sub> bezeichnet hierbei den am oberen Modellrand definierten Zufluss, welcher den angegebenen Jährlichkeiten entspricht. Am unteren Modellrand wurde der Wasserstand entsprechend dem hydraulischen Modell der BfG fixiert. Da sich der Rhein bei HQ<sub>100</sub> aufspaltet und ein Teil über das rechte Vorland abfließt, ist eine zweite Randbedingung festzulegen (siehe Kap. 3.1).

Es wird angenommen, dass der Wasserstand am Modellrand auf dem Vorland jenem im Rhein entspricht. Eine Drosselwirkung des Abflusses infolge der Brücke wird vernachlässigt. Der zweite Auslaufrand wird somit über eine Wasserspiegelfixierung modelliert.

**Tabelle 2**      **Randbedingungen für  $HQ_1$  und  $HQ_{100}$**

	$Q_{ow}$ [m <sup>3</sup> /s]	$H_{Uw}$ [mNN]
$HQ_1$	5.320	53,33
$HQ_{100}$	11.910	58,03

Die Fließwiderstände im Gewässerschlauch/ Flussschlauch und auf den Überflutungsflächen (Vorland, Hochufer, Böschung, etc.) wurden aus der Landnutzung abgeleitet. Als Grundlage dienen die Daten des Amtlichen Topographischen–Kartographischen Informationssystems (ATKIS) und Satellitenbildern (Aerial Fotos von ESRI ArcGIS). Die Flächennutzungen wurden in 12 Fließwiderstandsklassen eingeteilt. Weiterhin wurde das Detail-Untersuchungsgebiet mit 11 Fließwiderstandsklassen belegt, die speziell die lokalen Gegebenheiten beschreiben.

Die Quantifizierung der hydraulischen Parameter erfolgt, wie zuvor erwähnt, unter Zuhilfenahme des BWK-Merkblattes 1 [2]. Zur Kalibrierung wurden die Werte nach Notwendigkeit und im Rahmen physikalischer Grenzen modifiziert, so dass sich die Klassenwerte, wie sie in Tab. 3 dargestellt sind, ergeben.

Für die Bereiche, in den durchströmte Bewuchsformen in Form von Gehölzen (Bäume und Büschen) berücksichtigt wurden, mussten neben der äquivalenten Sandrauheit  $k_s$  [m] noch der mittlere Abstand des Gehölzbestandes  $a$  [m] und der mittlere Gehölz(stamm)durchmesser  $d_p$  [m] festgelegt werden.

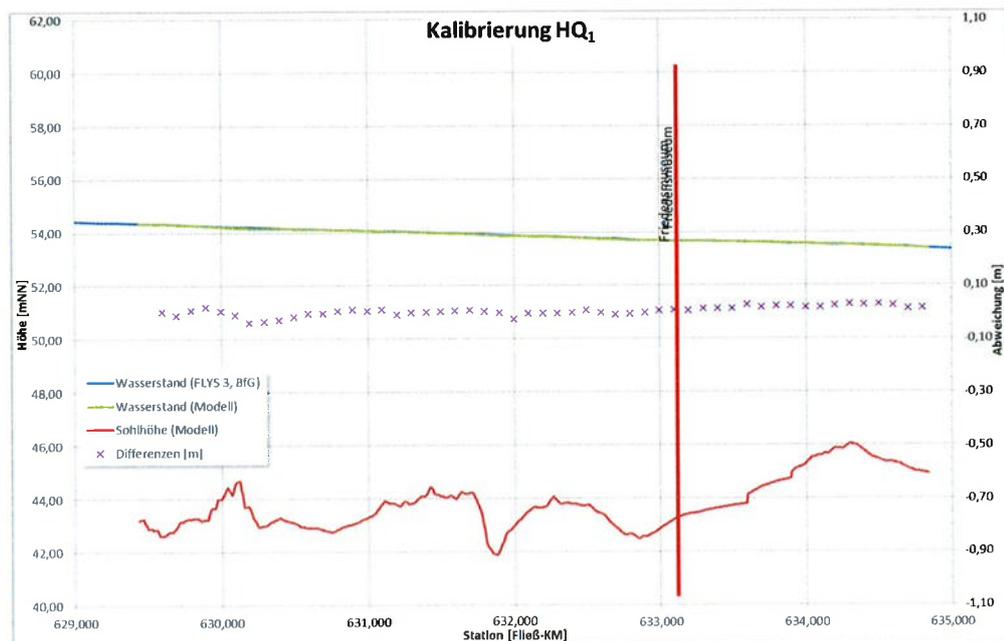
**Tabelle 3 Fließwiderstandsklasse und Beiwerte**

Beschreibung	äquivalente Sandrauheit $k_s$ [m]	mittlerer Abstand $a$ [m]	mittlerer Durchmesser $d_p$ [m]
<u>Flussschlauch</u>			
Flussschlauch, linke Uferzone	0,18		
Flussschlauch, rechte Uferzone	0,18		
Flussschlauch, rechte Uferzone, Baumbewuchs	0,12		
Flussschlauch, Fahrrinne	0,12		
<u>Vorland</u>			
Brachland/ Gestrüpp	0,3		
Grünanlage, dünner Bewuchs <sup>A)</sup>	0,18	7,0	0,2
Industrie/ Gewerbe	0,12		
Landwirtschaft (Ackerland/ Grünland)	0,22		
Siedlung, offene Bebauung	0,2		
Teich	0,1		
Verkehrsfläche	0,25		
Wald/ Gehölz <sup>A)</sup>	0,2	4	0,25
<u>Detail Ist/ Plan</u>			
Detail: Tiefgarage	0,02	6,5	0,3
Detail: Treppen	0,25		
Detail: Baumbewuchs	0,2	4	0,25
Detail: Brachland/ Gestrüpp	0,2		
Detail: Gartenland/ Gestrüpp	0,1		
Detail: Hecke	0,1	0,2	0,02
Detail: Mauer	0,04		
Detail: Schotter	0,08		
Detail: Setzkästen Bäume	0,2	1,5	0,15
Detail: Setzkästen Sträucher	0,25		
Detail: Wiese	0,08		

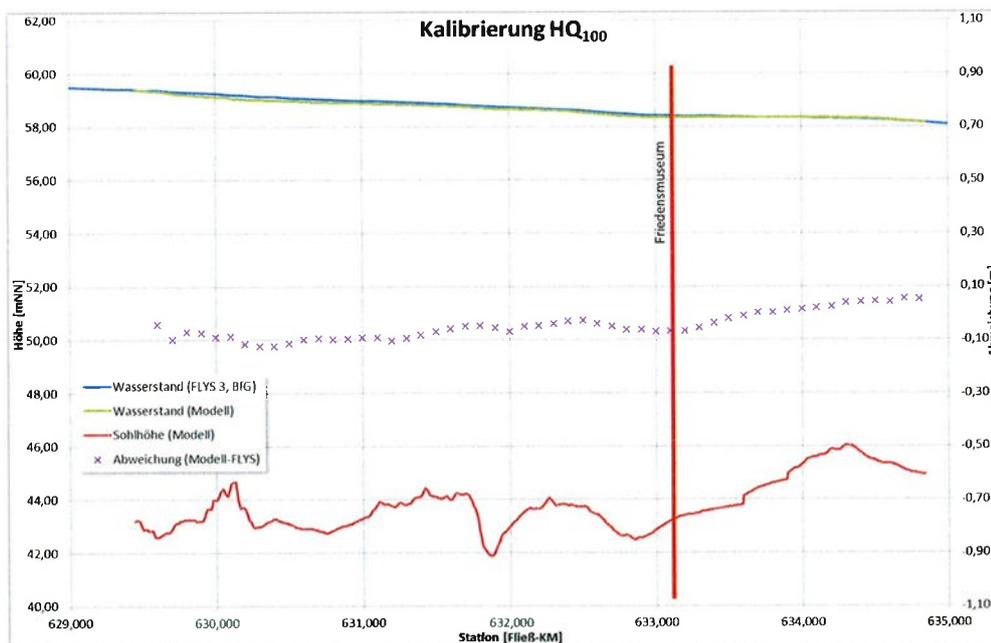
A) Berücksichtigung von hydraulisch wirksamen Gehölz

Die Ergebnisse der Kalibrierung in Form von Wasserspiegellagen sind Abbildung 7 (HQ<sub>1</sub>) und Abbildung 8 (HQ<sub>100</sub>) zu entnehmen. Im Bereich des Flussschlauches betragen die Abweichungen zu der Referenzwasserspiegellage der BfG maximal 3 cm. Für das Gesamtmodell (HQ<sub>100</sub>) bewegen sich die Differenzen in einem Korridor von maximal 10 cm. Grundsätzlich ist eine leichte unterschätzende Tendenz zu erkennen. Eine wesentliche Unsicherheit bei der Kalibrierung stellt die Stromaufteilung ins rechte Vorland dar. Da hier eine weitergehende Kalibrierung dem Aufwand nach nicht angemessen erscheint und für die Wesentlichen Aussagen dieses Gutachtens nicht relevant ist, wird auf darauf verzichtet. Der Rahmen der gegebenen Abweichung ist bereits sehr gering.

Die kalibrierte Situation Ist-zustand HQ<sub>100</sub> dient im Folgenden als Referenzsituation für die weiteren Untersuchungen und Vergleiche.



**Abbildung 7** Längsschnittvergleich der Kalibrierung für ein HQ<sub>1</sub>



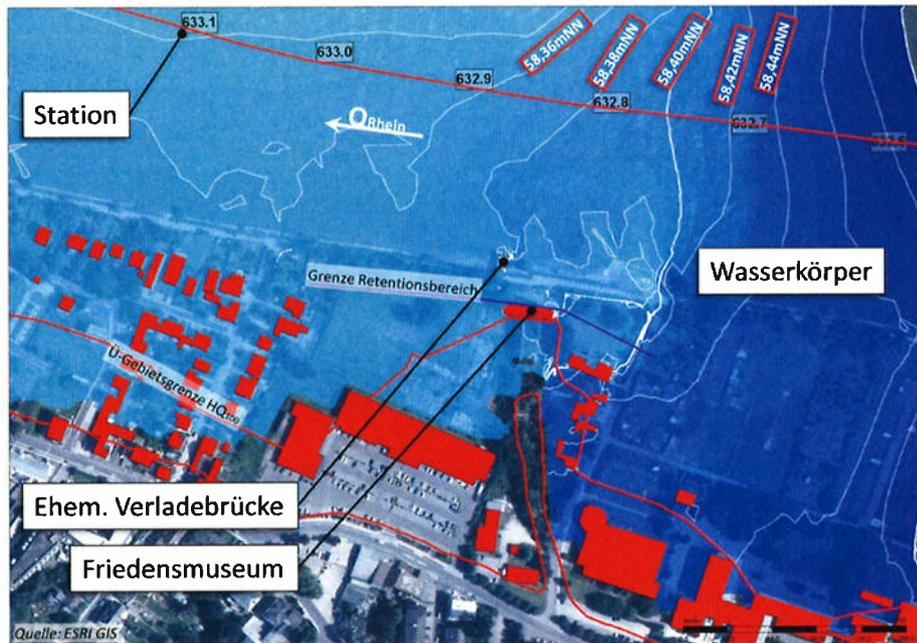
**Abbildung 8 Längsschnittvergleich der Kalibrierung für ein HQ<sub>100</sub>**

Neben dem Vergleich der Längsschnitte sind auch der Vergleich der Ausdehnung des Wasserkörpers und die Bewertung der Ausdehnung des Abflussbereiches bzw. Retentionsbereiches wichtig. Beide Aspekte sind für den Bereich des geplanten Hotels getrennt in Abbildung 9 und Abbildung 10 zu sehen.

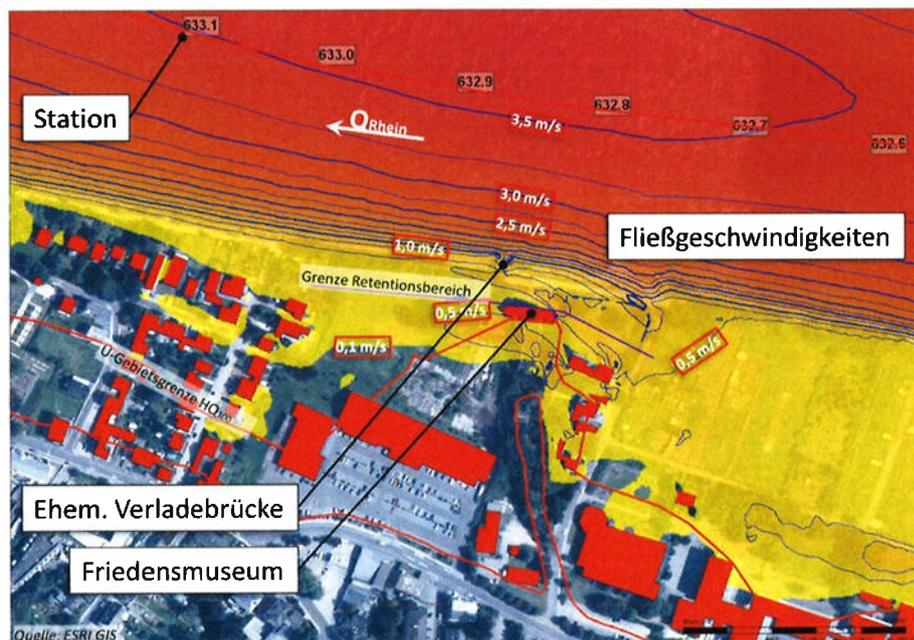
Abbildung 9 zeigt eine nur eingeschränkte Übereinstimmung mit dem amtlichen Ü-Gebiet. Ein wesentlicher Unterschied resultiert ganz sicher aus der sich unterscheidenden Topographie des beplanten Grundstücks. Zum Zeitpunkt der Ermittlung des amtlichen Ü-Gebietes hatte ein altes Industriegebäude auf dem Gelände noch Bestand. Die nun bestehenden Bebauung der Einkaufsmärkte sowie der Rückbau der Industriebrache waren zum Zeitpunkt der Ü-Gebietsausweisung noch nicht vorhanden. Das der hydraulischen Studie zugrunde liegende DGM-W aus dem Jahr 2004 berücksichtigt den Rückbau des Industriegebäudes. Die Veränderungen infolge der beiden neugebauten Supermärkte inklusive der einhergehenden Geländemodellierung wurden im Rahmen der Modellerzeugung eingepflegt. Die Unterschiede sind demzufolge plausibel.

Die Bewertung der Grenze des offiziellen Abflussbereiches innerhalb des Ü-Gebietes lässt sich über die Fließgeschwindigkeiten gemäß Abbildung 10 herstellen. Der offizielle Datensatz zur Abgrenzung des Retentionsbereiches zeigt, dass südlich des Brückenportals (in den Abbildungen mit „Friedensmuseum“ bezeichnet) keine Ausuferung/ Strömung vorhanden sein soll. Da allerdings zwischen dem Oberstrom liegenden Nachbargrundstück und dem Grundstück des Friedensmuseums keine Strömungsblockade vorhanden ist, muss von einer Durchströmung ausgegangen werden. Die Fließgeschwindigkeiten auf dem Vorland erreichen

zudem Werte zwischen 0,5 und 1,0 m/s mit eindeutig Rheinabwärts gerichteter Strömung. Die Klassifizierung ausschließlich als Retentionsraum ist daher nur bedingt zutreffend.



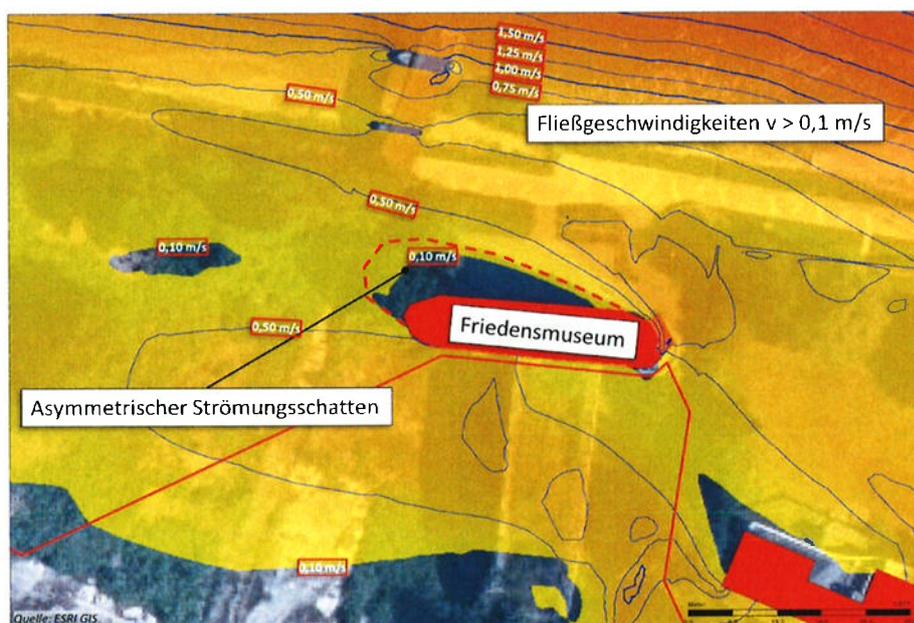
**Abbildung 9** Vergleich des offiziellen Ü-Gebietes mit den Wasserspiegellagen des 2-D-Modells (blauer Farbverlauf, weiße Isohypsen) im Bereich des geplanten Hotels (HQ<sub>100</sub>)



**Abbildung 10** Vergleich des Abflussbereiches mit dem Geschwindigkeitsfeld (ab 0,1 m/s) des eigenen Modells (gelber Farbverlauf, blaue Isotachen) im Bereich des geplanten Hotels (HQ<sub>100</sub>)

### 4.3 Bewertung des Strömungsschattens hinter dem Friedensmuseum

Die Lage der ehemaligen Brücke von Remagen bildet durch die damit verbundene Geländeerhöhung eine Einschnürung der Rheinströmung. Daher wird die Strömung durch das Friedensmuseum zurück in den Rhein gedrängt. Die Flanken des Widerlagers werden somit nicht parallel sondern in leichtem Winkel angeströmt. Die Folge ist ein asymmetrischer Strömungsschatten mit Tendenz in den Rhein. Dieses ist in nachfolgenden Detaildarstellung in Abbildung 11 angedeutet. Dieser Strömungsschatten wird für die Anordnung des Bistros ausgenutzt, wie im Weiteren erläutert wird.



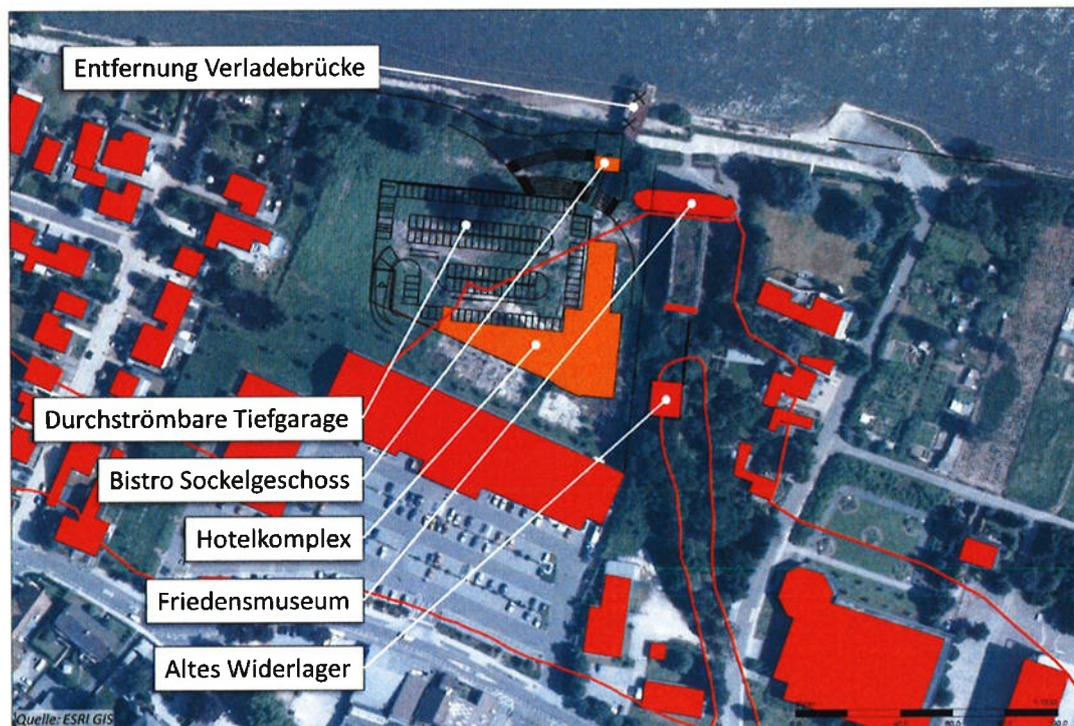
**Abbildung 11 Asymmetrischer Strömungsschatten des Friedensmuseums im Falle des Bemessungshochwassers HQ<sub>100</sub>**

## 5 Plan-Zustand

### 5.1 Geplante Ausbausituation

Die Planungssituation des Projektes „Hotel am Friedensmuseum“ wurde gemeinsam mit dem Architekten in strömungsmechanischer und wasserwirtschaftlicher Hinsicht bearbeitet. Die Lage des Gründungssockels des Bistros, welcher sich im ausgewiesenen Abflussbereich eines Hochwassers im Rhein befindet, wurde dahingehend optimiert, dass er möglichst im Strömungsschatten des stromaufwärts liegenden historischen Brückenportals liegt. Ferner ist die Tiefgarage des Hotels durchströmbar geplant.

Im Falle eines Bemessungshochwassers kann die Tiefgarage somit als Retentionsraum angerechnet werden. Die Unterkante der über der Tiefgarage liegenden Geschossdecke wird so dimensioniert, dass sie einen ausreichenden Abstand zur Wasserspiegeloberfläche bei HQ100 erhält. Es entsteht kein Druckabfluss. Um die Abflusssituation des Rheins zu verbessern, werden als Zusatzleistung durch den Investor die Überreste der alten Fährverladerampe entfernt. Aus diesen Rahmenbedingungen ergibt sich die Plansituation aus Abbildung 12.



**Abbildung 12 Plansituation des „Hotels am Friedensmuseum“**

## 5.2 Ergebnisse

Die Veränderungen infolge der Planung werden in das Strömungsmodell mit gleicher Methodik, wie in Kapitel 4.1 beschrieben, eingebaut. Die Modellierung und der Simulationsrechenlauf erfolgt mit identischen Randbedingungen für den Fall HQ100. Vor dem Hintergrund der zu erfüllenden Anforderungen gemäß WHG [1], ergibt sich aus dem Vergleich der Simulationen der im Folgenden dargestellte Zusammenhang.

## 5.2.1 Retentionsraum

Die Frage des Retentionsraumes ist aus Sicht der Planung eindeutig: Die Planung sieht vor,

- 1.) die Tiefgarage des Hotelkomplexes durchströmbar mit anrechenbarem Retentionsraum zu gestalten,
- 2.) das Volumen der Pfeiler der alten Verladebrücke zu entfernen
- 3.) den nicht durchströmbar Teil des Hotels hinter die amtliche Überschwemmungsgrenze zurück zu ziehen.
- 4.) das Außengelände, welches gleichzeitig das Vorland des Rheins darstellt, zum Rhein zu öffnen und somit in Summe leicht abzusenken.

Die einzige Einschränkung dagegen ist der Gründungssockel des Bistrobauwerkes. Es ist somit ohne Rechnung augenscheinlich, dass infolge der Planung und bezogen auf die amtliche Planungsgrundlagen kein Retentionsraum genommen, sondern eher geschaffen wird.

## 5.2.2 Auswirkungen auf das Strömungsfeld

Der Gesetzgeber [1] schreibt vor, dass es keine nachteiligen Auswirkungen auf die Strömung geben darf.

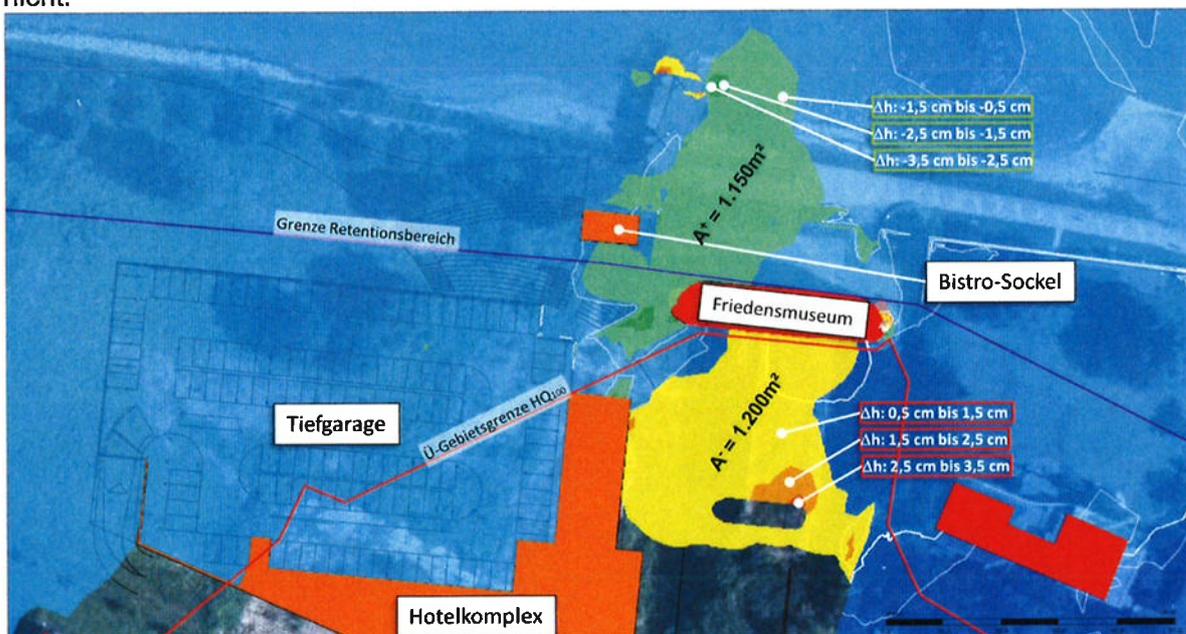
Insgesamt ergeben sich Änderungen im Bereich weniger Millimeter hinsichtlich des Wasserstandes. Da diese Größenordnung der Abweichung im Bereich der Rechengenauigkeit von 2-dimensionalen hydraulischen Modellen im Generellen liegt, werden nur Differenzen aufgezeigt, die im Betrag mindestens 5 mm überschreiten (d. h. Änderungen des Wasserstandes ab 5 mm oder Änderungen der Geschwindigkeit ab  $30 \text{ cm/s}^2$ ). Die Differenzen der Wasserstände können Abbildung 13, die der Geschwindigkeiten der Abbildung 14 entnommen werden. Maximalwerte der Änderungen betragen punktuell bis zu  $\Delta h = 4,0 \text{ cm}$ .

Die Auswirkungen auf das Strömungsfeld sind lokal begrenzt. Zwei grundlegende Veränderungen der Strömung können beobachtet werden. Gegenüber dem simulierten Referenzzustand wird der Strömungskorridor südlich des Brückenportals („Friedensmuseum“) durch den Hotelkomplex eingeschränkt. Die Folge ist ein leichter Aufstau zwischen dem Brückenportal und dem alten noch bestehenden Widerlager von 1 bis 2 cm. Sehr lokal können nahe dem Staupunkt bis zu 4,0 cm entstehen. Durch die leichte Strömungseinengung und die Entfernung der Reste der Verladebrücke driftet die Strömung in Richtung Hauptstrom ab. Der Aufstau vor der nicht mehr vorhandenen alten Verladebrücke nimmt um 1 bis 2 cm ab. Die

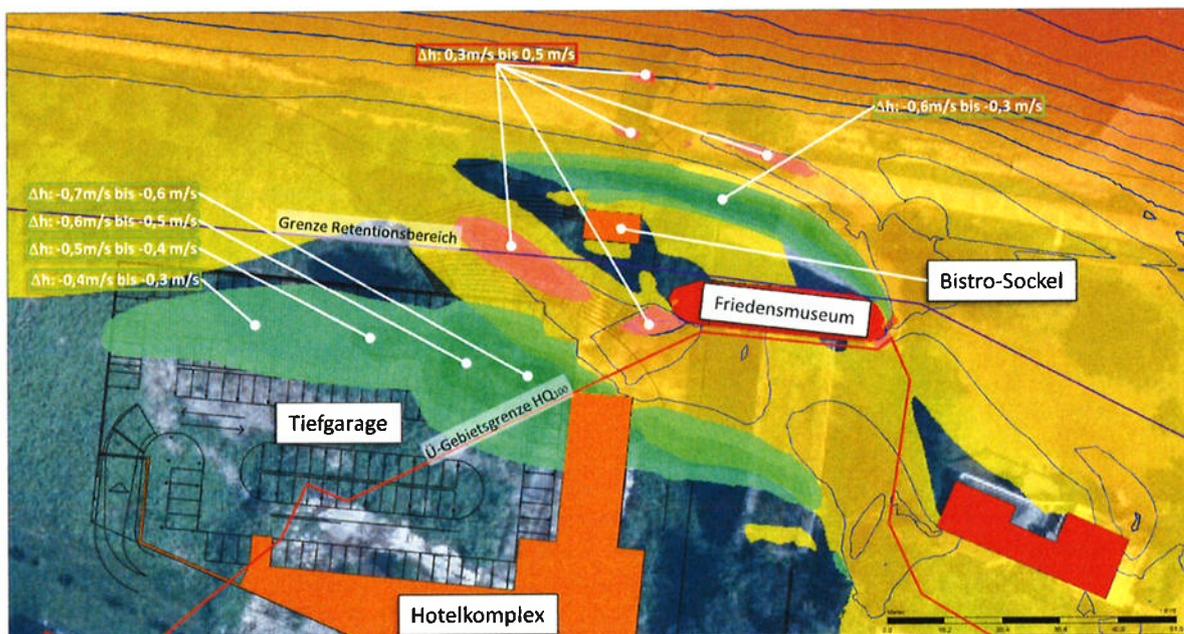
---

<sup>2</sup> Korrespondierende Geschwindigkeitsenergiehöhe:  $h_E = \frac{\left(0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 5 \text{ mm}$

beiden Flächen der WSP-Absenkung bzw. Anhebung haben jeweils eine Flächengröße von 1.200 m<sup>2</sup>, so dass das Volumen in dieser Hinsicht ausgeglichen ist. Der Wasserspiegel steigt in der Summe auch bilanziell nicht an. Da sich der Gründungssockel des Bistros im Strömungsschatten des Friedensmuseums befindet, ergeben sich nur diffuse Veränderungen im dortigen Nahfeld. Eine Wirkung allein durch den Gründungssockel des Bistros ergibt sich nicht.

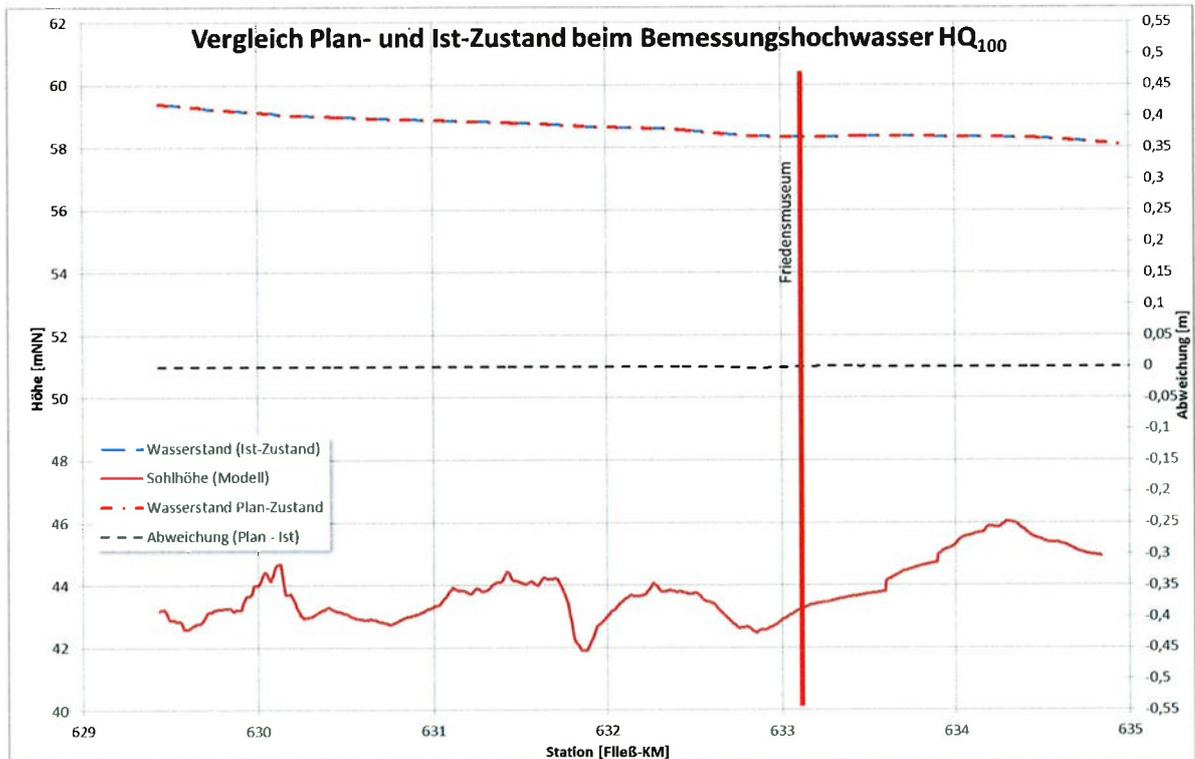


**Abbildung 13 Änderungen der Wasserstände im Vergleich zwischen Ist- und Plan-Zustand**



**Abbildung 14 Änderungen der Geschwindigkeiten im Vergleich zw. Ist- u. Plan-Zustand**

Anhand der Nullsumme der Wasserspiegeldifferenzen kann abgeleitet werden, dass kein tendenzieller Anstau vorhanden ist. Somit ist im Plan-Zustand kein bestehender Hochwasserschutz stärker belastet als im Ist-Zustand. Dies bestätigt auch der Längsschnitt in der Mittelachse des Rheins (Abbildung 15). Eine Auswirkung auf den Wasserstand durch den geplanten Bau innerhalb des Rheins ist nicht zu erkennen.



**Abbildung 15 Vergleich der Wasserstände im Hauptstrom des Rheins zwischen Ist- und Plan-Zustand**

Abschließend kann festgehalten werden, dass durch den geplanten Hotelkomplex Veränderungen an der Strömung zu erkennen sind. Änderungen des Wasserstandes sind sehr gering und gleichen sich in Summe aus. Die „Höherbelastung“ des Friedensmuseums von punktuell bis zu 4 cm kann für dieses massive Bauwerk nicht schadhaft sein. Ein größerer Rückstau in den Bereich der einzelnen Wohnhäuser stromaufwärts kann nicht beobachtet werden. Vielmehr wird die Strömung leicht in den Rhein zurück gedrängt, so dass die Unterlieger tendenziell entlastet werden. Eine nachteilige Veränderung der Abflusssituation ist somit nicht vorhanden.

## 6 Zusammenfassung und Fazit

In der vorliegenden Studie wurde die Bestandssituation der alten Industriebrache in Remagen am Rhein aus hydraulischer Sicht bei einem 100-jährlichen Hochwasser mit einem 2-dimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modell untersucht.

Das erstellte hydrodynamische Modell wurde anhand von Referenzwasserspiegellagen kalibriert. Das Modell zeigt eine gute Übereinstimmung mit der seitens der Behörden definierten Referenzsituation auf, gleichwohl eine gewisse Diskrepanz zwischen dem amtlichen und simulierten Überschwemmungsgebiet zutage tritt. Anschließend wurde die hydraulisch optimierte Planungssituation des geplanten Hotelneubaus modelliert und mit der Bestandssituation verglichen.

Im Wesentlichen zeigt sich, dass alle Auswirkungen auf das Strömungsfeld ausschließlich im objektnahen Bereich des Rheinvorlandes auftreten und in aufgrund ihrer geringen Verbreitung und Amplitude für das Strömungsgeschehens des Rheins von untergeordneter Bedeutung sind.

Zur Herstellung der Genehmigungsfähigkeit sind die Anforderungen aus dem Wasserhaushaltsgesetz [1] zu erfüllen (siehe hierzu Ziffer 2). Die durchgeführte Untersuchung hat gezeigt, dass die vorliegende Planung hinsichtlich der wasserwirtschaftlichen Auswirkungen die gesetzlich gestellten Anforderungen erfüllt:

- 1.) Durch die Planung wird kein Retentionsraum gegenüber dem amtlichen Überschwemmungsgebiet in Anspruch genommen. Vielmehr wird neuer Retentionsraum geschaffen.
- 2.) Die Strömungssituation wird nicht nachteilig verändert. Energiehöhendifferenzen von mehr als 5 mm treten ausschließlich lokal begrenzt auf. Das Gebäude drängt die Strömung leicht in Richtung Hauptstrom zurück.
- 3.) Weder der private noch der öffentliche Hochwasserschutz sind durch die Planung des Objektes betroffen. Die Auswirkungen sind lokal begrenzt, sehr klein und wirken nicht negativ auf die Nachbarbebauung. Die Auswirkungen auf das massive historische Bauwerk der Brücke von Remagen sind zu vernachlässigen.

Über diese Punkte hinaus wird das Gebäude hochwasserangepasst nach den einschlägigen Richtlinien geplant. Hierbei sind Aspekte wie ausreichende Freibordhöhen, Verhinderung von Verklausungen, Beseitigung von Treibgut, Materialauswahl, Anordnung der technischen Gebäudeausrüstung, Erreichbarkeit im Hochwasserfall etc. zu berücksichtigen. Ferner wird für den Hochwasserfall ein Einsatz- und Alarmplan erarbeitet, durch den im Falle eines Hochwassers die Sicherheit für Leib und Leben z.B. im Rahmen von Evakuierungsmaßnahmen sichergestellt und materielle Schäden verhindert werden.

Die Bearbeitung wird im weiteren Verlauf der Planung mit den zuständigen Behörden und Akteuren in enge Zusammenarbeit abgestimmt.

Abschließend sei noch einmal darauf hingewiesen, dass die wasserwirtschaftliche Beurteilung des genannten Vorhabens zu dem Schluss kommt, dass sich die mit dem Neubau des Hotels verbundenen Hochwasserrisiken intern und extern nicht erhöhen und das Vorhaben hydraulisch als hochwasserneutral eingestuft werden kann.

Sachbearbeiter:  
Dipl.-Ing. N. Schrage

Koblenz, im Mai 2014  
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH

ppa.



Dipl.-Ing. R. Ueberfeldt

