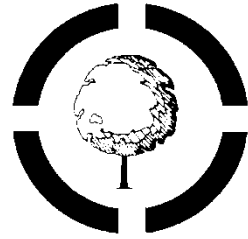


**Masterstudiengang Umweltschutz**

Ein Modell der Hochschulen

Esslingen, Nürtingen, Reutlingen, Stuttgart



**Ökologische  
Uferumgestaltungen und -aufwertungen  
an Binnenwasserstraßen**

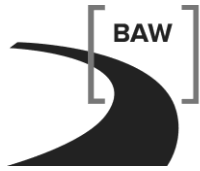
**Masterthesis**

an der Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe

**von Ingo Groschup**

**Sommersemester 2015**

Karlsruhe, Juni 2015



**Bundesanstalt für Wasserbau**  
Kompetenz für die Wasserstraßen



**Hochschule für  
Wirtschaft und Umwelt  
Nürtingen-Geislingen**

## **Ökologische Uferumgestaltungen und -aufwertungen an Binnenwasserstraßen**

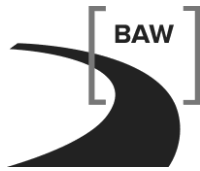
**Analyse und Bewertung der Uferveränderungen am linken  
Neckarufer von km 76.25 bis km 80.45  
nach Einstellung der Unterhaltungsarbeiten und  
teilweisem Rückbau der technischen Ufersicherung seit 1996**

Masterthesis im Sommersemester 2015 von

**Ingo Groschup**

vorgelegt bei

**Betreuer: Prof. Helmut G. Hohnecker | HfT Stuttgart  
Dipl.-Ing. Petra Fleischer | BAW Karlsruhe  
Dr.-Ing. Renald Soyeaux | BAW Karlsruhe**



## **Danksagung**

Meinen Dank richte ich an die zuständigen Behörden und damit an die vielen hilfsbereiten Personen, die ich während der Bearbeitung kennenlernen durfte und ohne welche diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Dies sind die Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt -Außenstelle Südwest- in Mainz, das Wasser- und Schifffahrtsamt Heidelberg sowie der Außenbezirk Eberbach und das Regierungspräsidium Karlsruhe.

Ich danke persönlich Herrn Klaus Genthner (WSA Heidelberg), der mich durch gute Zusammenarbeit und Organisation unterstützt hat, sowie den Herren Uwe Müller und Peter Beisel (ABz Eberbach), die mich mit Ihrem operativen Knowhow schnell auf die richtige Fährte setzen konnten.

Ganz besonderen Dank spreche ich Frau Dipl.-Ing. Petra Fleischer und Herrn Dr. Renald Soyeaux für ihre hervorragende Betreuung aus. Zudem bin ich froh, dass Herr Wilfried Warnecke bei unseren vielen Diskussionen und der Einarbeitung meinerseits in die Software Diadem nie die Geduld verloren hat.

Zu guter Letzt danke ich meinem Ausnahmeprofessor Herrn Regierungsbaumeister und Studiendekan Helmut G. Hohnacker, der mein Interesse für den Gewässerschutz entscheidend geprägt, wenn nicht gar begründet hat.

## Zusammenfassung

Seit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie im Jahre 2000 sind bei allen Maßnahmen an Gewässern neben technischen gleichrangig ökologische Aspekte zu berücksichtigen. Zu diesen Gewässern zählen auch Binnenwasserstraßen, an denen hydraulische Belastungen aus Schifffahrt hinzutreten. Der Forderung nach „ökologischen Uferumgestaltungen und –aufwertungen an Binnenwasserstraßen“ folgt die Umsetzungsidee, Uferabschnitte auszuwählen, an denen eine Einstellung der Uferunterhaltung und / oder ein Rückbau der technischen Ufersicherung beziehungsweise die Ausführung einer technisch-biologischen Ufersicherung erfolgen kann. Aktuell liegen hierzu jedoch nur wenige Erfahrungen, Handlungs- und Auslegungsempfehlungen vor.

Mit dem Merkblatt DWA-M 519 (2014) „Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Binnengewässern“ ist eine wichtige Grundlage zur Planung, Auswahl und Dimensionierung technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen erarbeitet worden. Es werden hierin konkret aber nur die Randbedingungen behandelt, die einen Uferschutz notwendig machen.

Ziel der vorliegenden Masterthesis ist es aus genannten Gründen, die Randbedingungen herauszustellen und im Sinne einer Priorisierung zu bewerten, die bei der Entscheidung zur Einstellung einer Uferunterhaltung beziehungsweise dem Rückbau einer technischen Ufersicherung zu berücksichtigen sind. Untersucht wird hierfür die Entwicklung eines Uferabschnitts am Neckar nach Einstellung der Unterhaltungsarbeiten und teilweisem Rückbau der technischen Ufersicherung. Die durchgeführten Maßnahmen, der Entwicklungsprozess und die damit im aktuellen Zustand erreichten Ziele bzw. Verbesserungen werden in technischer, wirtschaftlicher und ökologischer / sozialer Hinsicht bewertet.

Der Uferabschnitt ist 1992 mit 4,2 km Länge am linken Ufer des Neckars unterhalb der Stadt Obrigheim (Fluss-km 76.25 bis 80.45) im Gebiet des Odenwalds als Versuchsstrecke eingerichtet worden. 6.400 m<sup>2</sup> angrenzende Landfläche wurden hierfür im Rahmen eines Flurbereinigungsverfahrens erworben. Begleitet wird das Projekt seit 1996 durch ein Monitoring.

Mit Ansatz verschiedenster Methoden werden die gesammelten Monitoringdaten zusammengetragen, ergänzt, aufbereitet, ausgewertet, analysiert und interpretiert. Untersucht werden beispielsweise der Ausgangszustand, der anstehende Baugrund, hydraulische Einwirkungen, die Entwicklung der Vegetation und der Gewässermorphologie am Uferabschnitt. Abgerundet wird die Betrachtung durch Nachrechnung der globalen und lokalen Standsicherheit, Dimensionierung eines technischen Deckwerks und Ausarbeitung einer Ufersicherung als Kombination aus technischem und technisch-biologischem Deckwerk nach DWA-M 519 (2014).



Die durchgeführte Untersuchung am Uferabschnitt zeigt, dass die Einstellung der Uferunterhaltung in Verbindung mit dem teilweisen Rückbau der technischen Ufersicherung insgesamt positiv zu bewerten ist. Im aktuellen Zustand sind für die technischen Anforderungen keine signifikanten Vor- oder Nachteile zu erwarten. Das Ufer wird sich aber zukünftig weiter verändern (Erosion). Ebenso sind die durchgeführten Maßnahmen und Entscheidungen aus wirtschaftlicher und ökologischer / sozialer Sicht zu befürworten. Zur weiteren Verbesserung des ökologischen / sozialen Zustands können für den untersuchten Uferabschnitt folgende Maßnahmen empfohlen werden:

- Entfernung schadhafter, verbliebener Ufersicherung
- künstliche Abflachung des Ufers
- Einrichtung und Wahrung eines ausreichend breiten Gewässerrandstreifens
- gezielte Anpflanzungen.

Eine Empfehlung zum grundsätzlichen Verzicht auf Steinmatten als Ufersicherungsart wird ebenso ausgesprochen. Weiterer Untersuchungsbedarf in Bezug auf den Uferabschnitt ergibt sich aus der Präzisierung der mit der vorliegenden Untersuchung erarbeiteten Ergebnisse durch Feststellung der tatsächlichen Baugrundverhältnisse vor Ort, da Bodenkennwerte aus naheliegenden Projekten entnommen werden mussten. Ebenso bietet sich eine Erweiterung der vegetationskundlichen Untersuchungen um faunistische Erhebungen an. Grundlegend andere Ergebnisse sind hieraus jedoch nicht zu erwarten.

Mit der Ausarbeitung kann letztendlich eine Identifikation und Priorisierung der Randbedingungen zur Entscheidung der Einstellung einer Uferunterhaltung oder dem Rückbau einer technischen Ufersicherung erfolgen. Gibt es Randbedingungen mit höchster Priorität wie bspw. rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen oder eine Flächenverfügbarkeit so hat sich doch herausgestellt, dass das Zusammenwirken dieser Randbedingungen und die Abhängigkeiten untereinander so komplex sind, dass eine strikte und schematische Priorisierung nicht zielführend ist. Denkansätze zur Auswahl von Uferabschnitten, an denen eine Einstellung der Uferunterhaltung oder Entfernung der technischen Ufersicherung erfolgen soll, sind stets neu für den betroffenen Einzelfall zu entwickeln. Wichtig sind hierbei die für den Einzelfall festzulegenden Anforderungen in technischer, wirtschaftlicher, ökologischer / sozialer Hinsicht.

Weitere Projekte in Analogie zum untersuchten Uferabschnitt und deren Auswertung sind begrüßenswert, um mehr Erfahrungen, Handlungs- und Auslegungsempfehlungen zur Auswahl von Uferabschnitten zu erlangen, an denen eine Einstellung der Uferunterhaltung und / oder ein Rückbau der technischen Ufersicherung beziehungsweise die Ausführung einer technisch-biologischen Ufersicherung erfolgen kann. Die vorliegende Arbeit kann dabei durch Formulierung und Verknüpfung der dabei zu berücksichtigenden Randbedingungen ein wichtiger Baustein sein.

| Inhaltsverzeichnis |                                                                            | Seite |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1                  | Veranlassung und Aufgabenstellung                                          | 1     |
| 2                  | Die Binnenschifffahrt als wichtiger Baustein nachhaltiger Güterbeförderung | 5     |
| 3                  | Rechtliche Rahmenbedingungen                                               | 7     |
| 4                  | Untersuchungsabschnitt und Datengrundlage                                  | 10    |
| 4.1                | Der Neckar                                                                 | 10    |
| 4.2                | Uferabschnitt Flusskilometer 76.25 – 80.45, linkes Ufer                    | 11    |
| 4.3                | Unterlagen und Methodik                                                    | 13    |
| 5                  | Untersuchung                                                               | 20    |
| 5.1                | Ausgangszustand des Deckwerks                                              | 20    |
| 5.2                | Baugrund und Bodenkennwerte                                                | 24    |
| 5.3                | Hydraulische Einwirkungen                                                  | 27    |
| 5.3.1              | Hydraulische Einwirkungen aus Schifffahrt                                  | 29    |
| 5.3.2              | Hydraulische Einwirkungen aus Strömung                                     | 33    |
| 5.3.3              | Hydraulische Einwirkungen aus Stauhaltung                                  | 35    |
| 5.3.4              | Hydraulische Einwirkungen aus Hochwasser und Überflutung                   | 36    |
| 5.4                | Entwicklung des Deckwerks und durchgeführte Maßnahmen seit 1988            | 42    |
| 5.4.1              | Rekonstruktion durchgeführter Maßnahmen                                    | 42    |
| 5.4.2              | Ergebnisse der Bereisung und Begehung im Rahmen vorliegender Arbeit        | 43    |
| 5.4.3              | Ergebnisse des Tauchereinsatzes im Rahmen vorliegender Arbeit              | 46    |
| 5.5                | Entwicklung der Ufervegetation und Fauna                                   | 49    |
| 5.5.1              | Allgemeines                                                                | 49    |
| 5.5.2              | Ergebnisse aus Vegetationskartierungen                                     | 53    |
| 5.5.3              | Ergebnisse aus visueller Auswertung                                        | 55    |
| 5.5.4              | Ergebnisse pflanzensoziologischer Untersuchungen                           | 57    |
| 5.5.5              | Zusammenfassung der Ergebnisse                                             | 59    |
| 5.6                | Entwicklung der Gewässermorphologie                                        | 60    |
| 5.6.1              | Uferverlauf                                                                | 62    |
| 5.6.2              | Km 77.60                                                                   | 67    |
| 5.6.3              | Km 78.70                                                                   | 68    |
| 5.6.4              | Km 79.70                                                                   | 68    |

|         |                                                               |     |
|---------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 5.7     | Rechnerisch erforderliche Ufersicherung                       | 70  |
| 5.7.1   | Lokale Standsicherheit                                        | 71  |
| 5.7.1.1 | Ergebnisse der Bemessungsfälle 1.1 und 1.2                    | 76  |
| 5.7.1.2 | Ergebnisse der Bemessungsfälle 2.1 und 2.2                    | 78  |
| 5.7.1.3 | Ergebnisse der Bemessungsfälle 3.1 und 3.2                    | 79  |
| 5.7.1.4 | Technisch-biologische Ufersicherung                           | 82  |
| 5.7.2   | Globale Standsicherheit                                       | 84  |
| 5.7.3   | Zusammenfassung der Ergebnisse                                | 85  |
| 6       | Bewertung und Diskussion der Ergebnisse                       | 89  |
| 6.1     | Technische Bewertung und Diskussion                           | 89  |
| 6.2     | Wirtschaftliche Bewertung und Diskussion                      | 91  |
| 6.2.1   | Ist- und Wenn-Kosten                                          | 92  |
| 6.2.2   | Kalkulatorische Kosten des technischen Deckwerks              | 93  |
| 6.2.3   | Kalkulatorische Kosten des technisch-biologischen Deckwerks   | 93  |
| 6.2.4   | Zusammenfassung der wirtschaftlichen Bewertung und Diskussion | 94  |
| 6.3     | Ökologische / soziale Bewertung und Diskussion                | 94  |
| 6.4     | Fazit und Empfehlungen                                        | 99  |
| 7       | Glossar                                                       | 104 |
| 8       | Quellenverzeichnis                                            | 107 |
| 9       | Anlagen                                                       |     |

| <b>Abbildungsverzeichnis</b>                                                                                                                                | <b>Seite</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Abbildung 1: Spannungsfeld der Anforderungen an Binnenschifffahrtsgewässer                                                                                  | 1            |
| Abbildung 2: Bandbreiten und Mittelwerte der externen Kosten (Cent je tkm) für das Klimagas CO <sub>2</sub> nach Verkehrsträgern                            | 5            |
| Abbildung 3: Eindruck Neckarufer linke Seite, ca. auf Höhe km 78.60                                                                                         | 13           |
| Abbildung 4: Eindruck Istzustand Neckarufer linke Seite, ca. auf Höhe km 78.60                                                                              | 13           |
| Abbildung 5: Eingebaute Steinmatten bei km 78.00 linkes Ufer                                                                                                | 21           |
| Abbildung 6: oben: Einbauverfahren der Steinmatte; unten: schematische Darstellung Ufersicherungsart Steinmatte                                             | 22           |
| Abbildung 7: Ausschnitt aus geologischer Karte 6620 Mosbach (Blatt 34) und Lage des Sondierungsbereiches                                                    | 25           |
| Abbildung 8: Vereinfachtes Baugrundprofil am Beispiel km 79.70                                                                                              | 26           |
| Abbildung 9: Abflusslängsschnitt (Abflüsse 1951 – 1990) und kennzeichnende Abflüsse des Neckars (1951 – 2005)                                               | 28           |
| Abbildung 10: Mittel und Unterschreitungswahrscheinlichkeit täglicher Abflüsse in einzelnen Monaten für Pegel Rockenau (km 60.70)                           | 28           |
| Abbildung 11: Schiffs- und Frachtstatistik der Güterschifffahrt am betrachteten Uferabschnitt                                                               | 30           |
| Abbildung 12: Schiffsinduzierte Belastungen und schematische Darstellung der zeitlichen Wasserspiegelveränderung am Ufer                                    | 31           |
| Abbildung 13: Hochwasser am 02.06.2013, Pegelstand UW Neckarzimmern 139,72 m ü. NN                                                                          | 38           |
| Abbildung 14: Ganglinie der Monatsmaximalpegelstände UW Neckarzimmern (1988 bis 2014)                                                                       | 40           |
| Abbildung 15: Überschreitungshäufigkeiten verschiedener Pegelstände UW Neckarzimmern; Auswertung der Monatsmaximalpegel im Zeitraum Jan. 1988 bis Dez. 2014 | 41           |
| Abbildung 16: Km 78.70 (Nullprofil)                                                                                                                         | 45           |
| Abbildung 17: Linienhaft abgeschnittene Mattenkörbe im Wasserwechselbereich; abgesackte und aufgebrochene Steinmatten                                       | 45           |
| Abbildung 18: Beispielhaft, alte Mattenfüllsteine, Bild links bis ca. 10 cm Kantenlänge und plattig, Bild rechts: kopfgroß (bis ca. 40 cm Kantenlänge)      | 47           |
| Abbildung 19: Eindruck der Steinzusammensetzung ehemals eingebauter Steine bei km 78.00 linkes Ufer                                                         | 48           |

|                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 20: Hochufer Hochhausen als Beispiel für einen nahezu vollkommen natürlichen Uferbereich                                              | 51  |
| Abbildung 21: Biberbiss bei km 77.80; Bruthöhlen in lehmigem Steilufer bei km 77.60                                                             | 56  |
| Abbildung 22: Pionierpflanzen in Erosionsbereichen; links: km 77.60, rechts: km 78.93                                                           | 57  |
| Abbildung 23: Anzahl und Summe der positiven Differenzwerte (Erosion, Bezugsjahr – 2013) je Station für Betrachtungsbreite -6,00 m bis +6,90 m; | 63  |
| Abbildung 24: Lage der ausgewählten Querprofile                                                                                                 | 65  |
| Abbildung 25: Aufsummierte Deltas der Rechtswerte in Fixhöhe 133,33 m ü. NN gegenüber 1996                                                      | 66  |
| Abbildung 26: Aktueller Uferzustand km 77.60                                                                                                    | 67  |
| Abbildung 27: Aktueller Uferzustand km 78.70                                                                                                    | 68  |
| Abbildung 28: Aktueller Uferzustand km 79.70                                                                                                    | 69  |
| Abbildung 29: Spannungsfeld der Anforderungen an Binnenschiffahrtsgewässer                                                                      | 103 |

|                                                                                                                                 |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Tabellenverzeichnis</b>                                                                                                      | <b>Seite</b> |
| Tabelle 1: Technische, wirtschaftliche, ökologische / soziale Anforderungen an BWS                                              | 9            |
| Tabelle 2: Datengrundlage der Untersuchung                                                                                      | 14           |
| Tabelle 3: Listung der Ufersicherungsarten km 76.25 – 80.45, linkes Ufer                                                        | 23           |
| Tabelle 4: Charakteristische Bodenkennwerte nach MAR (2008)                                                                     | 27           |
| Tabelle 5: Bemessungsschiffe zur Dimensionierung des technischen Deckwerks                                                      | 33           |
| Tabelle 6: Pegelstände und Ereignisbeschreibung am Pegel UW Neckarzimmern sowie an Uferstreckenansfangs- und Endpunkt           | 37           |
| Tabelle 7: Überschreitungshäufigkeiten und Perzentilwerte verschiedener Pegelstände UW Neckarzimmern                            | 39           |
| Tabelle 8: Wasserspiegelbreiten, Fahrrinnenbreiten und Abstände der Fahrrinne zum linken Ufer der maßgebenden Bemessungsprofile | 66           |
| Tabelle 9: Bemessungsrelevante Wasserspiegellagen und Abflüsse                                                                  | 72           |
| Tabelle 10: Matrix der Bemessungsfälle des technischen Deckwerks, Eingabeparameter und kurze Beschreibung                       | 74           |
| Tabelle 11: Wichtigste Ergebnisgrößen der Bemessungsfälle 1.1 und 1.2                                                           | 76           |
| Tabelle 12: Wichtigste Ergebnisgrößen der Bemessungsfälle 2.1 und 2.2                                                           | 78           |
| Tabelle 13: Wichtigste Ergebnisgrößen der Bemessungsfälle 3.1 und 3.2                                                           | 81           |

|                                                                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 14: Ergebnisse aus dem Nachweis der Gesamtstandsicherheit bei km 79.70                                                                                                                    | 85  |
| Tabelle 15: Einzelsteingrößen entlang der zu sichernden Böschung resultierend aus natürlicher Strömung für die Bemessungszustände bordvoll und $HQ_{100}$                                         | 87  |
| Tabelle 16: Zusammenstellung der Ist-Kosten                                                                                                                                                       | 92  |
| Tabelle 17: Bewertungsmatrix ökologische / soziale Anforderungen                                                                                                                                  | 95  |
| Tabelle 18: Vorschlag der Priorisierung von Randbedingungen zur Entscheidung der Einstellung einer Uferunterhaltung und / oder dem Rückbau einer technischen Ufersicherung an Binnenwasserstraßen | 102 |

|                                                                                                                                   |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>Kartenverzeichnis</b>                                                                                                          | <b>Seite</b> |
| Karte 1: Bundeswasserstraße Neckar mit Angabe von Schleusen und Flusskilometrierung, ohne Maßstab                                 | 11           |
| Karte 2: Versuchsstrecke km 76.25 bis km 80.45, linkes Ufer, mit Angabe der Flusskilometer; Übersichtskarte, jeweils ohne Maßstab | 12           |
| Karte 3: Potentielle Natürliche Vegetation des Uferabschnitts, ohne Maßstab                                                       | 50           |
| Karte 4: Biotopkartierung Gehölze am Neckarufer zwischen Obrigheim und Schleuse Guttenbach, ohne Maßstab, schwarz markiert        | 53           |

### Anlagenverzeichnis

|                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Anlage 1: Datenabfrage                                                                                                        |
| Anlage 2: Digitalisierte Daten und Unterlagen                                                                                 |
| Anlage 3: Ergebnisse der rechnerischen Auswertung der Profile 2013 im Vergleich zu 1996 bzw. 1998 für neuaufgenommene Profile |
| Anlage 4: Entwicklungsverlauf der maßgebenden Querprofile                                                                     |
| Anlage 5: Hydrologischer Längsschnitt des Neckars                                                                             |
| Anlage 6: Länge der Neckarstauhaltungen und korrelierende Höhendifferenzen (Schleusen)                                        |
| Anlage 7: Geometrie und natürliche Strömungsgeschwindigkeiten der Bemessungsprofile                                           |
| Anlage 8: Darstellung streifengemittelter Strömungsgeschwindigkeiten                                                          |

## Abkürzungsverzeichnis

|              |                                                                                                                                                  |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABz          | Außenbezirk, jeweils nachgeordnetes Amt des gebietszuständigen → WSA                                                                             |
| AG Neckar    | Arbeitsgruppe Untersuchung naturnahe Böschungssicherungsarten am Neckar                                                                          |
| BAW          | Bundesanstalt für Wasserbau                                                                                                                      |
| BfG          | Bundesanstalt für Gewässerkunde                                                                                                                  |
| BfN          | Bundesamt für Naturschutz                                                                                                                        |
| BM           | Bruchmechanismus                                                                                                                                 |
| BMVBS        | Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (heute: → BMVI)                                                                          |
| BMVI         | Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur                                                                                         |
| BWS          | Binnenwasserstraße                                                                                                                               |
| EC           | Eurocode                                                                                                                                         |
| EEHFB-Wälder | Eichen-Eschen-Hainbuchen-Feuchtwald oder Buchenwälder, Ausbildungen mit Frische- und Feuchtezeigern einschließlich flussbegleitenden Auenwäldern |
| DFG          | Deutsche Forschungsgemeinschaft                                                                                                                  |
| DIN          | Deutsches Institut für Normung e. V.                                                                                                             |
| DWA          | Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft , Abwasser und Abfall e. V.                                                                            |
| ES           | Europaschiff                                                                                                                                     |
| ETP          | Ersatztrapezprofil                                                                                                                               |
| FGKS         | Fahrgastkabinenschiff (Hotelschiff)                                                                                                              |
| GMS          | Großmotorgüterschiff                                                                                                                             |
| GN           | Gesprächsnotiz                                                                                                                                   |
| GOK          | Geländeoberkante                                                                                                                                 |
| HHW          | Höchstes Hochwasser                                                                                                                              |
| HN-Modell    | Hydrodynamisch-numerisches Modell                                                                                                                |
| HQ           | Hochwasserabfluss                                                                                                                                |
| HSW          | Höchster Schifffahrtswasserstand (ugs. Höchster Schiffbarer Wasserstand)                                                                         |
| HSQ          | Abfluss bei Höchstem Schifffahrtswasserstand                                                                                                     |
| LAWA         | Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser                                                                                                           |
| MHQ          | Mittlerer Hochwasserabfluss                                                                                                                      |
| MHW          | Mittleres Hochwasser                                                                                                                             |
| MNQ          | Mittlerer Niedrigwasserabfluss                                                                                                                   |
| MNW          | Mittleres Niedrigwasser                                                                                                                          |
| MQ           | Mittlerer Abfluss                                                                                                                                |
| MW           | Mittelwasser                                                                                                                                     |
| NNW          | Niedrigstes Niedrigwasser                                                                                                                        |
| NQ           | Niedrigwasserabfluss                                                                                                                             |
| OW           | Oberwasser (bspw. einer Schleuse oder eines Wehres)                                                                                              |
| PSU          | Pflanzensoziologische Untersuchung                                                                                                               |

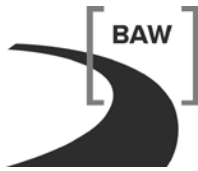
|      |                                                                                         |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| RP   | Regierungspräsidium                                                                     |
| SB   | Sportboot                                                                               |
| SoMW | Sommerliches Mittelwasser                                                               |
| SV   | Schubverband                                                                            |
| TMS  | Tankmotorschiff                                                                         |
| TN   | Telefonnotiz                                                                            |
| ÜS   | Überschwemmungswasserstand für betrachteten Uferabschnitt                               |
| UW   | Unterwasser (bspw. einer Schleuse oder eines Wehres)                                    |
| WSA  | Wasser- und Schifffahrtsamt                                                             |
| WSD  | Wasser- und Schifffahrtsdirektion heute: Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt |
| WSV  | Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes                                           |

## Symbolverzeichnis

*Ausschnitt der Leitsymbole. Mit den Leitsymbolen kombinierte Indizes sind selbsterklärend.  
Für weitere s. GBB (2010, S. 142 ff.).*

|                             |                      |                                                                                                      |
|-----------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A                           | [m <sup>2</sup> ]    | Querschnittsfläche (Flussquerprofil)                                                                 |
| a <sub>F</sub>              | [m]                  | Abstand der Fahrrinne zum Ufer                                                                       |
| b <sub>E</sub>              | [m]                  | Einflussbreite des Rückströmungsfeldes                                                               |
| b <sub>WS</sub>             | [m]                  | Wasserspiegelbreite                                                                                  |
| c <sub>k</sub> <sup>'</sup> | [kN/m <sup>2</sup> ] | Effektive Kohäsion                                                                                   |
| CP <sub>63/180</sub>        | [-]                  | Steinklasse (Größenklasse)                                                                           |
| CP <sub>90/260</sub>        | [-]                  | Steinklasse (Größenklasse)                                                                           |
| D <sub>50,bem</sub>         | [m]                  | Erforderliche Einzelsteingröße (Siebdurchmesser der Steine bei 50 % Massendurchgang der Summenlinie) |
| d <sub>D</sub>              | [m]                  | Deckschichtdicke                                                                                     |
| d <sub>D,abgleiten</sub>    | [m]                  | Erforderliche Deckschichtdicke gegen Abgleiten                                                       |
| d <sub>D,hBV</sub>          | [m]                  | Erforderliche Deckschichtdicke aus hydrodynamischer Bodenverlagerung                                 |
| d <sub>x</sub>              | [mm]                 | Korndurchmesser                                                                                      |
| H                           | [m]                  | Heckwellenhöhe                                                                                       |
| h <sup>'</sup>              | [m]                  | Fahrrinntentiefe                                                                                     |
| h <sub>SP</sub>             | [m]                  | Mittlere Wassertiefe im Bereich des Schiffspfad                                                      |
| k <sub>k</sub>              | [m/s]                | Durchlässigkeitsbeiwert                                                                              |
| LMB <sub>5/40</sub>         | [-]                  | Steinklasse (Gewichtsklasse)                                                                         |
| min d <sub>D</sub>          | [m]                  | Erforderliche Deckschichtmindestdicke                                                                |
| t <sub>FPLan</sub>          | [m]                  | Einbindetiefe einer Fußeinbindung                                                                    |
| u                           | [m/s]                | Wiederauffüllungsströmungsgeschwindigkeit                                                            |
| v <sub>krit</sub>           | [km/h]               | Kritische Schiffsgeschwindigkeit                                                                     |





|                    |                      |                                       |
|--------------------|----------------------|---------------------------------------|
| $v_{\text{sdW}}$   | [km/h]               | Schiffsgeschwindigkeit durchs Wasser  |
| $v_{\text{Str}}$   | [m/s]                | (Natürliche) Strömungsgeschwindigkeit |
| $\Delta \bar{h}_U$ | [m]                  | Wasserspiegelabsenk am Ufer           |
| $\gamma_k'$        | [kN/m <sup>3</sup> ] | Wichte unter Auftrieb                 |
| $\gamma_k$         | [kN/m <sup>3</sup> ] | Feuchtwichte                          |
| $\varphi_k'$       | [°]                  | Effektiver Reibungswinkel             |

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Seit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie im Jahre 2000 (EG-WRRL) sind bei allen Maßnahmen an Gewässern neben technischen gleichrangig ökologische Aspekte zu berücksichtigen. Das stellt insbesondere die Planung und Ausführung von Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen vor neue Herausforderungen und führt zu einem Umdenken. Gefordert ist eine Rückführung in „alte“, natürliche Gewässerstrukturen, jedoch immer unter der Voraussetzung der Gewährleistung der Uferstandsicherheit zur Garantie der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs. Aus diesen Zusammenhängen ergeben sich komplexe und vielfältige Anforderungen an eine Binnenwasserstraße (BWS). Sie ist zugleich Verkehrsweg, Gewässer und Naturraum. Es entsteht ein Spannungsfeld mit differierenden und sich deckenden Anforderungen. Diese können nach technischen, wirtschaftlichen sowie ökologischen / sozialen Gesichtspunkten kategorisiert werden (Abbildung 1). Für Beispiele der Anforderungen s. auch Tabelle 1.

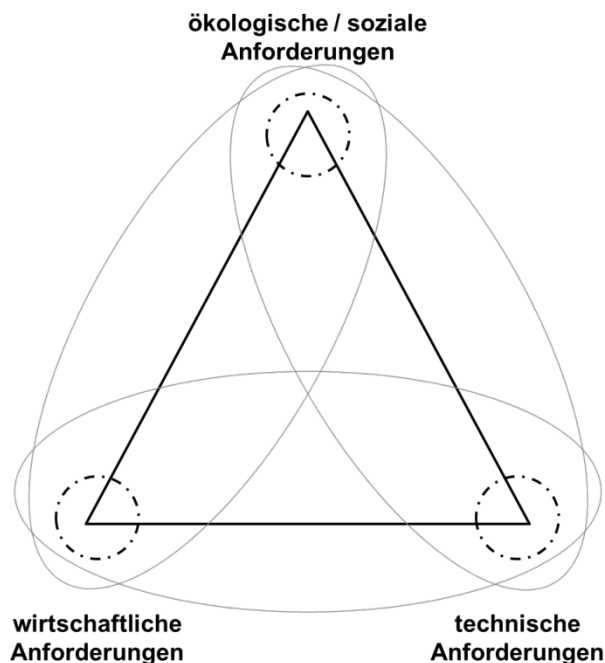


Abbildung 1: Spannungsfeld der Anforderungen an Binnenschifffahrtsgewässer

Der Warentransport auf BWS bildet einen wichtigen Baustein zur Erreichung einer umweltverträglichen, nachhaltigen Güterbeförderung. In diesem Sinne sind genannte Anforderungen bestmöglich zu vereinbaren, um den ökologischen Vorteil der Binnenschifffahrt gegenüber den Verkehrsträgern Straße und Schiene zu wahren bzw. zu vergrößern.

Zur Bemessung von technischen Ufersicherungsmaßnahmen bestehen bereits umfangreiche Regelwerke. Ebenfalls liegen Erfahrungen zu ingenieurb biologischen Ufersicherungsmaßnahmen an kleinen bis mittleren Fließgewässern vor (PATT et al. 2004; sowie BEGEMANN & SCHIECHTL 1994). Jedoch fehlten bislang Handlungs- und Auslegungsempfehlungen für die Planung und Ausführung naturnaher Ufersicherungen an **schiffbaren Wasserstraßen**.

Aus diesem Anlass arbeiten die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) im Rahmen eines langjährig angelegten Forschungsprojekts zusammen an dieser Thematik. Ziel des Projektes ist es, den Mitarbeitern der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), als zuständige Behörde für die Unterhaltung, den Ausbau und den Neubau von Bundeswasserstraßen, notwendige Grundlagen und Empfehlungen zur Anwendung von alternativen, technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen als wichtige Entscheidungshilfe zur Verfügung zu stellen (BfG & BAW 2006).

Seit Projektbeginn im Jahre 2004 ist auf dem Forschungsgebiet eine Vielzahl von Erkenntnissen gesammelt und ausgewertet worden. In das im Juli 2014 im Entwurf erschienene Merkblatt der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA-M 519 2014) sind grundlegende Ergebnisse dieser Forschungsarbeit eingeflossen. Das Merkblatt gibt Empfehlungen zur Planung, Auswahl und Dimensionierung „technisch-biologischer Ufersicherungen an großen und schiffbaren Binnengewässern“ basierend auf dem derzeitigen Wissensstand.

Die erste Frage im Planungsprozess bei Aus-, Neu- oder Umbau einer Ufersicherung sollte jedoch stets die Frage nach der **grundsätzlichen Notwendigkeit einer Ufersicherung** sein. D. h.: Unter welchen Randbedingungen kann auf einen Uferschutz verzichtet bzw. eine technische Ufersicherung entfernt werden? Beispielsweise kann eine Ufersicherung an wenig beanspruchten Gleithängen ersetzbar sein durch „wachsame Unterhaltung“ (DWA-M 519 2014, S.4).

Allerdings weist das Merkblatt ausdrücklich darauf hin, dass in diesem „zwar Hinweise gegeben [werden], in welchen Fällen auf eine Ufersicherung verzichtet werden könnte, konkret werden aber nur solche Randbedingungen behandelt, die einen Uferschutz notwendig machen.“ (DWA-M 519 2014, S. 4).

**Ziel** dieser Masterthesis im Rahmen des Masterstudienganges Umweltschutz ist es, aus oben genannten Gründen, die Randbedingungen herauszustellen und zu priorisieren, die bei der Entscheidung zur Einstellung einer Uferunterhaltung bzw. dem Rückbau einer technischen Ufersicherung zu berücksichtigen sind. Sie ist damit ein Baustein zur Klärung der Gesamtfrage, unter welchen Randbedingungen auf eine Ufersicherung verzichtet werden kann. Hierfür wird die Entwicklung eines Uferabschnitts am Neckar nach Einstellung der

Unterhaltungsarbeiten und teilweise Rückbau der technischen Ufersicherung analysiert und bewertet. Zudem werden die positiven Auswirkungen auf die unterschiedlichen Anforderungen an eine Binnenwasserstraße (technisch, wirtschaftlich, ökologisch / sozial), die sich bei Verzicht auf einen Uferschutz einstellen, am Untersuchungsobjekt dargestellt. Der Begriff der Ufersicherung bezieht sich dabei stets auf eine Ufersicherung an Binnenwasserstraßen. Nicht schiffbare Gewässer sind nicht Gegenstand der Betrachtung (zu Begrifflichkeiten s. Glossar, Kap. 7).

Der Uferabschnitt am Neckar bei Obrigheim/Diedesheim (Flusskilometer 76.25 bis km 80.45, linkes Ufer) ist 1992 unter Beteiligung der BfG, der BAW und des Wasser- und Schifffahrtsamtes Heidelberg (Arbeitsgruppe „Untersuchung naturnahe Böschungssicherungsarten am Neckar“) als Versuchsstrecke ausgewählt worden. Das Ufer liegt in einer langgezogenen Linkskurve (Gleithang) und wurde fortan ohne Unterhaltungsmaßnahmen unter Begleitung eines Monitoring seiner natürlichen Entwicklung überlassen. Das Drahtwerk der alten Ufersicherung (Steinmatten) wurde zum Teil nach und nach entfernt. Wegen der zu erwartenden Erosion wurden durch die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) 6.400 m<sup>2</sup> angrenzende Uferfläche erworben.

Seit 1996 werden im Rahmen eines Monitorings Daten zur Uferentwicklung gesammelt, bspw. regelmäßige Querprofilaufnahmen. Diese geben Aufschluss über Anlandungen, Erosionen und Steilkantenbildungen. Weiterhin erfolgten vegetationskundliche Aufnahmen und Kartierungen des Uferbestandes sowie Fotodokumentationen der Uferentwicklung (WSA HEIDELBERG 2007).

Über die Jahre sind auf diese Weise unterschiedlichste Daten zum genannten Uferabschnitt gesammelt worden. Diese Datenbestände werden im Rahmen vorliegender Masterthesis durch aktuelle Aufnahmen vor Ort, weitere Recherchen, Berechnungen und Zusammentragen ergänzt, aufbereitet, ausgewertet, analysiert und interpretiert. Einzelne Aspekte im Detail werden dabei nicht untersucht, sondern eine ganzheitliche, integrative Betrachtung durchgeführt. Dies ganz in dem Sinne der „Querschnittsdisziplin Umweltschutz“ und damit nach den Grundsätzen des Masterstudiengangs Umweltschutz.

Mit Auswertung der Daten sollen Antworten auf folgende Fragestellungen gegeben werden:

- Wie sah die technische Ufersicherung im Ursprungszustand aus und wann wurde diese eingebaut (historische Analyse)?
- Was wurde am Deckwerk (DW) entfernt? Was ist noch erhalten?
- Welche Veränderungen hat das Ufer bis heute erfahren (Querprofile: Auftrag/Abtrag)?
- Welche maßgebenden Randbedingungen liegen dem zu Grunde? (Baugrund, hydraulische Einwirkungen)?

- Welche technische Ufersicherung wäre nach konventioneller Berechnung erforderlich (Bemessung mithilfe GBBSoft)?
- Welche technisch-biologische Ufersicherung ist möglich nach DWA-M 519?
- Was ist mit Entfernung der Ufersicherung erreicht worden (vorteilige/nachteilige Auswirkungen auf Anforderungen gem. Abbildung 1 bzw. Tabelle 1)?
- Wie wird sich der Uferabschnitt weiterentwickeln (Ausblick)?

Im Hinblick auf gesetztes Ziel wird nach Auswertung und Diskussion obiger Fragestellungen untersucht werden, welche Randbedingungen zur Auswahl anderer Uferabschnitte zu beachten sind, bei denen die Unterhaltung eingestellt bzw. die technische Ufersicherung analog untersuchtem Pilotprojekt entfernt werden kann und welche Empfehlungen anhand der Ergebnisse gegeben werden können.

## 2 Die Binnenschifffahrt als wichtiger Baustein nachhaltiger Güterbeförderung

Der ökologische Stellenwert der Binnenschifffahrt als Baustein zukünftiger Güterbeförderung wird zur Verdeutlichung nachfolgend kurz diskutiert.

Laut Prognosen ist zu erwarten, dass die Transportleistung (Produkt aus Gütermenge und beförderter Strecke) des Binnengüterverkehrs in Deutschland insgesamt (Bahn, Straße, Binnenschiff) gegenüber dem Jahr 2004 um 41 % auf 406 Mrd. tkm in 2025 zunehmen wird (ITP & BVU 2007, S. 213). Der grenzüberschreitende Verkehr wird gegenüber dem Jahr 2004 um bis zu 104 % auf 530,5 Mrd. tkm in 2025 zunehmen (ebd.).

Ein modernes Binnenschiff mit einer Länge von 110 m, einer Breite von 11,45 m und einem Tiefgang von 3,00 m fasst eine Ladungsmenge von 3.000 t. Damit ersetzt es ca. 150 LKW (BDB 2013/2014). Am Beispiel des klimawirksamen Treibhausgases CO<sub>2</sub> wurden in einer Studie auf Grundlage verschiedener Transportrelationen die Ergebnisse nach Abbildung 2 ermittelt.

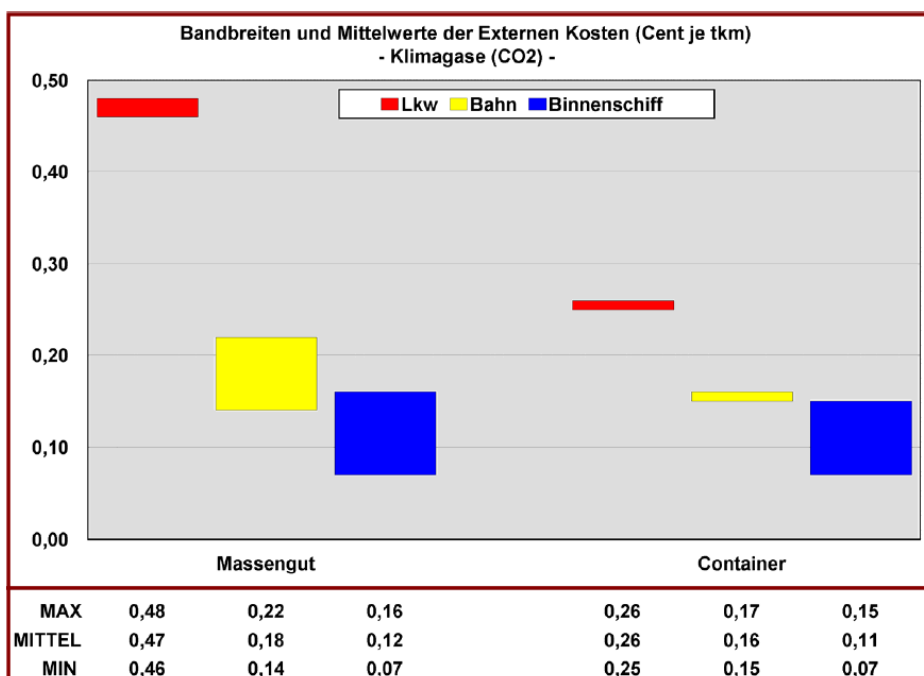


Abbildung 2: Bandbreiten und Mittelwerte der externen Kosten (Cent je tkm) für das Klimagas CO<sub>2</sub> nach Verkehrsträgern (PLANCO 2007, S.19)

Betrachtet worden sind hierbei die monetär bewerteten durch CO<sub>2</sub> verursachten Klimakosten im volkswirtschaftlichen Sinn. Als Schätzwert sind diese in Höhe von 70 € je Tonne CO<sub>2</sub> gemäß den Empfehlungen des Umweltbundesamtes angesetzt worden. Der zusätzliche Vor- bzw. Nachlauf im Containertransport per Bahn und Binnenschiff sind berücksichtigt worden (PLANCO 2007, S.18).

Es wird erkennbar, welchen ökologischen Vorteil die Binnenschifffahrt mit sich bringt. Jedoch wird darauf hingewiesen, dass Umweltschutz grundsätzlich einer integrativen Beurteilung unterliegen muss (vgl. hierzu auch HOHNECKER o.J., S. 3). Die Betrachtung weiterer Emissionen, Energiequellen der einzelnen Verkehrsträger, die Auswirkungen auf das Gewässer und dessen ökologische Durchgängigkeit durch Stauhaltung und Schiffbarkeit (Schleusen) sind nur wenige Beispiele weiterer Parameter, die der Beurteilung der Nachhaltigkeit von Lösungsalternativen (hier: Güterbeförderung) zu Grunde gelegt werden müssen.

Eine weitere Untersuchung wird an dieser Stelle nicht durchgeführt, da dies den Rahmen der Ausarbeitung sprengen würde. Festgehalten werden kann nach Auswertung der Daten jedoch, dass zur Entlastung von Schiene und Straße, sowie für sich betrachtet, der Warentransport auf BWS einen wichtigen Baustein zur Erreichung einer umweltverträglichen, nachhaltigen Güterbeförderung bildet. Daher ist es umso wichtiger einen ökologischen Vorteil der Binnenschifffahrt gegenüber den Verkehrsträgern Straße und Schiene durch angepasste Uferunterhaltung und / oder Ufersicherung zu wahren bzw. zu vergrößern.

### 3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Anforderungen an BWS ergeben sich aus zahlreichen Gesetzen, Verordnungen und Richtlinien. Beschrieben sind im Folgenden die grundlegenden gesetzlichen Regelungen. In übergeordneter Funktion steht seit dem Jahr 2000 die EUROPÄISCHE RICHTLINIE ZUR SCHAFFUNG EINES ORDNUNGSRAHMENS FÜR MAßNAHMEN DER GEMEINSCHAFT IM BEREICH DER WASSERPOLITIK (EG-WRRL).

Gem. Artikel 4 Abs. 1 a) ii) EG-WRRL ist für Oberflächengewässer grundsätzlich bis Dezember 2015 ein guter Zustand der Gewässer („guter ökologischer und chemischer Zustand“) zu erreichen. Für alle künstlichen und erheblich veränderten Wasserkörper ist ein „gutes ökologisches Potential“ und ein „guter chemischer Zustand“ der Oberflächengewässer herzustellen (Art. 4 Abs. 1 a) iii) EG-WRRL). In jedem Fall ist eine Verschlechterung des Zustands aller Oberflächenwasserkörper zu verhindern (Art. 4 Abs. 1 a) i) EG-WRRL). Die Definitionen der unterschiedlichen Zustände ergeben sich aus den Anhängen zur EG-WRRL. Zur Beurteilung der Qualität eines Oberflächengewässers gehören seit der Einführung der EG-WRRL nun unter anderem auch verbindlich hydromorphologische Komponenten wie bspw. das Bewertungskriterium „Struktur der Uferzone“ (Anhang V Nr. 1.1.1 EG-WRRL).

Umgesetzt in nationales Recht werden die Forderungen nach EG-WRRL im Wesentlichen durch das GESETZ ZUR ORDNUNG DES WASSERHAUSHALTS (WHG). Festgeschrieben werden die nach EG-WRRL geforderten und zu erreichenden Zustände in den Bewirtschaftungszielen gem. §§ 6 ff. WHG i. V. m. den §§ 27 ff. WHG. Maßnahmen wie Ausbau, Neubau oder Unterhaltung müssen somit die Bewirtschaftungsziele nach §§ 27 ff. WHG berücksichtigen. Ein Gewässerausbau erfordert zudem i. d. R. eine Planfeststellung in Verbindung mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) nach dem GESETZ ÜBER DIE UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG (UVPG), jedoch zumindest eine Plangenehmigung. Weitergehende Anforderungen können sich für BWS aus landesrechtlichen Vorschriften (hier: WASSERGESETZ FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG) ergeben. Diese bleiben hier jedoch außer Betracht.

Die Erhaltung eines ordnungsgemäßen Zustandes für den Wasserabfluss und die Erhaltung der Schiffbarkeit regelt das BUNDESWASSERSTRAßENGESETZ (WASTRG). Hierbei sind die Belange des Naturhaushalts, die Fischerei sowie Bild und Erholungswert der Gewässerlandschaft zu berücksichtigen. Die natürlichen Lebensgrundlagen sind zu bewahren. Unterhaltungsmaßnahmen müssen zudem die Bewirtschaftungsziele (s. vor §§ 27 WHG) erfüllen. Sie sind derart durchzuführen, dass mehr als nur geringfügige Auswirkungen auf den Hochwasserschutz vermieden werden (§ 8 WASTRG).

Mit Maßnahmen an Gewässern erfolgt ein Eingriff in Natur und Landschaft. Es werden damit die Ziele des GESETZES ÜBER NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE (BNATSCHG) berührt.

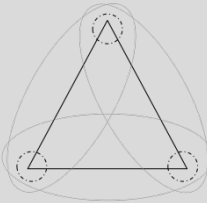


Insbesondere sind Binnengewässer vor Beeinträchtigungen zu bewahren und ihre natürliche Selbstreinigungsfähigkeit und Dynamik zu erhalten (§ 1 Abs. 3 Nr.3 BNATSchG). Unter anderem sind oberirdische Gewässer einschließlich ihrer Randstreifen, Uferzonen und Auen als Lebensstätten und Biotope für natürlich vorkommende Tier- und Pflanzenarten zu bewahren. Dabei sind sie so weiterzuentwickeln, dass sie ihre großräumige Vernetzungsfunktion auf Dauer erfüllen können (§ 21 Abs. 5 BNATSchG).

Von entscheidender Relevanz sind ebenso Erhaltungsziele oder Schutzzwecke der FAUNA-FLORA-HABITAT-RICHTLINIE (FFH-RL) sowie der VOGELSCHUTZRICHTLINIE (VSCH-RL). Im Rahmen dieser beiden Richtlinien wurde ein Netz von Schutzgebieten (Natura 2000) ausgewiesen, in denen eine erhebliche Beeinträchtigung der für den Schutzzweck oder das Erhaltungsziel maßgeblichen Bestandteile für unzulässig erklärt wurde (DWA-M 519 2014, S. 27). Viele Teile von BWS liegen direkt an oder in Schutzgebieten. In der Nähe von Schutzgebieten kommt dem Gewässer ebenfalls Bedeutung einer Biotopvernetzungsfunktion zu. Eine Beeinträchtigung bzw. Zielkonflikte sind zu prüfen. Weitergehende Anforderungen können sich für BWS aus landesrechtlichen Vorschriften (hier: NATURSCHUTZGESETZ BADEN-WÜRTTEMBERG) ergeben. Diese bleiben hier jedoch außer Betracht.

Aus den Anforderungen an eine BWS als Verkehrsweg, Gewässer und Naturraum ergeben sich Zielkonflikte, die grundsätzlich eine rechtliche Regelung bzw. eine Abwägung im Einzelfall erfordern. Der Aufrechterhaltung des ordnungsgemäßen Wasserabflusses und der Schiffbarkeit einer Wasserstraße sind dabei besonders Rechnung zu tragen. Die technischen, wirtschaftlichen, ökologischen / sozialen Anforderungen, die sich aus der oben genannten Gesetzeslage ergeben können, sind in Tabelle 1 aufgeführt. Hierbei ist eine gemeinsame Zuordnung der ökologischen und sozialen Anforderungen zu einer Kategorie erfolgt, da im Spannungsdreieck die deutliche Abgrenzung zu den technischen sowie wirtschaftlichen Anforderungen im Vordergrund steht, obwohl sich ökologische und soziale Belange durchaus in den verfolgten Zielen widersprechen können. Daher wird in vorliegender Arbeit auch nicht zusammengefasst zu sozioökologisch: die Gesellschaft wie die Ökologie in ihrer gesamtheitlichen Struktur gleichermaßen betreffend (s. auch Glossar Kap. 7).

Tabelle 1: Technische, wirtschaftliche, ökologische / soziale Anforderungen an BWS (eigene, nicht abschließende Zusammenstellung)

| <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: space-between;">  <div style="text-align: center;"> <b>Binnenwasserstraße</b><br/><br/> <b>Anforderungen als</b><br/> <b>Verkehrsweg – Gewässer – Naturraum</b> </div> </div> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Säule                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Baustein                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Ökologische / soziale Anforderungen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anforderungen als Lebensgrundlage <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wasserverteilungsnetz</li> <li>- Einfluss auf Grundwasser / Grundwasserneubildung</li> </ul> </li> <li>▪ Anforderungen als Lebensraum (aquatisch / terrestrisch) für Mensch, Tier und Pflanze <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gewässermorphologie</li> <li>- Biotopvernetzungsfunktion</li> <li>- Wassergüte (chemisch / biologisch)</li> <li>- Durchgängigkeit</li> <li>- Artenvielfalt / Artenschutz</li> </ul> </li> <li>▪ Anforderungen als Raum für Erholung / Freizeit <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wassersport</li> <li>- Badesport</li> <li>- Landschaftsbild</li> <li>- Zugänglichkeit</li> </ul> </li> <li>▪ Anforderungen aus Ökosystemleistungen <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abwasseraufnahme, respektive Aufnahme geklärter Abwässer aus kommunalen Kläranlagen und schadlose Rückführung in den Wasserkreislauf</li> <li>- Nutzung der Wasserkraft</li> <li>- Einfluss auf Mikro-/Makroklima (Frischlufthlieferant, Temperatur)</li> <li>- Wasserentnahme und Wiedereinleitung (Industrie)</li> </ul> </li> <li>▪ Anforderungen der Fischerei (Schutzgut)</li> <li>▪ Anforderungen des Denkmalschutzes</li> </ul> |
| <b>Technische Anforderungen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Standsicherheit des Ufers und der Sohle</li> <li>▪ sichere und schadlose Ableitung von Hochwasser</li> <li>▪ Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Wirtschaftliche Anforderungen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ wirtschaftlich vertretbarer Aufwand für Aus- und Neubau sowie Unterhaltung</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## 4 Untersuchungsabschnitt und Datengrundlage

Zur Eingrenzung des Untersuchungsraumes sowie zur Differenzierung der vorhandenen bzw. zu erarbeitenden Datengrundlage werden diese im Folgenden beschrieben.

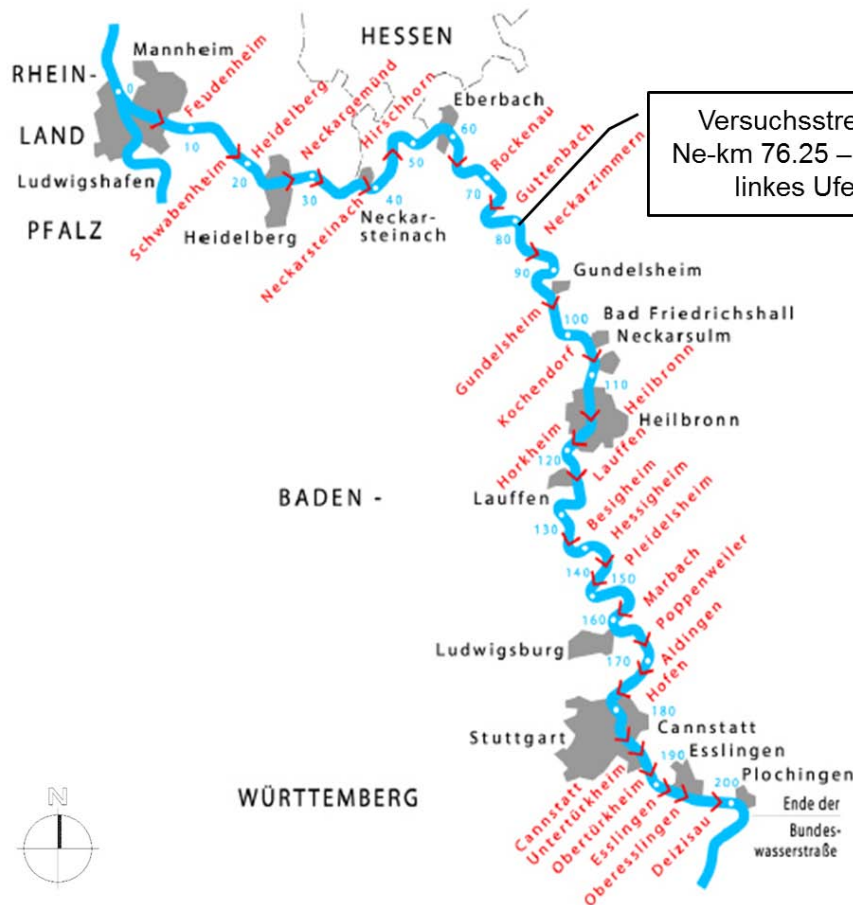
### 4.1 Der Neckar

Der Fluss Neckar (*von keltisch: der Wilde*) entspringt dem Quellgebiet Schwenninger Moos zwischen Schwenningen und Bad Dürkheim und mündet nach einer Länge von 367 km bei Mannheim in den Rhein. Auf seinem Weg fällt er um 621 m Höhendifferenz von 706 m ü. NN auf 85 m ü. NN. Fast ausschließlich verläuft er innerhalb der Landesgrenzen Baden-Württembergs. Nur zwischen Flusskilometer 55.00 und 36.50 grenzt Hessen an sein rechtes Ufer. Sein Einzugsgebiet umfasst rund 14.000 km<sup>2</sup> und damit fast 40 % der Landesfläche Baden-Württembergs (LUBW (a) 2007). Hinsichtlich seiner Ökoregion ist der Neckar mit seinen Nebengewässern dem Typ „Zentrales Mittelgebirge ohne Alpenvorland“ (nach EG-WRRL Anhang II i. V. m. Anhang XI) zuzuordnen. Im Mündungsbereich treten auch „Fließgewässer der Niederungen“ auf (RP STUTTGART 2005).

Schiffbar ist der staugeregelte Neckar auf ca. 203 km von Mannheim bis Endhafen Plochingen (Karte 1) wobei die Kilometrierung für den schiffbaren Teil von der Mündung (km 0.00) stromaufwärts erfolgt. Der Neckar ist einer der wichtigen Nebenflüsse des Rheinstromgebietes, der verkehrsreichsten Binnenwasserstraße Europas (BDB.DE 2015). Bereits 1921 begann der Bau der heute insgesamt 27 Neckarstauufen (LENZ 2007). Als Bundeswasserstraße fällt er in den Zuständigkeitsbereich der Wasser- und Schifffahrtsämter Mannheim (km 0.00 bis 5.00), Heidelberg (km 5.00 bis 116.00) und Stuttgart (km 116.00 bis 203.00).

Beim Ausbau zur Großschifffahrtsstraße wurde der Neckar in vielen Bereichen „zum reinen Kanal degradiert“ (LUBW (a) 2007, S. 13). Zwischen der Mündung der Starzel in den Neckar (Stadtteil Biringen (Rottenburg) im Landkreis Tübingen) und Mannheim wurde zur Nutzung der Wasserkraft und für die Schifffahrt so stark in seinen natürlichen Haushalt eingegriffen, dass der Neckar in diesem Abschnitt als „erheblich verändert“ (gem. Art. 2 Nr. 9 EG-WRRL, s. Kapitel 3) eingestuft wurde (RP STUTTGART 2006). Derzeit werden 28 Wasserkraftwerke am Neckar betrieben.

Im Einzugsgebiet des Neckars leben ca. 5,5 Mio. Menschen. Am Flussverlauf liegen Siedlungsgebiete mit Bevölkerungsdichten, die zu den höchsten in Europa zählen (bis 900 EW/km<sup>2</sup> in der Region Stuttgart) (RP STUTTGART 2006). Dies verdeutlicht den ökologischen Druck auf das Gewässer. Der schlechteste Zustand hinsichtlich der Wasserqualität wurde in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts erreicht.



Karte 1: Bundeswasserstraße Neckar mit Angabe von Schleusen und Flusskilometrierung, ohne Maßstab (WSA HEIDELBERG.DE 2015)

Ein Umdenken und Gegenlenken im Umgang mit dem Gewässer haben dazu geführt, dass dem Neckar zwischen Tübingen und Stuttgart im Jahre 1998 zumindest wieder eine Güteklasse „mäßig bis kritisch belastet“ (Klasse 2 – 3 nach LAWA) zugeordnet werden konnte (LUBW (a) 2007). Seine Nebengewässer sind ebenfalls stark durch anthropogene Nutzungen wie Wasserkraft, Abwassereinleitungen, Be- und Entwässerungen sowie Hochwasserschutz geprägt (RP STUTTGART 2005).

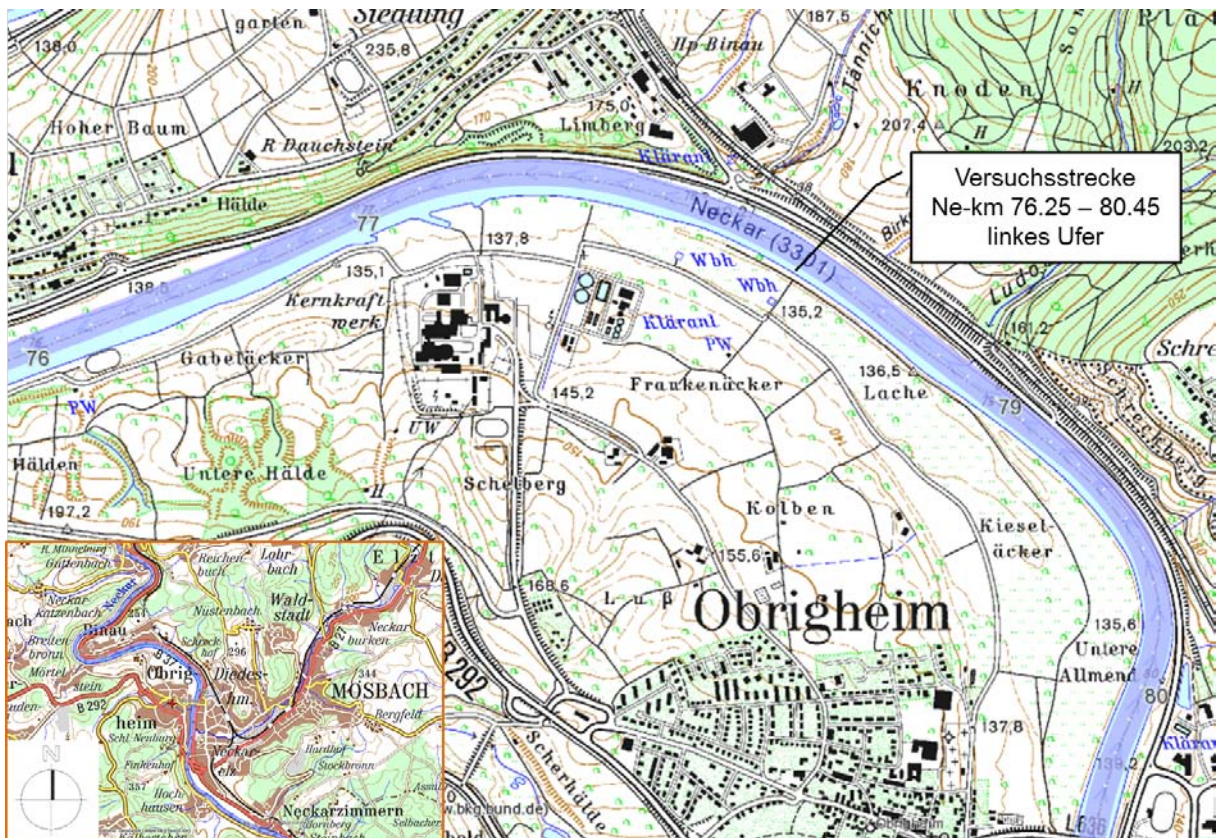
Aktuell erfolgen die Vorbereitungen und Maßnahmen zum Ausbau der Bundeswasserstraße Neckar und insbesondere ihrer Schleusen für das 135-m-Schiff.

#### 4.2 Uferabschnitt Flusskilometer 76.25 – 80.45, linkes Ufer

Bereits 1987 wurde unter Beteiligung der BfG, der BAW und des WSA Heidelberg vereinbart, dass eine Versuchsstrecke mit vier unterschiedlichen Ufersicherungsarten (Steinwurf, Steinmatte, verklammerter Steinwurf, Flachwasserzone mit Wellenbrecher) am Neckar von Flusskilometer 44.20 bis 44.60 angelegt wird. Im Vordergrund standen hierbei Feldversuche zur Beurteilung der Standsicherheit und der biologischen Wirkung. Aus der regelmäßigen

begleitenden Überwachung (Monitoring) hat sich die Arbeitsgruppe „Untersuchung naturnahe Böschungssicherungsarten am Neckar“ (AG Neckar) entwickelt (BFG & BAW 2009).

1992 ist durch die AG Neckar eine weitere Versuchsstrecke mit 4,2 km Länge unterhalb von Obrigheim (Neckar-km 76.25 bis km 80.45) am linken Ufer ausgewiesen worden (Karte 2). An dieser Strecke sollte die Uferentwicklung nach Einstellung der Unterhaltung untersucht und dokumentiert werden. Hierfür wurden 6.400 m<sup>2</sup> angrenzende Uferfläche an dem Gleithang erworben. Die Strecke liegt in der Stauhaltung zwischen den Schleusen Neckarzimmern (km 85.95) und Guttenbach (km 72.22) und gehört damit zum Gebiet des Unteren Neckars (Heilbronn – Mannheim). Nach einer kaum merklichen Rechtskrümmung zwischen Fluss-km 81.00 und 80.00 geht der Neckarverlauf in eine Linkskurve über (linkes Ufer als Gleithang, rechtes Ufer als Prallhang) um nach einem geraden Verlauf wieder in eine Linkskurve bei km 77.80 einzuschlagen. Der Streckenabschnitt km 77.00 bis 76.00 nimmt wiederum einen geraden Verlauf an.



Karte 2: Versuchsstrecke km 76.25 bis km 80.45, linkes Ufer, mit Angabe der Flusskilometer;  
Übersichtskarte, jeweils ohne Maßstab (GEOVIEWER DER WSV 2015)

Auf Höhe Flusskilometer 77.40 befindet sich im Hinterland das Kernkraftwerk Obrigheim. Der Betrieb des Kernkraftwerks wurde im Herbst 2005 eingestellt (ENBW.COM 2015). Der Abbau der Anlage erfolgt seit Herbst 2008 und soll 2025 abgeschlossen sein.



Die wichtigsten Nebenflüsse Jagst, Kocher und Enz sind an der betrachteten Stelle bereits in den Neckar eingemündet. In unmittelbarer Nähe zum Uferabschnitt mündet stromauf bei km 81.18 die Elz ein. Der Uferabschnitt liegt im Gebiet des Naturparks „Neckartal-Odenwald“ und ist als FFH-Gebiet „Neckartal und Wald Obrigheim“ Teil des Natura 2000-Netzwerks (KARTENDIENST DES BFN 2015, sowie KARTENDIENST DER EUROPÄISCHEN UMWELTAGENTUR 2015).

Das mit Steinmatten gesicherte Ufer wurde nach der Einstellung der Unterhaltung seit 1992 unter Begleitung eines Monitorings durch die AG Neckar seiner natürlichen Entwicklung überlassen. Die alten Ufersicherungen wurden zum Teil nach und nach entfernt (WSA HEIDELBERG 2007). Eindrücke der Uferentwicklung zeigen Abbildung 3 und Abbildung 4.



Abbildung 3: Eindruck Neckarufer linke Seite, ca. auf Höhe km 78.60 (WSA Heidelberg Herbst 2003)



Abbildung 4: Eindruck Istzustand Neckarufer linke Seite, ca. auf Höhe km 78.60 (eigene Aufnahme März 2015)

#### 4.3 Unterlagen und Methodik

Seit 1996 werden im Rahmen des Monitorings durch die AG Neckar Daten zur Uferentwicklung gesammelt. Über die Jahre sind auf diese Weise unterschiedlichste Unterlagen erstellt und Informationen zur Versuchsstrecke gesammelt worden. Allerdings ist eine Zusammentragung nie zentral erfolgt. Eine systematische Auswertung gibt es bislang nicht. Daher wer-

den diese Datenbestände nun zusammengetragen, ergänzt, aufbereitet, ausgewertet, analysiert und interpretiert. Es werden keine einzelnen Aspekte im Detail untersucht, sondern eine ganzheitliche, integrative Betrachtung im Sinne des Umweltschutzes als „Querschnittsdisziplin“ durchgeführt.

Anhand der Fragestellungen aus Kapitel 1 erfolgt zunächst eine Zusammenstellung der relevanten bei den zuständigen Stellen anzufragenden bzw. zu beschaffenden Daten (Anlage 1). Hierbei wurden anzugebende Randparameter für eine Bemessung der rechnerisch erforderlichen Ufersicherung unter Verwendung der Bemessungssoftware GBBSOft der BAW bereits im Vorfeld berücksichtigt. Parameter, für die keine Daten vorliegen, müssen entweder außer Betracht bleiben, oder es werden entsprechende Annahmen getroffen.

Ziel ist, nach Auswertung und Diskussion, die Randbedingungen herauszustellen, zu bewerten und damit zu priorisieren, die bei einer Entscheidung zur Einstellung der Uferunterhaltung bzw. Entfernung der technischen Ufersicherungen zu berücksichtigen sind. Die positiven Auswirkungen auf die unterschiedlichen Anforderungen an eine Binnenwasserstraße werden dabei identifiziert. Viele Erfahrungen liegen mit dem Rückbau von Ufersicherungen an BWS bislang noch nicht vor.

Für die Bearbeitung standen die Unterlagen und Daten nach Tabelle 2 zur Verfügung. Diese sind in digitaler Form auf CD in Anlage 2 beigelegt.

Tabelle 2: Datengrundlage der Untersuchung. Angaben mit Bezug auf das Ufer betreffen jeweils das linke Ufer.

| Bezeichnung                            | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                             | zuständige Stelle                                           |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>I Uferentwicklung und Maßnahmen</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                             |
| Querprofile                            | Bis 2013: jährliche Vermessung von Querprofilen des linken Ufers mit Landanschluss (von ca. -20,00 m bis ca. +10,00 m (Lage zum Hektometerstein) im Abstand von 25,0 bzw. 50,0 Metern (ohne die Jahre 1999, 2000, 2002, 2010 und 2012).<br>Messbereich: km 77.25 – 80.00 | WSA Heidelberg<br>Sachbereich 3                             |
| Beschreibung des Messvorgangs          | Mail v. 30.03.2015. Beschreibung des Messvorgangs zur Einmessung der Landanschlüsse Ufer linke Seite auf entsprechende Anfrage.                                                                                                                                          | WSA Heidelberg<br>(Hr. Haißer)<br><br>BAW<br>(Hr. Groschup) |

[illegible]



| Bezeichnung                                                       | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                        | zuständige Stelle                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Beantwortung<br>Anfrage Dr.<br>Franzius                           | vom 02.09.1996. Zusammenfassung der am Uferabschnitt getroffenen Maßnahmen und Hintergründe                                                                                                                                                                                         | WSA Heidelberg                                                                       |
| Fragebogen Ver-<br>suchsstrecke                                   | Fragebogen zu bestehenden Versuchsstrecken mit naturnahen Ufersicherungen vom 30.04.2004                                                                                                                                                                                            | WSA Heidelberg<br>(Hr. Genthner)                                                     |
| Nachträgliche<br>Dokumentation der<br>durchgeführten<br>Maßnahmen | Mail mit Beantwortung der Fragen v. 04.03.2015                                                                                                                                                                                                                                      | ABz Eberbach<br>(Hr. Müller)                                                         |
| Biotopentwurf                                                     | vom 26.09.2012                                                                                                                                                                                                                                                                      | RP Karlsruhe                                                                         |
| <b>II Baugrund</b>                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                      |
| Gutachten zur<br>Gründung der<br>Kläranlage Obrig-<br>heim        | vom 11.01.1972, der Abteilung Erd- und Grundbau; Auftrags-Nr.: BAW E 3518 für den Abwasserverband Elz/Neckar                                                                                                                                                                        | BAW                                                                                  |
| hydrogeologisches<br>Zwischengutachten                            | zum Wasserschutzgebiet für die Fassungen der Gemeinde Obrigheim im Neckartal vom 12.07.1991                                                                                                                                                                                         | Geolog. Landesamt<br>BaWü                                                            |
| Stellungnahme                                                     | des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg vom 15.08.1991                                                                                                                                                                                                                       | Geolog. Landesamt<br>BaWü                                                            |
| <b>III Hydrologie und hydraulische Einwirkungen</b>               |                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                      |
| HN-Modelle Ne-<br>ckar                                            | <p>Nr. 1:<br/>Hydrodynamisch-numerisches Flussmodell Neckar. Untersuchungsbericht zur Stauhaltung Guttenbach. April 1999.</p> <p>Nr. 2:<br/>Hydrodynamisch-numerisches Flussmodell Neckar. Untersuchungsbericht zur Neckaraktualisierung. Stauhaltung Guttenbach. Oktober 2011.</p> | KIT Karlsruhe.<br>Institut für Wasser- und Gewässerentwicklung<br>im Auftrag der BAW |

| Bezeichnung                                                    | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | zuständige Stelle                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| hydrologische Angaben                                          | <p>1. HQ-Werte und zugehörige Wasserspiegellageangaben entlang der Versuchsstrecke und Pegelstände an Schleusen Guttenbach und Neckarzimmern; übermittelt am 23.03.2015</p> <p>2. Haupttabellen der HW-Werte (monatliche Maximalpegelstände) UW Neckarzimmern für die Jahre 1981 – 2014</p> <p>3. Tagesmaximalpegelstände UW Neckarzimmern Februar lückenlos 2003 bis Februar 2015</p> <p>4. Angaben zu berücksichtigten Zuflüssen der Elz lt. Mail v. 22.04.2015</p> <p>Weiterverarbeitung der Daten und statistische Auswertung</p> | <p>WSA Heidelberg (Hr. Kickel)</p> <p>BAW</p> <p>WSD Südwest (Hr. Hörter)</p> <p>BAW (Hr. Groschup)</p>              |
| Strömungsmodelle Neckar - streifengemittelte Geschwindigkeiten | <p>Berechnung der streifengemittelten Fließgeschwindigkeiten bei Abflüssen MQ, HSQ, bordvoll und HQ<sub>100</sub></p> <p>sowie Auswertung.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p>KIT Karlsruhe Institut für Wasser- und Gewässerentwicklung im Auftrag der BAW</p> <p>BAW (Hr. Groschup)</p>       |
| Schiffsdaten                                                   | <p>auf untersuchtem Streckenabschnitt der Jahre 2000 bis 2014</p> <p>sowie Auswertung</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <p>Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt Außenstelle Südwest (Fr. Niedziella)</p> <p>BAW (Hr. Groschup)</p> |
| Gutachten zur Wasserversorgung Obrigheim                       | vom 26.08.1965                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Laboratorium für chem. Untersuchungen Dr. Arno Friske                                                                |

| Bezeichnung                                    | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | zuständige Stelle                                                                                  |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IV Aufnahme des Istzustands und Notizen</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                    |
| Begehungsprotokoll                             | Uferbegehung und Aufnahme vom 10.03.2015, km 76.00 – 80.45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | BAW<br>(Hr. Groschup)                                                                              |
| Bereisungsprotokoll                            | zweite Begutachtung km 76.00 – 80.45 am 27.03.2015 von Wasser aus, sowie Sondierung der ursprünglichen Ufersicherung (Steinmatte) an Station km 78.70                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | BAW<br>(Hr. Groschup)                                                                              |
| Protokoll der Taucheruntersuchung              | Tauchereinsatz vom 17.04.2015 an den Stationen km 77.60, 78.70 und 79.70                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | BAW<br>(Hr. Groschup)                                                                              |
| Telefon- (TN) und Gesprächsnotizen (GN)        | TN Nr. 1 vom 11.03.2015<br>TN Nr. 2 vom 13.04.2015<br>TN Nr. 3 vom 16.04.2015<br>TN Nr. 4 vom 19.05.2015<br>GN Nr. 1 vom 17.03.2015<br>GN Nr. 2 vom 17.03.2015                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | BAW<br>(Hr. Groschup) i. V. m. zuständigen Ämtern und Ansprechpartnern                             |
| <b>V Ökologie</b>                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                    |
| Vegetationskartierungen                        | Bestandsaufnahmen <ul style="list-style-type: none"> <li>- vom 30.06.1998 und 07.10.1998 km 76.90 – 80.30</li> <li>- vom 17.06.1999 und 18.06.1999 km 76.90 – 80.30</li> <li>- vom 14.09.2000 km 76.00 – 76.92 und km 80.34 – 81.25</li> </ul> <p>handschriftliche Eintragung der Veränderungen jeweils zur vorhergehenden Kartierung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vom 08. – 10.10.2003 km 76.00 – 80.60 mit Vermerk v. 23.04.2004 bei km 80.55</li> <li>- vom 12.08.2008 km 76.00 – 80.60</li> </ul> <p>sowie Auswertungen</p> | BfG Koblenz<br>Referat U 3<br>(Hr. Herz)<br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>BAW (Hr. Groschup) |

| Bezeichnung                          | Beschreibung                                                                                                                                                                                                                                                                      | zuständige Stelle                                                                                                        |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pflanzensoziologische Untersuchungen | Referenzflächen 1 – 4, Untersuchungen am:<br>30.06.1998 Flächen 1 - 3<br>17.06.1999 Flächen 1 - 4<br>11.09.2002 Flächen 1 – 4                                                                                                                                                     | BfG Koblenz<br>Referat U 3<br>(Hr. Herz)                                                                                 |
| Fotodokumentationen                  | vegetationskundlich ausgerichtete Uferbereichsaufnahmen:<br>- vom 14.09.2000 km 76.90 – 80.30 einschl. Fotonotizen<br>- vom 28.09.2006<br>- vom 13.08.2008                                                                                                                        | BfG Koblenz<br>Referat U 3<br>(Hr. Herz)                                                                                 |
| Klimadaten                           | Gebietsklimadaten Baden-Württemberg:<br>Jahresmitteltemperatur, Niederschlagshöhe und Sonnenscheindauer<br><br>lokale Klimadaten:<br>zu Jahresmitteltemperatur, und Tagesminimaltemperatur, jeweils Messstation Eberbach;<br><br>Niederschlagshöhe Messstation Mosbach-Diedesheim | Datenbasis: Deutscher Wetterdienst, Abruf über Onlinesoftware WESTE-XL;<br><br>Werte bearbeitet durch BAW (Hr. Groschup) |
| <b>VI Bemessung</b>                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                          |
| Bemessungsergebnisse I               | der rechnerisch erforderlichen Ufersicherung; Ergebnisse vom 28.04. bis 20.05.2015, zusammengestellt aus GBBSOFT                                                                                                                                                                  | BAW<br>(Hr. Groschup)                                                                                                    |
| Bemessungsergebnisse II              | Nachweis der Gesamtstandsicherheit; Ergebnisse vom 13.05. bis 21.05.2015; zusammengestellt aus GGU-Stability                                                                                                                                                                      | BAW<br>(Hr. Groschup)                                                                                                    |
| <b>VII Wirtschaftlichkeit</b>        |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                          |
| Berechnungen der Wirtschaftlichkeit  | unter Auswertung der vorhandenen Daten und Kostenerfahrungen vom 19.05.2015                                                                                                                                                                                                       | BAW<br>(Hr. Groschup)                                                                                                    |

## 5 Untersuchung

Im ersten Schritt der Untersuchung erfolgt eine Sichtung der Sitzungsprotokolle der AG Neckar. Aus diesen müssen die den Uferabschnitt betreffenden Informationen herausgefiltert bzw. zu klärende, weitergehende Fragen identifiziert werden. Ein Zusammenschnitt der Sitzungsprotokolle betreffend den Uferabschnitt km 76.25 – 80.45 findet sich in Anlage 2.

Anhand der weiteren Fragestellungen werden dann die entsprechenden Untersuchungsinhalte und Einzelmethoden entwickelt. Diese sind jeweils zu Beginn eines Unterkapitels kurz beschrieben.

### 5.1 Ausgangszustand des Deckwerks

Um die Entwicklung des untersuchten Uferabschnitts aufzeigen zu können, muss im ersten Schritt der Ausgangszustand erfasst bzw. rekonstruiert werden. Eindeutige Daten zur Ufersicherung liegen zu Beginn nicht vor. Hinweise werden gewonnen aus Literaturrecherche, Archiv- und Akteneinsicht in Überlagerung mit Begehungen und abschließend mit persönlichen Gesprächen mit den zuständigen Ämtern WSA Heidelberg und Außenbezirk Eberbach (ABz Eberbach). Der ABz Eberbach ist direkt für die Unterhaltungsmaßnahmen am Streckenabschnitt verantwortlich.

Die ältesten, dokumentierten Angaben zur Ufersicherung des untersuchten Abschnitts finden sich in der Baubeschreibung zum Neckarausbau aus dem Jahre 1936 wieder (s. Anlage 2). Zur Auffüllung zweier Geländemulden (zwischen km 76.94 und 77.23 sowie km 78.30 und 78.70) abseits des linken Neckarufers im Hinterland ist das Ufer zwischen km 77.08 und 77.76 im Mai 1935 abgetragen worden. Die Uferböschung im Bereich des Abtrages wurde bis auf Höhe 133,50 m ü. NN (vollständiges Flussquerprofil km 77.60 s. Anlage 4 ) mit einem 30 cm starken Steinsatz mit einer Neigung von 1:1,5 befestigt. Unter einem Steinsatz versteht man im Wasserbau mauerwerkartig aufgesetzte unbearbeitete Steine zur Böschungssicherung. Oberhalb 133,50 m ü. NN erfolgte eine Übergründung mit 20 cm Mutterboden und Grasansaat. Dies entspricht der typischen Ufersicherung am Neckar der „ersten Generation“ (vgl. hierzu GN Nr. 2, Anlage 2).

Anhand von Fotoaufnahmen aus dem Jahre 1966 und Auskunft des ABz Eberbach (vgl. hierzu GN Nr. 1, Anlage 2) lässt sich der Einbau von Steinmatten Mitte der 1960er Jahre entlang des Streckenabschnittes dokumentieren (Abbildung 5).

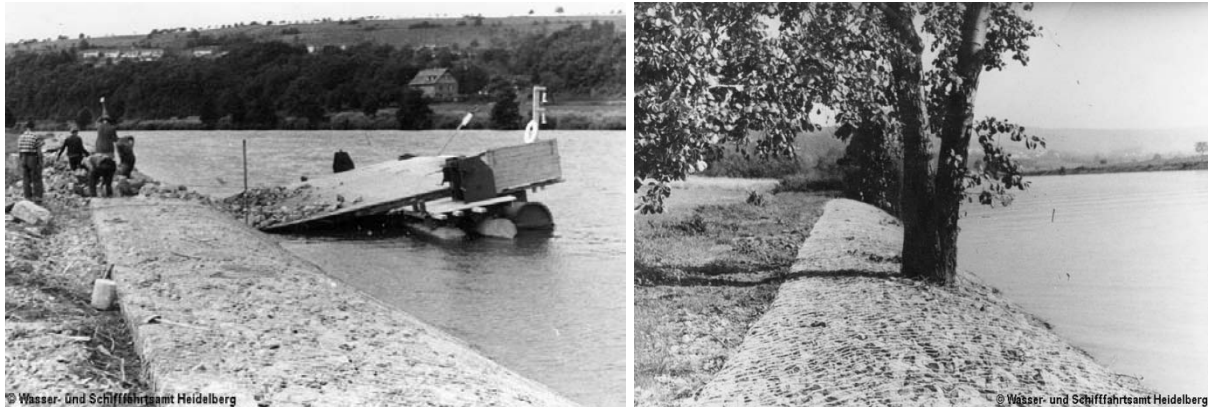


Abbildung 5: Eingebaute Steinmatten bei km 78.00 linkes Ufer (WSA Heidelberg 1966)

Die Steinmatte gehört zur „zweiten Generation“ der Ufersicherungsarten am Neckar (vgl. hierzu GN Nr.2, Anlage 2). Sie ist eine der drei prägenden Bauweisen am Neckar: Steinmatte, Steinwurf und Betonplatten (PAUL 1989). Angeordnet wurden die drei Bauweisen in Böschungsneigungen von 1:2 bis 1:3. Die steilen Neigungen am Neckar ergaben sich aus dem engen Flussverlauf und der dichten Besiedelung bzw. der begrenzten Flächenverfügbarkeit.

Zur Befestigung von Böschungen über und unter Wasser waren die Steinmatten meist 20 cm stark (vgl. Begehungsprotokoll v. 10.03.2015, Anlage 2) mit einer oberen und unteren Maschendrahtlage (Maschenweite 8 – 10 cm). Gefüllt oder „dicht gepackt“ wurden diese mit wetterfesten Steinen von mind. 20 cm Kantenlänge. Eine schematische Darstellung zeigt Abbildung 6.

Die Angaben zum Einbau und den Eigenschaften von Steinmatten ergeben sich gem. Beschreibungen aus dem Jahre 1960 wie folgt (FELKEL 1960):

Vor Aufbringen der Steinmatte ist eine Planie der Uferböschung notwendig. Bei Feinsanden und nicht gewachsenen bindigen Böden wird der Einbau einer einstufigen Filterschicht empfohlen. Zur Sicherung des Böschungsfußes ist es erforderlich, die Matte ein bis zwei Meter über den Böschungsfuß auf der Flusssohle aufzulegen. Aufgrund produktionsbedingter Breitenbegrenzungen der Drahtmatten werden diese zur Herstellung der flächigen Steinmatten an den Enden längs und quer mit anschließenden Drahtmatten verdrillt bzw. vernäht. Ein Vernähen in Längsrichtung (entlang des Ufers) erfolgt dabei lediglich oberhalb der Wasserlinie (vgl. TN Nr. 3 v. 16.04.2015). Über einzubauende Rundeisen wird die Matte in der Böschung rückverankert. Abschließend kann die Matte über Wasser bzw. bis zur Zone des Wellenschlages mit Humus abgedeckt und mit Grasansaat versehen werden.

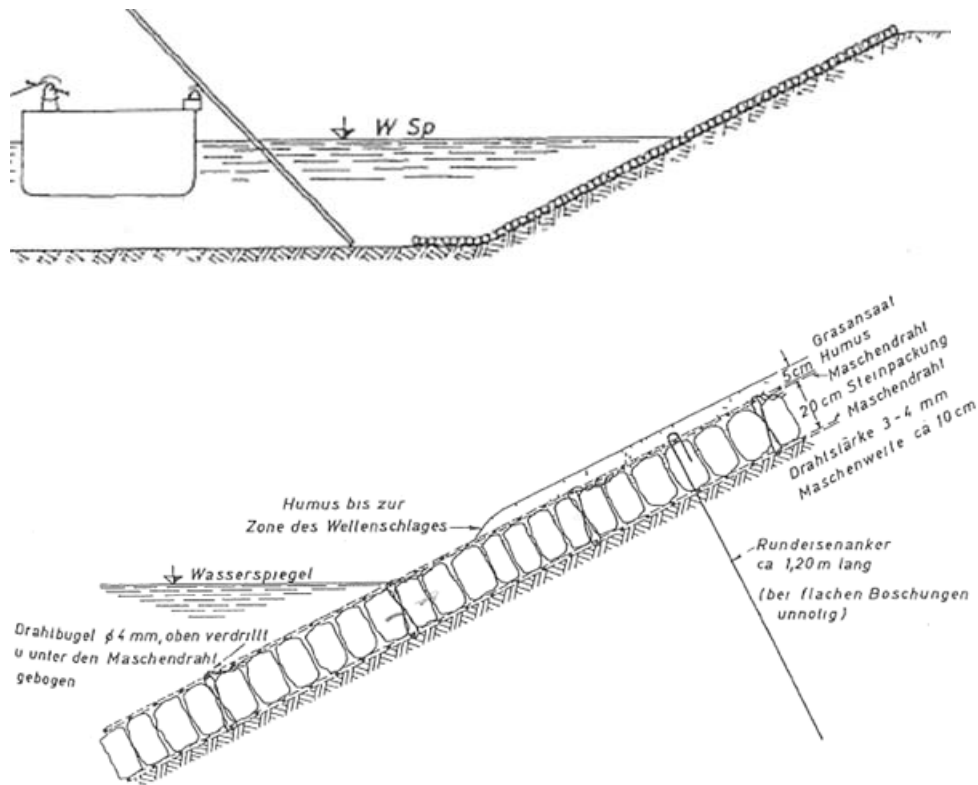


Abbildung 6: oben: Einbauverfahren der Steinmatte; unten: schematische Darstellung Ufersicherungsart Steinmatte (FELKEL 1960)

Gegenüber einem losen Steinwurf sind bei der Mattenbauweise geringere Anforderungen an die zu verwendenden Steinqualitäten erforderlich, bspw. geringere spez. Gewichte aufgrund der durch den Drahtmattenverbund hervorgerufenen Flächenwirkung (FELKEL 1960).

Ausgehend von einer Auflistung der Ufersicherungsarten durch den ABz Eberbach aus dem Jahre 1989, können die vorliegenden Deckwerksarten an der betrachteten Untersuchungsstrecke nach Kilometrierung gem. Tabelle 3 definiert werden.

Tabelle 3: Listung der Ufersicherungsarten km 76.25 – 80.45, linkes Ufer. Angaben beziehen sich auf die Böschungssicherungsart im Bereich der Wasserlinie.

| <b>Abschnitt</b><br><b>[Neckar-km]</b> | <b>Steinmatte</b><br><b>[lfm Ufer]</b> | <b>Steinwurf</b><br><b>[lfm Ufer]</b> | <b>Spundwand/<br/>Betonmauer</b><br><b>[lfm Ufer]</b> | <b>gemischte<br/>Bauweise</b><br><b>[lfm Ufer]</b> |
|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 76.25 – 76.33                          | 80                                     |                                       |                                                       |                                                    |
| 76.33 – 76.40                          |                                        | 70                                    |                                                       |                                                    |
| 76.40 – 76.54                          | 140                                    |                                       |                                                       |                                                    |
| 76.54 – 76.60                          |                                        | 60                                    |                                                       |                                                    |
| 76.60 – 77.15                          | 550                                    |                                       |                                                       |                                                    |
| 77.15 – 77.20                          |                                        |                                       | 50 <sup>(1)</sup>                                     |                                                    |
| 77.20 – 78.43                          | 1.230                                  |                                       |                                                       |                                                    |
| 78.43 – 78.62                          |                                        | 190                                   |                                                       |                                                    |
| 78.62 – 78.73                          | 110                                    |                                       |                                                       |                                                    |
| 78.73 – 78.79                          |                                        | 60                                    |                                                       |                                                    |
| 78.79 – 79.43                          | 640                                    |                                       |                                                       |                                                    |
| 79.43 – 79.53                          |                                        | 100                                   |                                                       |                                                    |
| 79.53 – 80.00                          | 470                                    |                                       |                                                       |                                                    |
| 80.00 – 80.15                          |                                        | 150                                   |                                                       |                                                    |
| 80.15 – 80.45                          |                                        |                                       |                                                       | 300                                                |
| <b>Summe</b>                           | <b>3.220</b>                           | <b>630</b>                            | <b>50</b>                                             | <b>300</b>                                         |
| <b>Streckenanteil</b>                  | <b>76,7%</b>                           | <b>15,0%</b>                          | <b>1,2%</b>                                           | <b>7,1%</b>                                        |

<sup>(1)</sup>im Bereich des Kernkraftwerks Obrigheim (Anlegestelle, Ein- und Auslaufbauwerke).

In einer Betrachtung der durch den ABz Eberbach zu unterhaltenden Gesamtuferlänge (93,14 km) rangiert die Steinmatte mit Stand 1989 als Ufersicherungsart auf Rang 3 (19,4 %). Im betrachteten Abschnitt kommt ihr jedoch dem Anteil nach die größte Bedeutung zu (76,7 %).

Ob und inwieweit die technischen Ausführungsvorgaben beim Einbau der Steinmatten entlang des Untersuchungsabschnittes eingehalten wurden (bspw. Vorsehen eines Filters, Länge der Fußvorlage, s. vor), oder welche Böschungsneigung tatsächlich zur Ausführung kam, wird im Weiteren untersucht werden.



## 5.2 Baugrund und Bodenkennwerte

Der Neckar durchschneidet auf seinem Weg ab Fluss-km 107.00 (Neckarsulm) die Formationen des Muschelkalks bis ca. km 75.00 (LUBW (a) 2007). Bei Mörtelstein, kurz hinter Obrigheim (ca. km 74.00) fließt er dann im Buntsandstein (GEMEINDE OBRIGHEIM 1985). Der betrachtete Uferabschnitt befindet sich somit im Übergangsbereich. Im Muschelkalk hat der Neckar breitere Talräume gebildet als im nachfolgenden Buntsandstein. In Flussbiegungen hat er typischerweise steile Prallhänge und flache Gleitufer als ursprüngliche Auen ausgebildet (DIRBACH et al. 1992).

Die Bodenhorizonte im Bereich der Versuchsstrecke sind durch jüngste Anschwemmungen der Haupt- und Nebentäler entstanden (Sand und Kies der Neckaraue). Es finden sich die geologischen Einheiten Lösssediment (lokal Abschwemmmassen) (los), älterer Flussschotter (ga) und Hochwassersediment (meist auf Flussschotter; lokal andere Talfüllungen) (fh) des Quartärs (KARTENVIEWER LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG 2015). Diese Talablagerungen werden durch das Geologische Landesamt Baden-Württemberg mit einer Mächtigkeit von 8 bis 10 m angegeben. Sie bestehen im Wesentlichen aus Schluff, Ton und Schluff mit Talkiesgeröll sowie organischen Einlagerungen. Unter den Talablagerungen steht der obere Buntsandstein an (Gutachten zur Gründung der Kläranlage Obrigheim, Anlage 2). Die Flusssohle des Neckars zwischen Heilbronn und Eberbach besteht aus wenig beweglichem Geröll und fest gelagertem Steinschutt (WSD SÜDWEST & BMVBS 2007, S. 198).

Sondierungsbohrungen konnten im Rahmen vorliegender Arbeit nicht durchgeführt werden. Ein Rückschluss auf den Baugrund wird daher aus dem Gutachten zur Gründung der Kläranlage Obrigheim vom 11.01.1972 (Anlage 2) gezogen. Das Gutachten konnte im Archivbestand der BAW ausfindig gemacht werden.

Im geplanten Baubereich der Kläranlage (km 80.00 bis 80.40, Lage s. Abbildung 7) wurden zur Baugrunderkundung 20 Schlitzsondierungen unterschiedlicher Tiefe durchgeführt. Die größte Sondierungstiefe betrug 6,0 m ab Geländeoberkante (GOK).

Ergebnisse der Sondierung konnten wie folgt festgehalten werden:

Mutterboden steht in einer Mächtigkeit von 0,50 m an. Darunter, bis 2,00 m unter GOK (133,10 m ü. NN), teilweise auch bis 6,00 m unter GOK (129,60 m ü. NN), steht eine Schicht aus stark fein- und mittelsandigem Schluff (wenig durchlässig) oder eine Schicht toniger, feinsandiger Schluff (besonders wenig durchlässig) an. Diese Schichten werden als Auelehm verstanden. Unter dieser Deckschicht stehen schluffige Fein- bis Mittelsande, schluffige und kiesige Fein- bis Grobsande und sandige Mittelkiese an. Kornverteilungskurven sind für die Bodenarten, ausgenommen der groben Sande und Kiese, vorhanden.

Das Grundwasser in der Schicht der sandigen Mittelkiese korrespondiert mit dem Neckarwasser. Bei normalen Wasserständen fließt das Grundwasser dem Neckar zu. Während höherer Wasserstände kehrt sich die Strömungsrichtung um. Der Grundwasserspiegel liegt ca. 2,50 m unter GOK (133,10 m ü. NN). Dies entspricht in etwa der Neckarwasserspiegellage bei Mittelwasser (MW). Reichen die bindigen Deckschichten tiefer als 133,10 m ü. NN bzw. bei Hochwasser kann davon ausgegangen werden, dass das Grundwasser unter artesischem Druck steht, sofern Spalten des Sandsteins keine ausreichende Strömung und damit einen Druckabfall ermöglichen.

Die Ergebnisse der Baugrunderkundung im Baubereich der Kläranlage werden aufgrund der Begutachtungen (Begehungsprotokoll v. 10.03.2015 und Bereisungsprotokoll v. 27.03.2015, Anlage 2) sowie der Analogie der Bodenverhältnisse lt. geologischer Karte (GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG 1985) entlang des bemessungsrelevanten Streckenabschnitts (km 77.60 bis 77.90) als übertragbar angenommen.

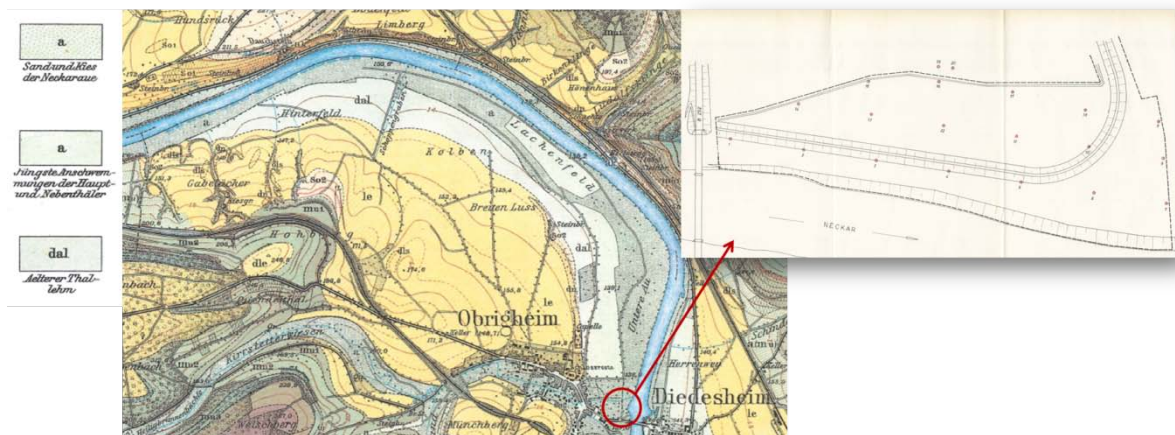


Abbildung 7: Ausschnitt aus geologischer Karte 6620 Mosbach (Blatt 34) und Lage des Sondierbereiches (Lageplan geplanter Baubereich Kläranlage aus Gutachten zur Gründung der Kläranlage Obrigheim, Anlage 2)

Bei einem geschichteten Baugrund ist ein Deckwerk für die Bodenschicht zu bemessen, für die sich aus der Bemessung die größte erforderliche Deckschichtdicke ergibt. Die Ermittlung der erforderlichen Deckschichtdicke hängt, neben der Scherfestigkeit des Bodens, insbesondere von der Wasserdurchlässigkeit des Bodens (Wasserdurchlässigkeitsbeiwert  $k_k$ ) ab. Auf der sicheren Seite liegend ist der Boden mit dem geringsten Durchlässigkeitsbeiwert anzusetzen. Bodenschichten mit Mächtigkeit geringer als 1,00 m können i. d. R. vernachlässigt werden (GBB 2010). Aus diesen Überlegungen ergibt sich das vereinfachte Baugrundprofil nach Abbildung 8.

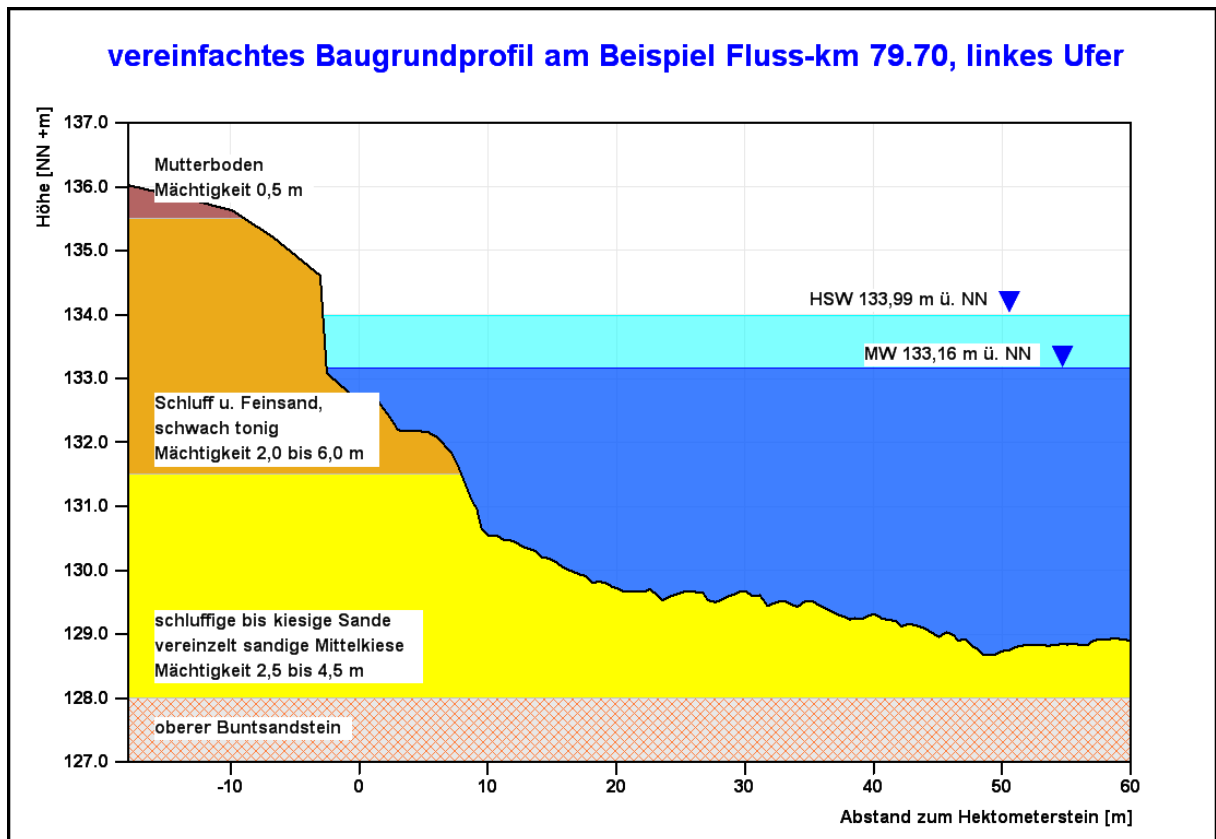


Abbildung 8: Vereinfachtes Baugrundprofil am Beispiel km 79.70; Mächtigkeiten und Höhenlagen sind Circaangaben

Oben angeführte Rückschlüsse auf den Baugrund können stimmig mit der Stellungnahme des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg vom 15.08.1991 (Anlage 2) zum Aufbau des Baugrunds in Einklang gebracht werden. Hiernach stehen bindige Deckschichten in einer Mächtigkeit von 4,5 bis 5,5 m an. Darunter folgen 2,5 m Neckarkiese (Porengrundwasserleiter), welche vom Buntsandstein unterlagert werden. Das Geologische Landesamt bezieht sich hierbei auf Baugrunduntersuchungen zu den Grundwassergewinnungsbrunnen der Gemeinde Obrigheim (ca. bei Fluss-km 78.00 und 78.30).

Aus den Kornverteilungskurven (s. Gutachten zur Gründung der Kläranlage Obrigheim, Anlage 2) und in Übereinstimmung mit der Stellungnahme des Geologischen Landesamtes kann auf der sicheren Seite liegend zur Bemessung der rechnerisch erforderlichen Ufersicherung (Kapitel 5.7) Boden B 4 nach MAR (2008) angesetzt werden. Die charakteristischen Bodenkennwerte sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Charakteristische Bodenkennwerte nach MAR (2008)

| Boden | Beschreibung                               | Durchlässigkeitsbeiwert                      | Effektiver Reibungswinkel | effektive Kohäsion   | Feuchtwichte         | Wichte unter Auftrieb | Korndurchmesser $d_i$ bei i-% Siebdurchgang |              |             |
|-------|--------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------------------|--------------|-------------|
|       |                                            | $k_k$                                        | $\varphi_k'$              | $c_k'$               | $\gamma_k$           | $\gamma_k'$           | $d_5$                                       | $d_{10}$     | $d_{15}$    |
|       |                                            | [m/s]                                        | [°]                       | [kN/m <sup>2</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kN/m <sup>3</sup> ]  | [mm]                                        |              |             |
| B 4   | Schluffe, stark schluffige Sande und Kiese | $5 \cdot 10^{-6} > k_k \geq 1 \cdot 10^{-6}$ | 30,0                      | 0                    | 18                   | 10                    | --                                          | $\geq 0,002$ | $\geq 0,02$ |

Da in den maßgebenden Tiefen teilweise Böden vorliegen mit  $d_{15} < 0,02$  mm, wird der Durchlässigkeitsbeiwert für die weiteren Berechnungen an der unteren Grenze ( $k_k = 1 \cdot 10^{-6}$  m/s) angesetzt.

### 5.3 Hydraulische Einwirkungen

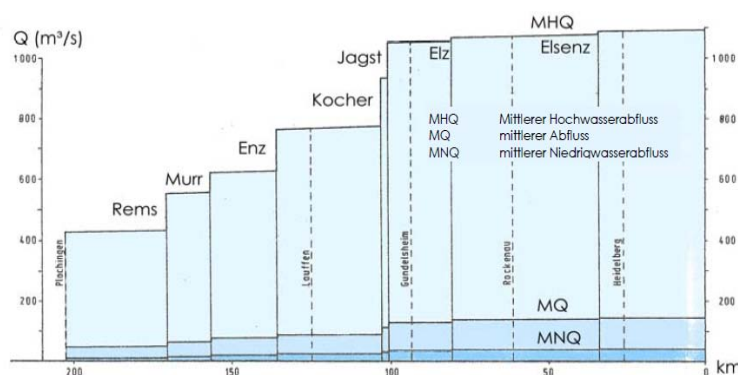
Neben dem Baugrund haben hydraulische Einwirkungen einen maßgebenden Einfluss auf die Uferentwicklung. Die Größe der Belastungen aus Schifffahrt, natürlicher Strömung und Stauhaltung ist entscheidend für die Dimensionierung einer erforderlichen Ufersicherung. Insbesondere die Schifffahrt (Wellen, Absunk und temporäre Strömungen) wirkt erheblich auf ein Ufer ein. Wechselnde Wasserstände, die Ausbildung und Art von Hochwässern sowie Überflutungen geben unter anderem Kenntnis über Häufigkeit und Dauer einer natürlichen Belastung des Ufers. Hierdurch sind zudem Zusammenhänge mit der sich ausbildenden Vegetation erkennbar, bspw. die Vertikalzonierung der Ufervegetation.

Das Abflussregime eines Gewässers, die zeitliche Verteilung und das Auftreten von Hoch- und Niedrigwasser, hängen ab von folgenden Hauptfaktoren (DFG 1979):

- Klima
- Morphometrie
- Morphologie
- Boden
- Geologie
- Vegetation
- Eingriffen des Menschen.

Der Neckar ist als pluvio-nivaler Fluss (DFG 1979, S.121) einzustufen. Er verläuft über den größten Streckenanteil in einem engen Tal. Durch Stauregulierung und Ausbau wurden ca. 2.000 ha Land hochwasserfrei gelegt (WSD SÜDWEST & BMVBS 2007). Diese Nutzfläche steht als Retentionsraum bei Hochwasser heute nicht mehr zur Verfügung. Sein Einzugsgebiet von ca. 14.000 km<sup>2</sup> umfasst den östlichen Schwarzwald, die nördliche Schwäbische Alb

und den Odenwald (WSD SÜDWEST & BMVBS 2007). Unterhalb der Zuflüsse Jagst und Kocher ist der Neckar wesentlich wasserreicher. Den Abflusslängsschnitt und kennzeichnende Abflüsse zeigt Abbildung 9. Ein hydrologischer Längsschnitt ist in Anlage 5 einzusehen.



Kennzeichnende Abflüsse in  $\text{m}^3/\text{s}$  für 1951 – 2005:

Rockenau (km 60.70)

|     |                       |
|-----|-----------------------|
| NQ  | 18,4 <sub>1976</sub>  |
| MNQ | 36,2                  |
| MQ  | 137                   |
| MHQ | 1.190                 |
| HQ  | 2.690 <sub>1993</sub> |

Abbildung 9: Abflusslängsschnitt (Abflüsse 1951 – 1990) und kennzeichnende Abflüsse des Neckars (1951 – 2005) (WSD SÜDWEST & BMVBS 2007)

Das Einzugsgebiet umfasst keine größeren Speichervermögen. Die Folge ist ein ungleichmäßiger Wasserabfluss mit stark wechselnden Wasserständen. Das Verhältnis des mittleren Niedrigwasserabflusses (MNQ) zum mittleren Hochwasserabfluss (MHQ) beträgt 1:30. Die abflussreichste Zeit fällt i. d. R. auf das Frühjahr (DIRBACH et al. 1992). Ein Hochwasser tritt meist bei Schneeschmelze ein. Durch stark schwankende Temperaturen im Einzugsgebiet erstreckt sich damit die größte Hochwasserhäufigkeit je nach Ausbildung des Winters in den Zeitraum Dezember bis Februar (DFG 1979), teilweise bis in den Mai hinein. Die Hochwässer steigen plötzlich an, haben einen kurzen Scheitel und fallen rasch wieder ab (WSD SÜDWEST & BMVBS 2007). Dies bestätigen die Auswertungen unter Kapitel 5.3.4 (zur Veranschaulichung s. Abbildung 10). Die niedrigsten Abflüsse fallen in den Spätsommer (August, September) (DFG 1979).

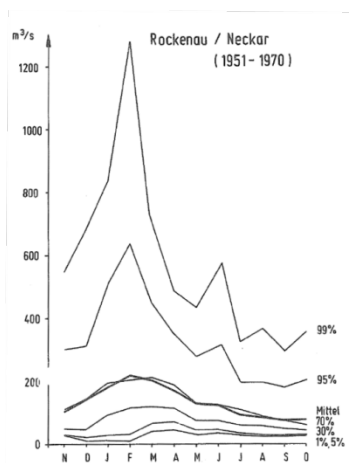


Abbildung 10: Mittel und Unterschreitungswahrscheinlichkeit täglicher Abflüsse in einzelnen Monaten für Pegel Rockenau (km 60.70) (DFG 1979)

### 5.3.1 Hydraulische Einwirkungen aus Schifffahrt

Aus der Entwicklung der Binnenschifffahrt auf dem Neckar ist erkennbar, dass heute insgesamt weniger Schiffe verkehren als in den Neunziger Jahren. Es kommen dafür aber größere Fahrzeuge als früher zum Einsatz. Hierauf schließt der Bericht der BfG & BAW (2009) durch Untersuchung der Entwicklung der verfügbaren Schiffsdaten der Schleuse Feudenheim von 1996 bis 2008. Die Schleuse Feudenheim (km 6.21) ist Eingangsschleuse vom Rhein in den Neckar. Das Transportaufkommen liegt am unteren Neckar bei rund 8 Mio. Tonnen pro Jahr. Die wichtigsten Massengüter sind Kohle, Salz, Sand & Kies (vgl. Sitzungsprot. v. 25.10.2007, Anlage 2).

Im Rahmen vorliegender Arbeit sind für den betrachteten Uferabschnitt differenzierte Schiffsdaten durch die Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Außenstelle Südwest in Mainz der Jahre 2000 bis 2014 zur Verfügung gestellt worden (Rohdaten und Auswertung s. Anlage 2). Registriert sind die beladenen Güterschiffe zu Berg und zu Tal. Da der Neckar bis Endhafen Plochingen als „Schifffahrtssackgasse“ zu betrachten ist, kann davon ausgegangen werden, dass beladene Bergfahrer ebenso wieder zu Tal fahren. Diese Annahme scheint zur Auswertung der Daten hinreichend genau um eine Aussage über die Vorbeifahrten insgesamt am betrachteten Uferabschnitt treffen zu können. Die statistische Auswertung der Daten betreffend die Güterschifffahrt zeigt Abbildung 11. Als Güterschiffe sind Schiffe wie bspw. Großmotorgüterschiffe (GMS), Tankmotorschiffe (TMS) und Schubverbände (SV) zusammengefasst. Containerschiffe sind den Großmotorgüterschiffen zugeordnet.

Im Betrachtungszeitraum 2000 bis 2014 nimmt das Verkehrsaufkommen der Güterschiffe tendenziell ab. Es ist anzunehmen, dass die Vorbeifahrten am betrachteten Uferabschnitt insgesamt um ca. 50 % zurückgehen. Der Rückgang der transportierten Frachtmenge (ohne Containerfracht) nimmt dabei weniger ab (-36,28 %) als die beladenen Vorbeifahrten zu Berg und zu Tal (-38,22 %). Dies lässt auf einen höheren Ausnutzungsgrad bzw. den Einsatz einer Flotte größerer Schiffstypen schließen (vgl. oben). In 2014 sind 3.321 beladene Vorbeifahrten mit Schiffen der Länge 105,0 m registriert. In 2000 sind es 3.120. Rückgängig sind somit die beladenen Vorbeifahrten mit Schiffen kleiner 105,0 m.

Während im Jahr 2000 noch durchschnittlich 20 beladene Vorbeifahrten insgesamt pro Tag registriert werden können, sind es 2014 nur noch 13 pro Tag. Die errechneten Leerfahrten gehen dabei von durchschnittlich 8 pro Tag (2000) zurück auf 2 pro Tag (2014).

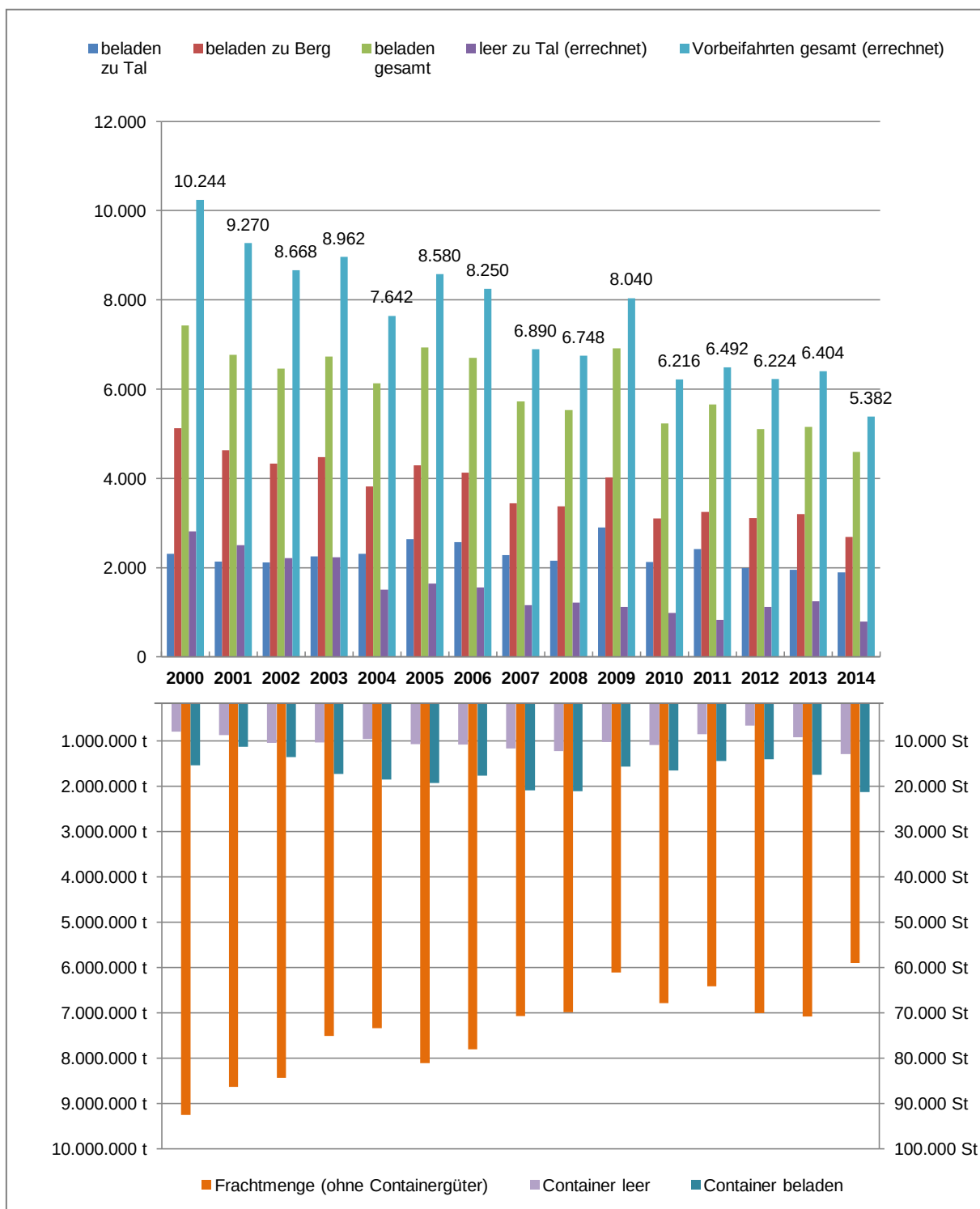


Abbildung 11: Schiffs- und Frachtstatistik der Güterschifffahrt am betrachteten Uferabschnitt

Die transportierte Frachtmenge sinkt im Betrachtungszeitraum 2000 bis 2014 von rund 9,2 Mio. Tonnen auf rund 5,9 Mio. Tonnen. Ca. 64 % der Frachtmenge werden dabei zu Berg



transportiert. Die Containerschifffahrt (Fracht) hingegen konnte insgesamt 2014 gegenüber 2000 um ca. 47 % auf insgesamt 34.185 Zwanzig-Fuß-Container zulegen.

Während die Entwicklung der Güterschifffahrt tendenziell rückläufig ist, kann für die Freizeitschifffahrt eine Zunahme festgestellt werden. Bei der Auswertung zusammengefasst sind Fahrgast- (FGS) und Fahrgastkabinenschiffe (FGKS) sowie sonstige Fahrzeuge. Unter sonstigen Fahrzeugen können, wenn auch selten, schwimmendes Gerät und Kleinfahrzeuge vermerkt sein. Sportboote sind hierbei i. d. R. nicht registriert. Im Betrachtungszeitraum finden ca. 2 Vorbeifahrten pro Woche von Fahrzeugen der Freizeitschifffahrt am Uferabschnitt statt. Der Maximalwert der Freizeitschifffahrt ist im Wirtschaftskrisenjahr 2008 mit ca. 100 Vorbeifahrten insgesamt über das Jahr zu verzeichnen.

Die Betrachtung der Entwicklung der Schifffahrt am Uferabschnitt km 76.25 bis 80.45 findet Eingang in die Bewertung der Uferveränderung. Das Zusammenwirken von Schiff und Gewässer ist sehr komplex. Nachfolgend werden die wichtigsten Effekte schiffsinduzierter Uferbelastungen kurz erläutert. Für detailliertere Zusammenhänge wird auf die entsprechende Fachliteratur und Bemessungsregeln (bspw. GBB 2010) verwiesen.

Die Fahrt eines Schiffes führt zu lokalen, temporären Veränderungen der Wasseroberfläche und der Strömungen um das Schiff. Es treten hierbei Wellen (Primär- und Sekundärwellen), Bugstau aufgrund der Wasserverdrängung, Wasserspiegelabsenk sowie die dazugehörigen Rück- und Wiederauffüllungsströmungen auf. Die Größe der Belastungen wird hauptsächlich durch das Verhältnis des eingetauchten Schiffsquerschnitts zum Gewässerquerschnitt, die Schiffsgeschwindigkeit und den Abstand des Schiffes zum Ufer bestimmt.

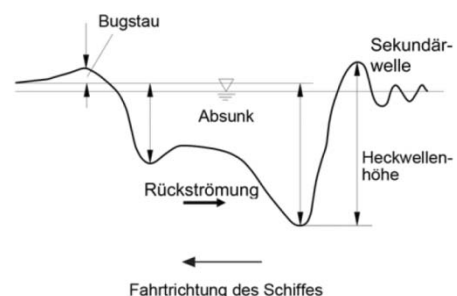


Abbildung 12: Schiffsinduzierte Belastungen und schematische Darstellung der zeitlichen Wasserspiegelveränderung am Ufer (BAW 2002)



Als kritische Schiffsgeschwindigkeit  $v_{krit}$  wird dabei die Geschwindigkeit bezeichnet, bei der das vom Schiff verdrängte Wasser vom strömenden Zustand gerade in den schießenden Zustand (instationärer Zustand) übergeht. Die Schiffsgeschwindigkeit eines Verdrängers (Güterschiffe, typische Fahrgastschiffe, etc.) ist aus physikalischen Gründen, die sich hieraus ergeben, daher nach oben begrenzt.

Der Wasserspiegelabsink beeinflusst die lokale Standsicherheit einer Uferböschung. Hierdurch können Abgleiten einer oberflächennahen Bodenschicht oder hydrodynamische Bodenverlagerung auftreten. Ein Absink des Wasserspiegels führt zu einer schnellen Druckänderung im Porenraum des angrenzenden Bodens. Die im Porenwasser eingeschlossenen mikroskopischen Gasblasen dehnen sich aufgrund der Entlastung aus. Das hierfür notwendige Volumen muss durch Ausweichen des Porenwassers zur Verfügung gestellt werden. Ist die Durchlässigkeit ( $k_k$ ) des anstehenden Bodens allerdings zu gering im Verhältnis zur Absinkgeschwindigkeit, sodass das Porenwasser nicht schnell genug weichen kann, entsteht ein sog. Porenwasserüberdruck (KÖHLER 1989). Durch den Porenwasserüberdruck können die effektiven Spannungen im Boden und damit die Reibungskräfte derart stark reduziert werden, dass hydrodynamische Bodenverlagerung oder ein Abgleiten auftreten.

Das Abgleiten der Böschung in der kritischen Tiefe  $d_{krit}$  kann nach zwei Mechanismen erfolgen. Bruchmechanismus 1 (BM 1) beschreibt ein Abgleiten der Böschung über den Böschungsfußpunkt horizontal durch das Deckwerk kurz über der Sohle. Bruchmechanismus 2 (BM 2) geht vom Versagen des Deckwerksfußes aus (nur bei Fußeinbindung). Der Bruch- bzw. Gleitkörper keilt dabei unter dem passiven Erddruckkörper vor der Fußvorlage in Höhe der Sohle aus (GBB 2010).

Bei einer hydrodynamischen Bodenverlagerung werden die effektiven Spannungen im Boden so gering, dass eine Hebung der Bodenoberfläche und damit eine Auflockerung des Untergrundes eintreten können. Bei kohäsionslosen Böden ( $c_k' = 0$ ) können dadurch unter einem zu leichten Deckwerk Bodenverlagerungen möglich werden (GBB 2010). Zur Aufrechterhaltung der effektiven Spannungen im Boden ist ein Deckwerk so zu bemessen, dass es den maximal auftretenden Porenwasserüberdruck aus Absink durch Flächenlast überdrückt. Inwieweit die Sicherheit gegen hydrodynamische Bodenverlagerung ohne Auflast durch Pflanzenwurzeln (durch Wurzelwerk hervorgerufene „Vernagelung“) bei technisch-biologischer Ufersicherung gewährleistet werden kann, wird derzeit im Rahmen eines Forschungsprojektes an der BAW untersucht (vgl. bspw. EISENMANN & FLEISCHER 2012).

Aus den genannten Gründen ist zur Beurteilung und Bemessung einer Ufersicherung die vorherrschende Zusammensetzung der Schiffsflotte am Untersuchungsabschnitt relevant. Bei dem betrachteten Abschnitt handelt es sich um eine Wasserstraße der Klasse Va nach Klassifizierung der Europäischen Binnenwasserstraßen (GEOVIEWER DER WSV 2015). Die Schleusenabmessungen begrenzen die Schiffsgröße am Neckar ab der Schleuse

Feudenheim derzeit auf 105 m Länge und 11,45 m Breite. Die Fahrrinne ist mindestens 36 m breit und ausgelegt auf einen Tiefgang von max. 2,80 m (WSD SÜDWEST & BMVBS 2007). Grundsätzliche Fahr- und Verkehrsregeln auf dem Neckar ergeben sich aus Kapitel 10 der BINSCHSTRO. Besondere Verkehrsregeln auf dem Abschnitt bestehen nicht. Eine Einstellung des Schiffsverkehrs erfolgt bei Erreichen des HSW. Aus der Auswertung der Daten ergeben sich die Bemessungsschiffe nach Tabelle 5.

Tabelle 5: Bemessungsschiffe zur Dimensionierung des technischen Deckwerks

| Schiffstyp                                          | Länge<br>[m] | Breite<br>[m] | Tiefgang<br>[m]       |                        |                       |                        | zulässige<br>Höchstge-<br>schwindigkeit <sup>(1)</sup><br>[km/h] |
|-----------------------------------------------------|--------------|---------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                                     |              |               | T <sub>voll,Bug</sub> | T <sub>voll,Heck</sub> | T <sub>leer,Bug</sub> | T <sub>leer,Heck</sub> |                                                                  |
| Großmotor-<br>güterschiff<br>(GMS) <sup>(2)</sup>   | 105,00       | 11,45         | 2,80                  | 2,80                   | 0,80                  | 1,60                   | 16,0                                                             |
| Europaschiff<br>(ES) <sup>(3)</sup>                 | 85,00        | 9,50          | 2,50                  | 2,50                   | 0,70                  | 1,40                   | 16,0                                                             |
| Fahrgastkabi-<br>nenschiff<br>(FGKS) <sup>(4)</sup> | 105,00       | 11,40         | 1,40                  | 1,40                   | 1,40                  | 1,40                   | 18,0                                                             |
| Sportboot<br>(SB) <sup>(5)</sup>                    | 6,00         | 2,00          | 0,30                  | 0,30                   | 0,30                  | 0,30                   | 18,0                                                             |

<sup>(1)</sup>gem. § 10.04 Nr. 1 BINSCHSTRO.

<sup>(2)</sup>Parameter nach GBBSOft. Abmessungen angepasst auf Neckarbemessungsschiff.

<sup>(3)</sup>Parameter nach GBBSOft.

<sup>(4)</sup>Antrieb und Abmessungen weitgehend nach Stammdatenbank GBBSOft, Länge, Breite, Tiefgang angepasst auf Schiffsflotte am Neckarabschnitt. Nennleistung je Schraube erhöht auf 500,00 kW.

<sup>(5)</sup>Antrieb und Abmessungen nach Stammdatenbank GBBSOft.

Die erwarteten Auswirkungen des 135-m-Schiff sind für die Zukunft zu überprüfen und durch ein geeignetes Monitoring festzustellen. Da es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine retrospektive Bewertung der Uferentwicklung seit 1996 handelt, sind sie nicht Gegenstand der Betrachtung.

### 5.3.2 Hydraulische Einwirkungen aus Strömung

Strömungen erzeugen Schleppkräfte die zu Erosions- und Geschiebetransportprozessen führen. Daher müssen bei Dimensionierung einer Ufersicherung Strömungen unterschiedlicher Abflussgeschehen berücksichtigt werden. Neben der natürlichen Strömung treten weitere auf, wie bspw. Strömungen aus Ein- und Ausleitungen, Wasserkraftnutzung, Schleusenbetrieb (Kapitel 5.3.3) oder Schifffahrt (s. Kapitel 5.3.1). Diese und natürliche Strömungen

können sich überlagern. Insbesondere turbulente Strömungen sind für Wasserstraßen von Bedeutung (GBB 2010).

Nicht nur das Gefälle eines Gewässers, sondern auch die Geometrie haben Einfluss auf die an einer bestimmten Stelle vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeiten. Zwischen Strömungsgeschwindigkeit  $v_{Str}$ , Abfluss ( $Q$ ) und Querschnittsprofil ( $A$ ) gilt die Basisbeziehung nach der Kontinuitätsgleichung:

$$v_{Str} = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Mithilfe von hydrodynamisch-numerischen Modellen (HN-Modelle) können in Abhängigkeit der Gewässergeometrie und weiterer Parameter Strömungsgeschwindigkeiten berechnet bzw. simuliert werden. Die Simulationen werden mit gesammelten Daten realer Abflussgeschehen verglichen und durch Fixierung der Wasserspiegellagen und Anpassung der Rauigkeitswerte abgeglichen. Auf diese Weise entstehen Modelle, die äußerst zutreffend das reale Strömungsgeschehen widerspiegeln. Ein solches Strömungsmodell existiert auch für den Neckar.

Der Höhenunterschied zwischen der Mündung des Neckars in den Rhein (km 0.00) und dem Beginn der Wasserstraße im Hafen Plochingen (km 201.43) beträgt 160,7 m (WSD SÜDWEST & BMVBS 2007). Das Gefälle der Sohle entlang der betrachteten Strecke km 76.25 bis 80.45 kann mit ungefähr 0,54 ‰ angegeben werden (LUBW (a) 2007). Die Daten der Strömungsgeschwindigkeiten für den untersuchten Uferabschnitt stehen nach erfolgter, definierter Abfrage gem. Tabelle 2 in Anlage 2 zur Verfügung. Die Strömungsgeschwindigkeiten staugeregelter Flüsse sind meist geringer als die freifließender Gewässer (DWA-M 519 2014). So auch am Neckar am betrachteten Uferabschnitt. Die gemittelten Fließgeschwindigkeiten bei MQ liegen am betrachteten Abschnitt nicht über 0,58 m/s, in der gesamten Stauhaltung nicht über 0,7 m/s. Anders stellt sich die Situation bei Hochwasser ein, wenn die Stauhaltung komplett aufgehoben wird. Dann liegen die Bedingungen eines freifließenden Gewässers vor.

Relevant für die zu betrachtenden Uferstationen ist neben ihrer Profilgeometrie auch ihre Lage im Streckenverlauf (Gleit-, Prallhang oder gerader Abschnitt). Grundsätzlich sind die Strömungsgeschwindigkeiten am Prallhang (Außenufer) weitaus höher als am Gleithang (Innenufer). Zu Beginn einer Krümmung tritt allerdings der sog. Potentialströmungseffekt auf. Hierbei nehmen die Strömungsgeschwindigkeiten von der Flussmitte zum Gleithang hin erst einmal zu. Im weiteren Verlauf jedoch werden sie durch zunehmenden Impulsaustausch, Fliehkräfte und Sekundärströmung zum Prallhang hin weitaus höher (DWA-M 519 2014).

### 5.3.3 Hydraulische Einwirkungen aus Stauhaltung

27 Staustufen regeln die Wasserstände am Neckar zur Schiffbarkeit und Nutzung der Wasserkraft. Die längste Stauhaltung (Schleuse/Schleuse) ist die Haltung Guttenbach (13,7 km), die kürzeste ist Esslingen (0,9 km). Die Neckarstauhaltungen, deren Längen und korrelierende Stauhöhendifferenzen sind in Anlage 6 aufgeführt.

An fast jeder Neckarstauhaltung erfolgt die Nutzung der Wasserkraft. In den 28 Wasserkraftwerken werden insgesamt ca. 478 Mio. kWh pro Jahr erzeugt (Stand 2004 nach WSD SÜDWEST & BMVBS 2007). Das entspricht der Versorgung von ca. 140.500 Vierpersonenhaushalten.

Dem ökologischen Vorteil der Wasserkraftnutzung und Schiffbarmachung stehen der menschliche Eingriff in den natürlichen Wasserabfluss, die Einschränkung bzw. Unterbindung der ökologischen Durchgängigkeit und die Verhinderung des natürlichen Sedimenttransportes (BAW 2013) entgegen. Die hydrologischen Verhältnisse staugeregelter Flüsse sind gegenüber ihres Ausgangszustands stark verändert, was sich auch auf die angrenzenden Landbereiche auswirkt (DIRBACH et al. 1992).

Ein- und Ausleitungen, insbesondere bei Schleusungsvorgängen, können zudem hydraulischen Stress im Gewässer bedeuten. Kurze Stauhaltungen im Zusammenwirken mit kleinen Stauräumen sind hiervon besonders betroffen. Jedoch werden die berechneten Werte des WSD SÜDWEST & BMVBS (2007) hierzu als zu hoch angesetzt bewertet: „der Schleusenbetrieb (Entnahme- bzw. Einleitungsmenge bis 70 m<sup>3</sup>/s) führt zu kurzfristigen Abflussschwankungen, die sich sogleich über mehrere Stauhaltungen fortsetzen“ (WSD SÜDWEST & BMVBS 2007, S. 215). Eine kurze Beispielrechnung soll dies verdeutlichen.

Schleusen am Neckar nach Regelbauweise sind heute 110 m lang und 12 m breit. Die maximale Stauhöhendifferenz zwischen zwei Stauhaltungen am Neckar beträgt bei hydrostatischem Stau 8,71 m (Schleuse Schwabenheim). Abweichende Wasserstände müssen nicht betrachtet werden, da die Verschlusskörper der Wehre bis über höchsten HW-Stand gehoben werden können und so eine Freigabe des vollen Flussquerschnitts bei Hochwasser erfolgt (WSD Südwest & BMVBS 2007).

Bei einer Schleusung sind somit ein- bzw. auszuleiten:

$$110 \text{ m} * 12 \text{ m} * 8,71 \text{ m} = 11.497 \text{ m}^3 \quad (2)$$

Bei einer niedrig angesetzten Entleerungs- bzw. Füllzeit von 7 Minuten (Schleusungszeit mit Ein- und Ausfahrten ca. 15 Minuten (RHEIN-NECKAR-WIKI.DE 2015)), ergibt sich die Abflussschwankung aus Schleusung einer Kammer zu:

$$\frac{11.497 \text{ m}^3}{7 \text{ min} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}}} = 27,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (3)$$

Beachtet werden müssen bei der Beurteilung noch das Zusammenwirken von Stauhöhendifferenz, Stauhaltungslänge und das Verhältnis Abflussschwankung zu natürlichem Mittelwasserabfluss (MQ). In diesem Fall (Extremwert) liegt die Abflussschwankung mit MQ von 137 m³/s bei ca. 20 %.

Beim Großteil der Schleusen am Neckar erfolgt die Schleusung im Verbundbetrieb zweier nebeneinander angeordneter Schleusen. Hierbei wird ein Teil des Entleerungswassers der ersten Schleuse zum Füllen der zweiten Schleuse genutzt. Auf diese Weise können beim Schleusungsvorgang ca. 40 bis 50 % Wasser eingespart werden (WSD SÜDWEST & BMVBS 2007). Im Berechnungsbeispiel würde dies eine weitere Reduktion der Abflussschwankung von 20 % auf ca. 10 % bedeuten. Allerdings wird der Verbundbetrieb im Realbetrieb lt. Angaben des WSA Heidelberg (vgl. TN Nr. 2 v. 13.04.2013) lediglich bei geringer bis sehr geringer Wasserführung genutzt.

Eine Doppelschleusung zweier Schiffe in dieselbe Fahrtrichtung tritt vernachlässigbar selten auf. Die hieraus resultierenden Spitzenschwankungen (nach Berechnungsbeispiel 54,8 m³/s) kommen aus Verkehrssicherheitsgründen kaum vor, da Sogwirkungen bei gleichzeitiger Ein- oder Ausfahrt sowie Schließen der Schleusentore bei Schiffen mit großem Tiefgang zu Problemen führen (vgl. TN Nr. 2 v. 13.04.2013).

Die Bedeutung des Einflusses durch Schleusung kann aus o. g. Gründen zumindest zur Diskussion gestellt werden. Andere Ein- und Ausleitungen sind, bis auf Extremfälle mit geringer Wahrscheinlichkeit, durch behördliche Regelungen und Auflagen i. d. R. limitiert. Für den betrachteten Abschnitt sind hydraulische Einwirkungen aus Stauhaltung daher weniger relevant.

#### **5.3.4 Hydraulische Einwirkungen aus Hochwasser und Überflutung**

Grundlage der Auswertung bilden die Angaben zu Monatsmaximalpegelständen UW Neckarzimmern der Jahre 1988 bis 2014 sowie die Tagesmaximalpegelstände UW Neckarzimmern. Die zeitlich durchgängigen Reihen der Registrierung der Tagesmaximalpegel UW Neckarzimmern liegen lediglich ab 2003 bis Februar 2015 vor (Anlage 2).

Die Auswertung der Böschungsoberkantenhöhen und der Betrachtung des Wasserspiegelgefälles für Wasserstände unterhalb  $HQ_5$  über die Strecke km 76.25 bis 79.70 ergibt, dass das Gelände bei einem Wasserstand oberhalb von ca. 134,90 m ü. NN (bordvoll bei km 79.90) über die Fläche bis einschl. km 76.25 überschwemmt wird (ÜS). Anhand der gegebenen Wasserspiegellagen HSW und  $HQ_5$  am Pegel UW Neckarzimmern und korrelierender Wasserspiegellage bei km 79.70 wird durch lineare Interpolation der Wasserpegelstand UW Neckarzimmern in etwa berechnet, oberhalb welchem eine Überflutung des betrachteten Geländes eintritt. Die Berechnungen sind in Anlage 2 einzusehen. Pegelstände und Ereignisbeschreibung am Pegel UW Neckarzimmern sowie an Uferstreckenansfangs- und Endpunkt zeigt Tabelle 6. Zugehörige Abflüsse der Elz (Einmündung km 80.18) sind ebenfalls eingetragen. Diese unterliegen Annahmen, da sich die Kombinationen der Abflüsse aus Neckar und Elz bei jedem realen Ereignis unterscheiden. Bei Mittelwasser kann die Elz mit einem Zufluss von 1,60 m<sup>3</sup>/s angenommen werden (HN-Modell Neckar Nr. 1, Anlage 2).

Tabelle 6: Pegelstände und Ereignisbeschreibung am Pegel UW Neckarzimmern sowie an Uferstreckenansfangs- und Endpunkt

| Station                                | HSW<br>[m ü. NN]    | $HQ_5$<br>[m ü. NN]  | $HQ_{20}$<br>[m ü. NN] | $HQ_{100}$<br>[m ü. NN] | $HQ_{\text{extrem}}$<br>[m ü. NN] |
|----------------------------------------|---------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| km 85.875<br>Pegel UW<br>Neckarzimmern | 135,23              | 138,58               | 139,70                 | 140,74                  | 142,29                            |
| km 80.45                               | 134,16              | 136,76               | 137,84                 | 138,85                  | 140,35                            |
| km 76.25                               | 133,28              | 134,75               | 136,02                 | 137,14                  | 138,77                            |
| $Q_{\text{Elz}}$                       | 5 m <sup>3</sup> /s | 10 m <sup>3</sup> /s | 15 m <sup>3</sup> /s   | 20 m <sup>3</sup> /s    | 30 m <sup>3</sup> /s              |

Als niedrigster Wasserstand (NNW) ist das Stauziel der Haltung von 133,03 m ü. NN anzunehmen. Dieser Niedrigstwasserstand ist gem. der Mindestwassertiefe von 2,80 m (Schiff-fahrtshrinne) ständig zu gewährleisten (NNW = MNW = SoMW). Das höchste Hochwasser (HHW) im Betrachtungszeitraum 1988 – 2014 ist im Dezember 1993 aufgetreten (+7,76 m über Stauziel am Pegel UW Neckarzimmern) und entspricht einem  $HQ_{100}$ -Ereignis. Ein mittleres Hochwasser (MHW) für den betrachteten Abschnitt liegt bei km 76.25 auf 134,13 m ü. NN, bei km 80.45 auf 136,01 m ü. NN. Einen Eindruck eines Hochwassers liefert Abbildung 13 vom 02.06.2013 mit einem maximalen Tagespegelstand UW Neckarzimmern von 139,72 m ü. NN. Höhen und Querprofile können in Anlage 4 eingesehen werden.



Abbildung 13: Hochwasser am 02.06.2013, Pegelstand UW Neckarzimmern 139,72 m ü. NN  
(links: © Karlheinz Klingele | rechts: unbekannt)

Grundsätzlich wird im Folgenden eine **Überschreitungshäufigkeit** der jeweiligen Ereignisse betrachtet. Diese liegt vor, wenn der Wasserstands- bzw. Pegelwert größer oder gleich den entsprechenden „Grenzwerten“ (HSW, ÜS, etc.) ist. Liegen bspw. in einem gleichen Betrachtungszeitraum vier Überschreitungen für  $HQ_5$  vor, einer für die nächsthöhere Grenze  $HQ_{20}$  und keine Überschreitung für  $HQ_{100}$ , dann ist absolut von drei Ereignissen  $HQ_5$  und einem Ereignis  $HQ_{20}$  im Betrachtungszeitraum auszugehen. Dies und die unterschiedlich langen Betrachtungszeiträume zwischen zwei Messungen müssen bei der Interpretation beachtet werden.

Die Ergebnisse der Auswertung der Tagesmaximalpegelstände am Pegel UW Neckarzimmern zeigt Tabelle 7. An rund 3 % der Gesamttage des Betrachtungszeitraumes 2003 bis 2014 (11 Jahre) wird der HSW erreicht bzw. überschritten. Dies entspricht 134 Tagen. An rund 36 Tagen der 134 Tage wird das Hinterland am betrachteten Uferabschnitt überschwemmt. Die Dauer zusammenhängender Tage des Einstaus auf einer Höhe beträgt im Mittel 2,6 Tage, maximal jedoch nur 4 Tage. Bis auf Ausnahmen betragen die Abstände zwischen den Überschwemmungen des Hinterlandes ca. 460 Tage. Der Mindestabstand von 118 Tagen wurde im Zeitraum Februar bis Juni 2013, der Maximalabstand von 1.014 Tagen im Zeitraum März 2008 bis Dezember 2010 erreicht. Die Ausnahmen bilden vier Werte der betrachteten Überschwemmungsabstände mit Zeiträumen von 4 bis 37 Tagen. Hiervon liegen nur zwei Werte innerhalb eines Zeitraums von einem Monat. Es kann daher angenommen werden, dass repräsentative Aussagen für Wasserstände oberhalb ÜS auch aufgrund der Monatsmaximalpegelstände UW Neckarzimmern der Jahre 1988 bis 2014 gemacht werden können und kleinere Hochwasserwellen, die im gleichen Monat auflaufen und somit nicht dokumentiert sein könnten, hinreichend unwahrscheinlich sind. Die Ereignisse  $HQ_{\text{extrem}}$  und  $HQ_{100}$  werden im Betrachtungszeitraum 2003 bis 2014 nicht erreicht.

Tabelle 7: Überschreitungshäufigkeiten und Perzentilwerte verschiedener Pegelstände UW Neckarzimmern; Auswertung der Tagesmaximalpegel im Zeitraum 01.01.2003 bis 31.12.2014; n = 4358

| Häufigkeiten         | Überschreitungshäufigkeiten | Relative Überschreitungshäufigkeiten |
|----------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| HSW                  | 134 Tage                    | 3,07 %                               |
| ÜS                   | 36 Tage                     | 0,83 %                               |
| HQ <sub>5</sub>      | 6 Tage                      | 0,14 %                               |
| HQ <sub>20</sub>     | 1 Tage                      | 0,02 %                               |
| HQ <sub>100</sub>    | --                          | --                                   |
| HQ <sub>extrem</sub> | --                          | --                                   |
| Perzentilwerte       |                             | Pegelstand<br>UW Neckarzimmern       |
|                      | 25%-Quantil                 | 133,35 m ü. NN                       |
|                      | 50%-Quantil (Median)        | 133,45 m ü. NN                       |
|                      | 75%-Quantil                 | 133,71 m ü. NN                       |
|                      | 90%-Perzentil               | 134,29 m ü. NN                       |
|                      | <b>zum Vergleich:</b>       |                                      |
|                      | HSW                         | 135,23 m ü. NN                       |
|                      | Stauziel <sup>(1)</sup>     | 133,03 - 133,18 m ü. NN              |

<sup>(1)</sup> Stauziel 133,03 m ü. NN. Stautoleranz (Stand 1990) -0 cm unter / +15 cm über Normalstau (HN-Modell Neckar Nr. 2, 2011)

Abbildung 14 zeigt die Ganglinie der Monatsmaximalpegelstände UW Neckarzimmern der Jahre 1988 bis 2014. Eingetragen sind ebenfalls die Zeitpunkte der Querprofileinmessungen des Landanschlusses. Hierdurch werden Korrelationen zwischen Entwicklung der Uferlinie und den Wasserständen, im Zeitraum zwischen den jeweiligen Messzeitpunkten überprüft. Eine Auswertung der Monatsmaximalpegelstände nach Überschreitungshäufigkeiten zeigt Abbildung 15.



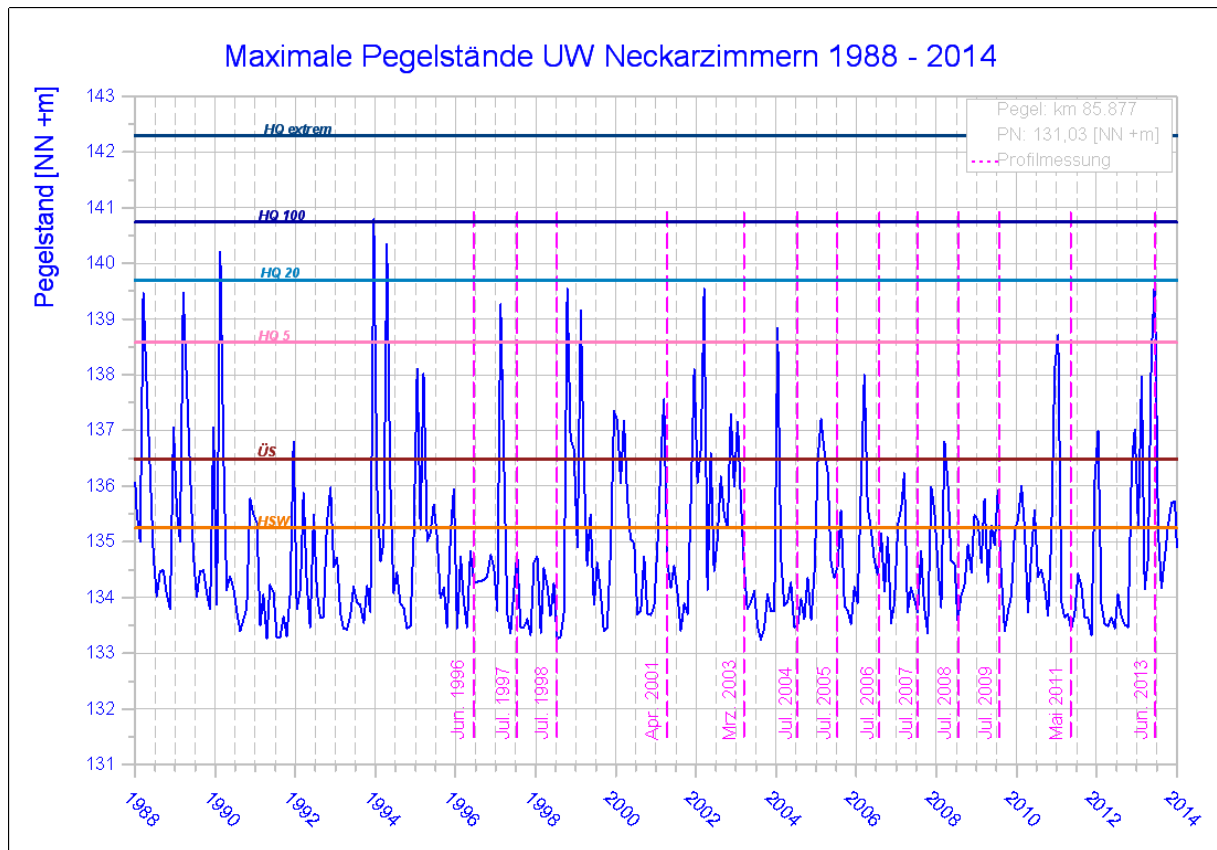


Abbildung 14: Ganglinie der Monatsmaximalpegelstände UW Neckarzimmern (1988 bis 2014)

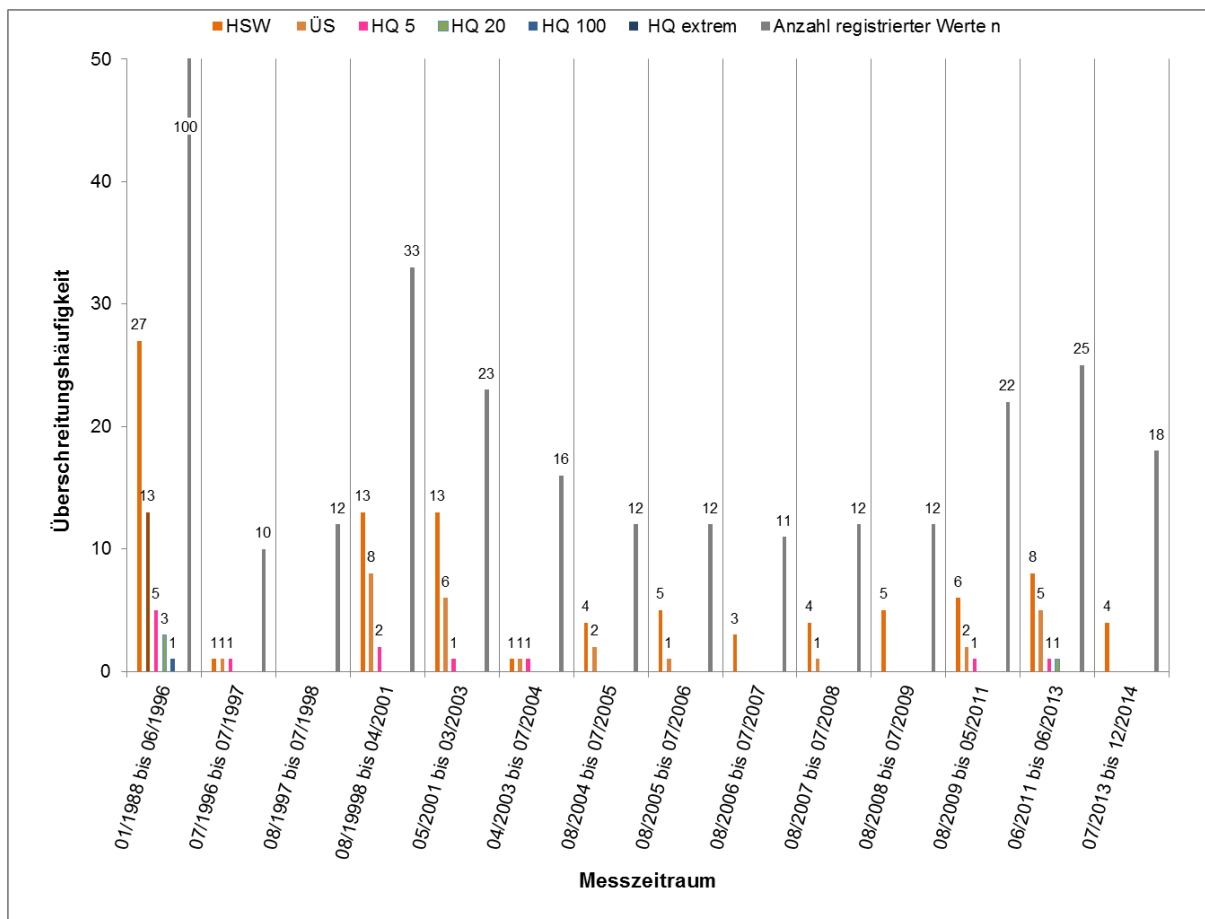


Abbildung 15: Überschreitungshäufigkeiten verschiedener Pegelstände UW Neckarzimmern; Auswertung der Monatsmaximalpegel im Zeitraum Jan. 1988 bis Dez. 2014

Ein HQ<sub>5</sub>-Ereignis wird im dokumentierten Beobachtungszeitraum Januar 1988 bis Dezember 2014 insgesamt zwölfmal erreicht bzw. überschritten, alleine fünfmal vor Beginn der Querprofileinmessungen 1996. Von den gesamten HQ<sub>5</sub>-Werten sind drei (vierfache Überschreitungshäufigkeit) HQ<sub>20</sub>-Ereignisse und ein HQ<sub>100</sub>-Ereignis (Dezember 1993, s. vor) zu verzeichnen. Lediglich ein HQ<sub>20</sub>-Ereignis ist im Betrachtungszeitraum nach 1996 aufgetreten.

Die besonders hohen Hochwasser Dezember 1993 und April 1994 (Pegelstand UW Neckarzimmern 140,35 m ü. NN) sind als besonderer Umstand in den Sitzungsprotokollen der AG Neckar vermerkt (Anlage 2).

Die Ergebnisse der Auswertung der hydraulischen Einwirkungen aus Hochwasser und Überflutung fließen an gegebenen Stellen der weiteren Betrachtung ein, bspw. in den Zusammenhang zwischen Häufigkeit und Auftreten von Hochwasser und Überflutung und Entwicklung der Gewässermorphologie (Kapitel 5.6).

## **5.4 Entwicklung des Deckwerks und durchgeführte Maßnahmen seit 1988**

Für eine Bewertung der Uferentwicklung sind die bislang durchgeführten Maßnahmen zu rekonstruieren. Eine Aufnahme des Istzustandes erfolgt durch Begehung von Land, Bereisung von Wasser und die Untersuchung des Uferzustandes im Unterwasserbereich. Ein Abgleich des Ausgangszustandes mit der Uferentwicklung im Zusammenhang mit den durchgeführten Maßnahmen lässt Rückschlüsse auf die vorherrschenden Randbedingungen zu.

Aus den Sitzungsprotokollen der AG Neckar, den archivierten Unterlagen der Ämter und den Angaben des ABz Eberbach (s. Nachträgliche Dokumentation der durchgeführten Maßnahmen v. 04.03.2015 und Gesprächsnotizen) können die durchgeführten Maßnahmen in groben Zügen seit 1988 nachvollzogen werden. 2010 wurde die AG Neckar aufgelöst.

Der aktuelle Zustand des Ufers ist zuletzt am 27.03.2015 durch eine Bereisung mit dem WSV-Boot begutachtet worden. Am 10.03.2015 erfolgte eine Landbegehung. Die Protokolle inkl. der fotografischen Aufnahmen finden sich in Anlage 2. Die hieraus offenen Fragestellungen zum restlich vorhandenen Deckwerk sind durch einen Tauchereinsatz am 17.04.2015 weiter untersucht worden.

### **5.4.1 Rekonstruktion durchgeführter Maßnahmen**

Bereits 1988 wurde durch das RP Karlsruhe angeregt, die Unterhaltung an der Strecke km 76.25 bis 80.45 einzustellen und das Ufer seiner natürlichen Sukzession zu überlassen (Sitzungsprotokoll v. 05.11.2009). Anstoß der Überlegungen waren die bevorstehenden notwendigen Instandsetzungen am Streckenabschnitt aufgrund von umfangreichen Schäden an den in den 1960er Jahren eingebauten Steinmatten. Aus dem Jahre 1989 liegt ein technischer Bericht des WSA Heidelberg zur Genehmigung der Instandsetzung des Streckenabschnittes km 79.20 bis 79.50 wegen starker Auskolkungen vor. Die Instandsetzung mit einer Investitionssumme von 475.000 DM wurde aufgrund der angespannten Haushaltslage nicht bewilligt (Vermerk techn. Instandsetzung v. 30.11.1990). Zu dieser Zeit war das WSA Heidelberg für die Instandsetzung bezogen auf den gesamten Streckenabschnitt von einem kurzfristigen Bedarf von 2 Mio. DM ausgegangen. Für eine umfangreiche, langfristige Sanierung durch Ausführung eines Steinwurfes auf vorbereitetem Planum sind Kosten in Höhe von 6 Mio. DM kalkuliert worden (Beantwortung Anfrage Dr. Franzius v. 02.09.1996). Da die Uferabbrüche teilweise derart fortgeschritten waren, dass zur Wahrung der Eigentumsverhältnisse der Anlieger Maßnahmen notwendig wurden, ist 1992 zur Vermeidung der Sanierungsmaßnahme ein Landerwerb mit Verlegung der Uferlinie ca. 10 m landeinwärts angeregt worden (Sitz.prot. v. 15.11.1995). Ausgenommen vom Landerwerb ist der Abschnitt km 77.00 bis ca. km 77.40. Dieser Abschnitt fällt in den Zuständigkeitsbereich und das Eigentum des Kernkraftwerkbetreibers. Eine finale Besitzeinweisung hat noch nicht stattgefunden. Der

Landerwerb durch die WSV wird voraussichtlich bis Ende 2015 im Rahmen des Flurbereinigungsverfahrens endgültig abgeschlossen sein. Das bedeutet, dass die Lage der Flächen entlang des Uferabschnittes bereits festgelegt ist, jedoch eine Grundbucheintragung bislang noch nicht erfolgt ist (TN Nr. 4 v. 19.05.2015).

Seit 1989 sind keine Sanierungsmaßnahmen am Deckwerk durchgeführt worden. Lediglich ab 1993 wurden durch den ABz Eberbach punktuell zerstörte, alte Mattenreste (Drahtgeflecht) mittels Einsatz eines Schwimmgreifers in Eigenregie entfernt. Die Entfernung erfolgte nur dort, wo es sich „anbot“ (Sitz.prot. v. 02.06.1993, 18.04.1996) und die Böschung keinen zusätzlichen Schaden nahm. Der Mattendraht wurde teilweise bis zum Böschungsfuß entfernt. Mit dem Schwimmgreifer wurde die Matte im Wasserwechselbereich erfasst und dann senkrecht nach oben gehoben. Teilweise konnten damit Drahtlängen bis 7,00 m zum Vorschein gebracht werden, was bei 2,00 m horizontaler Böschungsauflage auf Gelände und 1,50 m entlang der Böschung oberhalb des Wasserspiegels, einer Länge der Steinmatte unter Wasser von ca. 3,50 m entlang der Böschung entspricht (TN Nr. 3 v. 16.04.2015). Die in der Steinmatte befindlichen Steine verblieben am Ufer oder sind bis zum Böschungsfuß abgerutscht. Eine Sicherung der Unterwasserböschung sollte demnach nicht mehr vorhanden sein (Angaben des ABz Eberbach v. 04.03.2015). Mit Stand September 1998 sind die Mattenreste durch den ABz Eberbach „soweit möglich“ entfernt (Sitz.prot. v. 22.09.1998).

Mit Stand September 2000 haben sich an vielen Stellen der Böschung oberhalb MW flussparallel Abrisskanten der zum Teil überhängenden, stark unterspülten bindigen Anlandungen gebildet. Dabei lösten sich Erdschollen mit 2,00 bis 3,00 m Durchmesser, was stellenweise zu einem Kippen des Uferbewuchses führte. Gekippte Weiden wurden nur gekappt und nicht komplett entfernt, da das Wurzelwerk weiterhin die Böschung stabilisieren sollte (Sitz.prot. v. 20.09.2000). Bis 2007 sind weiterhin immer wieder defekte Drahtmatten bzw. deren Drahtgeflechte wo sichtbar entfernt worden (Sitz.prot. 25.10.2007). Seit 2007 sind keine weiteren Maßnahmen im Uferbereich mehr getroffen worden. Ausgenommen hiervon ist der Rückschnitt der Vegetationsbestände zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt, insbesondere im Kurvenbereich km 79.80 bis ca. 79.00 (vgl. Vermerk des WSA Heidelberg v. 23.08.2013 u. GN Nr. 1 vom 17.03.2015).

#### **5.4.2 Ergebnisse der Bereisung und Begehung im Rahmen vorliegender Arbeit**

Grundlage für die Zusammenfassung der Ergebnisse an dieser Stelle sind das Begehungsprotokoll (v. 10.03.2015) und das Bereisungsprotokoll (v. 27.03.2015), jeweils einzusehen in Anlage 2.

Bei der landseitigen Begehung am 10.03.2015 konnten lokale Reste der eingebauten Steinmatten (obere und untere Drahtmattenlage mit Maschenweite ca. 10 cm) im Böschungsbereich oberhalb MW festgestellt und damit grundsätzlich gem. der Beschreibung aus Kapitel

5.1 bestätigt werden. Unter der landseitigen Bodenauflage sind die Matten teilweise noch in intaktem Zustand mit einer Packlage aus Sandsteinen zu erkennen. Bei einer Sondierung bei km 78.70 konnte eine intakte Steinmatte bis zu 2,0 m Länge in horizontaler Lage im Bereich des angrenzenden Geländes unter einer Erdüberdeckung bis 80 cm freigelegt werden (Abbildung 16). Eine Böschungsneigung der Steinmatten im Einbauzustand von 1:2 kann bestätigt werden. Eventuell ist die Böschungsneigung im Einbauzustand sogar noch steiler anzunehmen (Bereisungsprot. v. 27.03.2015, Anlage 2).

Das nur noch in Resten vorhandene Deckwerk ist über den gesamten Streckenverlauf durchgängig beschädigt bzw. teilweise nicht mehr vorhanden. An vielen Stellen sind lediglich oberhalb MW Reste der Steinmatten noch erhalten, allerdings in sehr schlechtem, beschädigtem Zustand. In diesem Zustand bedeuten sie Gefahr für Mensch und Tier.

Ab Wasseranschlaglinie sind wasserseitig grundsätzlich keine Matten mehr zu erkennen. Im Wasserwechselbereich sind die Mattenkörbe meist linienhaft abgeschnitten bzw. aufgebrochen und die ursprünglich enthaltene Steinpackung abgängig bzw. nicht mehr enthalten (Abbildung 17).

Da das Ufer an vielen Stellen durch Erosion rückschreitet, werden die landseitig überdeckten Matten unter- und freigespült. Durch Hohlraumbildung und Kolke sackt die Matte regelrecht ab. Die hierdurch entstehenden Zugkräfte in Verbindung mit korrodiertem Draht bewirken, dass das Drahtgeflecht an vielen Stellen aufbricht und die Steinfüllung austreten kann (Abbildung 17). Es wird vermutet (vgl. auch Abbildung 5 mit ca. 2,00 m langem horizontalem Landanschluss), dass die Steinmatten an den Stellen, an denen das Ufer noch nicht weiter als ca. 2,00 m erodiert ist, zumindest im landseitig angrenzenden Gelände noch in teilweise intaktem Zustand unter einer Erdüberdeckung vorhanden sind. Mit fortschreitender Erosion werden diese nach und nach freigelegt und brechen bzw. reißen nach beschriebenem Schadensmechanismus auf. Die Erosion wird sodann weiter begünstigt (nachrutschende Böschung). Hat sich vor vollständigem Entleeren der Matten ein Flachufer ausgebildet und lassen es die Randbedingungen (hydraulische Einwirkungen) zu, bleiben die Füllsteine im Nahbereich der Böschungsbruchkante liegen und sind noch als „lose Schüttung“ ersichtlich. Stellenweise (insbesondere im Abschnitt um km 79.00) ist das Ufer durch fortschreitende Erosion so weit zurückgewichen, dass die Lage der ehemaligen Ufersicherung lediglich an den erhaltenen Rückverankerungen (Rundeisen) der Steinmatten zu erkennen ist.

Vereinzelte liegen sehr große Steine am Ufer (Kantenlängen ab 1 m und mehr). Diese können entweder Altbestände des Neckarausbaus (Ausbaggerung der Fahrrinne von 2,40 m auf 2,80 m schiffbaren Tiefgang) oder Altbestände des ehemaligen Steinsatzes (erste Generation der Ufersicherung, s. Kapitel 5.1) sein.



Unterhalb von km 77.00 sind lokal nachträglich eingebaute Steinschüttungen zu erkennen. Oberhalb km 77.40 sind kaum nachträgliche Steinschüttungen aufzufinden. Hier sind sie nur in Abschnitten besonders empfindlicher Bereiche erfolgt, bspw. Sicherung des Dükers (km 77.60 oder im Bereich km 80.00). Es wird vermutet, dass diese bereits vor 1989 eingebaut waren (vgl. Tabelle 3).



Abbildung 16: Km 78.70 (Nullprofil); Steinmatte im horizontalen Landanschlussbereich (Länge 2,0 m) noch vollständig vorhanden, ca. 80 cm Erdüberdeckung (eigene Aufnahme März 2015)



Abbildung 17: Linienhaft abgeschnittene Mattenkörbe im Wasserwechselbereich; abgesackte und aufgebrochene Steinmatten (eigene Aufnahme März 2015, ca. bei km 76.50)

### 5.4.3 Ergebnisse des Tauchereinsatzes im Rahmen vorliegender Arbeit

Der über Wasser begutachtete Zustand des Ufers bzw. des restlichen Deckwerks ist am 17.04.2015 durch eine Untersuchung des Uferzustandes im Unterwasserbereich ergänzt worden (Protokoll der Taucheruntersuchung v. 17.04.2015, Anlage 2). Gegenstand der Untersuchung waren die drei maßgebenden Bemessungsquerprofile bei km 77.60, 78.70 und 79.70 (vgl. Kapitel 5.6). Antworten auf folgende Fragestellungen sollten gegeben werden:

- Was ist an Böschungs- und Sohlensicherung unter Wasser noch erhalten und wo?
- Sind Mattenreste unter Wasser noch vorhanden, insbesondere am Nullprofil (km 78.70)?
- Wie sieht die verbliebene „Deckwerkssicherung“ (entleerte Steinfüllung als Art lose Schüttung) aus? Steingröße? Wie haben sich die Füllsteine der Matte gelagert? Flächendeckung?
- Ist eine Fußsicherung vorhanden? Kann auf eine ehemalige Fußsicherung geschlossen werden?
- Ist die Länge der ehemaligen Matten noch zu rekonstruieren?
- Welcher Boden ist anstehend? Wie gestalten sich Böschung und Sohle?

Folgende Angaben erfolgen nach denen des Tauchers über Sprechfunkverbindung. Entfernungsangaben sind vom Ufer (Wasserlinie) in Richtung Fahrrinne angegeben. Längen und Entfernungsangaben sind Circaangaben.

Am unterstromigen Profil km 77.60 bedecken Kies und Steine (bis 10 cm Kantenlänge) bis 3,00 m flächig die Böschung. Ab 3,00 m kommen in Richtung Neckarmitte vereinzelt kopfgroße Steine (bis 40 cm Kantenlänge, vgl. Abbildung 18) hinzu. Ab 5,00 m geht die Steinart immer mehr in Kies über (5 x 5 cm), welcher an der Sohle mit schluffigen Sanden vermischt vorliegt (natürliche Neckarsohle). Die Böschung ist gleichmäßig bis 6,00 m (Beginn der Sohle) leicht geneigt, ohne Kolke oder Abbrüche. Bei km 77.60 liegen Reste des Drahtes zusammengerollt an Land. Unter Wasser konnten weder Draht noch alte Steinmattenreste ausgemacht werden.

Bei km 78.70 (Nullprofil) ergibt sich das Bild eines dichten, flächendeckenderen „losen Deckwerks“. Kopfgroße Steine liegen hier ab 2,00 m bis 5,00 m. Ufernah sind kleinere Steine vorhanden. Die Steinzusammensetzung folgt grundsätzlich der eher inhomogenen Zusammensetzung aus den ehemals eingebauten Steinmatten (vgl. Abbildung 5). Die Steine sind schwer vom lehmigen Untergrund zu lösen. Zwischen den Steinen finden sich einzelne Drahtreststücke bis 2,50 m von der Wasserlinie entfernt. Auf der Sohle liegt eine etwa 10 cm starke Schicht aus Geröll, Sand und Kies (natürliche Neckarsohle).



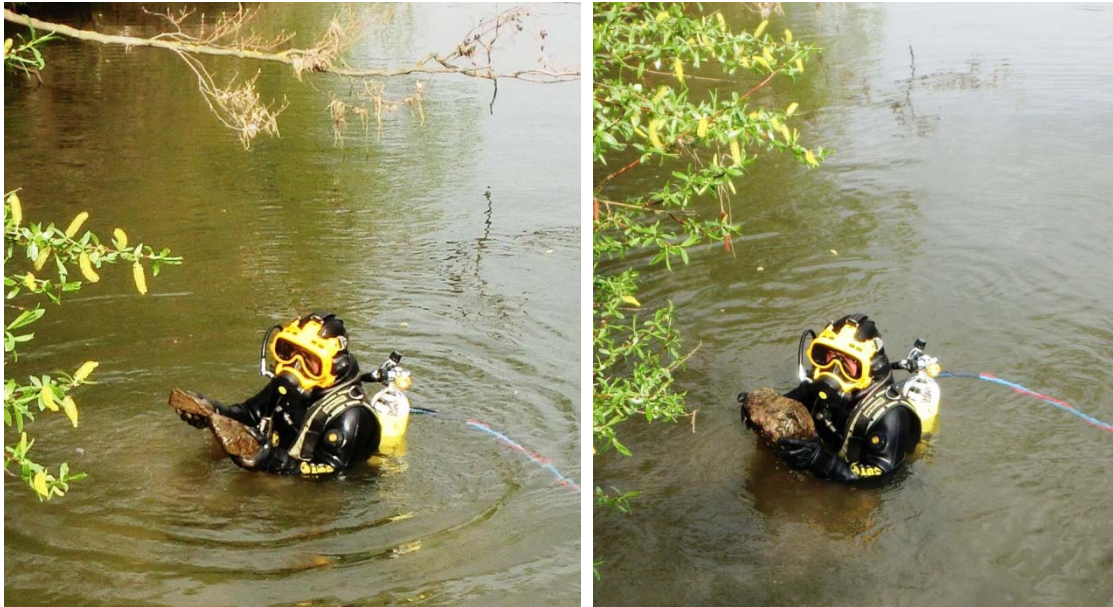


Abbildung 18: Beispielhaft, alte Mattenfüllsteine, Bild links bis ca. 10 cm Kantenlänge und plattig, Bild rechts: kopfgroß (bis ca. 40 cm Kantenlänge) (eigene Aufnahme April 2015)

Bei km 79.70 treten die bisher größten Erosionen (bis 6,00 m) landeinwärts gegenüber der Böschungskante von 1996 auf (vgl. Kapitel 5.6.4). Es ist eine senkrechte Abbruchkante (Höhe ca. 2,00 m) entstanden. Davor gelegen hat sich die Böschung auf eine Neigung von ca. 1:10 eingestellt. Hier liegen im Bereich des ehemaligen Hinterlandes nur sehr spärlich Steine. Ab der ursprünglichen Uferlinie finden sich wieder kopfgroße Steine, jedoch nicht so flächendeckend wie an Profil km 78.70. Erst ab 1,50 m Abstand zur ursprünglichen Uferlinie besteht eine vollflächige Steinauflage, welche lagestabil mit dem Untergrund verbunden ist. Die Böschung wird ab hier etwas steiler. Schon ab 2,50 m herrscht die natürliche Zusammensetzung der Neckarsohle vor (s. oben).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass unter Wasser an den drei untersuchten Profilen keine Steinmatten oder restliches Drahtwerk mehr vorhanden sind. Vereinzelt finden sich lediglich Drahtreste. Auf der Böschung liegen bis zur Sohle, lose, zum Teil einzelne Steine unterschiedlicher Größe. Die Zusammensetzung der vorgefundenen Steine ist eher inhomogen und lässt auf die ursprünglich in die Matten eingebauten Steine schließen. Steine, Art und Größe, können anhand historischer Aufnahmen vom Taucher bestätigt werden. Festgestellte kopfgroße Steine (ca. 40 cm Kantenlänge) waren meist kantige (bearbeitete) Sandsteine.





Abbildung 19: Eindruck der Steinzusammensetzung ehemals eingebauter Steine bei km 78.00 linkes Ufer (WSA Heidelberg 1966)

Die Böschung hat sich abgeflacht. Eine angenommene Ausgangsneigung von 1:2 ist nicht mehr vorhanden. Jedoch ist an keinem Profil ein Abrutschen der ehemals in der Matte befindlichen Steine erkennbar. Kolke oder Abbruchkanten entlang der Böschung sind nicht gefunden worden. Eine Fußvorlage in Form eines Steinwurfs ist nicht nachweisbar.

Die verbliebenen Steine sind in Verbindung mit dem bindigen schluffig-sandigen Untergrund lagestabil, da sie vom Taucher nur schwer angehoben werden können. Bei Entfernen der Drahtmatten durch den ABz Eberbach haben sich die Steine meist flächig wieder an die Böschung gelegt. Im oberen Bereich der Böschung liegen meist kleinere Steine (bis 10 cm Kantenlänge), an der Böschung selbst meist kopfgroße Steine (bis 40 cm Kantenlänge). Ab ca. 3,50 m im Mittel, gemessen von der ursprünglichen Uferlinie, beginnt an den Stationen jeweils das typische Neckarsohlenmaterial (Geröll auf Sohle mit Kies und Sand).

## 5.5 Entwicklung der Ufervegetation und Fauna

Mit Auswertung der vegetationskundlichen Kartierungen, Fotodokumentationen und Luftbilder sowie der pflanzensoziologischen Untersuchungen gem. Tabelle 2 können die Auswirkungen der eingestellten Unterhaltung auf die Ufervegetation und bedingt auch auf die Fauna festgestellt und anschließend beurteilt werden. Die zur Verfügung stehenden Unterlagen sind in Anlage 2 beigelegt. Am 10.03.2015 (Begehungsprotokoll, Anlage 2) und 27.03.2015 (Bereisungsprotokoll, Anlage 2) konnte ein aktueller Gesamteindruck durch den Verfasser mit Fokus auf Vegetationsentwicklung und Gewässermorphologie ohne detaillierte Kartierung gewonnen werden. Zum betrachteten Uferabschnitt liegen keine faunistischen Untersuchungen vor, diese müssen bis auf Einzelanmerkungen ausbleiben. Eine Anfrage beim örtlichen Fischereiverein blieb ohne Erfolg.

Durch Überlagerung der jeweiligen Datenquellen kann eine Aussage über den Entwicklungsverlauf getroffen werden. Die Vegetationskartierungen werden hinsichtlich der zeitlichen Veränderung der Artenanzahl (Diversität) und erstmaligem Auftreten im Beobachtungszeitraum 1996 bis 2008 ausgewertet. In Abgleich mit LfU (1994) bzw. LUBW (c) (2007) kann beurteilt werden, ob die kartierten Gehölze standortgerecht (gewässertypisch) sind. Auf die vier augenscheinlich am häufigsten vorkommenden Gehölzarten wird hinsichtlich deren Standortansprüche und Eigenschaften näher eingegangen. Da in den Kartierungen 2003 und 2008 jeweils die Veränderungen zur Vorkartierung kenntlich gemacht worden sind, kann hieraus ohne größeren Aufwand ein direkter Entwicklungsvergleich erfolgen. Aus den restlichen Kartierungen wäre dies nur unter erhöhtem Aufwand zu leisten. Abschließend werden die dokumentierten Arten auf Problemneophyten hin überprüft.

Die Fotodokumentationen und Luftbilder werden rein visuell ausgewertet. Die Eindrücke der Begehung vom 10.03.2015 und anschließender Bereisung vom 27.03.2015 werden mit diesen in einen entstandenen Gesamteindruck überführt. Die Auswertung der pflanzensoziologischen Untersuchungen (PSU) hinsichtlich Entwicklung, Diversität und Zeigerwerten runden die Betrachtung ab.

Zu beachten sind bei der Interpretation der Informationen aus den sich unterscheidenden Datenquellen die jeweiligen Dokumentationszeitpunkte. Wichtigster Grund hierfür ist, dass hauptsächlich eine visuelle Auswertung der Entwicklung erfolgt.

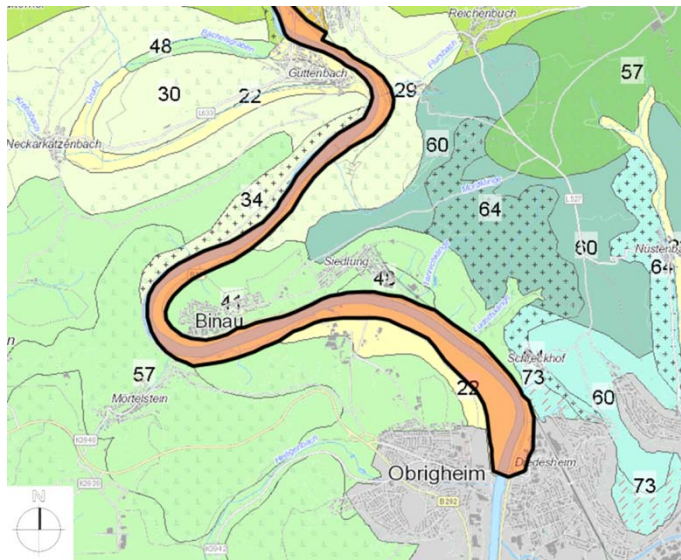
### 5.5.1 Allgemeines

Der Untersuchungsraum liegt in der naturräumlichen Großlandschaft Odenwald (LUBW (c) 2007). Der Uferabschnitt km 76.25 bis 80.45, links, ist naturräumlich differenzierter dem Bauland (naturräumliche Einheit in Baden-Württemberg Nr. 128) zuzuordnen. Er liegt allerdings in direkter Nähe zu den Einheiten Sandstein-Odenwald (Nr. 144) und Kraichgau (Nr.

125) (LFU 1994). Das Kraichgau ist etwas wärmebegünstigter als das Bauland und zeigt vom Wuchsklima daher größere Ähnlichkeit mit dem Neckartal. Eine strikte Abgrenzung ist somit kaum möglich und nicht sinnvoll (vgl. auch Diskussion in DIRBACH et al. 1992, S. 5).

Eine Einordnung des Uferabschnitts bezüglich der Potentiellen Natürlichen Vegetation erfolgt gem. Karte 3:

„Eichen-Eschen-Hainbuchen-Feuchtwald oder Buchenwälder, Ausbildungen mit Frische- und Feuchtezeigern einschließlich flussbegleitenden Auenwäldern“ (EEHFB-Wälder) (DATEN- UND KARTENDIENST DER LUBW 2015). Die Höhenstufe (ca. 139 m ü. NN) entspricht der planar-kollinen.



Karte 3: Potentielle Natürliche Vegetation des Uferabschnitts, ohne Maßstab (DATEN- UND KARTENDIENST DER LUBW 2015)

Definition und Ausprägung der Potentiellen Natürlichen Vegetation kann LUBW (2013) entnommen werden:

EEHFB-Wälder als Auwaldkomplex im Sinne einer Potentiellen Natürlichen Vegetation befänden sich im Bereich breiter Flussauen mit freier Überflutung der Gewässer Main und Neckar. In diesen Wäldern kann eine Weichholzaue aufgrund der Stauregulierung nur linienhaft bestehen. Standort sind Aueböden, die gewässernah kurzfristig überflutet werden. „Kurzfristig auftretende Hochwasserereignisse prägen lediglich die gewässernahe Vegetation“ (LUBW 2013, S. 168).

Ein Beispiel für einen nahezu vollkommen natürlichen Uferbereich (DIRBACH et al. 1992) ist das Hochufer Hochhausen im UW der Schleuse Neckarzimmern bei km 85.00 (Abbildung 20).



Abbildung 20: Hochufer Hochhausen als Beispiel für einen nahezu vollkommen natürlichen Uferbereich (eigene Aufnahme April 2015)

Entgegen des betrachteten Uferabschnitts handelt es sich hierbei um ein Hochufer, nicht um flussbegleitende Aue. Jedoch wird ein visueller Eindruck Potentieller Natürlicher Vegetation in direkter Umgebung des Streckenabschnittes gewonnen.

Die Auswertung von Klimadaten gibt Aufschluss über Wachstumsbedingungen der Vegetation und erfolgt auf Basis der verfügbaren Daten des Deutschen Wetterdienstes (Anlage 2). Am betrachteten Uferabschnitt liegt der Mittelwert der Tagesdurchschnittslufttemperatur (Messstation Eberbach) bei 9,3 °C (n = 20.028). Im Vergleich hierzu ist der Baden-Württembergische Mittelwert der Jahresdurchschnittslufttemperaturen im selben Betrachtungszeitraum 1951 – 2005 um 1,0 °C niedriger. Die nahe Lage zur warmen Rheinebene kann hierfür verantwortlich gemacht werden. Während eines Jahres herrschen im Durchschnitt an 79 Tagen Temperaturen unterhalb 0,0 °C (Frosttage, 1971 – 2003, n = 4.326). Die errechneten Ergebnisse decken sich mit den Angaben nach DIRBACH et al. Das Gebiet kann somit als wintermild bezeichnet werden.

Die durchschnittliche Niederschlagsmenge pro Jahr (Messstation Mosbach-Diedesheim) beläuft sich im Betrachtungszeitraum 1971 – 2003 auf rund 950 mm (n = 12.053). Im Vergleich hierzu liegt der Mittelwert der jährlichen Niederschlagsmenge in Baden-Württemberg mit 980 mm etwas höher. Die Sonnenscheindauer in Baden-Württemberg liegt mit 1.660 Stunden pro Jahr über dem Deutschen Durchschnitt von 1.580 Stunden (Jahre 1951 – 2014). Wintermildes Klima, ausreichende Niederschläge und Sonnenscheindauer am betrachteten Uferabschnitt können für die Entwicklung der Vegetation als insgesamt günstig betrachtet werden. Die statistische Auswertung der Wetterdaten ist in Anlage 2 angefügt.

Aufgrund steiler Hänge im Bereich des Odenwalds herrscht seit jeher Knappheit an landwirtschaftlicher Nutz- und Siedlungsfläche. Dieser Umstand ließ die Nutzung nah ans Gewässer heranrücken und nimmt dem Gewässer u.a. den notwendigen Raum einer natürlichen Entwicklung und Retention. Insbesondere Flächen, bei denen gelegentlich Hochwassereignisse in Kauf genommen werden können, bspw. Sport- und Campingplätze (bspw. bei km 76.00) oder Fahrradwege werden in die Aue hineingelegt. Speziell Sportplätze und Ackerbauflächen unterliegen hierbei regelmäßiger intensiver Pflege und Bewirtschaftung (Düngung, etc.).

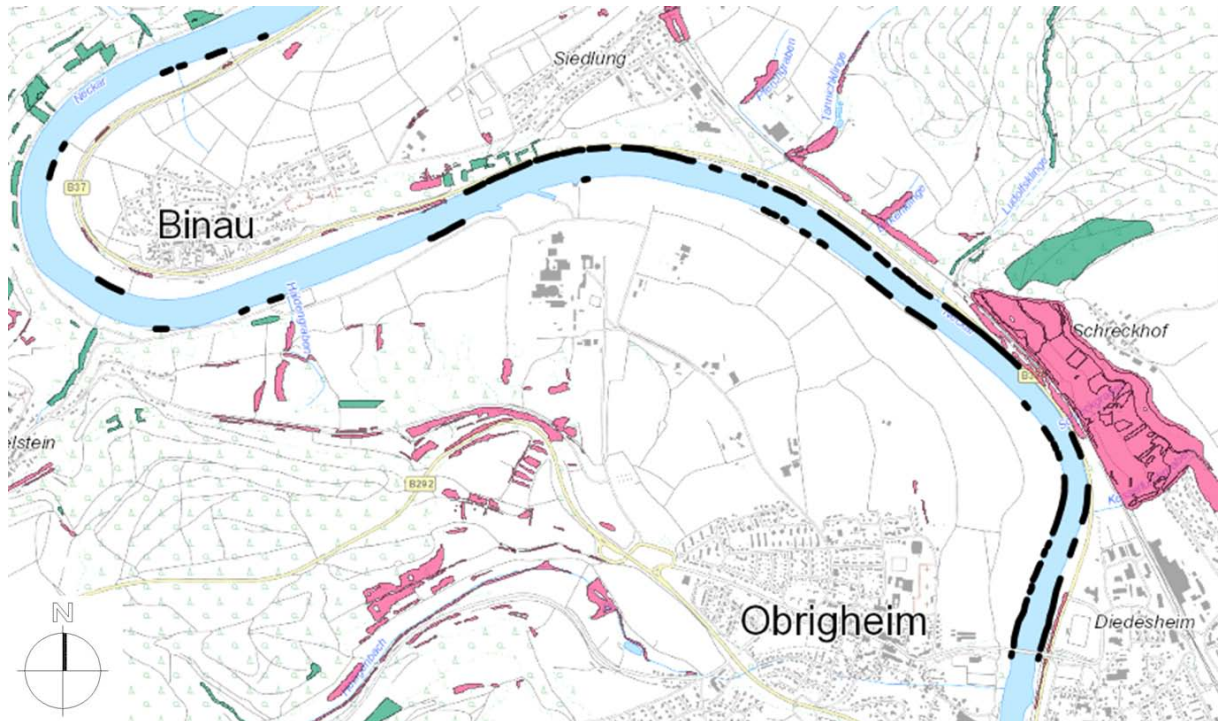
Der untersuchte Uferabschnitt liegt in einem nach Westen hin breit geöffneten Talraum mit ausgedehnt flacher Lage im Mündungsbereich der Elz. Hier herrscht die typische Ausformung durch den Neckar von steilem Prallhang und flachem Gleitufer im Bereich des Muschelkalks vor. Der größte Flächenanteil des Untersuchungsabschnitts ist Teil eines festgesetzten Wasserschutzgebiets (DATEN- UND KARTENDIENST LUBW 2015). Das Gebiet „Tiefbrunnen A und B“ (WSG-Nr. 225016 A) ist seit 01.01.2004 als Nitratproblemgebiet entsprechend § 5 Abs. 4 SCHALVO deklariert (LUBW.DE 2015). Das rechtskräftig festgesetzte Überschwemmungsgebiet folgt in etwa der Linie, die durch das HQ<sub>5</sub>-Ereignis erreicht wird (DATEN- UND KARTENDIENST LUBW 2015).

Die Lage sowie die immer wiederkehrende Überschwemmung mit Sedimentation von neuem Transportmaterial (Auelehm) dürften die Flächen schon in früher Zeit fruchtbar und der landwirtschaftlichen Nutzung dienlich gemacht haben. Unter anderem auch deshalb, weil die Hochwässer meist recht früh im Jahr ablaufen und damit außerhalb der landwirtschaftlichen Kultivierungsperiode liegen (vgl. Kapitel 5.3.4 und DIRBACH et al.). Heute erfolgt die Nutzung der ufernahen Flächen als Intensiv-Wiese (Düngung und regelmäßige Mahd). Diese Flächen reichen zum größten Teil sehr dicht an das Gewässer heran. Abstände liegen hierbei teilweise unter 5,0 m. Ein tatsächlicher Gewässerrandstreifen (Puffer- und Filterwirkung) fehlt somit an vielen Stellen. Im Hinterland herrscht intensive ackerbauliche Nutzung vor. Das Gelände steigt leicht an. Auswaschung, Erosion und zusätzlicher Stofftransport in Richtung Vorfluter sind somit von diesen Flächen wahrscheinlich. Insbesondere aufgrund des geringen Durchlässigkeitsbeiwerts der anstehenden Deckschichten sind Oberflächenabflüsse möglich (vgl. Kapitel 5.2).

Es ist zu erwarten, dass ackerbaulich genutzte Flächen, die im Hinterland etwas höher liegen als die Wirtschaftswiesen, bereits bei einem HQ<sub>5</sub>-Ereignis überschwemmt werden. Sie liegen somit im festgesetzten Überschwemmungsgebiet (DATEN- UND KARTENDIENST LUBW 2015). Der Vegetationsbestand am Ufer hat demnach die wichtige Aufgabe des Stoffrückhalts. Allerdings findet wiederum ein geförderter Eintrag der zurückgehaltenen Stoffe durch Erosion und bei Überschwemmung statt. Dies begründet die sinnreiche Forderung einer extensiv genutzten Aue ohne ackerbaulichen Umbruch (vgl. hierzu auch DIRBACH et al. 1992, S. 32 f.).



Die Gehölzgalerie des Uferabschnitts ist in den Bereichen gem. Karte 4 auf einer Fläche von ca. 1,74 ha als Biotop „Naturnahe Auwälder“ und „Röhrichtbestände und Riede“ nach § 32 NATSCHG geschützt (DATEN- UND KARTENDIENST LUBW 2015).



Karte 4: Biotopkartierung Gehölze am Neckarufer zwischen Obrigheim und Schleuse Guttenbach, ohne Maßstab, schwarz markiert (DATEN- UND KARTENDIENST LUBW 2015)

## 5.5.2 Ergebnisse aus Vegetationskartierungen

Mit Kartierungsstand 2008 (Vegetationskartierungen, Anlage 2) sind fünfzehn verschiedene Arten an Einzelbäumen und –sträuchern, neun Arten an strauchartigen Gehölzen und ca. 47 Hochstauden-, Kraut- und Grasarten entlang des Uferabschnittes vegetationskundlich aufgenommen. 1999 tritt der Kalmus (*Acorus calamus*) zu den bereits 1998 kartierten Röhrichtarten (Schilfrohr (*Phragmites australis*) und Rohr-Glanzgras (*Phalaris arundinacea*)) hinzu. Das Schilfrohr (*Phragmites australis*) ist am häufigsten vertreten und besiedelt hauptsächlich die geraden Streckenabschnitte (km 78.40 – 78.90). Bei km 79.70 und 80.00 sind größere Landbestände auffällig.

An Wasserpflanzen konnten Algen, die Gelbe Teichrose (*Nuphar lutea*), Schmalblättriger Merk (*Berula erecta*) und Wasserrminze (*Mentha aquatica*) festgestellt werden, wobei die letzteren drei nach der Kartierung im Jahr 2000 neu hinzu getreten sind. Die Fels- und Mauergesellschaften werden am betrachteten Uferabschnitt durch den Scharfen Mauerpfeffer (*Sedum acre*) vertreten (Hafenbereich am Kernkraftwerk Obrigheim, ca. km 77.00).

Totholzbestände haben sich nur begrenzt erhöht. 2015 können augenscheinlich 8 Totholzbestände ausgemacht werden (Begehungsprotokoll v. 10.03.2015). Bemerkenswert ist das kartierte Vorkommen der Großblättrigen Weide (*Salix appendiculata*). Nach DIRBACH et al. (1992) i. V. m. SEBALD et al. (1990) ist diese Art in Baden-Württemberg nur im Hochschwarzwald, in alpennahen Teilen des Westallgäuer Hügellandes und in der Adelegg vorzufinden.

Gegenüber 2000 sind 2003 zahlreiche neue Bestände an Bruchweiden (*Salix fragilis*) und Gewöhnlicher Esche (*Fraxinus excelsior*) hinzugekommen. Die Wuchshöhen der neuen Bestände liegen dabei jeweils zwischen 1,50 m und 2,50 m. Einzeln treten auch neue Korbweiden hinzu (*Salix viminalis*). Auf sich ausbildenden Flachuferbereichen können erstmals Bestände der Wasser-Sumpfkresse (*Rorippa amphibia*), der Flatter-Binse (*Juncus effusus*) und der Waldsimse (*Scyrius sylvaticus*) registriert werden. Zum Zwischenstand 2006 wird festgestellt, dass der sich selbst überlassene Uferbereich sich hinsichtlich der Vegetation gut entwickelt (vgl. Sitzprot. v. 29.09.2006, Anlage 2).

Im Jahr 2008 können bei km 78.60 Uferschwalben (*Riparia riparia*) beobachtet werden, die sich an den gebildeten Steilufern niedergelassen haben (Abbildung 21). Die Uferschwalbe ist eine streng geschützte Art nach BARTSCHV. Zur Vegetation treten der Gewöhnliche Spindelstrauch (*Euonymus europaeus*) und der Gewöhnliche Blutweiderich (*Lythrum salicaria*) hinzu. Die vereinzelte Niederlassung zusätzlicher Bestände an Gelben Teichrosen (*Nuphar lutea*), eine nach BARTSCHV besonders geschützte Art, kann festgestellt werden. Entstandene Flachwasserbereiche werden, wenn auch spärlich, mit Röhricht besiedelt.

Unter den Gehölzen dominiert die Gattung der Weiden (*Salix*) hierunter die Bruchweide (*Salix fragilis*) und die Korbweide (*Salix viminalis*). Daneben finden sich am Uferabschnitt Silberweide (*Salix alba*), Purpurweide (*Salix purpurea*), Ohrweide (*Salix aurita*) und Salweide (*Salix caprea*). Als standortgerechte Baumarten des Auwalds vertragen sie kürzere bis wenige Überschwemmungen während der Vegetationszeit (LFU 1994) und sind nach ELLENBERG (1992) Feuchte- bis Nässezeiger (Zeigerwert 8=) auf mehr oder minder regelmäßig überschwemmten Böden. Weiden (*Salix*) sind Rohbodenkeimer. Ihre Regenerationsfähigkeit und Anpassung an Strömung befähigt sie zur Besiedelung von Standorten, die starker Veränderung unterworfen sind (DIRBACH et al. 1992). Insbesondere die Bruchweide (*Salix fragilis*) ist als Flachwurzler ein guter Uferbefestiger (LFU 1994), jedoch brechen ihre Äste leicht. Diese werden bei Hochwasser abgeschwemmt, um an anderer Stelle wieder auszuschlagen. Vermehrtes Treibgut kann in vielen Fällen bei technischen Bauwerken wie bspw. Wasserkraft- oder Einlaufbauwerken zu Problemen führen. Ob nach strenger Auslegung die im Untersuchungsgebiet kartierten Bruchweiden (*Salix fragilis*) vielmehr ihren Hybriden den Fahlweiden (*Salix x rubens*) zuzuordnen sind (vgl. Diskussion in DIRBACH et al. 1992, S. 47) bleibt an dieser Stelle außer Betracht.

Zu den dominanten Gehölzarten gehören am Uferabschnitt zudem Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) und Gewöhnliche Esche (*Fraxinus excelsior*). Die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) ist eine Gehölzart, die unmittelbar an der Mittelwasserlinie wächst (LFU 1994). Da ihr Wurzelwerk tief unter die Mittelwasserlinie, sogar bis ins anstehende Grundwasser reicht, eignet sie sich besonders zur Ufersicherung gegen Erosion. Ihr Vorkommen wird durch das Fehlen ausgeprägter Niedrigwasserphasen (Stauregulierung) gefördert (BFG 2011). Bei beiden Baumarten handelt es sich um standortgerechte Gehölze nach LUBW (c) (2007). Zwischen den Hartgehölzen finden sich vereinzelt Bestände der Stieleiche (*Quercus robur*), der Flatterulme (*Ulmus laevis*), des Eingrifflichen Weißdorns (*Crataegus monogyna*) sowie Vogelkirsche (*Prunus avium*) und Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*). Mit nur einem Einzelbestand vertreten, ist die früher am Neckar häufig angepflanzte Kanadische Pappel (*Populus x canadensis*).

Die Gehölzstruktur weist aufgrund der Stauregulierung des Neckars und eher seltenen und kurzen Überschwemmungen während der Vegetationszeit am betrachteten Uferabschnitt keine ausgeprägte Vertikalzonierung einer natürlichen Aue auf. Die Hartgehölze sind durchsetzt mit Weiden (*Salix*) als Elemente der Weichholzaue.

Entlang des Uferabschnittes sind Problemneophyten insbesondere im mittleren bis oberstromigen Abschnitt anzutreffen. Vertreten werden diese durch Topinambur (*Helianthus tuberosus*), Indisches Springkraut (*Impatiens glandulifera*), Kanadische Goldrute (*Solidago canadensis*) und Riesen-Bärenklau (*Heracleum mantegazzianum*). Das Indische oder auch Drüsige Springkraut (*Impatiens glandulifera*), ist am häufigsten vertreten. Der phototoxisch wirkende Riesen-Bärenklau (*Heracleum mantegazzianum*) ist lediglich bei km 77.30, in Nähe des Einlaufbauwerks Kernkraftwerk Obrigheim kartiert worden. Problemneophyten gefährden oder verdrängen einheimische Arten, verändern dabei heimische Ökosysteme, können wirtschaftliche Schäden verursachen und die Gesundheit des Menschen gefährden. Stickstoffzeiger wie Große Brennnessel (*Urtica dioica*), Brombeere (*Rubus fruticosus*), Kletten-Labkraut (*Galium aparine*) und Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra*) sind ebenfalls im untersuchten Abschnitt vorhanden.

### 5.5.3 Ergebnisse aus visueller Auswertung

Aus der visuellen Auswertung der vorhandenen Luftbilder 1997 bis 2010 und Fotodokumentation sind keine signifikanten Unterschiede bzw. differierende Entwicklungszustände ersichtlich. Mit Begehung v. 10.03.2015 und Bereisung v. 27.03.2015 (Anlage 2) können folgende Beobachtungen festgehalten werden:

Das Landschaftsbild entspricht dem Eindruck einer ausgeräumten Landschaft. Das angrenzende Hinterland weist kaum Struktureichheit auf. Die Ufervegetation bildet eine nahezu einreihige Galerie am Gewässer. Im Streckenabschnitt von ca. km 77.40 bis 79.70 ist diese



sehr eintönig ausgebildet. Es bestehen kaum Wechsel in Höhe oder Altersstruktur des Bewuchses, noch eine Artenvielfalt (hauptsächlich Weidenbestand) entgegen den Streckenabschnitten unterstromig (ca. km 76.25 bis 77.00) und oberstromig (ca. km 79.70 bis 80.45). Ab km 79.20 bis 79.70 ist der gewässerbegleitende Baumbestand sehr lückenhaft. Frische und wiederkehrende Rückschnitte deuten darauf hin, dass besonders im Kurvenverlauf auf Sichtigkeit für Schiffsverkehr geachtet werden muss (gelenkte Sukzession). Der recht gleichmäßige Entwicklungsstand lässt ebenfalls auf wiederkehrende Unterhaltung rückschließen.

Die Struktur der Vegetation im unterstromigen (ca. km 76.25 bis 77.00) und oberstromigen (ca. km 79.70 bis 80.45) Streckenabschnitt weist eine positive Varianz in Wuchsart und Wuchshöhe sowie Alterszusammensetzung auf. Hier bestehen Ansätze einer abgestuften, mehrschichtigen Vegetationsgesellschaft.

Grundsätzlich existiert nur ein äußerst schmaler Gewässerrandstreifen. Wenn intensive Nutzung im Hinterland ansteht, reicht diese sehr dicht an die Böschungsoberkante heran. Die verbliebenen Drahtmattenreste bedeuten eine Hinderung der Vegetation (Einschnürung, Wuchshemmung).

Oberstromig (ab ca. km 80.00) verbreitert sich der Gewässerrandstreifen mit Buschbewuchs auf bis zu ca. 8,00 m, da die im Hinterland angrenzende Nutzung hier weiter zurücktritt. Stellenweise reichen die Baumbestände ins Gewässer hinein. Zugangsmöglichkeiten über das Ufer ans Wasser sind kaum vorhanden (steile Böschungen). Lediglich einzelne Schneisen werden sichtlich durch Fauna genutzt. Hierauf deuten Tierspuren an entsprechenden Stellen hin. Die Wiederbesiedelung durch den Biber (*Castor fiber*) wird durch seine Bissspuren ersichtlich (Abbildung 21). Er gehört als einheimisches Säugetier zu den besonders geschützten Arten nach BARTSCHV. Während der Bereisung am 27.03.2015 konnte zudem ein Eisvogel (*Alcedo atthis*) am Uferabschnitt gesichtet werden. Hinweise geben auch an den Steilufern erkennbare Bruthöhlen (vgl. Abbildung 21). Der Eisvogel gehört nach BARTSCHV zu den streng geschützten Arten.



Abbildung 21: links: Biberbiss bei km 77.80, rechts: Bruthöhlen in lehmigem Steilufer bei km 77.60 (eigene Aufnahmen März und April 2015)

Die fortschreitende Erosion und hydraulische Belastung infolge Schifffahrt machen eine Besiedelung der Böschung kurz oberhalb des hydrostatischen Staus (Wasserwechselzone bzw. amphibischer Bereich) für Pflanzen höherer Art schwierig. Deshalb sind diese Bereiche mit starker Landbewegung und steiler Exposition nach Nordwest bis Nordost häufig vegetationslos. Nur Pionierpflanzen wie Moose, einzelne Gräser und Kräuter können sich hier zeitweise ansiedeln (vgl. Abbildung 22).



Abbildung 22: Pionierpflanzen in Erosionsbereichen; links: km 77.60, rechts: km 78.93 (BfG September 2006)

#### 5.5.4 Ergebnisse pflanzensoziologischer Untersuchungen

Insgesamt wurden vier Flächen pflanzensoziologisch durch die BfG Koblenz dokumentiert. Drei der vier Flächen weisen 25 m<sup>2</sup> auf und wurden zu den Zeitpunkten Juni 1998, Juni 1999 und September 2002 begutachtet. Fläche Nr. 4 erstreckt sich 25 m entlang der Uferböschung und ist bei den letzten beiden Terminen mit erfasst worden. Die Untersuchungsflächen Nr. 1 bis 4 erstrecken sich von Neckar-km 78.90 bis ca. 79.10 (zur Lage der Flächen s. Lageplan, Anlage 2). Die Erfassung der Artmächtigkeit erfolgte gemäß der Skala nach Braun-Blanquet bspw. zu finden in WILMANN (1998).

Auf Fläche Nr. 1 stehen Gräser und Kräuter mit einem Gesamtdeckungsgrad von ca. 80 %. Die maximale Artenanzahl beträgt zum Untersuchungszeitpunkt 1999 nach Mahd 18 Arten auf 25 m<sup>2</sup>. Unter den Gräsern dominiert nach Individuenzahl Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*), welches am Standort in kleinen Flecken oder Polstern wächst. Deutsches Weidelgras ist Stickstoff- und Frischezeiger (Stickstoffzahl 7, Feuchtezahl 5 nach ELLENBERG (1992)). Häufig wächst es in Tritt- und Weidenrasen, was auf eine hohe Resistenz schließen lässt. Es zeigt menschliche Einflussnahme an (mesohemerob bis alpha-euhemerob nach FLORAWEB.DE 2015). Höchste Individuenzahl unter den Kräutern weisen Gewöhnlicher Gundermann (*Glechoma hederacea*) und die Wiesen-Kuhblume (ugs. Löwenzahn) (*Taraxacum officinale*) auf. Beide zeigen ebenfalls frische bis nasse und stickstoffreiche Standorte an

(Stickstoffzahl 7 nach ELLENBERG (1992)). Die Artenvielfalt 2002 nimmt gegenüber 1999 um ca. 30 % ab.

Auf Fläche Nr. 2 stehen Gräser und Kräuter mit einem Gesamtdeckungsgrad analog der Fläche Nr. 1 an. Die maximale Artenanzahl beträgt 1999 nach teilweiser Mahd 21 Arten auf 25 m<sup>2</sup>. Unter den Gräsern dominiert nach Individuenzahl der zu den Futtergräsern gehörende Wiesen-Schwingel (*Festuca pratensis*), welcher am Standort in kleinen Gruppen oder horstweise wächst. Wiesen-Schwingel (*Festuca pratensis*) ist Frische- bis Nässezeiger (Feuchtezahl 6 nach ELLENBERG (1992)). Seine Stickstoffzahl nach ELLENBERG (1992) beträgt 6 (mäßiger bis Stickstoffreichtum zeigend). Höchste Individuenzahl unter den Kräutern weist wieder die Wiesen-Kuhblume (*Taraxacum officinale*) auf. Die Artenvielfalt 2002 sinkt gegenüber 1999 um ca. 50 %.

Auf Fläche Nr. 3 stehen Gräser und Kräuter mit einem Gesamtdeckungsgrad analog der Flächen Nr. 1 und 2 an. Die maximale Artenanzahl beträgt 1999 nach Mahd 22 Arten auf 25 m<sup>2</sup>. Unter den Gräsern dominiert nach Individuenzahl der Wiesen-Fuchsschwanz (*Alopecurus pratensis*), welcher am Standort in kleinen Flecken oder Polstern wächst. Er ist Frische- bis Nässezeiger (Feuchtezahl 6 nach ELLENBERG (1992)). Seine Stickstoffzahl nach ELLENBERG (1992) beträgt 7 (Stickstoffreichtum zeigend). Höchste Individuenzahl unter den Kräutern weisen Wiesen-Kuhblume (*Taraxacum officinale*), Wiesen-Labkraut (*Galium mollugo*), Gewöhnlicher Gundermann (*Glechoma hederacea*) und Kriechender Hahnenfuß (*Ranunculus repens*) auf. Wiesen-Labkraut (*Galium mollugo*) und Kriechender Hahnenfuß (*Ranunculus repens*) sind beide Kräuter der Feuchtwiesen, Frischwiesen und Frischweiden (FLORAWEB.DE 2015). Die Artenvielfalt nimmt 2002 gegenüber 1999 um ca. 40 % ab.

Auf Fläche Nr. 4 stehen Gräser und Kräuter mit einem Gesamtdeckungsgrad analog der Flächen Nr. 1, 2 und 3 an. 1999 können 5 Arten in der Strauchschicht, 4 Grasarten und 23 Kräuterarten ausgemacht werden. Auf 37,5 m<sup>2</sup> existieren somit 32 verschiedene Arten. Über den Entwicklungsverlauf des Ufers tritt die Gewöhnliche Esche (*Fraxinus excelsior*) hinzu. Unter den Sträuchern dominiert die Bruchweide (*Salix fragilis*) mit einem Deckungsgrad von ca. 20 %. Die Gräser der Untersuchungsfläche Nr. 4 werden durch die Kriech-Quecke (*Agropyron repens*), die Kräuter durch die Große Brennnessel (*Urtica dioica*) angeführt. Beide sind Stickstoffzeiger und Pionierpflanzen. Die Große Brennnessel (*Urtica dioica*) ist sogar Verschmutzungszeiger, d. h. sie dominiert an Standorten übermäßigem Stickstoffreichtums (Zeigerwert 9 nach ELLENBERG (1992)). Die Artenvielfalt 2002 sinkt gegenüber 1999 um ca. 35 %.

Den dominanten Gras- und Krautarten der Untersuchungsflächen Nr. 1 bis 4 ist gemein, dass sie Stickstoff- und Frische- bis Feuchtzeiger sind. Zumeist sind es Gras- und Krautarten der Kriech- und Trittrasen. Bei den Flächen Nr. 1 bis 3 ist 1999 gegenüber 1998 ein Artenzuwachs erkennbar. Jedoch ist an allen 4 Untersuchungsflächen ein Rückgang der Artenvielfalt zu sehen.

falt 2002 gegenüber 1999 festzustellen. Auf den Flächen Nr. 1 bis 3 mag dies der regelmäßigen Mahd verschuldet sein. Auf Fläche Nr. 4 kann dies im Uferbereich am Aufkommen der Gewöhnlichen Esche (*Fraxinus excelsior*) liegen, welche manche Arten in Konkurrenzsituation durch ihr rasches Wachstum verdrängt (Beschattung). Beide Gründe sind unabhängig einer Bewertung der Einstellung der Uferunterhaltung.

Grundsätzlich zeigen die vorkommenden Arten einen gewissen Grad menschlicher Beeinflussung an (mindestens mesohemerob). Bei den Ergebnissen der pflanzensoziologischen Untersuchung ist zu beachten, dass der Betrachtungszeitraum der zur Verfügung stehenden Daten von 4 Jahren (1998 bis 2002) sehr kurz ist um eindeutige Entwicklungsabhängigkeiten zu erkennen.

### 5.5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die am Uferabschnitt kartierten Gehölze sind als standortgerecht zu bezeichnen. Fragen wirft hierbei allerdings die Registrierung der Großblättrigen Weide (*Salix appendiculata*) auf (s. Kapitel 5.5.2). Die zahlreichsten Arten unter den Gehölzen sind Bruchweide (*Salix fragilis*), Korbweide (*Salix viminalis*), Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) und Gewöhnliche Esche (*Fraxinus excelsior*). Bruchweide (*Salix fragilis*) und Gewöhnliche Esche (*Fraxinus excelsior*) konnten während des Beobachtungszeitraumes zahlreiche Neubestände ausbilden.

Der Gehölzbestand folgt dem Gewässerverlauf i. d. R. als einreihige Galerie. Bei der Begehung festgestellte Rückschnitte (Sicherheit und Leichtigkeit des Schifffahrtverkehrs) deuten auf eine gelenkte Sukzession hin. Eine deutlich abgegrenzte Vertikalzonierung liegt nicht vor.

Das umliegende Landschaftsbild kann als ausgeräumt bezeichnet werden. Die intensive Flächennutzung (Wirtschaftswiesen und ackerbauliche Nutzung) im Hinterland deutet auf erhöhte Stoffeinträge hin. Das regelmäßige und dominante Vorkommen sog. Stickstoffzeiger unter den Gras- und Krautarten ist ein weiterer Hinweis hierfür. Die Nutzung reicht größtenteils sehr dicht an das Gewässer heran, teilweise bis zur Böschungsoberkante. Ein tatsächlicher Gewässerrandstreifen besteht somit an vielen Abschnitten nicht.

Die pflanzensoziologischen Untersuchungen der Wiesenflächen entlang des Uferabschnittes deuten auf eine Artenverarmung hin. Im Beobachtungszeitraum 1998 bis 2002 nimmt die Artenanzahl um ca. 40 % im Mittel ab. Zumeist setzen sich Gras- und Krautarten der Kriech- und Trittrasen durch. Gründe hierfür sind vermutlich die regelmäßige Mahd und Düngung der Flächen. Eine landwirtschaftliche Nutzung führt grundsätzlich zu einer Verarmung der Artenvielfalt. Eine Bewertung ist aber unabhängig der Einstellung einer Uferunterhaltung zu treffen. Die Zeigerwerte der dominanten Pflanzen deuten auf einen mäßig bis stickstoffreichen Standort hin (Zeigerwert im Mittel 6 nach ELLENBERG et al. (1992)). Sie sind durchweg Frische- und Feuchtzeiger.

Die Artenvielfalt unter den Gehölzen nimmt nur begrenzt zu. Vier Arten können entgegen des Ausgangskartierungszustandes neu registriert werden. Aufgrund der schwierigen Lebensbedingungen für Wasserpflanzen, Röhrichte und Pflanzen im Wasserwechselbereich an Binnenschiffahrtsstraßen ist eine Zunahme um insgesamt sieben Arten im Beobachtungszeitraum 1998 bis 2008 bemerkenswert. Verantwortlich sind hierfür die sich durch Erosion bildenden Flachwasserzonen. Diese sieben Arten sind durchweg Besiedler nährstoffreicher Gewässer. Die Problemneophyten sind mit Topinambur (*Helianthus tuberosus*), Indisches Springkraut (*Impatiens glandulifera*), Kanadische Goldrute (*Solidago canadensis*) und Riesen-Bärenklau (*Heracleum mantegazzianum*) am Uferabschnitt vertreten. Positiv hervorzuheben aus artenschutzrechtlicher Sicht sind die Ansiedlung des Bibers (*Castor fiber*), der Uferschwalbe (*Riparia riparia*) und Sichtung des Eisvogels (*Alcedo atthis*) während der Be-  
reisung am 27.03.2015.

## 5.6 Entwicklung der Gewässermorphologie

Mit der Untersuchung der gewässermorphologischen Entwicklung sollen die Uferveränderungen seit 1996 quantifiziert werden. Zudem sollen drei Querprofile ausgewählt werden, für die ein Entwicklungsverlauf aufgezeigt und analysiert wird. Unter Kapitel 5.7 erfolgt dann für diese Querprofile eine Bemessung der theoretisch erforderlichen Böschungs- und Sohlensicherung, um unter anderem zu klären, ob das ursprünglich eingebaute Deckwerk (Steinmatte) ausreichend dimensioniert war, welche Randbedingungen vorliegen und welche technische bzw. technisch-biologische Ufersicherung am Uferabschnitt heute ausführbar wäre.

Von besonderem Interesse sind hierfür zwei Querprofile mit den größten Veränderungen. Aufgrund des Streckenverlaufs (Kurve, gerade Strecke) und der differierenden Flussgeometrie (Abstand der Fahrrinne zum Ufer, Wasserspiegelbreite, etc.) liegt idealerweise ein Querprofil unterstromig und ein Querprofil oberstromig. Das dritte wird als Referenzprofil, welches die geringsten Veränderungen über den zeitlichen Verlauf aufweist, ausgewählt und liegt idealerweise im mittigen Bereich (gerader Streckenverlauf) des Ufers („Nullprofil“).

Seit 1996 werden entlang des Uferabschnitts bis auf wenige Ausnahmen jährlich (vgl. Tabelle 2) Querprofile des linken Ufers von km 77.25 bis km 80.00 (Schrittweite von 50 m) mit Landanschluss eingemessen. Im Unterwasserbereich wird in einem Punktabstand von ca. 2,0 m gepeilt. Im Landbereich weicht man von dem festen Messabstand ab und legt die Messpunkte an markante Geländeänderungspunkte. Der Sachbereich 3 des WSA Heidelberg wurde beauftragt, den tatsächlichen Geländeverlauf zu erfassen. Das bedeutet, dass durch die geschädigten Drahtmatten hindurch, ohne Berücksichtigung aufstehenden Drahtes, gemessen worden ist (s. Beschreibung des Messvorgangs v. 30.03.2015).

Auf diese Weise sind umfassende Daten entstanden. Hieraus ergeben sich Hinweise auf Anlandungen und Erosionen. Jedoch stellen die Querprofile die tatsächliche Entwicklung des



Ufers nur punktuell dar, da eine Einmessung entlang der Uferstrecke in festen Abständen (Schrittweite) erfolgt und somit in den Zwischenräumen die Möglichkeit besteht, dass tiefgreifendere Uferveränderungen undokumentiert bleiben. Aus diesem Grund und zur Minimierung des Vermessungsaufwandes wurde im Jahre 2013 durch den Sachbereich 3 des WSA Heidelberg in Abstimmung mit dem Sachbereich 2 vereinbart, die Messabstände der Querprofile in Längsrichtung ab 2015 auf 100 m zu erhöhen und dafür jährlich im Winter (Laubfreiheit) das Ufer im Längsprofil mittels GPS-Messung zusätzlich zur Fortführung der Querprofile einzumessen (Uferlinie 2013, Anlage 2). Die nächste Messung erfolgt allerdings erst Ende 2015, sodass zum Zeitpunkt der Erstellung vorliegender Arbeit keine weitere Einmessung der Uferlinie vorliegt (TN Nr. 1 v. 11.03.2015). Eine Auswertung der Uferlinienveränderung mittels Karten oder Luftbilder erscheint unzureichend.

Aus genannten Gründen und zur Begrenzung der auszuwertenden Datenmenge werden mittels der Vermessungssoftware Timpan die Koordinaten (Hoch- und Rechtswerte) der Querprofile 1996 und 2013 ausgelesen. Durch Differenzbildung der Hochwerte (Z-Werte) 1996 und 2013 und Addieren zum einen aller positiven (Erosion) sowie zum anderen aller negativen Werte (Anlandung) lassen sich verschiedene Aussagen, bspw. über die Querprofile mit den größten oder geringsten Uferveränderungen bei Korrelation der Positiv- bzw. Negativsummen mit der Anzahl der Positiv- bzw. Negativwerte machen.

Da die Rechtswerte der Vergleichsjahre nicht übereinander liegen, ist es notwendig, mittels der Software Diadem vor Differenzbildung eine lineare Interpolation der Querprofile durchzuführen. Die lineare Interpolation erfolgt durch äquidistante Einteilung entlang der Querprofile in Abschnitte der Länge 30 cm.

Die Querprofile werden folgend für den rechnerischen Vergleich je nach Fragestellung auf eine einheitliche Breite „zugeschnitten“, bspw. von Rechtswert -6,00 m bis +6,90 m. Der Rechtswert definiert den Abstand zum Hektometerstein (Vermessungsfixpunkt eines jeweiligen Querprofils). Positive Rechtswerte liegen vom Fixpunkt in Richtung Wasser, negative Rechtswerte liegen in Richtung Hinterland. Die Ergebnisse der Berechnung finden sich in Anlage 3.

Von einer aufwendigen Flächenberechnung wurde abgesehen, da der Entwicklungsverlauf mit angeführter Methodik unter oben angeführten Schwierigkeiten aus Sicht des Verfassers hinreichend genau untersucht werden kann. Für 1996 stehen nicht an allen im Jahr 2013 eingemessenen Stationen Querprofile zur Verfügung. Hier werden zum Vergleich die Ausgangsprofile 1998 herangezogen. Dies betrifft die km 78.825, 78.875, 78.925, 78.975, 79.025, 79.074, 79.118 und 79.175.

### 5.6.1 Uferverlauf

Die Böschungsneigungen der Querprofile nach Einbau der Steinmatten in den 1960er Jahren betrugen ca. 1:2 (vgl. Kapitel 5.4.2). 2013 wechseln die Böschungsneigungen im Streckenverlauf km 76.25 bis 80.45, von Unterspülungen und Steilkanten mit Ausbildung von Flachwasserzonen bis zu nahezu noch vorhandenen, ursprünglichen Böschungsneigungen von 1:1,5 bzw. 1:2. Kleinräumige Abwechslungen im Uferverlauf sind kaum vorhanden. Vielmehr auffällig sind die langgezogenen Streckenabschnitte mit ähnlichen Böschungsneigungen und Schadensbildern (unterstromig – gerader Streckenabschnitt – oberstromig). In Bereichen, in denen die ursprüngliche Böschungsneigung noch erhalten ist, gewährleisten Steinmattenreste oberhalb MW noch eine Ufersicherung und verhindern hier meist in Verbindung mit dichter Vegetation eine Abflachung oder Abbrüche. Zwischen Baumbeständen mit entsprechendem Abstand ist häufig die Ausbildung großer Kolke zu beobachten, die aufgrund lokaler Verwirbelungen jeweils stromabwärts hinter den Wurzelstöcken entstehen (Begehungsprotokoll v. 10.03.2015, Anlage 2).

Positiv hervorzuheben sind die erkennbaren und sich durch Erosion und Böschungsabflachung bildenden Flachwasserbereiche über weite Teile der Strecke mit stellenweise ins Gewässer hineinreichenden Baumbeständen (Fischunterstand, Substrat). Grundsätzlich sind die Böschungen oberhalb MW bis zur Böschungsoberkante sehr steil. An einigen Stellen haben sich Steilkanten mit Unterspülungen gebildet. Zugangsmöglichkeiten über das Ufer ans Wasser sind daher kaum vorhanden.

Entlang des gesamten Streckenverlaufs sind vereinzelt Totholzstrukturen (sechs bis acht Einzelbestände) vorhanden. Im Verlauf der Ufererosion scheinen auch vereinzelt Baumbestände inkl. Wurzelwerk vollständig abgeschwemmt worden zu sein.

Aus den insgesamt zur Verfügung stehenden 63 Stationen (63 Profile je Messzeitpunkt) entlang der Uferstrecke ist auffällig erkennbar, dass von km 78.925 bis 79.55 ab dem Hektometerstein wasserseitig durchgängig Erosion stattfindet (Ausnahme km 79.35, Erosion ab Rechtswert +0,9 m). Im Abschnitt km 77.25 bis 78.925 erfolgt stets Anlandung im Hinterland bis zum Hektometerstein.

Abbildung 23 zeigt aufsummiert die **Anzahl** der positiven Differenzwerte je Station für die Betrachtungsbreite -6,00 m bis +6,90 m. Hierüber lässt sich aufgrund äquidistanter Einteilung eine Aussage über die **Erosion in Richtung Hinterland und damit Eigentumsgrenze** treffen (s. vor). Die **Summenbildung der Positivwerte** gibt hinreichend Rückschluss über die **Erosionsmenge**.

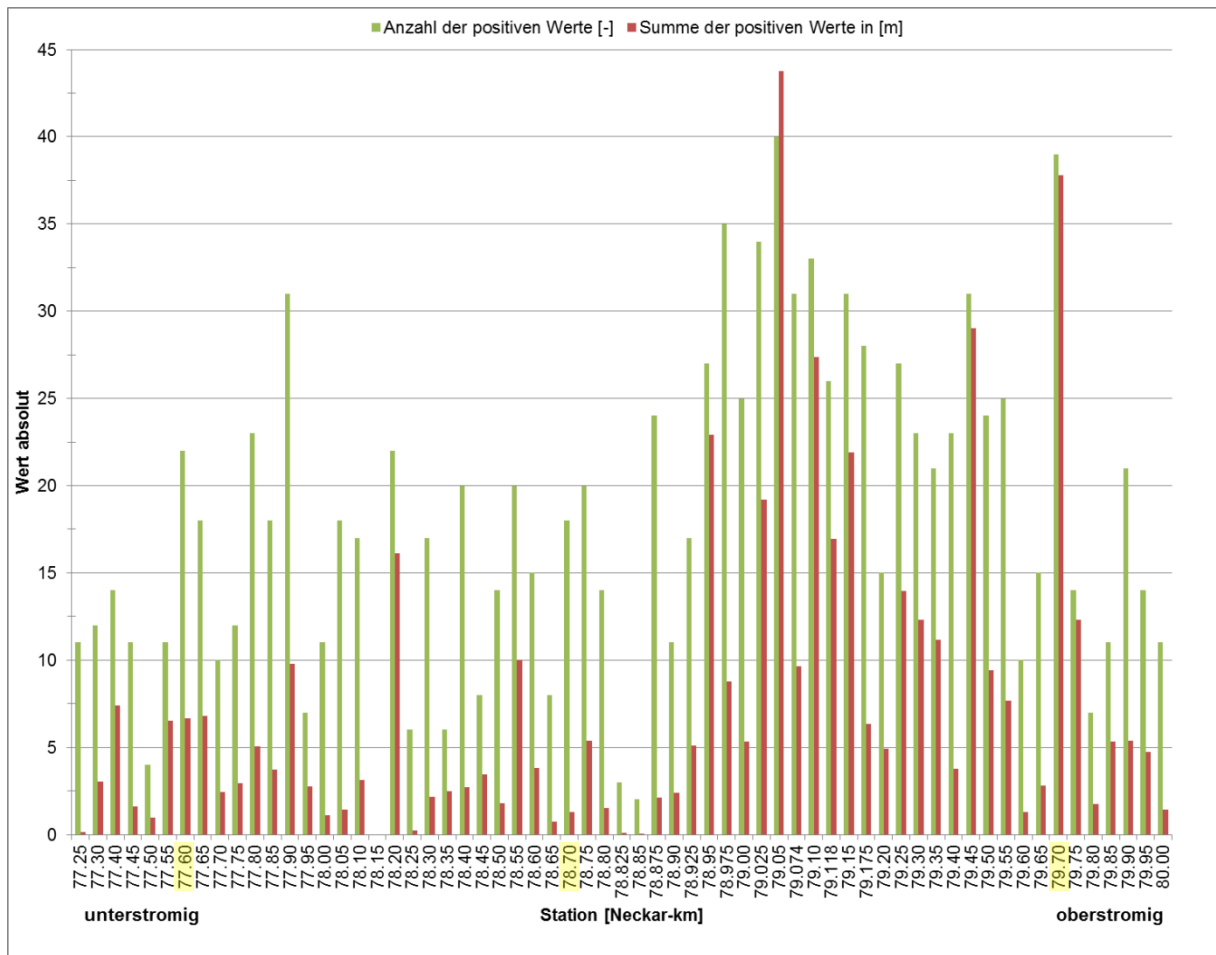


Abbildung 23: Anzahl und Summe der positiven Differenzwerte (Erosion, Bezugsjahr – 2013) je Station für Betrachtungsbreite -6,00 m bis +6,90 m; hervorgehoben sind die drei ausgewählten Bemessungsprofile

Dem Schaubildverlauf, insbesondere der Uferbewegung in Richtung Hinterland (Anzahl), liegt eine wellenförmige Entwicklung über den Streckenverlauf zu Grunde. Deutlich zu erkennen ist die Zunahme der Erosionsmengen stromaufwärts ab km 78.925 mit hervortretenden Spitzenwerten bei km 79.05, 79.45 und 79.70. Bei km 79.05 liegt der Maximalwert der Erosion vor. Unterstromig findet sich die maximale Erosion als Kombination aus Anzahl und Summe der Positivwerte bei km 77.60. Bei km 78.15, 78.825 und 78.85 findet kaum Erosion statt.

Bedeutend fortschreitende Erosion über den Hektometerstein hinaus in Richtung Hinterland und damit in Richtung Eigentumsgrenze der WSV herrscht an den folgenden Profilen vor: km 78.95, 78.975, 79.05, 79.10 bis 79.25, 79.45 bis 79.55 und 79.70.

Bei ca. 37 % aller Stationen liegt eine Erosion bereits spätestens ab dem Hektometerstein vor. Ca. 50 % der Stationen erodieren wasserseitig 90 cm vor dem Hektometerstein und ca.



75 % wasserseitig 3,30 m vor dem Hektometerstein. 10 % der ausgewerteten Station weisen schon eine Erosion ab Rechtswert -2,70 m auf.

Die Auflandung im Hinterland erreicht Maximalwerte an den Stationen km 78.90, 79.20 und 79.80 mit mittleren Anlandungen 1996 bis 2013 von bis zu 26 cm/lfm. Dies deckt sich auch mit der zweiten Begutachtung (s. Bereisungsprotokoll v. 27.03.2015, Anlage 2). Bei km 78.70 wurde eine Überdeckung auf der waagrecht verlegten Steinmatte (horizontaler Landanschluss, vgl. Abbildung 5) von ca. 80 cm festgestellt.

Durch Abgleich der Rechenergebnisse mit Hinweisen aus Sitzungsprotokollen, Fotodokumentationen, vorliegenden Erosionsberechnungen (HN-Modell Neckar Nr. 2, Anlage 2), aktueller Begehung (Begehungsprotokoll v. 10.03.2015, Anlage 2) und weiterer visueller Auswertung in Frage kommender Querprofile werden signifikante Profile ausgewählt. Die visuelle Verifizierung der gerechneten Werte erfolgt wiederum mittels der Vermessungssoftware Timpan. Entscheidend ist hierbei abschließend, dass **vollständige Flussquerprofile nur an den Hektometern** zur Verfügung stehen. Als maßgebende drei Profile werden aus genannten Gründen ausgewählt:

- km 77.60
- km 78.70
- km 79.70.

Die Lage der drei ausgewählten, bemessungsrelevanten Querprofile zeigt Abbildung 24.

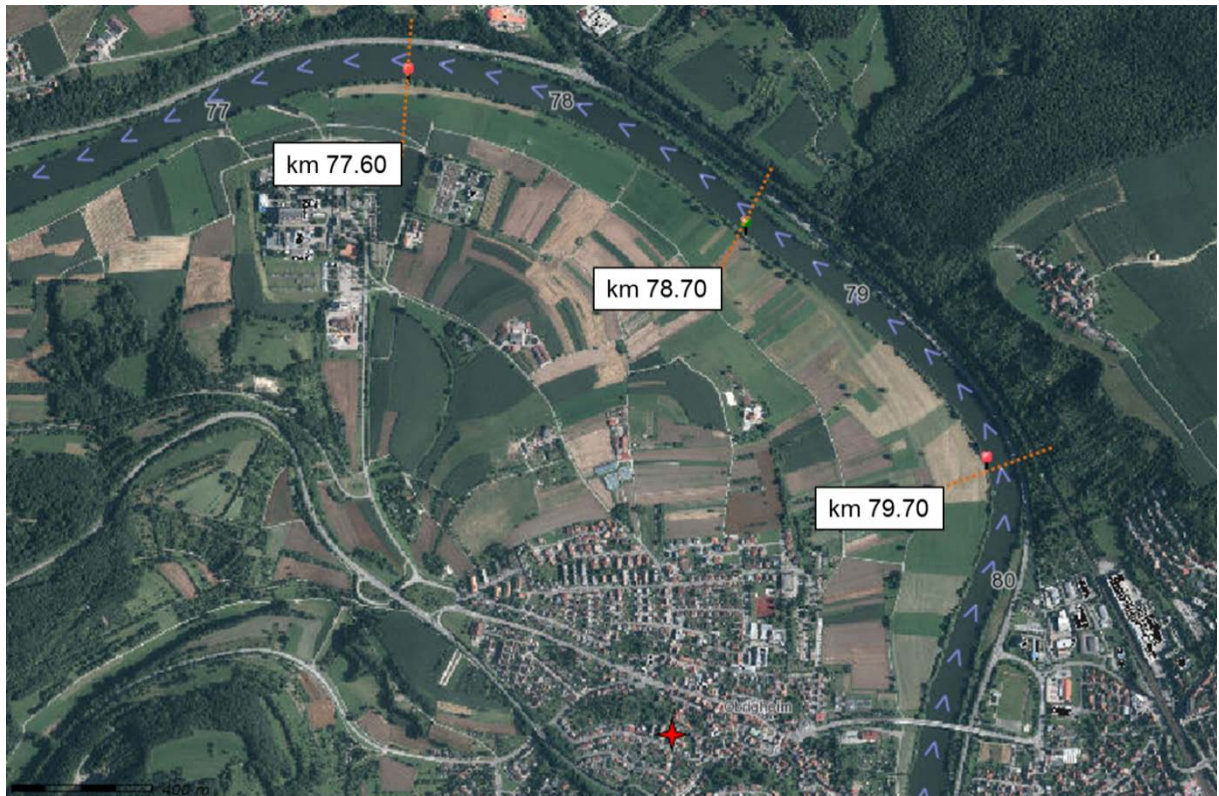


Abbildung 24: Lage der ausgewählten Querprofile (GEOVIEWER DER WSV 2015)

Den Entwicklungsverlauf sowie die vollständigen Querprofile für die drei ausgewählten, maßgebenden Querprofile veranschaulicht Anlage 4. Darin ebenso mit aufgenommen ist der Entwicklungsverlauf des Querprofils km 79.05. Zur weiteren Auswertung werden die Deltas der Rechtswerte von Jahr zu Jahr in angenommener Fixhöhe 133,33 m ü. NN (+30 cm über hydrostatischem Stau) je maßgebendem Querprofil berechnet und anschließend aufsummiert (Abbildung 25). Eine positive Steigung bedeutet Erosion, eine negative Anlandung. Die angenommene Fixhöhe liegt auf Höhe des über den Streckenverlauf gemittelten MW (vgl. Fragebogen zu Versuchsstrecke vom 30.04.2004, Anlage 2). Wasserspiegelbreiten, Fahrrinnenbreiten und Abstände der Fahrrinne zum linken Ufer jeweils bei hydrostatischem Stau sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

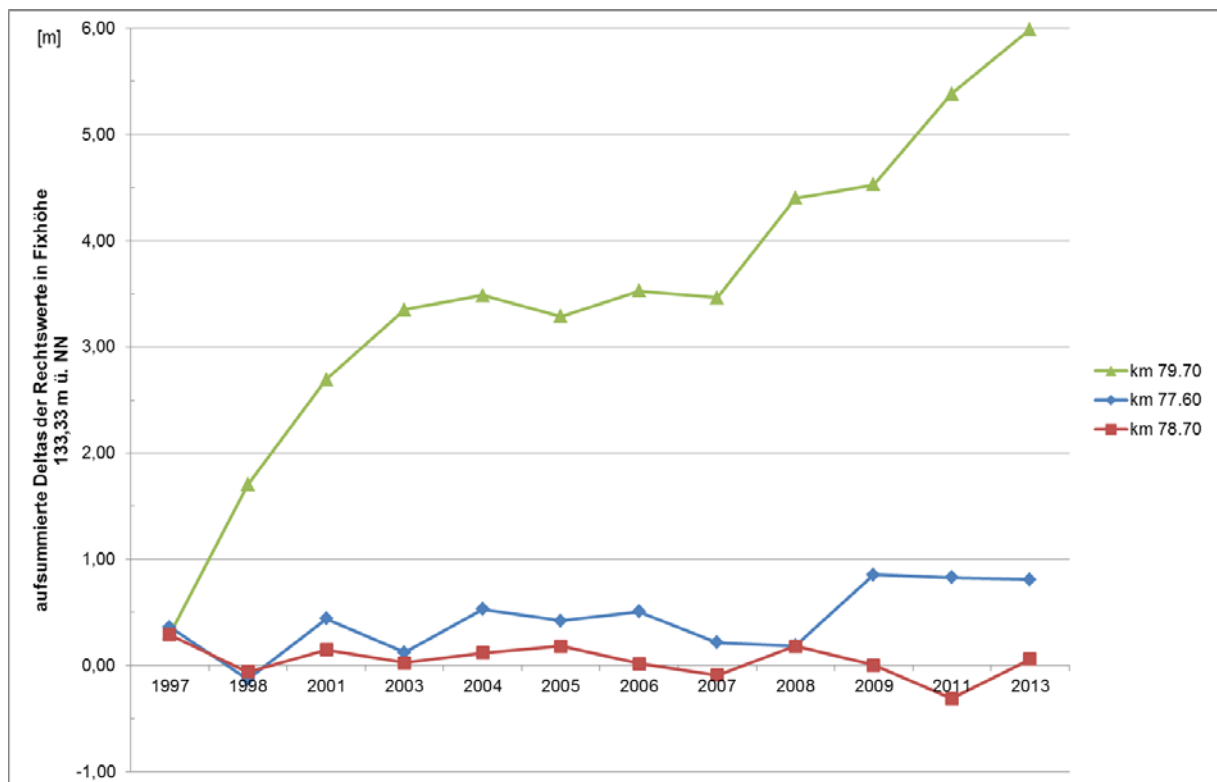


Abbildung 25: Aufsummierte Deltas der Rechtswerte in Fixhöhe 133,33 m ü. NN gegenüber 1996; differierende Zeiträume zwischen den Messzeitpunkten müssen bei Interpretation beachtet werden

Tabelle 8: Wasserspiegelbreiten, Fahrrinnenbreiten und Abstände der Fahrrinne zum linken Ufer der maßgebenden Bemessungsprofile; jeweils bei hydrostatischem Stau (133,03 m ü. NN)

| Station [Neckar-km]                       | km 77.60 | km 78.70 | km 79.70 |
|-------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Wasserspiegelbreite [m]                   | 101,7    | 88,0     | 84,1     |
| Fahrrinnenbreite [m]                      | 45,0     | 45,0     | 52,0     |
| Abstand der Fahrrinne zum linken Ufer [m] | 32,1     | 29,6     | 21,7     |

## 5.6.2 Km 77.60

Einen Eindruck über den aktuellen Zustand gibt Abbildung 26.



Abbildung 26: Aktueller Uferzustand km 77.60 (eigene Aufnahme März 2015)

Km 77.60 liegt im betrachteten Streckenverlauf unterstromig (Abbildung 24). Im Anschluss, von km 77.40 bis ca. km 77.00, obliegt die Unterhaltung dem Kernkraftwerksbetreiber. Das Querprofil befindet sich in einer leichten Linkskurve (Gleithang, Radius = 1.110 m). Die Fahrrinne weicht an dieser Stelle bereits weiter vom linken Ufer ab. Der Abstand vom linken Ufer beträgt 32,10 m. Die Fahrrinnenbreite liegt hier bei 45 m. Drahtmattenreste sind über MW noch deutlich zu erkennen, eine Ufersicherung ist hier jedoch nicht mehr gegeben. Die Station liegt kurz hinter einem Einzelbaumbestand (Abbildung 26), was auf lokale Verwirbelungen direkt hinter dem Wurzelstock schließen lässt.

Insgesamt hat eine Ufererosion (Rechtswert) in Höhe 133,33 m ü. NN 1996 bis 2013 von ca. 80 cm stattgefunden. Verglichen mit den Erosionsereignissen um km 79.00 ist diese als mittelgroß entlang der Untersuchungsstrecke einzustufen. 08/2008 – 07/2009 ist der Zeitraum mit der stärksten Erosion. Ein direkter Zusammenhang zwischen HW-Ereignis und Uferverformung lässt sich an dieser Station nicht ableiten (im Zeitraum wird der HSW lediglich fünfmal überschritten). An Station 77.60 liegen die größte Wasserspiegelbreite, der weiteste Abstand der Fahrrinne vom Ufer und die größte mittlere Wassertiefe im Bereich des Schiffspfades vor, was zu einer geringeren Belastung aus Schifffahrt und zum anderen geringere natürliche Strömungsgeschwindigkeiten als an den Querprofilen km 78.70 und 79.70 bedingt.



### 5.6.3 Km 78.70

Einen Eindruck über den aktuellen Zustand gibt Abbildung 27.



Abbildung 27: Aktueller Uferzustand km 78.70 (eigene Aufnahme März 2015)

Km 78.80 ist als „Nullprofil“ gewählt worden. Hier haben über den Betrachtungszeitraum kaum Veränderungen stattgefunden. Die Böschungsneigung über hydrostatischem Stau entspricht nahezu der Sollböschungsneigung von 1:2. Unter Wasser beträgt die Böschungsneigung im aktuellen Zustand ca. 1:3. Das Profil liegt fast mittig auf der Geraden des Streckenverlaufs (Abbildung 24). Die Fahrrinne nimmt in diesem Streckenabschnitt eine Entfernung zum linken Ufern von 29,6 m ein. Der noch oberhalb MW im Boden eingebundene Steinmattenrest ist zu erahnen (vgl. auch Tabelle 3).

### 5.6.4 Km 79.70

Laut Berechnungen kann für das Querprofil km 79.05 im Streckenverlauf km 77.25 bis 80.00 seit 1996 die insgesamt größte, für das Profil km 79.70 die zweitgrößte Erosion festgestellt werden. Letzteres wird für die weitere Untersuchung ausgewählt, da hier ein vollständiges Flussquerprofil vorliegt.

Einen Eindruck über den aktuellen Zustand gibt Abbildung 28.



Abbildung 28: Aktueller Uferzustand km 79.70 (eigene Aufnahme März 2015)

Bei km 79.70 reicht die Erosion 2013 bis ca. Rechtswert -4,50 m. Das entspricht einem Ufer-rückschritt von ca. 6,0 m seit 1996 in Richtung Hinterland. Die stärksten Erosionen sind in den folgenden Zeiträumen aufgetreten:

- 08/1997 – 07/1998 (kein registriertes HW-Ereignis)
- 08/1998 – 04/2001 (zwei HQ<sub>5</sub>-, sechs ÜS- und fünf HSW-Ereignisse)
- 08/2007 – 07/2008 (ein ÜS-, und drei HSW-Ereignisse)

Ein direkter Zusammenhang zwischen HW-Ereignis und Uferverformung lässt sich auch hier nicht sicher ableiten.

Die Station liegt oberstromig (Abbildung 24) des betrachteten Streckenabschnittes nahezu mittig im Scheitel einer Linkskurve (Gleithang, Radius = 500 m). Die Fahrrinne ist 7,0 m breiter als an den Stationen km 77.60 und km 78.70 (Kurvenfahrt). Wasserspiegelbreite und Abstand zum linken Ufer sind am geringsten. Von den drei maßgebenden Querprofilen sind hier die größten Belastungen aus Schifffahrt und natürlicher Strömung zu erwarten. Die ehemalige Ufersicherung ist nicht mehr nachweisbar. Baumbestände sind nicht vorhanden.

Zusammenfassend wird festgehalten, dass die unstete Entwicklung der Erosionen und Anlandungen von Jahr zu Jahr ohne direkt feststellbaren Zusammenhang mit HW-Ereignissen ist und eine Aussage über die weitere Entwicklung des Uferverlaufs nur schwierig zulässt. Ein Abgleich mit der Schifffahrtsentwicklung entlang des Streckenabschnittes (Abbildung 11) führt ebenfalls dazu, dass kein alleiniger Zusammenhang zwischen Erosionsfortschritt und Schifffahrtsentwicklung an den drei untersuchten Querprofilen festgestellt werden kann. Lediglich die Entwicklung der Profile km 77.60 und 79.70 von 2008 auf 2009 deutet auf eine derartige Korrelation hin, da in diesem Zeitraum auch eine deutliche Zunahme sowohl des Güterschiffsverkehrs als auch der Freizeitschifffahrt stattgefunden hat.

Die Stationen km 77.60 und km 79.70 liegen an einem Gleithang, allerdings mit unterschiedlichen Kurvenradien. Km 79.70 befindet sich in einer Linkskurve mit deutlich geringerem Radius. Km 78.70 mit den vergleichsweise geringsten Erosionserscheinungen liegt auf der Streckengeraden. Ein Rückschluss auf die Uferveränderung in alleiniger Abhängigkeit der Lage im Streckenverlauf ist demnach ebenso nicht möglich.

Aus der Untersuchung der Entwicklung der Gewässermorphologie wird ersichtlich, dass keine Erosionsursachen mit deutlicher Alleinstellung identifiziert werden können. Die Uferveränderungen scheinen vielmehr auf einem komplexen Zusammenwirken mehrerer Randbedingungen zu basieren. An dieser Stelle heben sich Wasserspiegelbreite, Abstand der Fahrrinne zum linken Ufer sowie Zustand der technischen Ufersicherung und der Vegetation signifikant hervor. Ein Abklingen der Uferveränderung scheint aktuell nicht gegeben. Zur weiteren Bewertung des Einflusses der Randbedingungen und um möglicherweise Aussagen über die weitere Uferveränderungen treffen zu können, erfolgt eine Berechnung der erforderlichen Ufersicherung.

## 5.7 Rechnerisch erforderliche Ufersicherung

Mit Berechnung der erforderlichen Ufersicherung werden Antworten auf folgende Fragestellungen erarbeitet:

- War das alte Deckwerk ausreichend dimensioniert?
- Wie wird sich das Ufer weiterentwickeln, bzw. inwieweit ist durch verbliebene Ufersicherung (anliegende Steingrößen, s. Kapitel 5.4.3) eine Sicherung gewährleistet?
- Wie müsste eine lose Steinschüttung nach heutigen Berechnungsgrundlagen eingebaut werden, um eine Verformung des Ufers auf Dauer zu verhindern?
- Wie könnte eine technisch-biologische Ufersicherung nach DWA-M 519 (2014) am betrachteten Uferabschnitt gestaltet werden?
- War die Gesamtstandsicherheit der Böschung im Einbauzustand der Steinmatte gegeben?

Die Bemessung der rechnerisch erforderlichen Böschungs- und Sohlensicherung erfolgt nach GBB (2010). Mit dem Berechnungsprogramm GBBSOFT wird die **lokale Standsicherheit** der Böschung in Abhängigkeit der aus Schifffahrt und natürlicher Strömung entstehenden Belastungen nachgewiesen. Die lokale Standsicherheit ist die Sicherheit nah an der Deckschicht gegen Abgleiten und hydrodynamische Bodenverlagerung. Die Hydraulik bestimmt hierbei im Wesentlichen die erforderliche Einzelsteingröße und Minstdicke der Deckschicht (Lagestabilität infolge Wellenaufbaus am Ufer). Aus der Geotechnik resultiert die statisch erforderliche Schichtdicke und Einbindetiefe (Fußstützung) des Deckwerks gegen Abgleiten, Abheben und hydrodynamische Bodenverlagerung (GBB 2010) (s. auch Kapitel 5.3.1).

GBBSOft basiert auf der Berechnung von Kanälen mit über die Länge konstanter Geometrie. Diese Bedingung ist im vorliegenden Fall nicht gegeben. Zudem sind die Flussquerprofile nicht symmetrisch (Ausbildung von Gleit- und Prallufer). Daher müssen als angenäherte Berechnungsgrundlage sog. Ersatztrapezprofile erzeugt werden. Hierbei sind die Bedingungen nach GBB (2010, Anhang C) zu beachten. Grundlage sind die vollständigen Flussquerprofile mit Stand 2015 gem. Anlage 4. Andere, bspw. vom Zeitpunkt des Einbauzustands der Steinmatten, stehen nicht zur Verfügung. Eine rechnerisch genaue Deckwerksbemessung ist aus diesen Gründen nicht möglich.

Ein geotechnischer Nachweis der Gesamtstandsicherheit (**globale Standsicherheit**) der Böschung einschl. des Deckwerks und die Bemessung eines Filters wird durch die Berechnungssoftware GBBSOft nicht abgedeckt und muss gesondert erfolgen. Die Gesamtstandsicherheit wird anhand des Profils mit der vergleichsweise größten Uferveränderung (km 79.70) mithilfe der Berechnungssoftware GGU-Stability im Einbauzustand (Steinmatte) berechnet. Die **Bemessung eines Filters** unterhalb der Deckschicht wird vernachlässigt. Soweit erforderlich ist in den entsprechenden Bemessungsfällen jeweils ein Geotextilfilter angenommen, der beim anstehenden Boden (B 4) filterstabil auch ohne rechnerischen Nachweis ausgeführt werden kann.

### 5.7.1 Lokale Standsicherheit

Für die Bemessung der erforderlichen Böschungs- und Sohlensicherung sind die Abflüsse mit zugehörigen Wasserspiegellagen nach Tabelle 9 von Interesse, die durch lineare Interpolation für die drei bemessungsrelevanten Querprofile ermittelt wurden. Zum Abfluss am oberstromigen Wehr Neckarzimmern kommen ab km 80.18 die Abflüsse der Elz hinzu.

Die Abflüsse am Wehr Neckarzimmern für das Ereignis bordvoll am jeweiligen Bemessungsprofil sind mithilfe der Simulationssoftware IKoNE iterativ ermittelt worden. Es stellen sich am Wehr Neckarzimmern aufgrund der Flussgeometrie folgende drei Abflüsse ein:

- Bordvoll km 79.70: 785,0 m<sup>3</sup>/s
- Bordvoll km 78.70: 830,0 m<sup>3</sup>/s
- Bordvoll km 77.60: 1.055,0 m<sup>3</sup>/s

Der Zufluss der Elz ist hierbei jeweils mit 10,0 m<sup>3</sup>/s berücksichtigt. Bis einschl. zum Ereignis HQ<sub>5</sub> ist die Wasserspiegellage am Wehr Guttenbach auf 133,03 m ü. NN fixiert.



Tabelle 9: Bemessungsrelevante Wasserspiegellagen und Abflüsse

|                               | <b>km 85.875</b><br>Pegel<br>UW Neckar-<br>zimmern | <b>km 77.60</b> | <b>km 78.70</b> | <b>km 79.70</b> | <b>Bemes-<br/>sungs-<br/>zustand</b> |
|-------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|
|                               | [m³/s]                                             | [m³/s]          | [m³/s]          | [m³/s]          |                                      |
| <b>Ereignis</b>               | [+m NN]                                            | [+m NN]         | [+m NN]         | [+m NN]         |                                      |
| <b>MQ</b>                     | 135                                                | 136             | 136,1           | 136,1           | 1                                    |
|                               | 133,40                                             | 133,07          | 133,09          | 133,13          |                                      |
| <b>HSQ</b>                    | 456                                                | 461             | 461             | 461             | 2                                    |
|                               | 135,23                                             | 133,55          | 133,78          | 133,99          |                                      |
| <b>bordvoll<sup>(1)</sup></b> | -                                                  | 1.055           | 840             | 795             | 3                                    |
|                               | 136,49 <sup>(2)</sup>                              | 134,69          | 134,61          | 134,91          |                                      |
| <b>HQ<sub>100</sub></b>       | 2.630                                              | 2.650           | 2.650           | 2.650           | 4                                    |
|                               | 140,74                                             | 137,79          | 138,22          | 138,61          |                                      |

<sup>(1)</sup>nicht aus Interpolation; Böschungsoberkanten aus Querprofilen (Stand der Einmessung 2013)

<sup>(2)</sup>rückgerechnet (Interpolation) von Ausgangswasserspiegellage bordvoll bei km 79.70

Die Bemessungszustände MQ (1) und HSQ (2) werden infolge der Überlagerung mit schiffs-induzierten Belastungen mithilfe GBBSOft behandelt. Aus den Wasserspiegellagen ergeben sich die jeweiligen hier genannten Bemessungszustände. Die Wasserspiegellagen bordvoll und HQ<sub>100</sub> sind hinsichtlich der natürlichen Strömung zu betrachten. Diese kann die Belastungen aus Bemessungszuständen 1 und 2 übertreffen.

Der Bemessungszustand 3 ist als Zwischenschritt deshalb zu untersuchen, da beim Bemessungszustand 4 anzunehmen ist, dass das Verhältnis Abfluss/durchströmter Querschnitt kleiner ist als bei Bemessungszustand 3 und somit die Strömungsgeschwindigkeit  $v_{Str}$  (Kontinuitätsgleichung) ebenfalls kleiner wird. Die Ereignisse HQ<sub>200</sub> und HQ<sub>Extrem</sub> werden nicht betrachtet. Sie führen bei einer Bemessung des Deckwerks im Verhältnis zu ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit zu einer unverhältnismäßigen Dimensionierung.

Die ufernahen Strömungsgeschwindigkeiten können den Berechnungen der streifengemittelten Geschwindigkeiten durch das KIT Karlsruhe vom 22.04.2015 (Anlage 2) entnommen werden. Die dort berechneten, zugehörigen Wasserspiegellagen unterscheiden sich marginal von den Angaben durch das WSA Heidelberg bzw. den interpolierten Werten. Die Unterschiede könnten auf Basis verschiedener, den jeweiligen Berechnungen zu Grunde gelegten Flussquerprofilen entstanden sein. Eine abschließende Klärung konnte nicht erfolgen.

Differenzen zwischen den aus den Querprofilen entnommenen Höhen des Zustands bordvoll und den Berechnungen resultieren zum einen aus der Ermittlung der zugehörigen Abflüsse mittels der Simulationssoftware ICoNE (s. vor) zum anderen auf der Verwendung von Querschnittsprofilen (Geländemodellen) unterschiedlicher Aktualität bzw. unterschiedlicher Datenpunktdichte.

Eine Bemessung erfolgt mit Werten nach Tabelle 9. Die Unterschiede sind vernachlässigbar klein (maximale Abweichung 8,0 cm) und für die hier angestellte Betrachtung ist diese Vereinfachung hinreichend genau. In Anlage 8 sind die Strömungsgeschwindigkeiten visuell über die vollständigen Flussquerprofile aufgetragen.

Betrachtet werden je Profil drei Berechnungsfälle:

1. Nachrechnung der ursprünglichen Ufersicherung, d.h. der Steinmatten im Einbauzustand. Dieser Berechnungsfall gibt Aufschluss darüber, ob das alte Deckwerk nach heutigen Berechnungsgrundlagen ausreichend dimensioniert war.
2. Nachrechnung des Istzustands, d.h. bei aktuell vorliegender Böschungsneigung. Hiermit kann unter anderem eine Abschätzung erfolgen, wie sich das Ufer weiterentwickeln wird, bzw. inwieweit die verbliebene Ufersicherung (anliegende Steingrößen, s. Kapitel 5.4.3) eine Böschungssicherung gewährleistet.
3. Berechnung einer losen Steinschüttung, wie sie bei einer Sollböschungsneigung von 1:3 erforderlich wäre, um eine Verformung des Ufers auf Dauer zu verhindern (Sanierung). Die durch GBBSOft gelieferten Werte sind gleichzeitig die Eingabewerte zur Bemessung einer technisch-biologischen Ufersicherung nach DWA-M 519 (2014).

Je o. g. Berechnungsfall werden mithilfe der Berechnungssoftware GBBSOft die hydraulischen Uferbelastungen bei MQ und HSQ errechnet. Die Variation der Eingabeparameter folgt dem Ceteris-paribus-Prinzip. Allen Berechnungsfällen ist gemein, dass sie auf der Grundlage der heute verfügbaren vollständigen Flussquerprofile (Anlage 4) erfolgen. Eine Zusammenstellung der sich unterscheidenden Eingabeparameter der Bemessungsfälle zeigt Tabelle 10. Aus der Kombination Bemessungszustand (1, 2) und Berechnungsfall (1-3) ergibt sich der jeweilige Bemessungsfall (Berechnungsfall.Bemessungszustand).

Tabelle 10: Matrix der Bemessungsfälle des technischen Deckwerks, Eingabeparameter und kurze Beschreibung

|                 |   | Bemessungsfall                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                  |
|-----------------|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|                 |   | Bemessungszustand                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                  |
|                 |   | MQ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | HSQ                                              |
| Berechnungsfall | 1 | <p><b>1.1 Erforderliches Deckwerk für Einbauzustand (Steinmatten)</b></p> <p>Nachrechnung der Steinmatten bei MQ:<br/>Das Berechnungsprogramm bietet keine Steinmatte im eigentlichen Sinn wie ursprünglich eingebaut als Deckwerksart an. Eine Flächenwirkung der durch den Draht zusammengehaltenen Steine kann aber zumindest bei intaktem Drahtwerk angenommen werden. Daher wird die Steinmatte als durchlässiges Deckwerk mit teilvergossener Deckschicht „simuliert“ (vgl. hierzu GBB 2010). Für diesen Lastfall ist lediglich die hydrodynamische Bodenverlagerung maßgebend. Hierbei ist eine Fußstützung nicht relevant. Die Wichte des Vergussstoffes wird an der unteren Grenze mit 11 kN/m<sup>3</sup> (unter Auftrieb 1,0 kN/m<sup>3</sup>), der innere Reibungswinkel <math>\phi'_D</math> mit 70° nach GBB (2010) angesetzt. Das zusätzliche Flächengewicht des Vergussstoffes von 3 kg/m<sup>2</sup> (Vergussmenge 30,0 l/m<sup>2</sup>) fällt somit nicht ins Gewicht. Eingesetztes Steinmaterial kommt der Steinklasse LMB<sub>5/40</sub> mit <math>\rho = 2.650 \text{ kg/m}^3</math> augenscheinlicher Einschätzung nach am nächsten. Der Hohlraumanteil der dicht gepackten Steinmatten im Einbauzustand wird mit 30 % auf der sicheren Seite liegend angenommen.</p> <p>Eingabeparameter:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BN<sub>Soll</sub> 1:2</li> <li>- ohne Fußstützung</li> <li>- ohne Filter</li> </ul> | <p><b>1.2</b></p> <p>wie 1.1, jedoch bei HSQ</p> |
|                 | 2 | <p><b>2.1 Erforderliches Deckwerk für den Istzustand (lose Steinschüttung)</b></p> <p>Nachrechnung bei MQ und aktuell vorliegender Böschungsneigung zum Vergleich mit anliegender Restsicherung des Ufers als durchlässiges Deckwerk aus loser Steinschüttung. Eingesetztes Steinmaterial ist ebenfalls LMB<sub>5/40</sub> mit <math>\rho = 2.650 \text{ kg/m}^3</math>. Der Hohlraumanteil der Steinschüttung im Istzustand wird mit 50 % angenommen.</p> <p>Eingabeparameter:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BN<sub>km 77.60</sub> 1:4</li> <li>- BN<sub>km 78.70</sub> 1:3</li> <li>- BN<sub>km 79.70</sub> 1:6</li> <li>- ohne Fußstützung</li> <li>- ohne Filter</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <p><b>2.2</b></p> <p>wie 2.1, jedoch bei HSQ</p> |

| Bemessungsfall    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Bemessungszustand |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |
|                   | MQ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | HSQ                                           |
|                   | <p><b>3.1 Erforderliches Deckwerk (lose Steinschüttung)</b><br/>Berechnung bei MQ, Sollböschungsneigung 1:3 und durchlässigem Deckwerk aus loser Steinschüttung. Ausgewählt wurde als Fußstützung die Fußeinbindung mit einer maximalen Tiefe von 1,50 m entsprechend den Empfehlungen MAR (2008). Eingesetztes Steinmaterial ist die jeweils mindestens erforderliche Steinklasse mit <math>\rho = 2.650 \text{ kg/m}^3</math>. Ein Hohlraumanteil wird nach Standardvorgabe auf 45 % belassen.</p> <p>Die Erosionsneigung des Bodens am Böschungsfuß wird aufgrund der Ergebnisse der Taucheruntersuchung (Protokoll der Taucheruntersuchung v. 17.04.2015, Anlage 2) als „gering“ angenommen. Dies wirkt sich auf die Bemessung günstig aus. Eine Kolkentiefe am Böschungsfuß wird auf 0,20 m begrenzt. In den Berechnungsfällen 1 und 2 hat die Erosionsneigung des Bodens am Böschungsfuß keinen Einfluss, da ohnehin keine Fußstützung nachgerechnet bzw. angenommen wird.</p> <p>Eingabeparameter:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>BN_{\text{Soll}} 1:3</math></li> <li>- mit Fußstützung</li> <li>- Geotextilfilter</li> </ul> | <p><b>3.2</b><br/>wie 3.1, jedoch bei HSQ</p> |
| 3                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |

Grundsätzlich werden ansonsten die Standardvorgaben der Berechnungssoftware beibehalten. Die Eingabeparameter für den anstehenden Boden ergeben sich aus Tabelle 4. Eine Kohäsion wird, auf der sicheren Seite liegend, nicht angesetzt. Die Bemessungsschiffe ergeben sich aus Tabelle 5. Die Bemessung und Auswertung für das FGKS und das Sportboot erfolgt für die Profile gesondert im Bemessungsfall 3.2, da für diese Fahrzeuge eine zulässige Höchstgeschwindigkeit gegenüber dem Ufer von 18 km/h gem. § 10.04 Nr. 1 b) BinSchStrO gilt. Als Schiffsgeschwindigkeit wird jeweils nach GBB (2010) 97% der kritischen Schiffsgeschwindigkeit ( $v_{\text{krit}}$ ) festgelegt. Die Berechnung wird auf die Nennleistung ( $1,0 \cdot P_{D,\text{Nenn}}$ ) begrenzt. Güterschiffe werden jeweils voll abgeladen und bei Leerfahrt berücksichtigt. Schiffpositionen werden in mittiger Fahrt und Fahrt am linken Fahrrinnenrand (böschungsnaher Fahrt) jeweils in Richtung zu Tal und zu Berg angesetzt. Angaben zur Geometrie und natürlichen Strömungsgeschwindigkeiten sind in Anlage 7 zusammengestellt.

Das Berechnungstool GBBSOFT wird im Entwicklermodus genutzt. Ein Ersatztrapezprofil (ETP) wird nach dem Kombinationsverfahren (Best-fit- und mittlere Wassertiefe) automatisch

generiert und im Nachgang manuell an die Vorgaben nach GBB (2010, Anhang C) gem. Priorisierung angeglichen. Erforderliche Mindestdicken der Deckschicht werden für den Vergleich deaktiviert. Mindestdicken sind erforderlich für die Bildung eines stabilen Gerüsts der Steine untereinander und erfüllen verschiedene Schutzfunktionen der Deckschicht wie Schutz gegen Ankerwurf, Schutz gegen Schiffsanfahrung und Schutz der unter der Deckschicht eingebauten Filter (GBB 2010).

### 5.7.1.1 Ergebnisse der Bemessungsfälle 1.1 und 1.2

Einen Auszug der wichtigsten Ergebnisgrößen zur Nachrechnung der Steinmatte im Einbauzustand zeigt Tabelle 11. Die vollständigen Berechnungsergebnisse sind in Anlage 2 enthalten.

Tabelle 11: Wichtigste Ergebnisgrößen der Bemessungsfälle 1.1 und 1.2; Maximalwerte; Bemessungsschiffe ES und GMS, Nachrechnung der Steinmatte, BN 1:2

| Ergebnisgröße                                                                                   | km 77.60       |                 | km 78.70       |                 | km 79.70       |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
|                                                                                                 | Fall 1.1<br>MQ | Fall 1.2<br>HSQ | Fall 1.1<br>MQ | Fall 1.2<br>HSQ | Fall 1.1<br>MQ | Fall 1.2<br>HSQ |
| erforderliche Einzelsteingröße<br>$D_{50,bem}$ [m]                                              | 0,10           | 0,14            | 0,13           | 0,18            | 0,11           | <b>0,22</b>     |
| Steinklasse $LMB_{5/40}^{(2)}$                                                                  | uKV            | uKV             | uKV            | uKV             | uKV            | <b>n. a.</b>    |
| Schiffsgeschwindigkeit durchs<br>Wasser = 97% $v_{krit}$<br>$v_{sdw}$ [km/h]                    | 16,42          | 16,92           | 16,35          | <b>17,06</b>    | 14,17          | 16,06           |
| Wasserspiegelabsenk am Ufer<br>am Bug <sup>(1)</sup><br>$\Delta \bar{h}_{U,B}$ [m]              | 0,12           | 0,13            | 0,13           | 0,14            | 0,11           | 0,14            |
| Wasserspiegelabsenk am Ufer<br>am Heck <sup>(1)</sup><br>$\Delta \bar{h}_{U,H}$ [m]             | 0,37           | 0,40            | 0,41           | <b>0,45</b>     | 0,38           | 0,44            |
| erforderliche Deckschichtdicke<br>aus hydrodynamischer Boden-<br>verlagerung<br>$d_{D,hBV}$ [m] | 0,16           | 0,19            | 0,23           | <b>0,29</b>     | 0,21           | 0,26            |

<sup>(1)</sup> Auswahl der Kombination mit Maximalwert des Absenks

<sup>(2)</sup> uKV: untere Kornverteilung, mKV: mittlere Kornverteilung, n. a.: Steinklasse nicht ausreichend

Nach heutigen Bemessungserfordernissen liegen die erforderlichen Deckschichtdicken aus hydrodynamischer Bodenverlagerung im Berechnungsfall 1 für die drei untersuchten Profile zwischen 0,19 und 0,29 m. Lediglich die Böschungs- und Sohlensicherung bei km 77.60 wäre ausreichend dimensioniert ( $d_{D,hBV} \leq 0,20$  m) gewesen, da die Steinmatten im Einbau-

stand eine Deckschichtdicke von 0,20 m aufwiesen (vgl. Begehungsprotokoll v. 10.03.2015, Anlage 2). Bei km 78.70 und 79.70 sind die Steinmatten im Einbauzustand bei einer Böschungsneigung von 1:2 theoretisch unterbemessen. Hervorzuheben ist, dass am Nullprofil (km 78.70) mit den geringsten Uferveränderungen im Betrachtungszeitraum 1996 bis 2013 und einer aktuellen Böschungsneigung von 1:3, die größten erforderlichen Deckschichtdicken resultieren. Hier sind die größten Absunkhöhen und aufgrund der Querschnittsverhältnisse die größten Schiffsgeschwindigkeiten begrenzt durch 97 %  $v_{krit}$  vorliegend, dennoch sind die Uferveränderungen bei km 79.70 am größten.

Die Steingröße, die sich aus den zulässigen Kornverteilungskurven der Steinklasse  $LMB_{5/40}$  ergibt, ist bei HSW bei km 79.70 nicht ausreichend hydraulisch lagestabil. Allerdings kann dies bei Vorliegen einer dichten Steinpackung (Drahtmattengeflecht) und der damit erreichten Flächenwirkung vernachlässigt werden.

### 5.7.1.2 Ergebnisse der Bemessungsfälle 2.1 und 2.2

Einen Auszug der wichtigsten Ergebnisgrößen für die Bemessung des Istzustands zeigt Tabelle 12. Die vollständigen Berechnungsergebnisse sind in Anlage 2 enthalten.

Tabelle 12: Wichtigste Ergebnisgrößen der Bemessungsfälle 2.1 und 2.2; Maximalwerte; Bemessungsschiffe ES und GMS, Bemessung für den Istzustand

| Ergebnisgröße                                                                                   | km 77.60       |                 | km 78.70       |                 | km 79.70       |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
|                                                                                                 | Fall 2.1<br>MQ | Fall 2.2<br>HSQ | Fall 2.1<br>MQ | Fall 2.2<br>HSQ | Fall 2.1<br>MQ | Fall 2.2<br>HSQ |
| Böschungsneigung $BN_{Ist}$                                                                     | 1:4            |                 | 1:3            |                 | 1:6            |                 |
| erforderliche Einzelsteingröße<br>$D_{50,bem}$ [m]                                              | 0,09           | 0,13            | 0,11           | 0,15            | 0,16           | <b>0,19</b>     |
| Steinklasse $LMB_{5/40}^{(2)}$                                                                  | uKV            | uKV             | uKV            | uKV             | uKV            | <b>mKV</b>      |
| Schiffsgeschwindigkeit durchs<br>Wasser = 97% $v_{krit}^{(1)}$<br>$v_{SdW}$ [km/h]              | 16,15          | 16,91           | 15,90          | <b>17,01</b>    | 13,58          | 15,68           |
| Wasserspiegelabsunk am Ufer<br>am Bug <sup>(1)</sup><br>$\Delta h_{U,B}$ [m]                    | 0,12           | 0,14            | 0,13           | 0,15            | 0,33           | <b>0,40</b>     |
| Wasserspiegelabsunk am Ufer<br>am Heck <sup>(1)</sup><br>$\Delta h_{U,H}$ [m]                   | 0,39           | 0,42            | 0,40           | 0,45            | 0,43           | <b>0,49</b>     |
| erforderliche Deckschichtdicke<br>aus hydrodynamischer Boden-<br>verlagerung<br>$d_{D,hBV}$ [m] | 0,27           | 0,36            | 0,33           | 0,42            | 0,38           | <b>0,54</b>     |
| erforderliche Deckschichtdicke<br>gegen Abgleiten<br>$d_{D,abgleiten}$ [m]                      | 0,71           | 0,86            | 1,21           | <b>1,43</b>     | 0,65           | 0,87            |
| erforderliche Deckschichtdicke<br>aus geotechnischer Mindest-<br>dicke<br>$\min d_D$ [m]        | 0,60           |                 | 0,60           |                 | 0,60           |                 |

<sup>(1)</sup> Auswahl der Kombination mit Maximalwert des Absunks

<sup>(2)</sup> uKV: untere Kornverteilung, mKV: mittlere Kornverteilung, n. a.: Steinklasse nicht ausreichend

Die erforderlichen Deckschichtdicken aus hydrodynamischer Bodenverlagerung im Berechnungsfall 2 liegen unterhalb der geotechnisch erforderlichen Minstdicke. Die erforderliche

Deckschichtdicke gegen Abgleiten  $d_{D,abgleiten}$  nimmt allerdings sehr große Werte an, da in der Berechnung keine Fußstützung vorgesehen ist. Der Maximalwert im Vergleich der drei Profile untereinander tritt bei km 78.70 mit 1,43 m Dicke auf. Dies erklärt sich durch die im Istzustand vorliegende steilste Böschungsneigung von 1:3 (Böschungswinkel  $\beta$  somit  $18,43^\circ$ ) und die zugehörigen großen Absunkwerte. Die größten Absunkwerte und damit die größten erforderlichen Deckschichtdicken aus hydrodynamischer Bodenverlagerung treten bei km 79.70 auf.

Die erforderlichen Einzelsteingrößen sind jeweils geringer als im Berechnungsfall 1 aufgrund der flacheren Böschungsneigungen. Die erforderlichen Deckschichtdicken aus hydrodynamischer Bodenverlagerung liegen je Profil höher als im Berechnungsfall 1. Dies liegt an dem wesentlich höher angesetzten Hohlraumanteil der Steinschüttung von 50 % gegenüber Bemessungsfällen 1.1 und 1.2 von 30 %. Die Schiffsgeschwindigkeiten liegen für die Bemessungsfälle nach Berechnungsfall 1 höher aufgrund der größeren Querschnittsverhältnisse ( $A_{ETP,BN \text{ Ist}} \leq A_{ETP,BN \text{ Soll}}$ ).

Die vorhandene Restsicherung als verbliebene Steinschüttung ohne Fußstützung, festgestellt durch den Tauchereinsatz vom 17.04.2015, erfüllt an keinem Profil die Anforderungen der rechnerisch erforderlichen Ufersicherung. Die erforderlichen Einzelsteingrößen sind zwar anliegend, allerdings kann nicht davon ausgegangen werden, dass die erforderlichen Deckschichtdicken aus hydrodynamischer Bodenverlagerung anstehen. Eine ausreichende Deckschichtdicke gegen Abgleiten im Istzustand ist noch unwahrscheinlicher. Ohne ausreichend dimensioniertes Deckwerk besteht somit keine Sicherheit gegenüber hydrodynamischer Bodenverlagerung und Abgleiten. Weitere Veränderungen des Ufers sind zu erwarten.

### 5.7.1.3 Ergebnisse der Bemessungsfälle 3.1 und 3.2

Die Bemessungsfälle 3.1 und 3.2 zeigen die aus heutiger Sicht rechnerisch erforderliche Böschungs- und Sohlensicherung bei einer anzustrebenden Böschungsneigung von 1:3 unter Einsatz einer losen Steinschüttung (Sanierungsfall). Die Bemessung bildet die Grundlage für eine folgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Kapitel 6.2). Die Böschungsneigung 1:3 wird gewählt, da eine steilere Böschungsneigung bei einer losen Steinschüttung und anstehendem Boden B 4 zu sehr großen Deckschichtdicken führt. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass eine Böschungsneigung von 1:3 unter den Ausgangsverhältnissen des Grundeigentums 1996 auch ohne Flächenerwerb durch die WSV möglich gewesen wäre. Sofern eine technische Ufersicherung notwendig ist, ist die lose Steinschüttung hinsichtlich der ökologischen Entwicklungsmöglichkeiten zu bevorzugen (vgl. BFG & BAW 2009).

Da teilweise entlang der Strecke die Möglichkeit gegeben ist, dass eine Fußeinbindung in den Buntsandstein hineinreichen würde, ist dieser gewählte Ansatz der Fußstützung in der



Praxis zu überprüfen und ggf. eine Fußvorlage entsprechend des Sanierungsvorschlags des WSA Heidelberg v. 30.10.1989 (Anlage 2) zu wählen. Allerdings führt bei km 79.70 eine zu erreichende Fußvorlagenlänge von 2,00 m bereits zu einer notwendigen Fußvorlageneinbindetiefe von 1,00 m. Eine erforderliche Deckschichtdicke an der Böschung ergibt sich in diesem Fall zu 0,70 cm. Die Einbindetiefe einer Fußvorlage entspricht damit schon nahezu der einer Fußeinbindung. Zudem führt die Fußvorlage, wie am Beispiel deutlich wird, zu großen erforderlichen Deckschichtdicken entlang der Böschung.

Einen Auszug der wichtigsten Ergebnisgrößen der Bemessungsfälle 3.1 und 3.2 zeigt Tabelle 13. Die vollständigen Berechnungsergebnisse sind in Anlage 2 enthalten.

Die für eine lose Steinschüttung erforderlichen Deckschichtdicken im Berechnungsfall 3 liegen oberhalb der geotechnisch erforderlichen Mindestdicke. Die Mindestdicken unterscheiden sich aufgrund der Variation der eingesetzten Steinklassen. Die Fußeinbindetiefen wurden so gewählt, dass eine vertretbare erforderliche Deckschichtdicke erreicht werden kann. Eine maximale Fußeinbindetiefe von 1,50 m ist somit an den Profilen km 78.70 und 79.70 beim Abflussgeschehen HSQ notwendig. Maßgebender Bruchmechanismus (BM) der geotechnischen Bemessung ist in allen Fällen BM 1 (s. Kapitel 5.3.1). Die größte erforderliche Deckschichtdicke ergibt sich bei km 78.70 in Verbindung mit den größten Absunkwerten. Die geringste Wassertiefe, der kleinste Abstand der Fahrrinne zum Bemessungsufer, die kleinste Querschnittsfläche und die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten (vgl. Anlage 7) führen auch im Fall 3.2 zur größten erforderlichen Einzelsteingröße bei km 79.70. Heckwellenhöhe, Rückströmungsgeschwindigkeit und Wiederauffüllungsströmung nehmen bei km 79.70 ebenfalls die größten Werte an.

Aus den Bemessungsfällen 3.1 und 3.2 resultiert, dass bei Sanierung der Uferstrecke zum Erreichen eines stabilen Uferzustandes mit einer losen Steinschüttung rechnerische Deckwerksdicken von 0,60 bis 0,72 m und Fußeinbindungstiefen von 1,30 bis 1,50 m erforderlich wären. Die Ergebnisse sind Grundlage der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Kapitel 6.2. Die Berechnungsgrößen werden ebenfalls zur Dimensionierung einer technisch-biologischen Ufersicherung nach DWA-M 519 (2014) benötigt.

Tabelle 13: Wichtigste Ergebnisgrößen der Bemessungsfälle 3.1 und 3.2; Maximalwerte; Bemessungsschiffe ES und GMS, Bemessung im Sanierungsfall, BN 1:3, lose Steinschüttung

| Ergebnisgröße                                                                                | km 77.60                    |                             | km 78.70                    |                            | km 79.70                    |                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
|                                                                                              | Fall 3.1<br>MQ              | Fall 3.2<br>HSQ             | Fall 3.1<br>MQ              | Fall 3.2<br>HSQ            | Fall 3.1<br>MQ              | Fall 3.2<br>HSQ                         |
| erforderliche Einzelsteingröße<br>$D_{50,bem}$ [m]                                           | 0,09                        | 0,13                        | 0,12                        | 0,16                       | 0,10                        | <b>0,19</b>                             |
| Steinklasse <sup>(2)</sup>                                                                   | CP <sub>63/180</sub><br>mKV | CP <sub>90/260</sub><br>mKV | CP <sub>90/260</sub><br>uKV | LMB <sub>5/40</sub><br>uKV | CP <sub>63/180</sub><br>mKV | <b>LMB<sub>5/40</sub></b><br><b>mKV</b> |
| Schiffsgeschwindigkeit durchs<br>Wasser = 97% $v_{krit}^{(1)}$<br>$v_{SDW}$ [km/h]           | 16,37                       | 16,92                       | 16,38                       | <b>17,05</b>               | 14,21                       | 16,05                                   |
| Wasserspiegelabsunk am Ufer<br>am Bug <sup>(1)</sup><br>$\Delta \bar{h}_{U,B}$ [m]           | 0,12                        | 0,13                        | 0,13                        | <b>0,15</b>                | 0,11                        | 0,14                                    |
| Wasserspiegelabsunk am Ufer<br>am Heck <sup>(1)</sup><br>$\Delta \bar{h}_{U,H}$ [m]          | 0,38                        | 0,41                        | 0,42                        | <b>0,46</b>                | 0,39                        | 0,44                                    |
| Heckwellenhöhe am Ufer<br>$H_{u,H,StBem}$ [m]                                                | 0,69                        | 0,87                        | 0,84                        | 0,87                       | 0,75                        | <b>0,90</b>                             |
| Rückströmungsgeschwindig-<br>keit relativ zum Ufer am Ufer<br>$\hat{v}_{rück,u,StBem}$ [m/s] | 1,06                        | 1,32                        | 1,30                        | 1,75                       | 1,45                        | <b>2,00</b>                             |
| Wiederauffüllungsströmungs-<br>geschwindigkeit relativ zum<br>Ufer<br>$u_{max,StBem}$ [m/s]  | 1,37                        | 1,74                        | 1,61                        | 2,12                       | 1,48                        | <b>2,17</b>                             |
| Einbindetiefe Fußeinbindung<br>$t_{FPLan}$ [m]                                               | 1,30                        | 1,30                        | 1,30                        | <b>1,50</b>                | 1,30                        | <b>1,50</b>                             |
| erforderliche Deckschichtdicke<br>$d_D$ [m]                                                  | 0,53                        | 0,60                        | 0,62                        | <b>0,72</b>                | 0,55                        | 0,67                                    |
| maßgebender Bruch-<br>mechanismus (BM)                                                       | BM 1                        | BM 1                        | BM 1                        | BM 1                       | BM 1                        | BM 1                                    |
| erforderliche Deckschichtdicke<br>aus geotechnischer Mindest-<br>dicke<br>$\min d_D$ [m]     | 0,50                        | 0,50                        | 0,50                        | <b>0,60</b>                | 0,50                        | <b>0,60</b>                             |

<sup>(1)</sup> Auswahl der Kombination mit Maximalwert des Absunks

<sup>(2)</sup> uKV: untere Kornverteilung, mKV: mittlere Kornverteilung, n. a.: Steinklasse nicht ausreichend

#### 5.7.1.4 Technisch-biologische Ufersicherung

Ein Abklingen der Uferveränderung scheint momentan nicht gegeben (vgl. Kapitel 5.6). Eine Überprüfung der möglichen Alternativen zur Sicherung des Ufers ist daher sinnvoll, sollte entschieden werden, dass künftig Maßnahmen getroffen werden müssen. Nicht nur um verschiedene Lösungsansätze zur Ufersicherung wirtschaftlich vergleichen zu können, sondern auch um einer ganzheitlichen Betrachtung unter Einbezug ökologischer Alternativen gerecht zu werden.

Pflanzen einer technisch-biologischen Ufersicherung können sich dauerhaft nicht unterhalb der MW-Linie etablieren (DWA-M 519 2014). Daher ist die Möglichkeit der Ausführung einer solchen Böschungssicherung oberhalb MW zu prüfen, unterhalb kommt eine rein technische Ufersicherung zum Einsatz.

Nach Bemessungsfall 3.2 (BN 1:3) ist eine Flächenlast über die gesamte Böschung, auch oberhalb des Wasserstands MQ, notwendig. Die erforderliche Deckschichtdicke ist  $\geq 0,00$  m. Somit sind Porenwasserüberdrücke aus schnellem Wasserspiegelabsink bei Schiffsvorbeifahrt relevant. Oberhalb des Wasserstands HSQ ist kein Flächengewicht gegen hydrodynamische Bodenverlagerung oder Abgleiten erforderlich, da keine Schifffahrt oberhalb HSQ mehr stattfindet. Grundlage der Berechnungen ist der Bemessungsstandard III nach DWA-M 519 (2014), d. h. die Standsicherheit der Uferböschung muss ohne Einschränkungen gewährleistet werden. Es wird davon ausgegangen, dass am Uferabschnitt keine Maßnahmen zur Reduzierung der Uferbelastungen (Wellenbrecher, Verkehrsregelungen, etc.) vorgenommen werden können. Ein Uferschutz als Kombination technischer und biologischer Sicherungsmaßnahmen baut sich demnach wie folgt schematisch auf:

- Böschung unterhalb Wasserstand MQ und Sohle: technische Sicherung durch lose Steinschüttung
- Böschung zwischen Wasserstand MQ und HSQ: technisch-biologische Ufersicherung
- Böschung oberhalb Wasserstand HSQ (kein Flächengewicht erforderlich): biologische Ufersicherung gegen Oberflächenerosion

Bei der Bemessung einer technisch-biologischen Ufersicherung sind ebenfalls die Belange des Hochwasserschutzes zu berücksichtigen. Der Gewässerquerschnitt darf dabei nicht derart verengt werden, dass eine ablaufende Hochwasserwelle merklich eingeschränkt wäre. Hier wird aufgrund der Begrenzung der technisch-biologischen Ufersicherung entlang des Uferabschnittes von 4,2 km nicht von einem signifikanten Wasserspiegelanstieg bei Bemessungshochwässern ausgegangen.

Vereinfachend wird eine einheitliche Ufersicherung über den gesamten Streckenverlauf angenommen. Maßgebend zur Bemessung der technisch-biologischen Ufersicherung sind

somit die Randbedingungen bei km 79.70. Die Strömungsgeschwindigkeiten aus Rückströmung und Wiederauffüllungsströmung sind größer als die natürlichen maximalen Strömungsgeschwindigkeiten am Ufer, auch gegenüber dem Abflussgeschehen  $HQ_{100}$  (vgl. Anlage 7). Sie sind daher maßgebend. Die berechnete Heckwellenhöhe liegt bei 0,90 m (Tabelle 13). Aus dem erforderlichen Flächengewicht und den Belastungsgrenzen gegen Erosion kommen daher nur die Bauweisen

- 7 (begrüntes Kammerdeckwerk)
- 8 (Spreitlage mit Steinschüttung als Fußsicherung)
- 9 (Begrünte Steinschüttung)

(gem. Tabelle 5 DWA-M 519 2014) in Betracht. Zur qualitativen Bewertung der Bauweisen nach ingenieurb biologischen Kriterien wird die Punktzahl zu 7 (= **hohe hydraulische Belastung**) gem. Tabelle 8 (DWA-M 519 2014) addiert. Eine Berücksichtigung der Bemessungswerte und Randbedingungen der Profile km 77.60 und 78.70 hätte gem. Tabellen 5 und 8 (DWA-M 519 2014) keine anderen ausführbaren Bauweisen oder Belastungskategorien zur Folge.

Das Bodensubstrat ist als **lehmig-schluffig**, die Böschungsneigung mit 1:3 als **flach** anzusetzen. Aus Tabelle 9 (DWA-M 519 2014) kann mit diesen Eingabewerten für staugeregelte Flüsse festgehalten werden, dass die Bauweisen 7 und 9 nur bedingt geeignet sind. Der anstehende Boden am Uferabschnitt geht allerdings ins sandige, teilweise kiesige über (Kapitel 5.2). Die Bauweisen 7 und 9 können an dieser Stelle daher auch als geeignet angesehen werden. Erfahrungen zeigen, dass die Bauweisen 7, 8 und 9 gut geeignet an Wasserstraßen sind (lt. DWA-M 519 2014, Steckbriefe A2). Allerdings weist Bauweise 8 kein maßgebliches Eigenflächengewicht auf und kann daher oberhalb des Wasserstandes MQ bis HSQ nicht zum Einsatz kommen. Die Schichtdicke von Kammerdeckwerken (Bauweise 7) beträgt im Mittel 20 – 30 cm (DWA-M 519 2014, Steckbriefe A2) und ist für eine erforderliche Deckschichtdicke von 0,72 m (km 78.70, Fall 3.2) ebenfalls nicht geeignet. Die Bemessung des Deckwerks **oberhalb des Wasserstandes MQ bis HSQ** nach DWA-M 519 (2014) ergibt somit unter Beachtung der vorliegenden Randbedingungen und Bemessungswerte eine technisch-biologische Ufersicherung nach **Bauweise 9, begrünte Steinschüttung**. Diese Ufersicherung sollte **bis ca. 1,00 m über Wasserstand HSQ** geführt werden, da eine Heckwelle, die mit bis zu 0,90 m bei km 79.70 aufläuft gem. Tabelle 5 (DWA-M 519 2014) wieder zu den einsetzbaren Bauweisen 7, 8 und 9 führt.

**Oberhalb des Wasserstandes HSQ +1,00 m** ist eine **technisch-biologische Ufersicherung** ohne relevantes Flächengewicht ausführbar. Der Erosionsschutz der höchsten auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten (Anlage 7) ist dann bereits durch **verwachsenen Rasen** (vgl. HOHNECKER o. J., Teil II S. 33) gewährleistet. Übergänge zwischen den verschiedenen Bereichen sollten fließend gestaltet werden.

### 5.7.2 Globale Standsicherheit

Der Nachweis der geotechnischen Gesamtstandsicherheit für Lastfall 2 nach DIN 1054 / EC 7 i. V. m. DIN 4084 für den Einbauzustand (Steinmatte) erfolgt in Ergänzung zur durchgeführten Berechnung der lokalen Standsicherheit, um unter anderem eine weitere Eingrenzung der möglichen Schadensursachen am Ufer vornehmen zu können. Bei der Berechnung der geotechnischen Gesamtstandsicherheit sind Bruchkörper (Gleitkreise) mit mindestens 1,00 m Tiefe anzunehmen (BAW 1991) entgegen der Berechnungen der lokalen Standsicherheit nah an der Deckschicht.

Mithilfe der Berechnungssoftware GGU-Stability wird exemplarisch das Profil mit den vergleichsweise größten dokumentierten Uferveränderungen seit 1996 (km 79.70) im Einbauzustand der Steinmatten (BN 1:2) berechnet, da hier der ungünstigste Fall für den Gesamtstandsicherheitsnachweis angenommen werden kann, sofern von den gleichen Baugrundbedingungen an den untersuchten Profilen ausgegangen wird.

Ein Absink von ca. 0,40 m (s. Bemessungsfall 1.1, Tabelle 11) bei Wasserstand MQ ergibt bei km 79.70 den ungünstigsten Bemessungsfall. Auch hier sei der Hinweis gegeben, dass sich der Absinkwert aus den Berechnungen für das Querprofil im Istzustand ergibt. Eine Verkehrslast resultierend aus landwirtschaftlicher Nutzung ist in einem Abstand von 2,00 m zur Böschungsoberkante berücksichtigt. Unter diesen Ausgangsparametern werden vier Bemessungsfälle betrachtet. Variiert werden die Bodenkennwerte (Kohäsion) und die Berücksichtigung der Steinmatten als Deckwerk.

Bei der Ermittlung des rechnerisch erforderlichen Deckwerks zuvor (Kapitel 5.7.1) wurde davon ausgegangen, dass der anstehende schluffige Boden keine Kohäsion aufweist. Diese Annahme liegt auf der sicheren Seite und wird der Bemessung an dieser Stelle ohne durch labortechnische Untersuchung bestimmte Bodenkennwerte gerecht. Allerdings kann aus dem Istzustand des Profils km 79.70 auf eine Kohäsion geschlossen werden, da sich nach erfolgten Erosionen eine fast senkrechte Böschung im oberen Bereich ausgebildet hat (Abbildung 28). Beim Nachweis der Gesamtstandsicherheit wird daher durch Iteration die Kohäsion bestimmt, bei der der Nachweis gerade erbracht ist.

Es wird angenommen, dass sich die Berücksichtigung der Steinmatten auf der Böschung günstig auf die Gesamtstandsicherheit auswirkt. Aus diesem Grund werden die Berechnungen mit und ohne Deckwerk durchgeführt. Weitere Eingabeparameter und Einzelheiten können den Berechnungsergebnissen in Anlage 2 entnommen werden. Die Ergebnisse und Ausnutzungsgrade der vier angeführten Bemessungsfälle zeigt Tabelle 14. Ist der Ausnutzungsgrad  $\mu > 1$ , so ist eine Standsicherheit der Böschung rechnerisch nicht gegeben.

Tabelle 14: Ergebnisse aus dem Nachweis der Gesamtstandsicherheit bei km 79.70, BN 1:2, GW-Linie 133,10 m ü. NN, Absunk 0,40 m

| Deckwerk | effektive Kohäsion $c_k'$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | Ausnutzungsgrad $\mu$<br>[-] |
|----------|---------------------------------------------------|------------------------------|
| x        | 0,00                                              | 1,11                         |
| x        | 1,25                                              | 1,00                         |
| -        | 0,00                                              | 1,11                         |
| -        | 1,25                                              | 1,00                         |

Der Ausnutzungsgrad liegt im ungünstigsten Fall bei 1,11. Hierbei sind allerdings Sicherheiten von 15 % für Reibungswinkel und Kohäsion vorgesehen (Lastfall 2). Die Gesamtstandsicherheit ist somit unter Vernachlässigung der Teilsicherheitsbeiwerte knapp gegeben ( $\mu = 0,97$ ). Die Berücksichtigung eines Deckwerks hat in diesem Fall keinen Einfluss auf das Berechnungsergebnis. Bei Ansatz einer geringen effektiven Kohäsion  $c_k'$  von 1,25 kN/m<sup>2</sup>, welche noch innerhalb der Grenzen für Boden B 4 nach MAR (2008) liegt (s. Tabelle 4), ist der Nachweis sowohl mit als auch ohne Deckwerk und Ansatz der Teilsicherheitsbeiwerte erbracht. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass unter Voraussetzung einer geringen dauerhaft wirksamen Kohäsion  $c_k'$  von 1,25 kN/m<sup>2</sup> die Gesamtstandsicherheit im Einbauzustand der Steinmatten im Lastfall 2 gerade gegeben war.

Da eine Deckwerksauflast sich i. d. R. günstig auf die globale Standsicherheit auswirkt und bei einer möglichen Sanierung der Ufersicherung (Berechnungsfall 3, Kapitel 5.7.1.3) zusätzlich von einer geringeren Böschungsneigung (BN 1:3) ausgegangen wird, kann angenommen werden, dass die Gesamtstandsicherheit auch in diesem Fall gegeben ist. Auf einen weiteren Nachweis wird hier verzichtet.

### 5.7.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Untersuchung der Querprofile und der rechnerische Vergleich zeigen, dass km 77.60 die größte und km 79.70 die kleinste Querschnittsfläche der drei untersuchten Profile aufweist ( $A_{\text{km } 77.60} > A_{\text{km } 78.70} > A_{\text{km } 79.70}$ ). Ebenso verhält es sich mit dem Abstand der Fahrrinne zum linken Ufer  $a_{F, \text{ls}}$  und der mittleren Wassertiefe im Bereich des Schiffspfades  $h_{\text{SP}}$ . Bei den natürlichen Strömungsgeschwindigkeiten entlang der zu sichernden Böschungslänge am linken und am rechten Ufer, kehrt sich die Reihenfolge aufgrund der Kontinuitätsgleichung um ( $v_{\text{Str, km } 77.60} < v_{\text{Str, km } 78.70} < v_{\text{Str, km } 79.70}$ ). Die Strömungsgeschwindigkeiten am linken Ufer km 79.70 sind höher als am linken Ufer des geraden Abschnitts bei km 76.70, obwohl bei km 79.70 ein Gleithang vorliegt. Die Angaben gelten jeweils für die Abflussgeschehen MQ und HSQ. Dies erklärt grundsätzlich, warum in den Bemessungsfällen 1.2, 2.2 und 3.2 bei km 79.70 die größten erforderlichen Einzelsteingrößen errechnet werden und mit die größten Uferveränderungen aufgetreten sind (vgl. Kapitel 5.6).

Die erforderlichen Dicken der Steinmatten aus hydrodynamischer Bodenverlagerung ( $d_{D,hBV}$ ) liegen im Bemessungsfall 1.2 zwischen 0,19 und 0,29 m. Rechnerisch ausreichend dimensioniert war die Steinmatte mit 0,20 m Dicke im Einbauzustand lediglich bei km 77.60. Im gegenwärtigen Zustand ohne Steinmatten (Bemessungsfall 2.2) ist nach den Ergebnissen keine ausreichende Sicherung der Böschung und Sohle gegeben. Ein Abklingen der Uferveränderung durch Erosion scheint somit nicht gegeben. Zur Sicherung im Istzustand (aktuelle Böschungsneigungen und Geometrien an den Profilen) wären theoretische Deckwerksdicken aus Abgleiten bis zu 1,43 m (km 78.70) notwendig. Die hohen Werte resultieren, da bei der Bemessung im Berechnungsfall 2 keine Fußstützung und ein Hohlraumanteil der losen Steinschüttung von 50 % angenommen worden ist. Km 78.70 weist jedoch im heutigen Zustand die geringsten Veränderungen seit 1996 unter den drei betrachteten Profilen auf. Im Berechnungsfall 3 (Sanierungsfall) mit einer Sollböschungsneigung von 1:3 entlang des betrachteten Uferabschnitts wäre eine lose Steinschüttung mit einer Dicke bis maximal 0,72 m (km 78.70) bei einer Fußeinbindung mit einer Einbindetiefe von maximal 1,50 m notwendig.

Grundsätzlich maßgebend ist bei allen betrachteten Fällen der Berechnungszustand HSQ. Der schiffsinduzierte Wasserspiegelabsenk am Bemessungsufer erreicht im Mittel 0,40 m. Den Bemessungsergebnissen und dem Vergleich der Profile untereinander zufolge müssten die Uferveränderungen bei km 78.70 wesentlich stärker ausgeprägt sein. Jedoch ist dabei zu berücksichtigen, dass die Berechnungen nur mit aktuellen Geländemodellen (s. Anlage 4) durchgeführt werden konnten. Im Ausgangszustand (Fälle 1.1 und 1.2) war bzw. im Sollzustand (Fälle 3.1 und 3.2) wäre die Fahrrinne an den Profilen km 77.60 und km 79.70 ursprünglich wesentlich dichter am Bemessungsufer, die Querschnittsflächen wären kleiner und damit die Belastungen insgesamt größer als rechnerisch im aktuellen Profilizustand erfasst. Mögliche weitere Gründe werden an späterer Stelle (Kapitel 6.1) diskutiert.

Eine Berechnung für den Bemessungsfall 3.2 mit einer Fahrt eines FGKS und eines in 10 m Ufernähe fahrenden Sportbootes als Gleitfahrzeug bringt keine maßgebend größeren Bemessungsergebnisse der erforderlichen Steingröße, Heckwellenhöhe, Deckschichtdicke, Rückströmungs- oder Wiederauffüllungsströmungsgeschwindigkeit an den Profilen km 77.60, 78.70 und 79.70, sofern für ein FGKS ebenso eine begrenzte Schiffsgeschwindigkeit von  $0,97 v_{krit}$  angenommen wird. Um die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 18 km/h zu erreichen, ist bei angenommenem FGKS-Bemessungsschiff (s. Tabelle 5) i. d. R. eine Leistungsüberschreitung von +50 % notwendig.

Die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 16 km/h für ein Fahrzeug oder einen Verband bzw. von 18 km/h für ein Fahrgastschiff oder ein Kleinfahrzeug nach § 10.04 BinSchStrO gelten als Angabe gegenüber dem Ufer. Die in den Berechnungsergebnissen angegebenen maximalen Schiffsgeschwindigkeiten sind Angaben durchs Wasser. Je nach Fahrtrichtung sind die natürlichen Strömungsgeschwindigkeiten zu addieren (Talfahrt) oder abzuziehen

(Bergfahrt) um die Geschwindigkeit als Fahrt über Grund (gegenüber dem Ufer) zu erhalten. Teilweise wird die zulässige Höchstgeschwindigkeit durch die Bemessungsgeschwindigkeiten marginal überschritten. Diese Annahme liegt jedoch auf der sicheren Seite und entspricht der betrieblichen Realität.

Den Ergebnissen aus schiffsinduzierten Belastungen stehen die Ergebnisse aus natürlicher Strömung der Bemessungszustände bordvoll und  $HQ_{100}$  gegenüber (Tabelle 15). Die erforderlichen Steingrößen sind mit der groben Abschätzung nach PIANC (1987) in Erweiterung der Anwendung nach GBB (2010, Gl. 6-8) bei einer Böschungsneigung von 1:3 für die drei untersuchten Profile errechnet (Anlage 2). Der Berechnungsansatz liefert gegenüber anderen Ansätzen auf der sicheren Seite liegende Werte (vgl. hierzu auch GBB 2010).

Tabelle 15: Einzelsteingrößen entlang der zu sichernden Böschung resultierend aus natürlicher Strömung für die Bemessungszustände bordvoll und  $HQ_{100}$

| <b>Bemessungszustand</b>     | <b>km 77.60</b><br>BN 1:3 | <b>km 78.70</b><br>BN 1:3 | <b>km 79.70</b><br>BN 1:3 |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>bordvoll</b>              | 0,02 m                    | 0,06 m                    | 0,05 m                    |
| <b><math>HQ_{100}</math></b> | 0,10 m                    | 0,18 m                    | 0,20 m                    |

Lediglich bei km 79.70 ergeben sich aus dem Bemessungszustand  $HQ_{100}$  und den daraus resultierenden natürlichen Strömungsgeschwindigkeiten größere erforderliche Einzelsteingrößen als aus den mit den natürlichen Strömungsgeschwindigkeiten überlagerten schiffsinduzierten Belastungen. Die bei einer Sanierung vorgesehene Steinklasse  $LMB_{5/40}$  (Berechnungsfall 3) dürfte hierbei jedoch noch ausreichend sein. Die rechnerischen Ergebnisse aus Tabelle 15 decken sich mit den Beobachtungen der Taucheruntersuchung v. 17.04.2015 (Anlage 2). Bei km 79.70 sind nur wenige und große Steine vorhanden (bis 40 cm Kantenlänge), während bei km 77.60 auch Steine mit 10 cm Kantenlänge vorliegen. Die aktuell anliegenden Steine sind vermutlich lagestabil.

Die Bemessung des Deckwerks oberhalb des Wasserstands MQ bis HSQ unter Beachtung ingenieurbioökologischer Kriterien sowie der vorliegenden Randbedingungen und Bemessungswerte ergibt nach DWA-M 519 (2014) eine technisch-biologische Ufersicherung als begründete Steinschüttung. Ein Wechsel der technisch-biologischen Ufersicherung oberhalb des Wasserstandes HSQ bis Wasserstand HSQ +1,0 m (auflaufende Heckwellenhöhe bis 0,90 m) wird als nicht sinnvoll erachtet. Oberhalb des Wasserstandes HSQ +1,0 m wäre ein Erosionsschutz bei den höchsten auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten (s. Anlage 7) bereits durch verwachsenen Rasen (vgl. HOHNECKER o. J., S. 33) theoretisch gewährleistet.

Die Ergebnisse zum Nachweis der lokalen Standsicherheit sind berechnet bei Ansatz eines Bodens ohne Kohäsion, da dies zu kleineren Bemessungsergebnissen hinsichtlich des er-



forderlichen Deckwerks führen würde und die tatsächliche Größe der anzusetzenden Kohäsion ungeklärt ist. Istzustand der Böschung km 79.70 und die Nachrechnung der globalen Standsicherheit deuten jedoch darauf hin, dass eine Kohäsion vorliegt. Eine Einordnung des anstehenden Bodens in Kategorie B 5, kohäsive Böden nach MAR (2008), ist aufgrund der zur Verfügung stehenden Kornverteilungskurven (Gutachten zur Gründung der Kläranlage Obrigheim, Anlage 2) aber nicht möglich. Eine anzusetzende effektive Kohäsion  $c_k'$  bewegt sich daher zwischen 0,0 und 3,0 kN/m<sup>2</sup> für Boden der Kategorie B 4 nach MAR (2008). Ebenso ist bei den Ergebnissen zu berücksichtigen, dass eine Bemessung für sehr undurchlässigen Boden erfolgt ist ( $k_k 10^{-6}$ ). Die effektive Kohäsion und die Durchlässigkeit des jeweils an den Profilen anstehenden Bodens sollten für eine weitere Überprüfung in Laborversuchen bestimmt werden.

Eine globale Standsicherheit der Böschung im Einbauzustand (Steinmatte, BN 1:2) bei km 79.70 ist bei Ansatz einer effektiven Kohäsion  $c_k'$  von 1,25 kN/m<sup>2</sup> gerade gegeben ( $\mu = 1,00$ ). Bei Vernachlässigung der Teilsicherheitsbeiwerte ist diese ohne Kohäsion ebenfalls, wenn auch nur knapp, gegeben ( $\mu = 0,97$ ).

Unter Berücksichtigung einer effektiven Kohäsion  $c_k'$  von 1,25 kN/m<sup>2</sup> wäre im Bemessungsfall 3.2 (Sanierungsvorschlag mit BN 1:3) die erforderliche Deckschichtdicke einer losen Steinschüttung für Profil km 78.70 von 0,34 m bei 0,80 m Fußeinbindungstiefe statt 0,72 m bei 1,50 m Fußeinbindungstiefe bei einer Berechnung ohne Kohäsion erforderlich. Hydrodynamische Bodenverlagerung ist bei kohäsiven Böden nicht zu erwarten (GBB 2010). Bei Simulation der Steinmatte als teilvergossenes Deckwerk wäre deshalb lediglich eine ausreichende Sicherheit gegenüber Erosion oberhalb des abgesenkten Wasserspiegels bis zum höchsten Wellenauflaufpunkt zu überprüfen.

Die Ergebnisse finden Eingang in die technische Bewertung und Diskussion (Kapitel 6.1). Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Kapitel 6.2) erfolgt auf Grundlage der Deckwerksbemessung **ohne Berücksichtigung einer Kohäsion**.

## 6 Bewertung und Diskussion der Ergebnisse

Bewertet werden im Hinblick auf die gesetzte Zielstellung der vorliegenden Arbeit die Entwicklung des Uferabschnitts, die durchgeführten Maßnahmen und die hiermit erreichten Ziele bzw. Verbesserungen. Hieraus sollen ein Fazit und eine Empfehlung entwickelt werden, die in einer Ausarbeitung und Bewertung der Randbedingungen münden, die bei der Entscheidung zur Einstellung einer Uferunterhaltung bzw. Entfernung einer technischen Ufersicherung an Binnenwasserstraßen zu berücksichtigen sind. Ein Ausblick schließt die Bearbeitung ab.

### 6.1 Technische Bewertung und Diskussion

Eine technische Bewertung richtet sich nach den technischen Anforderungen aus Tabelle 1:

- Gewährleistung der Standsicherheit des Ufers und der Sohle
- sichere und schadloose Ableitung von Hochwasser
- Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs.

Um eine Beurteilung der Ufersituation einschließlich Schadenshergang zu erschließen, wurden unter Voraussetzung verschiedener Annahmen und Einbezug differierender Bemessungsfälle Nachweise der globalen und lokalen Standsicherheit des Ufers geführt. Ebenfalls wurde die seit 1996 dokumentierte Uferveränderung untersucht.

Die Auswertung der dokumentierten Uferveränderung (Kapitel 5.6) zeigt, dass ein **direkter, alleiniger Zusammenhang** zwischen Größe der Uferveränderung in einem bestimmten Zeitabschnitt und jeweils Hochwasser- und Überschwemmungsereignissen, Lage des Profils im Streckenverlauf oder Entwicklung des Schifffahrtsaufkommens **nicht besteht**, sondern vielmehr ein **komplexes Zusammenspiel mehrerer Randbedingungen** vorliegt. Weiterhin zeigen die Berechnungsergebnisse (Kapitel 5.7), dass die globale Standsicherheit der Böschung im Einbauzustand (BN 1:2) unter Vernachlässigung der Teilsicherheitsbeiwerte und ohne Ansatz einer möglicherweise vorhandenen Kohäsion knapp gegeben ist. Die Berechnungsergebnisse mit und ohne Berücksichtigung der Steinmatten als Deckwerk unterscheiden sich dabei nicht. Die **Gesamtstandsicherheit der Böschung mit Deckwerk war somit im Ausgangszustand gerade gegeben**. Reserven waren vermutlich vorhanden, da bei dem anstehenden Boden aufgrund des aktuellen Zustands (nahezu senkrechte Böschung oberhalb MW) zum Teil eine wirksame Kohäsion anzunehmen ist.

Die Nachrechnung der Steinmatten im Einbauzustand (BN 1:2) hinsichtlich Stabilität bei Schifffahrtsbelastungen zeigt, dass diese lediglich bei km 77.60 mit einer Dicke von 0,20 m ausreichend dimensioniert waren um eine hydrodynamische Bodenverlagerung zu verhindern. In den anderen untersuchten Bereichen waren diese unterdimensioniert. Nur unter

Annahme eines dauerhaft kohäsiven Bodens wäre kein erforderliches Flächengewicht gegen hydrodynamische Bodenverlagerung erforderlich.

Es wird vermutet, dass eine weitere wesentliche Schadensursache im Fehlen eines ausreichend dimensionierten Filters liegt. Hierdurch kann es zu Kontakterosion, Materialaustrag und Unterspülung der Steinmatten gekommen sein. Die entsprechend resultierenden Verformungen des Untergrundes können zu Spannungen und einem Aufreißen des Drahtwerks geführt haben, womit eine ausreichende Ufersicherung aufgrund der Aufhebung der Flächenwirkung der Steinmatten und des Austrags der Füllsteine (Lagestabilität) nicht mehr gegeben war. Ein Erosionsschutz gegenüber schiffsinduzierten Belastungen und natürlichem Strömungsangriff war sodann auch nicht mehr gegeben. Unabhängig davon ist eine Zerstörung des Mattendrahtes auch durch erhöhten Salzgehalt des Neckars aufgrund der Belastung mit Abwässern der oberhalb des Uferabschnitts gelegenen Salinen (vgl. Gutachten Wasserversorgung Obrigheim v. 26.08.1965, Anlage 2) bzw. des generell aggressiven Neckarwassers (vgl. WSD SÜDWEST & BMVBS 2007) sowie eine lokale Schwächung des Drahtwerks durch hindurchwachsende Vegetation (Sprengwirkung) möglich. Auch Ausführungsfehler beim Einbau sind denkbar (bspw. nicht ausreichende Länge der Fußvorlage). Sehr wahrscheinlich ist eine Kombination der vorgenannten Schadensursachen.

Aus dem rechnerischen Nachweis der Deckwerke ohne Berücksichtigung des vorhandenen Bewuchses ergibt sich insgesamt, dass bei km 78.70, dem Querprofil mit den bis heute geringsten Veränderungen, theoretisch die größten erforderlichen Deckschichtdicken infolge schiffsinduzierter Belastungen in Überlagerung mit natürlichen Strömungsgeschwindigkeiten erforderlich wären. Werden lediglich die natürlichen, am linken Ufer angreifenden Strömungsgeschwindigkeiten betrachtet, müssten ebenfalls die Veränderungen bei km 78.70 größer sein als bei km 77.60.

Ein möglicher Grund, dass die Uferveränderung an km 78.70 nicht so groß ist, wie sie nach theoretischer Berechnung sein müsste, könnte sein, dass an den Querprofilen unterschiedliche Bodenkennwerte vorliegen. Neben der **Inhomogenität des Baugrunds**, dessen genaue Kennwerte ohnehin nicht genau bekannt sind, spielt die **Ausbildung der Vegetation** eine entscheidende Rolle. Flächenhafter, im Bereich der Uferlinie lückenloser Bewuchs, wie an km 78.70 anstehend, schützt das Ufer offensichtlich sehr gut. Durch einzelne Baumstände in gewissen Abständen hingegen, können lokale Verwirbelungen entstehen, die erheblichen Einfluss auf die Uferverformung nehmen (wie bei km 77.60, vgl. hierzu auch Begehungsprotokoll v. 10.03.2015, Anlage 2).

Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass die eingesetzten Berechnungsverfahren und die zugehörigen Annahmen (bspw. Schiffspositionen, Geschwindigkeiten, etc.) Ungenauigkeiten und Unsicherheiten aufweisen. Ebenso liegen die Strömungsgeschwindigkeiten als wichtiges Element der Bemessung bezogen auf ein festgelegtes Geländemodell vor. Bei den Varianten

der Berechnungen liegen aber oft unter deren Annahme andere Querschnittsmodelle vor und folglich müssten auch veränderte Strömungsgeschwindigkeiten anstehen. Deren Änderungen müssen aufgrund des Detaillierungs- und damit verbundenen Rechenaufwandes aber als vernachlässigbar hingenommen werden.

Die rechnerischen Ergebnisse zeigen, dass unter den getroffenen Annahmen eine **lokale Standsicherheit der Böschung und der Sohle aktuell und vermutlich auch im Einbauzustand der Steinmatten nicht gegeben ist bzw. war**. Ein Abklingen der Uferveränderung ist daher nicht anzunehmen. Jedoch ist **die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs hierdurch nicht beeinträchtigt**. Aus den Dokumentationen ist kein Mehraufwand für die Unterhaltung der Fahrrinne abzuleiten. Der Uferbewuchs muss allerdings in den letzten Jahren unter erschwertem Aufwand gepflegt werden, da einzelne Baumbestände bei fortschreitender Erosion zusehends kippgefährdet sind und damit eine Gefahrenquelle für die Schifffahrt darstellen.

Die Auswirkungen der am Uferabschnitt getroffenen Maßnahmen und der Entwicklung seit 1996 auf eine sichere und schadlose Ableitung von Hochwasser sind nicht untersucht worden. Zum einen war hierüber keine ausreichende Datengrundlage vorhanden. Zum anderen ist anzunehmen, dass aufgrund des geringen Streckenanteils und der stellenweise wenig dicht ausgebildeten Vegetation keine signifikanten Beeinträchtigungen zu erwarten sind. Das KIT (vgl. HN-Modell Nr. 2) geht sogar von einem Zugewinn eines Retentionsraumes in der Stauhaltung durch Erosion entlang des Uferabschnittes aus.

Der teilweise Rückbau der Ufersicherung an untersuchtem Abschnitt bzw. die Entscheidung zur Einstellung der Unterhaltung hat insgesamt **weder vor- noch nachteilige, signifikante Auswirkungen auf die Anforderungen in technischer Hinsicht**.

## 6.2 Wirtschaftliche Bewertung und Diskussion

Eine Entscheidung bezüglich einer Maßnahme unterliegt (fast) immer auch der Bewertung ihrer Wirtschaftlichkeit und ihrer Alternativen. In vorliegender Untersuchung werden zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit den Ist-Kosten, die „Wenn-Kosten“ sowie die Kosten eines vom heutigen Zustand ausgehenden technischen bzw. technisch-biologisch herzustellenden Deckwerks (Kapitel 5.7) gegenübergestellt. Die Ist-Kosten umfassen dabei hauptsächlich die Kosten für den Grundstückserwerb. Bei einem sich selbst überlassenen Ufer bzw. einer Entfernung der technischen Ufersicherung ist auch der erhöhte Monitoringaufwand zu berücksichtigen. Mehrkosten der Unterhaltung können einerseits dann auftreten, wenn eine zu einem früheren Zeitpunkt durchgeführte Maßnahme geringere Kosten verursacht hätte, als zu einem späteren Zeitpunkt. Andererseits können durch Unterlassung der Maßnahme auch günstigere Lösungen entstehen, wenn notwendige Finanzmittel zum notwendigen Zeitpunkt nicht verfügbar waren (bzw. zu günstigen Konditionen bei Fremdfinanzierung) oder wenn ein

sich einstellendes natürliches, meist dynamisches Gleichgewicht zu Lösungen führt, die vom zurückliegenden Betrachtungszeitpunkt nicht erkennbar waren. Eine Betrachtungsweise auf dieser Ebene führt zu hier genannten „Wenn-Kosten“.

Den Berechnungen liegen sehr grobe Mengen- und Kostenansätze zugrunde. Für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind diese allerdings ausreichend. Die zugrundeliegende Kalkulation ist in Anlage 2 einzusehen. Alle folgenden Kostenangaben erfolgen in **€ netto**. Der Streckenabschnitt von 400 m im Bereich des Kernkraftwerkes (km 77.00 bis 77.40) ist durch den Kraftwerksbetreiber zu unterhalten und somit nicht Gegenstand vorliegender Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

### 6.2.1 Ist- und Wenn-Kosten

Die Ist-Kosten für den Grundstückserwerb und ein Monitoring, wie am Uferabschnitt durchgeführt, setzen sich gem. Tabelle 16 wie folgt zusammen:

Tabelle 16: Zusammenstellung der Ist-Kosten

| <b>zusammengefasste Position</b>                                                                  | <b>errechneter Aufwand<br/>(gerundet)</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Grundstückserwerb im Zuge des Flurbereinigungsverfahrens<br>6.400 m <sup>2</sup>                  | 45.000 €                                  |
| Monitoring: Einmessungen, Nachbereitung und Aufbereitung der<br>Einmessungen (1996 – 2013)        | 25.000 €                                  |
| Entfernung des Mattendrahts<br>errechnet aus Angaben zum Arbeitsaufwand ABz Eberbach              | 513.000 €                                 |
| Mehrkosten Rückschnitt Ufervegetation seit 2006 / errechnet<br>aus Angaben ABz Eberbach           | 160.000 €                                 |
| Mehrkosten Fahrrinnenunterhaltung aus Auswertung der Fahr-<br>rinnenpeilungen 2006 gegenüber 2012 | - €                                       |
| <b>Summe</b>                                                                                      | <b>743.000 €</b>                          |

Die Mehrkosten für den Rückschnitt ergeben sich aus einem erhöhten Aufwand. Da von 1996 bis 2006 keine Baumpflege entlang des Uferabschnitts stattgefunden hat (natürliche Sukzession) wurde seit 2006 entgegen einer durchgängig regelmäßigen Vegetationspflege und aufgrund des erodierenden Ufers ein Schwimmgreifer zusätzlich zur regulären Baumpflege notwendig. Bei den Mehrkosten für Rückschnitt handelt es sich somit nicht um echte Mehrkosten, sondern vielmehr um gestaute Kosten, da in den Jahren 1996 bis 2006 keine Kosten für die Baumpflege angefallen sind.

Bereits 1989 sind die Kosten für eine Wiederinstandsetzung des ausgespülten Böschungsbereiches km 79.20 bis 79.50 (300 lfm) durch das WSA Heidelberg zu 475.000 DM berechnet worden (Vermerk techn. Instandsetzung v. 30.11.1993, Anlage 2). 1996 schätzte das WSA Heidelberg die Kosten einer Sanierung für den gesamten Streckenabschnitt langfristig auf 6,0 Mio. DM (entspricht ca. 3,08 Mio. €) (Beantwortung Anfrage Dr. Franzius v. 02.09.1996, Anlage 2). Ausgegangen wurde dabei von einer Wiederauffüllung der Erosionsbereiche, Herstellung einer Böschungsneigung von 1:3 und Aufbringen eines losen Steinwurfes mit einer Schichtdicke von 0,60 m inkl. einer 2,0 m langen Fußvorlage. Wären die Kosten 1996 angefallen, ist diesen bei einer Verzinsung von (niedrigen) 3,0 % bis 2013 ein Zuschlag von 2,01 Mio. € hinzuzurechnen. Ebenfalls hinzu kämen die statistisch durchschnittlichen Unterhaltsaufwendungen für Deckwerke aus losen Schüttsteinen von hier angenommenen 0,07 €/m<sup>2</sup> pro Jahr (BAW 2008). Bei 57.000 m<sup>2</sup> Deckwerk wären dies 1996 bis 2013 rund 68.000 €. Den **Ist-Kosten** von **743.000 €** stehen somit die **Wenn-Kosten** von **5,15 Mio. €** entgegen. Die vorgeschlagenen Wiederinstandsetzungen mussten bereits 1990 aufgrund der angespannten Haushaltslage zurückgestellt werden.

### 6.2.2 Kalkulatorische Kosten des technischen Deckwerks

Für ein heute neu einzubauendes technisches Deckwerk (lose Steinschüttung) errechnen sich die Kosten zu ca. **3,07 Mio. €** (Anlage 2). Ausgegangen wird hierbei von rund 6.800 m<sup>2</sup> zu entfernenden Restdeckwerks (schadhafte Steinmatten) im oberen Böschungsbereich und 57.000 m<sup>2</sup> neu herzustellenden Deckwerks. Steilkanten und Böschungsabbrüche werden auf eine Böschungsneigung von 1:3 aufgefüllt bzw. profiliert. Bei der Kalkulation wird vereinfachend davon ausgegangen, dass eine Fußeinbindung von 1,50 m Tiefe und eine lose Steinschüttung der Steinklasse LMB<sub>5/40</sub> der Deckschichtdicke 0,70 m über den gesamten Streckenverlauf hergestellt wird (s. Ergebnisse aus Bemessungsfall 3.2, Kapitel 5.7.1.3). Im tatsächlichen Ausführungsfall müssten die Vorgaben noch einmal genauer geprüft und die Streckenabschnitte gleicher Ausführungsart voneinander abgegrenzt werden. Hierfür ist in jedem Fall die Bemessung mehrerer Zwischenstationen (Querprofile) und eine detailliertere Erkundung des Baugrunds notwendig. Die Kosten der beschriebenen Ausführungsart liegen bei ca. 54,00 €/m<sup>2</sup> Deckwerk.

### 6.2.3 Kalkulatorische Kosten des technisch-biologischen Deckwerks

Für eine heute einzubauende Kombination aus technisch (unterhalb MW) und technisch-biologischem Deckwerk (oberhalb MW) errechnen sich die Kosten zu ca. **3,41 Mio. €** (Anlage 2). Die baulichen Vorbereitungen für diese Sicherungsart entsprechen denen der rein technischen Ufersicherung. Die Fläche eines technischen Deckwerks (s. vor) für den Unterwasserbereich ergibt sich zu 38.000 m<sup>2</sup>. Ab Wasserstand MQ bis HSQ +1,0 m ist der Einbau einer begrünter Steinschüttung auf einem Geotextilfilter nach DWA-M 519 (2014) mit insgesamt rund 52,00 €/m<sup>2</sup> und einer Fläche von 19.000 m<sup>2</sup> kalkuliert.

#### 6.2.4 Zusammenfassung der wirtschaftlichen Bewertung und Diskussion

Die wirtschaftliche Bewertung steht und fällt im vorliegenden Fall mit der Verzinsung der Wenn-Kosten, d. h. der Verzinsung der Kosten bis 2013, die bei einer Wiederinstandsetzung im Jahr 1996 angefallen wären sowie der Fragestellung ob, und in welchem Umfang eine Sicherung bzw. künstliche Abflachung des Ufers in Zukunft noch erfolgen muss. Eine Einstellung der Uferveränderung ist zu aktuellem Betrachtungszeitpunkt nicht anzunehmen (Kapitel 6.1). Es kann davon ausgegangen werden, dass aktive Sicherungsmaßnahmen (Abflachung, technisches oder technisch-biologisches Deckwerk) zumindest an Teilen des Streckenabschnitts notwendig werden. Diese Kosten liegen aber sicher deutlich unterhalb derer, die notwendig werden würden, wollte man von heutigem Zustand einen Sicherungszustand analog dem vor 1988 durch ein durchgängiges, rein technisches oder eine Kombination aus technisch, technisch-biologischem Deckwerk entlang des gesamten Uferabschnittes von 3,8 km Länge herstellen. Selbst wenn heute ein solch durchgängiges Deckwerk zur Ufersicherung notwendig würde, sind durch die getroffene Entscheidung zur Einstellung der Uferunterhaltung nach vorliegender Berechnung und deren Annahmen keine Mehrkosten entstanden. Addiert man die Ist-Kosten zu den kalkulierten Kosten eines technisch, technisch-biologischen Deckwerks (in Summe 4,12 Mio. €) wird deutlich, dass eine Reparatur um 1990 unter Berücksichtigung einer bis 2013 erfolgten Verzinsung (hier 3 %) und einem entsprechenden Unterhaltungsaufwand mit Gesamtkosten von 5,15 Mio. € immer noch deutlich darüber läge. **Aus genannten Gründen ist in diesem Fall aus wirtschaftlicher Sicht ein (günstiger) Grunderwerb, wie auch häufig in anderen Fällen, gegenüber einer (teuren) technischen Ufersicherung zu bevorzugen.** Der Wegfall zu leistender Ausgleichszahlungen an Eigentümer aufgrund von Einschränkungen im Gewässerrandstreifen (s. bspw. § 29 Abs. 5 WASSERGESETZ FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG) kann ein positiver wirtschaftlicher Nebeneffekt sein.

#### 6.3 Ökologische / soziale Bewertung und Diskussion

Im Regelfall erfolgt eine ökologische Bewertung nach den Vorgaben der EG-WRRL (Kapitel 3). Allerdings liegen dieser Bewertung meist größere Betrachtungsräume zugrunde und es erfolgt keine Differenzierung nach der Bewertung durchgeführter Maßnahmen, einer Entwicklung des Uferabschnitts und eines erreichten Gesamtzustands, wie sie hier erfolgen soll. Eine ökologische Bewertung an dieser Stelle richtet sich daher nach den zu Anfang formulierten Anforderungen (Tabelle 1). Vergleichbar dem schulischen Notensystem, von 1 (sehr gut) bis 6 (sehr schlecht), werden diese durch den Verfasser benotet. Die Benotung erfolgt dabei für den Uferabschnitt im Gesamten, d. h. der Streckenverlauf km 76.25 bis 80.45 wird nicht in weitere Abschnitte unterteilt. Es stehen hierfür hauptsächlich die Ergebnisse aus den Kapiteln 5.4, 5.5 und 5.6 als Basis zur Verfügung. Auf eine faunistische Betrachtung muss bis auf Anmerkungen wegen fehlender Daten verzichtet werden. Ergänzt werden die ökologischen Gesichtspunkte um soziale Aspekte.

Tabelle 17 gibt einen Überblick über die Bewertung. Kann eine Benotung nicht erfolgen, ist dies durch den Vermerk „k. A.“ gekennzeichnet. Bei dieser Kategorisierung ist eine weitere Untersuchung aufgrund der Datenlage oder Durchführung der Untersuchung notwendig.

Tabelle 17: Bewertungsmatrix ökologische / soziale Anforderungen

| Anforderungen                                                                 | durchgeführte Maßnahmen | Entwicklung | erreichter Zustand |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------|--------------------|
| <b>als Lebensgrundlage</b>                                                    |                         |             | k. A.              |
| Wasserverteilungsnetz                                                         | k. A.                   | k. A.       | k. A.              |
| Einfluss auf Grundwasser / Grundwasserneubildung                              | k. A.                   | k. A.       | k. A.              |
| <b>als Lebensraum (aquatisch / terrestrisch) für Mensch, Tier und Pflanze</b> |                         |             | 3                  |
| Gewässermorphologie                                                           | 2                       | 3           | 4                  |
| Biotopvernetzungsfunktion                                                     | 2                       | 3           | 4                  |
| Wassergüte (chemisch-physikalisch / biologisch)                               | 3                       | 2           | k. A.              |
| Durchgängigkeit                                                               | 2                       | 2           | 2                  |
| Artenvielfalt / Artenschutz                                                   | 2                       | 2           | 2                  |
| <b>als Raum für Erholung / Freizeit</b>                                       |                         |             | 4                  |
| Wassersport                                                                   | 2                       | 3           | 3                  |
| Badesport                                                                     | 3                       | 4           | 5                  |
| Landschaftsbild                                                               | 3                       | 3           | 4                  |
| Zugänglichkeit                                                                | 2                       | 5           | 4                  |
| <b>aus Ökosystemleistungen</b>                                                |                         |             | 2                  |
| Abwasseraufnahme, schadlose Rückführung in den Wasserkreislauf                | 2                       | 2           | 2                  |
| Nutzung der Wasserkraft                                                       | 3                       | 4           | k. A.              |
| Einfluss auf Mikro-/Makroklima (Frischlufthlieferant, Temperatur)             | 2                       | k. A.       | k. A.              |
| Wasserentnahme und Wiedereinleitung (Industrie)                               | k. A.                   | k. A.       | k. A.              |
| <b>der Fischerei (Schutzgut)</b>                                              |                         |             | k. A.              |
| <b>des Denkmalschutzes</b>                                                    |                         |             | k. A.              |
| <b>Gesamtdurchschnitt benoteter Aspekte</b>                                   | 2,9                     |             |                    |

| Legende |               |
|---------|---------------|
| 1       | sehr gut      |
| 2       | gut           |
| 3       | befriedigend  |
| 4       | ausreichend   |
| 5       | schlecht      |
| 6       | sehr schlecht |
| k. A.   | keine Angaben |

|                                |                                                                                        |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>durchgeführte Maßnahme:</b> | aktives Handeln oder Unterlassen einer Handlung am Uferabschnitt                       |
| <b>Entwicklung:</b>            | Bewertung des Entwicklungsprozesses/der Veränderungen im Vergleich zum Ausgangszustand |
| <b>erreichter Zustand:</b>     | Bewertung des Istzustands                                                              |



Der Rahmen vorliegender Untersuchung lässt keine Rückschlüsse auf die Bewertung der **Anforderungen als Lebensgrundlage** zu. Der Betrachtungsraum eines Wasserverteilungsnetzes wäre ein viel größerer als der betrachtete Uferabschnitt. Durch die vermehrte Ausbildung der Vegetation am Uferabschnitt können zwar positive Einflüsse auf die Reinigung des Uferfiltrats erwartet werden, allerdings kann dies auf Basis vorliegender Daten nicht ausreichend abgesichert werden.

Der potentiell natürliche Zustand kann zur Bewertung der **Anforderungen als Lebensraum** nicht herangezogen werden, da der schiffbare Neckar ein erheblich verändertes Gewässer ist (vgl. Kapitel 4.1). Im potentiell natürlichen Zustand müsste man sich den betrachteten Uferabschnitt als vorgelagerten leichten Wall (Gleithang) einer dahinterliegenden großflächigen Aue mit Auwald vorstellen, die einer regelmäßigen Überflutung (Gelände künstlich um 1,0 m zur Urbarmachung aufgefüllt vgl. Kapitel 5.1) unterliegt. Aktuelle Zustände bei Überschwemmung (Abbildung 13) lassen dies auch heute erahnen. In der Binnenschifffahrt wird die Stauhaltung Guttenbach daher auch süffisant „der überflutete Waldweg“ genannt (ohne Quelle). Es wird deutlich, dass eine ökologische Bewertung, die sich rein am Kriterium des potentiell natürlichen Zustands ausrichtete nur zu dem Ergebnis kommen kann, dass dieser ein unbefriedigender wäre. Es sind daher relativierte Bewertungsmaßstäbe anzusetzen.

Die durchgeführten Maßnahmen zur teilweisen Entfernung der Ufersicherung sind grundsätzlich positiv zu bewerten, da dem Gewässer hierdurch wieder teilweise Raum zur natürlichen Entwicklung zurückgegeben wurde. Die sich bildenden Flachwasserbereiche als Lebens- und Besiedlungsraum unterhalb von Steilkanten sind dabei hervorzuheben. Jedoch sind kleinräumige Abwechslungen der Uferstruktur bis heute ausgeblieben und insgesamt sind die Uferveränderungen aus gewässermorphologischer Sicht eher gering.

Die Gehölzgalerie entlang des Uferabschnitts nimmt eine Biotopvernetzungsfunktion ein und ist als geschütztes Biotop registriert. Jedoch ist der Lebensraum auf einen sehr schmalen Streifen eingegrenzt. Die Wirkungsweise ist damit fraglich. Die intensive landwirtschaftliche Nutzung im Hinterland reicht äußerst nahe an das Gewässer und das gewässerbegleitende Ufergehölz heran. Teilweise liegen die Abstände deutlich unterhalb von 5,00 m oder es ist stellenweise kein Gewässerrandstreifen vorhanden. Es ist anzunehmen, dass sich während der Entwicklungszeit seit 1996 ansiedelnde zahlreiche Vegetationsneubestände am Uferabschnitt die Situation verbessern. Im mittleren Streckenabschnitt (ca. km 77.40 bis 79.70) ist die Gehölzgalerie eintönig ausgebildet, da hier regelmäßige Baumpflege zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schifffahrtsverkehrs stattfindet.

Die Gehölze entlang des gesamten untersuchten Uferabschnitts sind als standortgerecht einzustufen und gute Ufersicherer. Allerdings bleibt die Artenzunahme wie die Zunahme an Totholzbeständen auf ein Minimum begrenzt und die Ausbildung einer ausgeprägten Vertikalzonierung fehlt aufgrund der Stauregulierung des Neckars.

Die Ausbildung neuer Röhrichte mit seit Vegetationskartierungsbeginn neu hinzugekommenen Arten an Gräsern und Wasserpflanzen trägt ebenso der Vergrößerung und Vielfalt des Lebensraums positiv bei und ist der allgemeinen Tendenz des Rückgangs von Röhrichtbeständen am Unteren Neckar gegenläufig (vgl. DIRBACH et al. 1992). Bei der Bewertung ist die relativ kurze Entwicklungsdauer von rund 20 Jahren zu beachten.

Eine detaillierte chemisch-physikalische, biologische Beurteilung der Wassergüte bleibt an dieser Stelle außen vor, da diese hinsichtlich der Fragestellung als irrelevant erachtet wird. Eine Wassergüte folgt stets einer linienhaften Betrachtung des Gewässers und hängt von Randbedingungen größerer Betrachtungsräume ab, obschon diese selbstverständlich an einem Uferabschnitt die Vegetationsbedingungen maßgeblich beeinflusst (vgl. so auch Systematik der Zeigerwerte nach ELLENBERG et al. 1992). Der zu erwartende Einfluss der Uferentwicklung und der durchgeführten Maßnahmen auf die chemisch-physikalische sowie biologische Wassergüte kann jedoch wie folgt bewertet werden:

Da die Uferzone Lebensraum für die Organismen ist, die Schmutzstoffe durch Sauerstoffwechsel abbauen, kommt ihr hinsichtlich der natürlichen Selbstreinigung des Gewässers eine besondere Bedeutung zu. Die Wasserpflanzen bilden dabei „Kinderstube, Weide und Schlupfwinkel“ für die Organismen (FELKEL 1960). Mit teilweiser Entfernung der Ufersicherung bzw. Ermöglichung der Selbstentwicklung des Ufers und damit einhergehender, begünstigter Vegetationsansiedlung wurden vermehrt Lebensräume für diese Organismen geschaffen. Dies trägt zu einer erhöhten Selbstreinigungskraft und damit auf lange Sicht zu einer Verbesserung der Wasserqualität bei. Aus den neu hinzugetretenen Baumbeständen resultiert zudem eine größere Beschattung des Gewässers. Wenn auch in begrenztem Maße, hinsichtlich der Wasserspiegelbreite, so fördert dies jedoch die Löslichkeit von Luftsauerstoff durch eine abgesenkte Wassertemperatur im ufernahen Bereich. Entgegen der positiven Folgen, die aus der teilweisen Entfernung der Ufersicherung entstehen, ist zu berücksichtigen, dass das Hinterland als Nitratproblemgebiet ausgewiesen ist (vgl. Kapitel 5.5.1). Die Zeigerwerte der am Ufer vorkommenden Vegetation bestätigen dies. Erosionen zunehmend in Richtung Hinterland führen somit zu einem erhöhten Stoffeintrag in das Gewässer.

Unter den Begriff der Durchgängigkeit fällt auch ein natürlicher Sedimenttransport. Eine Stauregulierung führt i. d. R. zur Reduktion der natürlichen Strömungsgeschwindigkeiten, was eine Verringerung der Schleppspannungen mit sich bringt. Zumindest bei Normalbetrieb der Stauhaltung ist der natürliche Geschiebetransport stark eingeschränkt, teilweise nicht mehr existent (vgl. BAW 2013). Bei Entfernung einer Ufersicherung und damit einhergehender Erosion wird dem Gewässer zumindest ein Teil seines natürlichen Geschiebematerials wieder zur Verfügung gestellt. Im vorliegenden Fall hatte dies keine negativen Auswirkungen auf den Unterhaltungsaufwand, wie bspw. vermehrten Baggerbetrieb zur Aufrechterhaltung der Fahrrinne, zur Folge.

Hinsichtlich Artenvielfalt und Artenschutz sind die durchgeführten Maßnahmen und die Entwicklung des Ufers deutlich zu befürworten. Mit teilweiser Entfernung der schadhafte Ufersicherung (Drahtwerk) sind Gefahrenquellen für Tiere zumindest eingegrenzt worden, bestehen jedoch im aktuellen Zustand weiterhin. Die aufgetretenen Uferabbrüche mit teilweise senkrecht stehenden Steilufern liefern für Eisvogel und Uferschwalbe, welche beide unter Artenschutz stehen, willkommene Brutbedingungen und werden durch diese, wie einzelne Beobachtungen im Streckenabschnitt zeigen, auch wahrgenommen. Die Rückkehr des Biberns an den Streckenabschnitt ist ebenso ein Beweis der positiven Entwicklung des Ufers hinsichtlich Artenvielfalt und Artenschutz.

Da die Umgebung des Ufers den Eindruck einer ausgeräumten Landschaft macht, ist die gelenkte Sukzession zur Aufwertung des Landschaftsbildes zu begrüßen. Jedoch sind die **Anforderungen als Raum für Erholung / Freizeit** bisher kaum bzw. nur ausreichend erfüllt. Mit teilweisem Rückbau der Ufersicherung und Entfernung des Drahtwerks sind zwar wasserseitig (unterhalb MW) die Bedingungen für den Wassersport und die Schifffahrt verbessert worden, allerdings besteht nach wie vor hohe Verletzungsgefahr für Mensch und Tier durch Drahtmattenreste und verbliebene Sicherungselemente (Rundeisenanker). Die Zugänglichkeit ist durch hochliegende Böschungsoberkanten und teilweise sehr steile Böschungen kaum gegeben und macht eine Freizeitnutzung am Wasser von Land aus kaum möglich.

Wie bereits angeführt, ist zu erwarten, dass die Entfernung einer technischen Ufersicherung durch Ausbildung einer artenreicheren Ufervegetation und Mikrobiologie sowie Bereitstellung der Filter- und Pufferwirkung zu einer besseren Wassergüte führt. Dies ist den **Anforderungen aus Ökosystemleistungen** wie der Abwasseraufnahme und schadlosen Rückführung in den Wasserkreislauf dienlich. Ebenso ist ein positiver Einfluss auf das Mikro- bzw. Makroklima zu erwarten, wobei im vorliegenden Fall eine nähere Untersuchung dieses Aspekts nicht stattgefunden hat. Anthropogene Interessen wie Nutzung der Wasserkraft können dem allerdings entgegenstehen. Durch begünstigten Sedimenttransport oder Abschwemmen von Ufervegetation, wie insbesondere in untersuchtem Fall der hierfür anfälligen Bruchweide, erhöht sich das hieraus entstehende Schadenspotential technischer Bauwerke.

Mit dem ortsansässigen **Fischereiverein** konnte leider trotz mehrerer Anläufe kein Kontakt hergestellt werden. Grundsätzlich ist aber zu erwarten, dass sich am betrachteten Uferabschnitt durch sich ansiedelnde Wasserpflanzen und Röhrichte, sich bildende Flachwasserbereiche und belassenes Totholz günstigere Entwicklungsmöglichkeiten für den Fischbestand bieten. Faunistische Untersuchungen der BfG über 5 Jahre an anderen Uferabschnitten ergeben dies eindeutig (gem. Sitzungsprot. v. 13.10.1994, Anlage 2). Eine Bewertung wird dennoch offen gelassen. In einer weitergehenden Betrachtung könnten mittels Elektrofischen die vorkommenden Arten, Artenvielfalt und Fischanzahl bestimmt werden und mit anderen Neckarabschnitten verglichen werden.

Der Neckar als Bundeswasserstraße wird in seiner Gesamtheit zwar als Kulturdenkmal betrachtet, bislang liegt dem aber noch keine gesetzliche Regelung zu Grunde (WSD Südwest & BMVBS 2007, S. 207). **Anforderungen des Denkmalschutzes** sind am Uferabschnitt direkt nicht betroffen, daher erfolgt auch keine Bewertung.

Übergreifend hervorzuheben, weil am untersuchten Uferabschnitt auffällig, ist die Vernachlässigung der Wahrung eines ausreichenden Gewässerrandstreifens. Die Breiten liegen teilweise deutlich unterhalb der nach § 29 Abs. 1 WASSERGESETZ FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG im Außenbereich geforderten 10 m. Dies mag dem Stand des Flurbereinigungsverfahrens geschuldet sein, da eine endgültige Besitzeinweisung, d. h. die finale Eintragung der Eigentumsverhältnisse in das Grundbuch, noch nicht stattgefunden hat. Es kann jedoch vermutet werden, dass eine ausreichende Filter- und Pufferfunktion des Gewässerrandstreifens nicht gegeben ist, noch weniger die notwendige Breite um als Habitat zu dienen. Der wasserseitige Verlust an Landfläche durch fortschreitende Erosion verschärft die Problematik.

Durch pflanzensoziologische Untersuchungen im angrenzenden Hinterland des Ufers konnte gezeigt werden, dass durch die anstehende landwirtschaftliche Nutzung ein Artenrückgang der Vegetation im Untersuchungszeitraum 1998 bis 2002 um bis zu 50 % bedingt ist (Kapitel 5.5.4). Die Ausweisung des Hinterlandes als FFH-Gebiet und Kategorisierung des Ufers als „ökologisch hochwertig“ (DIRBACH et al. 1992) betonen die Bedeutung zum Schutz des Lebensraumes für Flora und Fauna.

Ein **Gesamtdurchschnitt** der bewerteten Aspekte hinsichtlich des erreichten Zustands aus ökologischer / sozialer Perspektive ergibt sich zu **befriedigend** ( $\cong 3$ ). Bei der Interpretation der Gesamtnote ist zu berücksichtigen, dass sich Anforderungen durchaus auch konkurrierend gegenüberstehen können. Beispielsweise kann ein aus ökologischer Sicht positiv zu wertender, vermehrter Sedimenttransport den Interessen zur Nutzung der Wasserkraft entgegenstehen, da Wasserkraftturbinen hiergegen entsprechend empfindlich sind. Weiterhin ist zu beachten, dass die vorliegende Benotung zwar der objektiven Auswertung einer Datengrundlage folgt, jedoch in letzter Instanz einer **subjektiven Einschätzung des Verfassers** unterliegt.

## 6.4 Fazit und Empfehlungen

Die Einstellung der Uferunterhaltung in Verbindung mit dem teilweisen Rückbau der technischen Ufersicherung am linken Neckarufer km 76.25 bis 80.45 wird auf Grundlage der durchgeführten Untersuchung **insgesamt positiv bewertet**. Im aktuellen Zustand sind für die technischen Anforderungen keine signifikanten Vor- oder Nachteile zu erwarten, so lange die Eigentumsverhältnisse am Uferabschnitt gewahrt bleiben können. Das Ufer wird sich zukünftig weiter infolge hydraulischer Belastungen verändern (Erosion). Zur Überwachung der weiteren Entwicklung und da die neuen Eigentumsgrenzen bereits festgelegt sind (vor-

läufige Besitzeinweisung), wird die Fortführung eines Monitorings am Uferabschnitt empfohlen.

Aus wirtschaftlicher und ökologischer / sozialer Sicht sind die durchgeführten Maßnahmen und Entscheidungen zu befürworten. Wenn auch die ökologischen / sozialen Anforderungen bislang hier insgesamt nur als „befriedigend“ erfüllt bewertet werden, so ist der Entwicklungsprozess des Ufers doch als „gut“ zu bewerten.

Zur weiteren Verbesserung des ökologischen / sozialen Zustands sind zusätzliche Maßnahmen zu empfehlen. Zuvorderst sind die bestehenden, offenliegenden **Gefahrenquellen** durch schadhafte, verbliebene Ufersicherung, wie Drahtreste und alte Ankereisen zu **beseitigen**. Von der technischen **Ufersicherung mittels Steinmatten** ist **grundsätzlich abzuraten; insbesondere am Neckar (Wasserqualität)**. Steinmatten sind als technische Sicherung aufgrund der Anfälligkeit des Drahtwerkes gegenüber äußeren Einflüssen wenig zuverlässig und stellen in schadhaftem Zustand eine Gefahrenquelle für Mensch und Tier dar (vgl. hierzu auch BfG & BAW 2009). Darüber hinaus wird durch das Drahtwerk der Wuchs der Vegetation behindert. Die Untersuchung hat zudem gezeigt, dass der Rückbau von Steinmatten nur unter erhöhtem Aufwand möglich und mit hohen Kosten verbunden ist.

Zukünftig ist am untersuchten Uferabschnitt auf die **Ausbildung eines ausreichend breiten Gewässerrandstreifens**, mindestens 10 m, zu achten. Dieser nimmt zahlreiche wichtige ökologische Aufgaben wie Filter- und Pufferfunktion oder Bereitstellung des flussbegleitenden Lebensraumes wahr. Die Einrichtung eines ausreichend breiten Gewässerrandstreifens entlastet das Gewässer in ökologischer Hinsicht.

Als Alternative zu einer technisch, technisch-biologischen Ufersicherung wird im Sinne einer tiefgreifenden, umfassenden Maßnahme eine **künstliche Abflachung** (z. B. BN 1:10) des Ufers empfohlen. Diese muss keineswegs in einheitlicher Gestaltung entlang des Ufers erfolgen. Mit einer durchdachten Planung kann zugleich eine kleinräumige Abwechslung im Uferverlauf geschaffen werden. Durch eine künstliche Abflachung entlang des Uferabschnitts werden die ökologischen / sozialen Zustände in vielerlei Hinsicht verbessert, wie bspw. die Zugänglichkeit der Wasserfläche für Mensch und Tier. Weiterhin können die Wasser-Land-Verzahnung gefördert und in diesem Zuge die teilweise überdeckten, verbliebenen Steinmattenreste entfernt werden.

Mit einer flacheren Böschung geht eine geringere Gefährdung des Ufers gegenüber schiffsinduzierten Belastungen und natürlichem Strömungsangriff einher und möglicherweise kann die fortschreitende Erosion in Richtung Hinterland eingegrenzt werden. Inwieweit und an welchen Streckenabschnitten eine Böschungs- und Sohlensicherung als Kombination aus technischer (unterhalb MW) und technisch-biologischer (oberhalb MW) Ufersicherung dann noch erforderlich ist und welcher Unterhaltungsaufwand dabei akzeptiert werden kann, ist zu prüfen. Insbesondere da in der Güterschifffahrt zukünftig zwar mit sinkendem Verkehrsauf-

kommen, aber vermehrt mit größeren Schiffen zu rechnen ist. Auch die zu erwartenden steigenden Belastungen durch das 135-m-Schiff sind hierbei zu berücksichtigen.

Der gezielte Einsatz von Vegetation als Ufersicherer ist zu fördern. Einzelne Baumbestände in entsprechenden Abständen führen zu lokalen Verwirbelungen und damit zu einer erhöhten Ufererosion. Durch **gezielte Anpflanzungen** können lokale Verwirbelungen eingedämmt und gleichzeitig die Ausbreitung von Problemneophyten begrenzt werden.

Die Planung einer großflächig angelegten Fischkinderstube aus dem Jahre 2012 des RP Karlsruhe (Biotopentwurf v. 26.09.2012) ist aus Sicht des Verfassers ein guter Ansatz, wobei diese Maßnahme auf den Uferabschnitt km 78.80 bis 79.50 begrenzt bleibt. Möglicherweise sind linienförmig breite, flussbegleitende Maßnahmen entlang des Abschnitts km 76.25 bis 80.45 auch im Hinblick auf eine gleichzeitig notwendige Sanierungsmaßnahme der Ufersicherung wirtschaftlich günstiger und ökologisch wirksamer.

Bei **Durchführung aller empfohlenen Maßnahmen** sind unbedingt der **Artenschutz** (u. a. Ansiedlung des Bibers, Bruthöhlen der Uferschwalbe und des Eisvogels), die **Wahrung der entstandenen Vegetation** sowie ein **eventuell notwendiger weiterer Landerwerb** zu berücksichtigen.

Im Zuge der Untersuchung des Uferabschnitts sind zahlreiche Randbedingungen, die bei der Entscheidung zur Einstellung einer Uferunterhaltung oder dem Rückbau einer technischen Ufersicherung zu berücksichtigen sind, identifiziert worden. Als grundlegende und maßgebende Randbedingung haben sich in vorliegendem Fall herausgestellt:

- Zustand / Sanierungsbedürftigkeit der Ufersicherung
- rechtliche Rahmenbedingungen
- Flächenverfügbarkeit
- wirtschaftliche Rahmenbedingungen.

Mit dem laufenden Flurbereinigungsverfahren (rechtl. Rahmenbedingung) waren für die Versuchsstrecke die Rahmenbedingungen geschaffen, um die notwendige Fläche zu erwerben. Hauptsächlich hat in diesem Fall die umfassende Sanierungsbedürftigkeit der Ufersicherung in Verbindung mit der wirtschaftlichen Situation dazu geführt, dass Überlegungen zur Einstellung der Uferunterhaltung und teilweisem Rückbau der technischen Ufersicherung angestellt wurden. Technische Belange wurden vorerst hintenan gestellt.

Ein Vorschlag zur Priorisierung der erwähnten Randbedingungen für zukünftige, ähnliche Aufgabenstellungen ergibt sich gemäß durchgeführter Untersuchung nach Tabelle 18. Dabei sind auch Randbedingungen aufgeführt, die in der vorliegenden Ausarbeitung nicht näher beleuchtet wurden.

Tabelle 18: Vorschlag der Priorisierung von Randbedingungen zur Entscheidung der Einstellung einer Uferunterhaltung und / oder dem Rückbau einer technischen Ufersicherung an Binnenwasserstraßen

| P r i o r i t ä t                                                                           |                                                                                                                  |                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| hoch                                                                                        | mittel                                                                                                           | gering                                                                                           |
| Notwendigkeit zu Aus-, Neu-<br>Umbau oder Sanierung                                         | Zusammensetzung der<br>Schiffsflotte und Entwicklung<br>der Schifffahrt                                          | Vereinbarkeit mit Belangen der<br>Landwirtschaft                                                 |
| Rechtliche<br>Rahmenbedingungen                                                             |                                                                                                                  |                                                                                                  |
| Wirtschaftliche<br>Rahmenbedingungen                                                        | Lage des Uferabschnitts im Streckenverlauf<br>und Gewässerquerschnitt                                            |                                                                                                  |
| Flächenverfügbarkeit und<br>Eigentumsverhältnisse                                           | Abstand der Fahrrinne zum Ufer                                                                                   |                                                                                                  |
| Grad der zugelassenen<br>Uferverformung                                                     | Ursprüngliche Ufersicherung                                                                                      |                                                                                                  |
| Baugrund und<br>Bodenkennwerte                                                              | Globale und lokale<br>Standsicherheit                                                                            | Hydraulische Belastung durch<br>Schleusung, Nutzung der<br>Wasserkraft, Ein- und<br>Ausleitungen |
| Einrichtung eines begleitenden<br>Monitorings                                               | Belastungen aus natürlicher<br>Strömung                                                                          | Akzeptanz und Einbezug der<br>Betroffenen                                                        |
| Höhe des<br>Gefährdungspotentials der<br>Sicherheit und Leichtigkeit<br>des Schiffsverkehrs | Belange des<br>Denkmalschutzes                                                                                   | Stauhaltungslänge                                                                                |
| Motivation der Entscheidungsträger                                                          | Häufigkeit und Ausprägung<br>von Hochwasser und<br>Überschwemmung                                                | Grundwasserverhältnisse                                                                          |
| Gefährdungspotential für<br>Mensch und Tier                                                 | Gefährdungspotential technischer<br>Bauwerke und Anlagen durch<br>Treibgut oder Erosionsmaterial                 |                                                                                                  |
| Auswirkungen auf den<br>Hochwasserschutz und<br>Wasserabfluss                               | Zu akzeptierender Mehrunterhalt<br>(bspw. Unterhaltung Fahrrinne,<br>Baumpflege, etc.)                           |                                                                                                  |
| Anstehende<br>Böschungsneigung                                                              | Hydraulische Belastungen<br>durch Schifffahrt                                                                    |                                                                                                  |
| Ausbildung bestehender<br>Vegetation                                                        | Möglichkeit von Maßnahmen zur<br>Reduzierung der Uferbelastungen<br>(Wellenbrecher,<br>Verkehrsregelungen, etc.) |                                                                                                  |
| Sicherungsnotwendigkeit<br>angrenzender Infrastruktur                                       |                                                                                                                  |                                                                                                  |

Das Zusammenwirken dieser Randbedingungen und die Abhängigkeiten untereinander sind sehr komplex. Eine Verschiebung der technischen, wirtschaftlichen, ökologischen / sozialen Anforderungen und eine damit eventuell einhergehende andere Priorisierung der Randbedingungen ist für den Einzelfall immer wieder neu zu prüfen. Hierbei können sich aus der besonderen Situation des Einzelfalls ebenso zusätzliche Randbedingungen ergeben, die nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung waren. Hervorzuheben sind „harte“ Bedingungen wie die rechtlichen Rahmenbedingungen oder eine Flächenverfügbarkeit. Sind angrenzend bspw. technische Bauwerke wie Straßen übergeordneter Bedeutung oder ähnliches zu sichern, wird auf eine technische Ufersicherung kaum verzichtet werden können. Ist es jedoch möglich, Uferveränderungen zuzulassen, rücken wiederum andere Anforderungen und deren sie beeinflussende Randbedingungen in den Vordergrund. Eine Verschiebung zugunsten deren Erfüllung innerhalb des Spannungsfeldes (Abbildung 29) ist dann möglich.

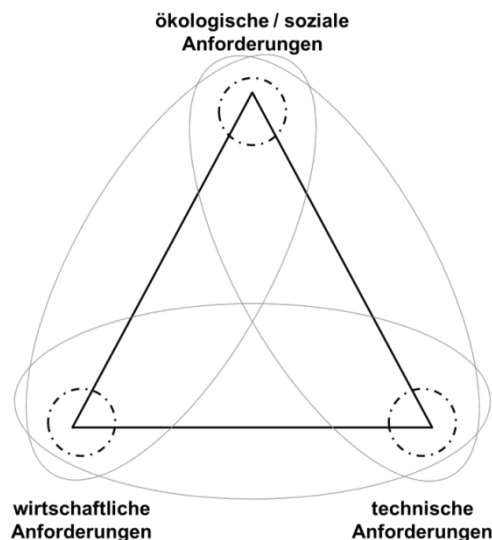


Abbildung 29: Spannungsfeld der Anforderungen an Binnenschiffahrtsgewässer

Die Übergänge sind meist fließend und Anforderungen müssen sich nicht zwingend gegenseitig ausschließen. Von wesentlicher Bedeutung ist also auch, welchen Anforderungen - technischen, wirtschaftlichen, ökologischen / sozialen - in welchem Umfang und Verhältnis mit Beschluss einer Maßnahme entsprochen werden soll.

**Insofern ist eine strikte und schematische Priorisierung der Randbedingungen zur Entscheidung der Einstellung einer Uferunterhaltung oder dem Rückbau einer technischen Ufersicherung nicht zielführend.** Denkansätze zur Auswahl von Uferabschnitten, an denen eine Einstellung der Uferunterhaltung oder Entfernung der technischen Ufersicherung erfolgen soll, sind stets neu für den betroffenen Einzelfall zu entwickeln. Die vorliegende Arbeit ist durch Formulierung und Verknüpfung der dabei zu berücksichtigenden Randbedingungen ein wichtiger Baustein.



## 7 Glossar

Für eine gemeinsame Verständnisgrundlage ist eine Definition von Begriffen notwendig, denen entweder eine Bedeutung nach allgemeinem Fachverständnis oder eine entsprechende Bedeutung nach der Auffassung des Verfassers zukommt. Es werden im Folgenden kurz Begriffe erläutert, die für das Verständnis vorliegender Arbeit für relevant erachtet werden. Darüber hinausgehende wesentliche Begriffe sind dem DWA-M 519 (2014) oder GBB (2010) zu entnehmen.

**Aue:** Jener Bereich eines Tales, der periodisch oder episodisch vom Fluss überschwemmt wird (WILLMANN 1998).

**Binnenwasserstraße (BWS):** Oberirdisches Gewässer als Wasserstraße (in Auszügen DWA-M 519 2014). BWS sind Teil der Bundeswasserstraßen. Bei den BWS des Bundes unterscheidet man solche, die dem allgemeinen Verkehr dienen, und solche von untergeordneter Bedeutung, die nicht dem allgemeinen Verkehr dienen, sogenannte sonstige Binnenwasserstraßen des Bundes (WSV.DE 2015).

**Bordvoll:** bezeichnet den Abflusszustand bzw. eine Abflussmenge, die soeben noch ohne Übertritt über die Böschungsoberkante des Gewässers abfließen kann (Anm. d. Verfassers).

**Böschung:** Siehe →Ufersicherung.

**Bundeswasserstraße:** Die Bundeswasserstraßen gliedern sich nach dem Wasserwegerecht in →Binnenwasserstraßen (BWS) und →Seewasserstraßen. Das Schifffahrtsrecht unterteilt die Bundeswasserstraßen entsprechend ihrer überwiegenden Verkehrsnutzung in Binnenschifffahrtsstraßen und Seeschifffahrtsstraßen. (WSV.DE 2015).

**Entfernung (technischer) Ufersicherung:** Bezieht sich auf Entfernung der Ufersicherung (bspw. ab →Mittelwasserstand (MW) oder höher) eine technische Sicherung der Sohle ist eventuell immer noch vorhanden. Nicht zwingendermaßen vollständiges Entfernen technischer Sicherung (Anm. d. Verfassers).

**Einstellung von Unterhaltungsmaßnahmen:** je nach Fall zu beziehen auf unterschiedliche Unterhaltungsaspekte der verkehrliche Unterhaltung oder der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung. Kann sich auch auf Teilaspekte jeweils der verkehrlichen oder wasserwirtschaftlichen Unterhaltung beziehen (Einstellung Grünschnitt, Einstellung Instandsetzungsmaßnahmen an Deckwerk, etc.) (Anm. d. Verfassers).

**Fußeinbindung:** Geradlinige Fortführung des Deckwerks mit Böschungsneigung über Böschungsfußpunkt in die Sohle um entsprechende Einbindetiefe (Anm. d. Verfassers).

**Fußsicherung:** Auch Fußstützung. Unterer Abschluss einer Böschungssicherung, bspw. →Fußvorlage, →Fußeinbindung oder Fußspundwand (GBB 2010).

**Fußvorlage:** Abgewinkelte Fortführung des Deckwerks horizontal zur Sohle mit Knickpunkt am Böschungsfuß mit entsprechender Länge und Fußvorlagendicke (Anm. d. Verfassers).

**Kohäsion:** Ist eine zusammenhaltende Kraft in bindigen Böden. Zu unterscheiden sind scheinbare Kohäsion und effektive Kohäsion. Die scheinbare Kohäsion resultiert aus der „Klebekraft“ des Porenwinkelwassers feuchter nichtbindiger Böden. Die effektive, dauerhaft wirksame Kohäsion ist eine Haftreibung zwischen Bodenkörnern und besteht entgegen der scheinbaren Kohäsion auch bei dränierten Böden.

**Linkes Ufer:** Lagebezeichnung stets in Blickrichtung stromabwärts (zu Tal) (Anm. d. Verfassers).

**Mittelwasserstand oder Mittelwasser (MW):** Zeitlich (arithmetisch) gemittelter Wasserstand eines Bezugsjahres bzw. eines Bezugszeitraumes. In der Regel ist MW nicht identisch mit dem Wasserstand bei →Mittlerem Abfluss (MQ) (DWA-M 519 2014).

**Mittlerer Abfluss (MQ):** Arithmetisches Mittel aller Abflüsse gleichartiger Zeitabschnitte in einem betrachteten Zeitraum (DWA-M 519 2014).

**Morphologie:** Die Lehre von den Gestalten, Formen. Besonders hinsichtlich ihrer Eigenarten, Entwicklungen und Gesetzmäßigkeiten. Kurzform für Geomorphologie als Wissenschaft von den Formen der Erdoberfläche und den sie beeinflussenden Kräften und Prozessen (DUDEN.DE 2015).

**Morphometrie:** Ausmessung der äußeren Form (z. B. von Körpern, Organen). Sie ist Teilgebiet der Geomorphologie (→Morphologie) mit der Aufgabe, die Formen der Erdoberfläche durch genaue Messungen zu erfassen (DUDEN.DE 2015).

**Pluvio-nival:** Wortzusammensetzung aus lateinisch *nix* „Schnee“ und lateinisch *pluvia* „Regen“ als Kategorisierung für das Abflussregime eines Flusses, welches durch die vorstehenden Niederschlagsgeschehen geprägt ist und wobei der Regen den Haupteinfluss darstellt im Gegensatz zum nivo-pluvialen Abflusstyp (Anm. d. Verfassers).

**Rechtes Ufer:** Lagebezeichnung stets in Blickrichtung stromabwärts (zu Tal) (Anm. d. Verfassers).

**Schubverband (SV):** Eine starre Verbindung von Fahrzeugen, vor denen sich mindestens eines vor dem Fahrzeug mit Maschinenantrieb befindet, das den Verband fortbewegt und als „schiebendes Fahrzeug“ bezeichnet wird (DWA-M 519 2014).

**Seewasserstraßen:** Die Flächen zwischen der Küstenlinie bei mittlerem Hochwasser oder der seewärtigen Begrenzung der Binnenwasserstraßen und der seewärtigen Begrenzung des Küstenmeeres (WSV.DE 2015).

**Sicherheit und Leichtigkeit (nautisch):** Sicherheit bezeichnet einen Prozess, der frei ist von unvermeidbaren Risiken der Beeinträchtigung oder als gefahrenfrei angesehen wird, und schließt Personensicherheit und Sachschutz ein; Leichtigkeit bezeichnet das Fehlen besonderer Erschwernisse beim Führen und Navigieren eines Schiffes. Je höher die Leichtigkeit, umso höher auch die Sicherheit. Die Sicherheit und Leichtigkeit können z. B. durch Fahrinnenbreite, Kurvenradius, Sichtweite und Informationssysteme beeinflusst werden.

**Sozio-ökologisch:** in seiner Bedeutung die Gesellschaft wie die Ökologie in ihrer gesellschaftlichen Struktur **gleichermaßen** betreffend. Nicht aufzufassen wie die ledigliche Zusammenfassung der sozialen und ökologischen Aspekte (ökologisch / sozial wie hier angewandt) (Anm. d. Verfassers).

**Stauhaltung:** Eine Stauhaltung erstreckt sich vom Oberwasser eines Wehres / einer Schleuse bis zum Unterwasser des / der stromaufwärts gelegenen nächsten Wehres / Schleuse (Anm. d. Verfassers).

**Sukzession:** In der Ökologie eine zeitliche Aufeinanderfolge der an einem Standort einander ablösenden Pflanzen- und Tiergesellschaften (DUDEN.DE 2015).

**Ufersicherung:** Ufer ist (eigentlich) der Bereich, in dem der Spiegel eines Gewässers an höher gelegenes Land grenzt (duden.de). Eine Böschung ist als geneigte Fläche Teil des Ufers, erstreckt sich jedoch i. d. R. von Böschungsoberkante bis zur Sohle, d. h. somit auch unter Wasser. Ufersicherung wird hier als umfassender Begriff („Sicherung des Ufers in seiner Gesamtheit“) verstanden und kann somit die Böschungssicherung (Sicherung der geneigten Fläche über als auch unter Wasser) als Maßnahme zur Sicherung des Ufers mit einschließen. Dabei bezieht sich der Begriff stets auf eine Ufersicherung an Binnenwasserstraßen. Nicht schiffbare Gewässer sind nicht Gegenstand der Betrachtung vorliegender Arbeit (Anm. d. Verfassers).

## 8 Quellenverzeichnis

### 8.1 Literaturquellen

BAW BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (Hrsg.) (1991): Störwasserstraße. Gutachten über die Sanierung der Kanalseitendämme km 3,05 bis km 4,80. Berlin.

BAW BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (Hrsg.) (2008): BAW Grundsatzaufgabe Bestandsaufnahme von Deckwerken. 9. Teilbericht. Untersuchungen an der DEK-Nordstrecke. Karlsruhe.

BAW BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (Hrsg.) (2013): Zum Einfluss unter- und überströmter Wehrverschlüsse auf den Sedimenttransport durch Stauhaltungen. BAWBrief 04/2013. Karlsruhe.

BDB BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN BINNENSCHIFFFAHRT E. V. (Hrsg.) (2013/2014): Daten & Fakten 2013/2014. Infobroschüre, Duisburg.

BEGEMANN, W. & H. M. SCHIECHTL (1994): Ingenieurbilogie. Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau. 2. Auflage, Bauverlag, Wiesbaden.

BFG BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE & BAW BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (Hrsg.) (2006): Untersuchungen zu alternativen, technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen (F&E-Projekt); Teil 1: Veranlassung, Umfrage und internationale Recherche. Karlsruhe.

BFG BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (Hrsg.) (2007): Voraussichtliche ökologische Auswirkungen aus der Fahrt des 135 m langen Schiffs auf Ufervegetation und aquatische Tiere des Neckars. Bericht 1675. Koblenz.

BFG BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE & BAW BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (Hrsg.) (2009): Neckarversuchsstrecke km 44,2 bis km 44,6, rechtes Ufer. Abschlussbericht vom 30.06.2009. Karlsruhe.

DFG DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT (Auftraggeber) (1979): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. Textband. Harald Boldt Verlag. Boppard.

DIRBACH, U., BAIER, G., BÜCHE, B., KRÜß, A. & F. LEPPER (1992): Die Neckaraue und angrenzende Gebiete im Regierungsbezirk Karlsruhe. Im Auftrag der Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Karlsruhe und Unterstützung der Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg. Karlsruhe.

EISENMANN, J. & P. FLEISCHER (2012): Möglichkeiten und Grenzen pflanzlicher Ufersicherungen an Wasserstraßen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.): BAW Mitteilungsblatt Nr. 95 (Johann Ohde Kolloquium), S. 21-39. Karlsruhe.

ELLENBERG, H., WEBER, H. E., DÜLL, R., WIRTH, V., WERNER, W. & D. PAULIßEN (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. 2. verbesserte und erweiterte Auflage, Verlag Erich Goltze KG, Göttingen.

FELKEL, K. (1960): Die Uferbefestigung mittels Steinmatten. In BAYRISCHER WASSERWIRTSCHAFTSVERBAND E. V. , EMSCHERGENOSSENSCHAFT, LINKSNIEDERRHEINISCHE ENTWÄSSERUNGSGENOSSENSCHAFT, LIPPEVERBAND, NIERSEVERBAND, RUHRTALSPERRENVEREIN, RUHRVERBAND, SÜDWESTDEUTSCHER WASSERWIRTSCHAFTSVERBAND, WESERBUND, WESTDEUTSCHER WASSERWIRTSCHAFTSVERBAND, WUPPERVERBAND, WÜRTTEMBERGISCHER WASSERWIRTSCHAFTSVERBAND (Hrsg.): Die Wasserwirtschaft. 50. Jahrgang, Heft 9, S. 225-228.

GEMEINDE OBRIGHEIM (Hrsg.) (1985): Naturlehrpfad Mörtelstein. Naturpark Neckartal/Odenwald. Medro. Obrigheim.

HOHNECKER, H. G. (o. J.): Manuskript zur Vorlesung Gewässerschutz im Masterstudiengang Umweltschutz an der HfT Stuttgart, Stuttgart.

ITP INTRAPLAN CONSULT GMBH & BVU BERATERGRUPPE VERKEHR UND UMWELT (2007): Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.). München.

KÖHLER, H.-J. (1989): Messung von Porenwasserüberdrücken im Untergrund. In BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (Hrsg.): BAW Mitteilungsblatt Nr. 66, S. 155-174. Karlsruhe.

LENZ, E.-U. (2007): Die Planungen zur Verlängerung der Schleusen am Neckar. In GENERALDIREKTION WASSERSTRÄßEN UND SCHIFFFAHRT AUßENSTELLE SÜDWEST (Hrsg.): Informationsschrift 2007. Mainz. S. 13 – 17.

LFU LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (1994): Gehölze an Fließgewässern. Handbuch Wasserbau. Heft 6. Im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg (Hrsg.). Stuttgart, Karlsruhe.

LFU LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1992): Potentielle Natürliche Vegetation und Naturräumliche Einheiten. Als Orientierungsrahmen für ökologisch-planerische Aufgabenstellungen in Baden-Württemberg. Aus der Reihe: Untersuchungen zur Landschaftsplanung. Band 21. Karlsruhe.

LUBW (a) LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2007): Der Neckar. Das Land und sein Fluss. Verlag Regionalkultur, Heidelberg.

LUBW (b) LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2007): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch. Rheingebiet, Teil I. Hoch- und Oberrhein. 2007. 01.11.2006 – 31.12.2007. Karlsruhe.

LUBW (c) LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2007): Gehölze an Fließgewässern. Karlsruhe.

LUBW LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (2013): Potentielle Natürliche Vegetation von Baden-Württemberg. Verlag Regionalkultur, Heidelberg.

PATT, H., JÜRGING, P. & W. KRAUS (2004): Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. 2. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg.

PAUL, W. (1989): Deckwerksbauweisen an Rhein, Neckar, Saar. In BAW BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (Hrsg.): Mitteilungsblatt BAW Nr. 66. Karlsruhe. S. 39 – 44.

PIANC PERMANENT INTERNATIONAL ASSOCIATION OF NAVIGATION CONGRESSES (Hrsg.): Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways. Report of the Working Group 4 of the Permanent Technical Committee. Supplement to Bulletin No. 57. Brüssel.

PLANCO Consulting GmbH (2007): Verkehrswirtschaftlicher und ökologischer Vergleich der Verkehrsträger Straße, Bahn und Wasserstraße. Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse. Im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerschutz (Hrsg.). Koblenz.

RP STUTTGART REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART (Hrsg.) (2005): EG – Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG). Vorläufiger Bericht zur Bestandsaufnahme Teil B Bearbeitungsgebiet Neckar (Stand 24.02.2005). Stuttgart.

RP STUTTGART REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART (Hrsg.) (2006): Fachinformation zur Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie im Neckar-Einzugsgebiet. Stuttgart.

SEBALD, O., SEYBOLD, S. & G. PHILIPPI (Hrsg.) (1990): Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Bd. 2: Spezieller Teil (Spermatophyta). Stuttgart.

WILMANN, O. (1998): Ökologische Pflanzensoziologie. Eine Einführung in die Vegetation Mitteleuropas. 6. neu bearb. Auflage, Quelle & Meyer Verlag, Wiesbaden.

WSA HEIDELBERG (Hrsg.) (2007): Zwanzig Jahre Arbeitsgruppe „Untersuchung Naturnaher Böschungssicherungsarten am Neckar“. Eine Bilanz des WSA Heidelberg. Bericht. Heidelberg.

WSD WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION SÜDWEST & BMVBS BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (Hrsg.) (2007): Kompendium der Wasser- und Schifffahrtsgesellschaft Südwest. Organisatorische und technische Daten Binnenschifffahrt | Aufgaben | Wasserstraßen. Mainz.

## 8.2 Kartenquellen

GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.) (1985): Geologische Spezialkarte des Großherzogthums Baden. 6620 Mosbach. Kartenblatt 34. Stuttgart.

GEOVIEWER DER WSV (2015): Onlinedienst unter:  
<http://geoviewer.wsv.bvbs.bund.de/mapclient3/initParams.do;jsessionid=4E1DFAD8648DB1E548374940802E2E2D> (letzter Abruf: 03.03.2015)

KARTENDIENST DER EUROPÄISCHEN UMWELTAGENTUR (2015): Onlinedienst Natura2000-Gebiete unter: <http://natura2000.eea.europa.eu/#> (letzter Abruf: 28.02.2015)

KARTENDIENST DES BFN (2015): Onlinedienst Schutzgebiete in Deutschland unter: [www.geodienste.bfn.de/schutzgebiete](http://www.geodienste.bfn.de/schutzgebiete) (letzter Abruf: 02.03.2015)

DATEN- UND KARTENDIENST DER LUBW (2015): Onlinedienste Potentielle Natürliche Vegetation/Wasserschutzgebiet/Überflutungsflächen/Überschwemmungsgebiete/Biotop unter: <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/> (letzter Abruf: 15.04.2015)

KARTENVIEWER LGRB BADEN-WÜRTTEMBERG (2015): Onlinedienst Geologische Übersichtskarte (GÜK300) im Maßstab 1:100.000 unter: (letzter Abruf: 02.03.2015)

WSA HEIDELBERG.DE (Hrsg.) (2015): Bundeswasserstraße Neckar mit Angabe von Schleusen und Flusskilometrierung, ohne Maßstab. Abruf unter: [http://www.wsa-heidelberg.wsv.de/wasserstrasse/karte\\_ueberblick/index.html](http://www.wsa-heidelberg.wsv.de/wasserstrasse/karte_ueberblick/index.html) (letzter Abruf: 05.03.2015)

### **8.3 Internetquellen**

BDB.DE BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN BINNENSCHIFFFAHRT E. V. (2015): [www.binnenschiff.de](http://www.binnenschiff.de) (letzter Abruf: 01.03.2015).

ENBW.COM ENERGIE BADEN-WÜRTTEMBERG AG (2015): <https://www.enbw.com/obrigheim/index.html> (letzter Abruf: 26.02.2015).

DUDEN.DE (2015): [www.duden.de](http://www.duden.de) (letzter Abruf: 08.04.2015).

FLORAWEB.DE (2015): <http://www.floraweb.de/index.html>. Online-Informationsangebot des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) über die wildwachsenden Pflanzenarten, Pflanzengesellschaften und die natürliche Vegetation Deutschlands. (letzter Abruf: 20.04.2015).

LUBW.DE LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (2015): DRS Document Retrieval System Baden-Württemberg, Dienst Wasserschutzgebiete: <http://drs.baden-wuerttemberg.de/grundwasser/dl/> (letzter Abruf: 16.04.2015).

RHEIN-NECKAR-WIKI.DE (2015): [http://rhein-neckar-wiki.de/Schleusenanlage\\_Schwabenheim](http://rhein-neckar-wiki.de/Schleusenanlage_Schwabenheim) (letzter Abruf: 09.04.2015).

WSV.DE WASSER- UND SCHIFFFAHRTSVERWALTUNG DES BUNDES (2015): [http://www.wsv.de/wasserstrassen/gliederung\\_bundeswasserstrassen/](http://www.wsv.de/wasserstrassen/gliederung_bundeswasserstrassen/) (letzter Abruf: 25.02.2015).

### **8.4 Rechtsquellen, Normen und Regelwerke**

BARTSCHV: Verordnung zum Schutz wild lebender Tier- und Pflanzenarten vom Februar 2005 (BGBl. I S. 258, 896), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 21. Januar 2013 (BGBl. I S. 95).

DIN 1054 DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2010): Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1. Beuth Verlag, Berlin.

DIN 4084 DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (2009): Baugrund – Geländebruchberechnungen. Beuth-Verlag, Berlin.

DWA-M 519 DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (Hrsg.) (2014): Merkblatt DWA-M 519. Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Binnengewässern. Gelbdruckentwurf 31.07.2014. Hennef.

EC 7 / DIN EN 1997-1 DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E. V. (Hrsg.) (1997): Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik. Beuth Verlag, Berlin.

EG-WRRL: EG-Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (ABl. L 327 vom 22.12.2000, S. 1), zuletzt geändert Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001.

FFH-RICHTLINIE: Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (ABl. L 206 vom 22.7.1992, S. 7), zuletzt geändert durch Richtlinie 2006/105/EG des Rates vom 20. November (ABl. L 363 vom 20.12.2006).

GBB BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (Hrsg.) (2010): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB). Ausgabe 2010. Karlsruhe.

MAR BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (Hrsg.) (2008): Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR). Ausgabe 2008. Karlsruhe.

NATSCHG: Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz), Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 24 des Gesetzes vom 06. Juni 2013 (BGBl. I S. 1482).

NATURSCHUTZGESETZ BADEN-WÜRTTEMBERG: Gesetz zum Schutz der Natur, zur Pflege der Landschaft und über die Erholungsvorsorge in der freien Landschaft vom 13. Dezember 2005, letzte berücksichtigte Änderung: § 60 geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 3. Dezember 2013 (GBl. S. 449, 471).

SCHALVO: Verordnung des Umweltministeriums über Schutzbestimmungen und die Gewährung von Ausgleichsleistungen in Wasser- und Quellenschutzgebieten vom 20. Februar 2001, letzte berücksichtigte Änderung: mehrfach geändert durch Artikel 15 des Gesetzes vom 3. Dezember 2013 (GBl. S. 389, 444).

UVPG: Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), zuletzt geändert durch Artikel 10 des Gesetzes vom 25. Juli 2013 (BGBl. I S. 2749).

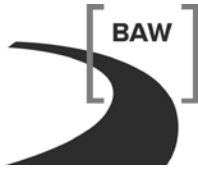
VSCH-RL: Richtlinie 2009/147/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (ABl. L 20 vom 26.01.2010, S. 7).

WASSERGESETZ FÜR BADEN-WÜRTTEMBERG vom 3. Dezember 2013 (GBl. Nr. 17, S. 389), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 16. Dezember 2014 (GBl. Nr. 24, S. 777).

WASTRG: Bundeswasserstraßengesetz vom 2. April 1968 (BGBl. 1968 II S. 173), zuletzt geändert durch Artikel 4 Absatz 125 des Gesetzes vom 7. August 2013 (BGBl. I S. 3154).

WHG: Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 15. November 2014 (BGBl. I S. 1724).





## **9 Anlagen**



## Anlage 1: Datenabfrage

## Aufgabenstellung Masterthesis:

### Ökologische Uferumgestaltungen und -aufwertungen an Binnenwasserstraßen

Analyse und Bewertung der Uferveränderungen am linken Neckarufer von km 76.250 bis km 80.450 nach Einstellung der Unterhaltungsarbeiten und teilweisem Rückbau der technischen Ufersicherung seit 1996

## Datentabelle

| Baustein                   | Parameter                                                                                      | Kurzerläuterung                                                                                                                                                                                                   | An-sprech-partner |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Gewässer-schutz(-streifen) | Angrenzende Nutzung (Entwicklung der Nutzung)<br>Alte Luftbildaufnahmen?<br>Kartenwerk?<br>8 m | Zur Bewertung des eventuellen Stoffeintrages/Beeinflussung des Ufers durch das Hinterland                                                                                                                         |                   |
| Historie / Ufersicherung   | Stellungnahme des Geologischen Landesamtes BaWü (evtl. Verbindung zu Bodenkennwerten)          | Hieraus eventuell auch Bodenkennwerte (s. unten) erkenntlich                                                                                                                                                      |                   |
|                            | Ausgangszustand der technischen Ufersicherung? Alte Bemessung? Wann wurde diese eingebaut?     |                                                                                                                                                                                                                   |                   |
|                            | Ursprüngliches Deckwerk? Alte Böschungsneigung?                                                |                                                                                                                                                                                                                   |                   |
|                            | Dokumentation des Rückbaus? Und Unterhaltungsmaßnahmen danach bis heute.                       | Was wurde vom Deckwerk wann entfernt? Was ist heute noch erhalten?<br><br>Ausgangszustand und Einflussnahme bis heute durch getroffene Maßnahmen zum Vergleich mit der zeitlichen Entwicklung des Uferabschnittes |                   |
|                            | Ist-Zustand der Ufersicherung?<br>Sohlensicherung?                                             | Wie ist der aktuelle Zustand der Sicherung; sind alte Sicherungsmaßnahmen stellenweise noch erhalten?                                                                                                             |                   |
|                            | Unterwasserböschung?                                                                           | Ist die Sicherung der Unterwasserböschung noch vorhanden?                                                                                                                                                         |                   |

|                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                  |  |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs | Baggermassen (Fahrrinne)?                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Zur Abbildung der zeitlichen Entwicklung; Beurteilung des Unterhaltungsaufwandes                                                                                 |  |
|                                                 | Echolotpeilungen auf Abschnitt vorhanden?                                                                                                                                                                                                                                                                   | Eventuell Aussagen möglich über „Aufrechterhaltung“ der Fahrrinne (s.vor)                                                                                        |  |
|                                                 | Aktuelle Daten zu Schiffsflotte <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schiffstypen</li> <li>- Abladetiefen</li> <li>- Wasserstandspez. Schiffsgeschw.</li> <li>- etc.</li> </ul>                                                                                                                         | <i>Bereits Absprache mit Hr. Fritzen; können dort direkt abgefragt werden</i>                                                                                    |  |
|                                                 | Entwicklung der Schiffsflotte <ul style="list-style-type: none"> <li>- Daten aus bspw. 1996 u. 2000</li> </ul>                                                                                                                                                                                              | Zum Abgleich mit aktuellen Daten um evtl. Trend erkennen/ableiten zu können<br><br><i>Bereits Absprache mit Hr. Fritzen; können dort direkt abgefragt werden</i> |  |
| Bemessung (GBB Soft)                            | Vollständige Neckar-Querprofile <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wasserspiegelbreite</li> <li>- Böschungneigung</li> <li>- Wassertiefe</li> </ul>                                                                                                                                                   | Querschnitte Fluss und Fahrrinne                                                                                                                                 |  |
|                                                 | Daten zu Grundwasser (GW-Pegel?)                                                                                                                                                                                                                                                                            | Bemessung der Standsicherheit                                                                                                                                    |  |
|                                                 | Bodenkennzahlen <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wichte</li> <li>- Wichte unter Wasser</li> <li>- Reibungswinkel</li> <li>- Kohäsion</li> <li>- <math>k_f</math>-Wert</li> <li>- Kornverteilungskurve → Bodensubstrat</li> <li>- erforderliche Daten zur Bewertung der Filterstabilität?</li> </ul> |                                                                                                                                                                  |  |

|                           |                                                                                                                                         |                                                                                                            |  |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                           | Verkehrsbedingungen / -regelungen / -einschränkungen?                                                                                   | Abweichende/weitergehende Regelungen ggü. BinSchStrO?                                                      |  |
| Wasserstände              | NNW? HSW? MW?<br>MHW? HHW? SoMW?                                                                                                        |                                                                                                            |  |
| Hochwasser-schutz         | HW-Ereignis-Daten<br>Bemessungshochwasser<br>wie bspw. HQ <sub>5</sub> , HQ <sub>20</sub> ,<br>HQ <sub>100</sub> , HQ <sub>Extrem</sub> |                                                                                                            |  |
|                           | typisches HW-Ereignis<br>(HWX)                                                                                                          |                                                                                                            |  |
|                           | festgesetzte Über-schwemmungsgebiete<br>am betrachteten Uferab-schnitt?                                                                 |                                                                                                            |  |
| Entwicklung der Uferlinie | Uferlinie 2013 einge-messen – historische Daten vorhanden zum Abgleich?                                                                 | Uferlinie 1996 (Ausgangssituati-on)                                                                        |  |
| Rückbaukosten             | Entfernung der vorh. Sicherung, Kosten, Ent-sorgungskosten oder wieder eingebaut an an-derer Stelle?                                    |                                                                                                            |  |
| Unterhaltungs-kosten      | Entwick-lung/Dokumentation des Unterhaltungsaufwandes betr. Uferabschnittes                                                             |                                                                                                            |  |
|                           | Aktuelle Unterhaltungs-maßnahmen: verkehrli-che / wasserwirtschaftli-che?                                                               | Wie wird der Uferabschnitt aktu-ell bewirtschaftet?                                                        |  |
|                           | Jetzige Kosten des Un-terhaltes? Oder keine Kosten?                                                                                     | Gegenüberstellung der Unter-haltungskosten IST und theore-tischer Unterhaltungskosten technisches Deckwerk |  |
| Flächenerforder-lichkeit  | damaliger Kaufpreis der Flächen? Flächengröße 6.400 m <sup>2</sup>                                                                      |                                                                                                            |  |

**Masterand Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe**

[i.groschup@googlemail.com](mailto:i.groschup@googlemail.com)

**Tel. Büro:** 0721-9726-2609

## Anlage 2: Digitalisierte Daten und Unterlagen

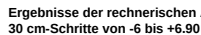
Anlage 3: Ergebnisse der rechnerischen Auswertung der Profile 2013 im Vergleich zu 1996  
bzw. 1998 für neuaufgenommene Profile



Ergebnisse der rechnerischen Auswertung der Profile 2013 im Vergleich zu 1996 bzw. 1998 für neuaufgenommene Profile.  
30 cm-Schritte von -6 bis +6.90 m

| Bezugswert X           | gewählt: Bemessung  |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |  |
|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--|
|                        | delta 96 - 13 77.25 | delta 96 - 13 77.30 | delta 96 - 13 77.40 | delta 96 - 13 77.45 | delta 96 - 13 77.50 | delta 96 - 13 77.55 | delta 96 - 13 77.60 | delta 96 - 13 77.65 | delta 96 - 13 77.70 | delta 96 - 13 77.75 | delta 96 - 13 77.80 | delta 96 - 13 77.85 | delta 96 - 13 77.90 | delta 96 - 13 77.95 | delta 96 - 13 78.00 | delta 96 - 13 78.05 | delta 96 - 13 78.10 | delta 96 - 13 78.15 | delta 96 - 13 78.20 | delta 96 - 13 78.25 | delta 96 - 13 78.30 | delta 96 - 13 78.35 | delta 96 - 13 78.40 |  |
| -6.00                  | 0.029442785         | -0.140893694        | -0.048794459        | -0.043932237        | -0.021745193        | -0.100331146        | -0.048466332        | -0.077069308        | -0.058411227        | -0.011517715        | 0.022778146         | -0.010489310        | 0.005075052         | -0.12222568         | -0.011686310        | 0.02691123          | -0.02999718         | -0.042747633        | -0.058272169        | -0.03970845         | 0.004758748         | -0.052153373        | 0.012646873         |  |
| -5.70                  | 0.025708843         | -0.140223856        | -0.03870292         | -0.049832537        | -0.031334242        | -0.105941324        | -0.052864288        | -0.076602021        | -0.054778727        | -0.014111712        | 0.017245807         | -0.067070433        | 0.004711974         | -0.122142627        | -0.023483394        | 0.022025214         | -0.019344658        | -0.042960857        | -0.030868165        | -0.030868168        | 0.002224627         | -0.051895377        | 0.008169534         |  |
| -5.40                  | 0.0229749           | -0.139464018        | -0.045594157        | -0.053781454        | -0.040923292        | -0.107944309        | -0.057268265        | -0.076118135        | -0.054146183        | -0.017065708        | 0.011709695         | -0.073092173        | 0.004348896         | -0.113258662        | -0.035288169        | 0.017139197         | -0.019568915        | -0.04344608         | -0.068915327        | -0.03172803         | -0.000104943        | -0.05163738         | -0.003416567        |  |
| -5.10                  | 0.020240958         | -0.138704179        | -0.05369945         | -0.055273459        | -0.050512341        | -0.109947294        | -0.063759221        | -0.087875381        | -0.05351364         | -0.020019705        | 0.00617453          | -0.09113913         | 0.003985818         | -0.104374698        | -0.047088944        | 0.012253181         | -0.021686654        | -0.043931304        | -0.032587892        | -0.002543613        | -0.051379384        | -0.015002669        | -0.003416567        |  |
| -4.80                  | 0.0175017015        | -0.13794401341      | -0.061802743        | -0.06213988         | -0.060101391        | -0.111950279        | -0.070399247        | -0.089852397        | -0.052861096        | -0.022973701        | 0.002562795         | -0.081381002        | 0.010943386         | -0.095490733        | -0.058891172        | -0.005236774        | -0.023804392        | -0.044416528        | -0.080633885        | -0.033447755        | -0.007668702        | -0.051121388        | -0.026588771        |  |
| -4.50                  | 0.014773072         | -0.145366852        | -0.069907035        | -0.061377367        | -0.069690441        | -0.113955254        | -0.077033274        | -0.101213097        | -0.052827688        | -0.025248553        | 0.002272265         | -0.078738162        | 0.015290629         | -0.086606769        | -0.078548221        | -0.026582711        | -0.02592213         | -0.044901751        | -0.085506112        | -0.034307617        | -0.002561205        | -0.038174872        | -0.002561205        |  |
| -4.20                  | 0.01202913          | -0.162192687        | -0.078011328        | -0.064540746        | -0.076459108        | -0.115956249        | -0.0836793          | -0.112440955        | -0.057491445        | -0.026966492        | 0.001981735         | -0.076095322        | 0.009467821         | -0.077722804        | -0.098765703        | -0.047888648        | -0.028039869        | -0.055531095        | -0.092362374        | -0.03516748         | -0.039453228        | -0.073704026        | -0.049760974        |  |
| -3.90                  | 0.009305187         | -0.176018522        | -0.08611562         | -0.067704125        | -0.08313052         | -0.117959233        | -0.090319327        | -0.063387164        | -0.037539271        | -0.0123668814       | 0.001691204         | -0.073452483        | 0.003645014         | -0.06883884         | -0.118983185        | -0.061744435        | -0.072923186        | -0.098224136        | -0.036027342        | -0.055345191        | -0.090472312        | -0.05699247         | -0.003416567        |  |
| -3.60                  | 0.006571245         | -0.189044357        | -0.094219913        | -0.070857504        | -0.089801932        | -0.119962218        | -0.100407425        | -0.062828883        | -0.04538205         | -0.019967724        | 0.001049471         | -0.070890943        | -0.002177794        | -0.075974151        | -0.138200667        | -0.064394995        | -0.030275345        | -0.090315276        | -0.104088997        | -0.071237154        | -0.04245094         | -0.003416567        | -0.003416567        |  |
| -3.30                  | 0.003837302         | -0.203670192        | -0.102408075        | -0.074030982        | -0.105452811        | -0.121962203        | -0.119977724        | -0.075178602        | -0.052224829        | -0.039777161        | 0.008716603         | -0.080026061        | -0.084253696        | -0.159413149        | -0.067045557        | -0.034383083        | -0.077077367        | -0.105941659        | -0.037747767        | -0.087502002        | -0.02799041         | -0.003416567        | -0.003416567        |  |
| -3.00                  | 0.00110336          | -0.217496027        | -0.111770404        | -0.077194261        | -0.123105689        | -0.123968188        | -0.139548022        | -0.08107432         | -0.061067608        | -0.020603793        | -0.05523964         | -0.013823409        | -0.06523964         | -0.070651826        | -0.160518517        | -0.069696117        | -0.036510822        | -0.125099458        | -0.11799025         | -0.038606929        | -0.10302108         | -0.086016847        | -0.023198149        |  |
| -2.70                  | -0.001630583        | -0.231321861        | -0.121132733        | -0.08035764         | -0.139757567        | -0.125971173        | -0.157416794        | -0.168580247        | -0.086910387        | -0.031430426        | -0.062881124        | -0.051579602        | -0.019646217        | -0.086910387        | -0.142491548        | -0.04985727         | -0.123943214        | -0.142491548        | -0.139127119        | -0.061164655        | -0.084531691        | -0.036466444        | -0.003416567        |  |
| -2.40                  | -0.00669494         | -0.245147696        | -0.145541238        | -0.083521019        | -0.156408445        | -0.127974158        | -0.159971827        | -0.1712746          | -0.092865758        | -0.076751666        | -0.01699349         | -0.025460024        | -0.025460024        | -0.076751666        | -0.105367912        | -0.074997239        | -0.094062668        | -0.159883639        | -0.137461335        | -0.088025743        | -0.04773474         | -0.003416567        | -0.003416567        |  |
| -2.10                  | -0.02682199         | -0.268973531        | -0.17162154         | -0.086684398        | -0.173901323        | -0.129977142        | -0.16525686         | -0.17398952         | -0.084595946        | -0.05365964         | -0.065259641        | -0.041632482        | -0.014653633        | -0.083986094        | -0.07774478         | -0.138308067        | -0.19046807         | -0.138308067        | -0.07955948         | -0.081561381        | -0.060003035        | -0.003416567        | -0.003416567        |  |
| -1.80                  | -0.046959039        | -0.272799366        | -0.197701842        | -0.089838805        | -0.189713201        | -0.131980127        | -0.165081893        | -0.174289056        | -0.077601645        | -0.09573685         | -0.059288909        | -0.069378289        | -0.059378289        | -0.032357558        | -0.073302113        | -0.080298361        | -0.168083214        | -0.184970718        | -0.134129767        | -0.064112146        | -0.079997963        | -0.07727133         | -0.003416567        |  |
| -1.50                  | -0.067909089        | -0.284340315        | -0.20656047         | -0.092733012        | -0.20656047         | -0.133983112        | -0.167636927        | -0.171895733        | -0.069503114        | -0.11064704         | -0.061872338        | -0.073488016        | -0.077141135        | -0.049617884        | -0.062618132        | -0.082948921        | -0.168957854        | -0.189473367        | -0.132463983        | -0.048664812        | -0.20183324         | -0.084539625        | -0.003416567        |  |
| -1.20                  | -0.087233138        | -0.296845563        | -0.168059491        | -0.095627219        | -0.223016958        | -0.127092337        | -0.170191396        | -0.16950241         | -0.07856678         | -0.12595723         | -0.061751526        | -0.077602203        | -0.080169965        | -0.067100009        | -0.051934152        | -0.085959482        | -0.169832495        | -0.193976015        | -0.095838705        | -0.220717687        | -0.072331888        | -0.068079792        | -0.003416567        |  |
| -0.90                  | -0.107137114        | -0.309350811        | -0.129558913        | -0.098521426        | -0.239668936        | -0.102787776        | -0.172746093        | -0.167109086        | -0.091326995        | -0.14048742         | -0.061630714        | -0.077843124        | -0.081761539        | -0.084882134        | -0.041250171        | -0.091163158        | -0.170707136        | -0.198478664        | -0.07950661         | -0.238510134        | -0.068468061        | -0.108078216        | -0.003416567        |  |
| -0.60                  | -0.120281932        | -0.321856059        | -0.091057534        | -0.101415632        | -0.254515128        | -0.084482315        | -0.160147184        | -0.164715763        | -0.10527521         | -0.148525216        | -0.061509902        | -0.085830577        | -0.075516683        | -0.10206426         | -0.030566191        | -0.100436771        | -0.164900746        | -0.202981312        | -0.100374845        | -0.25684858         | -0.085609438        | -0.11403752         | -0.003416567        |  |
| -0.30                  | -0.133426751        | -0.334361307        | -0.048037075        | -0.099813959        | -0.260292763        | -0.066176854        | -0.135607381        | -0.162322439        | -0.118629425        | -0.155528797        | -0.06138909         | -0.089944765        | -0.060716361        | -0.155528797        | -0.08623483         | -0.08623483         | -0.158065505        | -0.207850295        | -0.109104867        | -0.181994651        | -0.075930787        | -0.10438482         | -0.003416567        |  |
| 0,00 (Hektometerstein) | -0.14891357         | -0.225989397        | -0.058256111        | -0.078980841        | -0.259888916        | -0.049781393        | -0.111481391        | -0.199923138        | -0.188150952        | -0.182929378        | 0.045814672         | -0.094589592        | 0.016453364         | 0.187710682         | 0.004321151         | -0.072990496        | -0.153292595        | -0.217847688        | -0.089532935        | -0.107460721        | 0.003901538         | -0.094752168        | -0.003416567        |  |
| 0.30                   | -0.159716380        | -0.046516624        | 0.164540297         | -0.095227263        | -0.25338468         | -0.03485217         | -0.087296259        | -0.157525793        | -0.073755121        | -0.16953596         | 0.292708075         | 0.045099457         | 0.341706422         | 0.389852941         | 0.06280203          | -0.05716906         | -0.144298024        | -0.227845642        | 1.707758867         | -0.069915922        | 0.239152622         | 0.737973233         | -0.085079465        |  |
| 0.60                   | -0.172861207        | 0.1325221           | 1.071981044         | -0.092939315        | -0.24993021         | -0.022338088        | 0.042011834         | -0.141106644        | -0.076868139        | -0.176539541        | 0.655020493         | 0.01715098          | 0.902677118         | 0.632941176         | 0.18088291          | -0.043743618        | -0.137563783        | -0.237843315        | 1.754581921         | -0.05032745         | 0.372478469         | 0.774166667         | -0.220676594        |  |
| 0.90                   | -0.186006026        | 0.744508108         | 1.141521938         | -0.096423214        | -0.2630586          | -0.010186859        | 0.482748402         | -0.123674937        | -0.057648148        | -0.183543122        | 0.822502761         | -0.10832727         | 0.924445611         | 0.718050606         | 0.364891389         | -0.02957033         | -0.519774561        | -0.247840988        | 1.365914634         | -0.018728145        | 0.190635478         | 0.551606061         | -0.228777111        |  |
| 1.20                   | -0.199150845        | 0.656115315         | 1.047857353         | -0.113405357        | -0.297863992        | 0.031269091         | 1.229484105         | -0.051726786        | 0.101747695         | -0.190546703        | 0.812539135         | -0.261368892        | 0.904129809         | 0.205003282         | -0.1954375          | -0.564628908        | -0.069714286        | -0.255518673        | 0.069714286         | 0.17457675          | 0.32010582          | 0.315664502         | -0.102711777        |  |
| 1.50                   | -0.198910215        | 0.290766967         | 0.894945321         | -0.1303875          | -0.182144867        | 0.569417708         | 0.894128032         | 0.192735784         | 0.201535674         | -0.195734055        | 0.691854664         | -0.367034213        | 0.86303849          | 0.303379612         | -0.104323624        | -0.72743125         | -0.462610994        | 0.72743125          | 0.106326503         | 0.079723944         | -0.027855128        | -0.027855128        | -0.003416567        |  |
| 1.80                   | -0.176591412        | 0.211819324         | 0.773415107         | -0.226669643        | 0.10008535          | 0.707566324         | 0.502390125         | 0.892017857         | 0.462623002         | -0.148250748        | 0.553080399         | -0.161928877        | 0                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |  |







Ergebnisse der rechnerischen /  
30 cm-Schritte von -6 bis +6.90

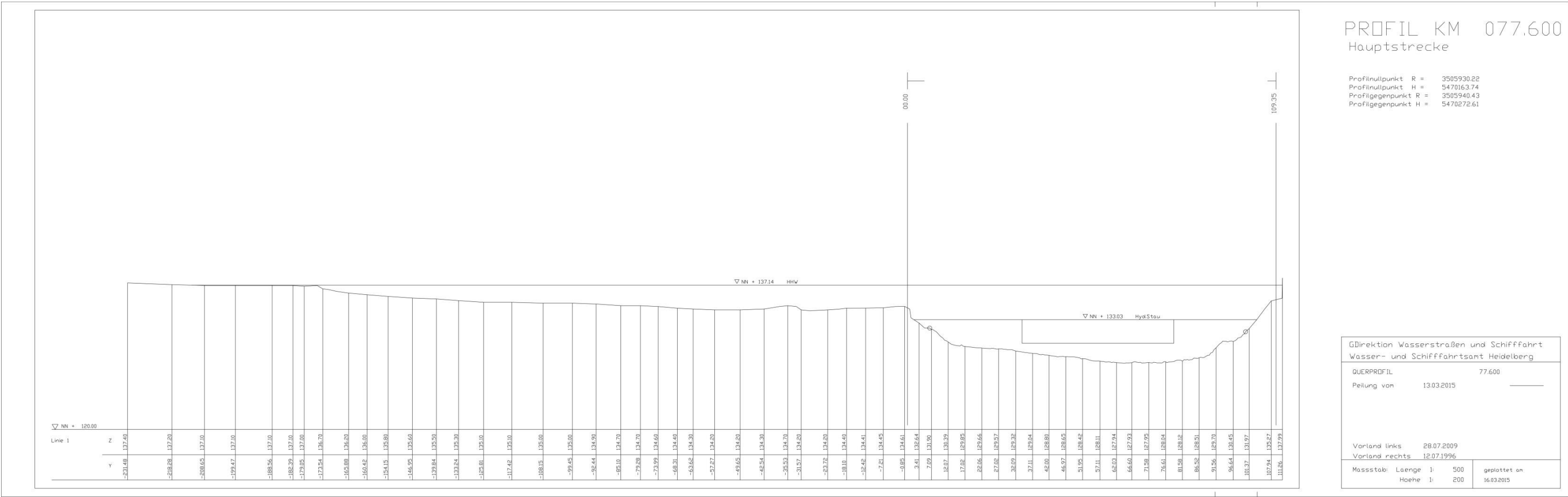
| Bezugswert X           | gewählt Bemessung    |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |
|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                        | delta 98 - 13 79.175 | delta 96 - 13 79.20 | delta 96 - 13 79.25 | delta 96 - 13 79.30 | delta 96 - 13 79.35 | delta 96 - 13 79.40 | delta 96 - 13 79.45 | delta 96 - 13 79.50 | delta 96 - 13 79.55 | delta 96 - 13 79.60 | delta 96 - 13 79.65 | delta 96 - 13 79.70 | delta 96 - 13 79.75 | delta 96 - 13 79.80 | delta 96 - 13 79.85 | delta 96 - 13 79.90 | delta 96 - 13 79.95 | delta 96 - 13 80.00 |
| -6,00                  | -0,06147112          | -0,14313438         | -0,077145646        | -0,069936555        | -0,022407621        | -0,096353431        | -0,097333812        | -0,134153846        | -0,060748471        | -0,074              | -0,04769002         | -0,111910504        | -0,001884277        | -0,047198825        | -0,022865022        | -0,091346656        | -0,082526698        | -0,122935086        |
| -5,70                  | -0,073912941         | -0,14950783         | -0,073254188        | -0,069927152        | -0,025431802        | -0,10506047         | -0,097795993        | -0,113384615        | -0,064391742        | -0,077832536        | -0,046918851        | -0,116241331        | -0,013908279        | -0,155378871        | -0,017661628        | -0,090617559        | -0,085304622        | -0,12156706         |
| -5,40                  | -0,10128335          | -0,168656895        | -0,069362728        | -0,072890749        | -0,034309923        | -0,11656913         | -0,087943757        | -0,092615385        | -0,068035013        | -0,081665072        | -0,046147681        | -0,120581977        | -0,038408471        | -0,166037918        | -0,032969767        | -0,089888461        | -0,088086546        | -0,120199034        |
| -5,10                  | -0,114295435         | -0,194783295        | -0,077324992        | -0,075854345        | -0,043188045        | -0,129205534        | -0,078091521        | -0,094966639        | -0,063816129        | -0,085497608        | -0,045376512        | -0,124922623        | -0,062908664        | -0,169986193        | -0,048277907        | -0,089159363        | -0,092621148        | -0,11831009         |
| -4,80                  | -0,108531248         | -0,220906995        | -0,108994705        | -0,078817942        | -0,062320285        | -0,141841937        | -0,062320285        | -0,110780807        | -0,050504647        | -0,050504647        | -0,050504647        | -0,123043144        | -0,085724714        | -0,173455128        | -0,083396047        | -0,089430265        | -0,099784766        | -0,113358175        |
| -4,50                  | -0,1027767062        | -0,247036095        | -0,113528892        | -0,099381068        | -0,060944289        | -0,154478341        | -0,056387049        | -0,120544874        | -0,057537922        | -0,057537922        | -0,057537922        | -0,119938139        | -0,043834173        | -0,189592199        | -0,078894186        | -0,087701168        | -0,106948384        | -0,100133892        |
| -4,20                  | -0,097002875         | -0,273162495        | -0,115892465        | -0,119944193        | -0,069822411        | -0,167114744        | -0,048534814        | -0,142349141        | -0,062846151        | -0,134011834        | -0,043063004        | 1,03672132          | -0,084200619        | -0,215416667        | -0,094202326        | -0,106977614        | -0,114112002        | -0,102909308        |
| -3,90                  | -0,091238688         | -0,27884706         | -0,117856038        | -0,115112823        | -0,078700533        | -0,179751148        | -0,040007996        | -0,158133308        | -0,06815438         | -0,119721893        | -0,042291835        | 1,5135998064        | -0,083438871        | -0,241241135        | -0,109510465        | -0,127683028        | -0,127127562        | -0,096684725        |
| -3,60                  | -0,085474502         | -0,286115167        | -0,119819611        | -0,108467561        | -0,087578955        | -0,192387551        | -0,032806597        | -0,173917476        | -0,073462609        | -0,105452665        | -0,041520665        | 1,584621704         | -0,082676924        | -0,273021709        | -0,124818695        | -0,148388442        | -0,133064718        | -0,090460142        |
| -3,30                  | -0,108901048         | -0,297948783        | -0,14269543         | -0,101822298        | -0,096456777        | -0,228017225        | -0,050263489        | -0,17454202         | -0,078770838        | -0,098263156        | -0,040748496        | 1,58371348          | -0,081914977        | -0,294422022        | -0,140126744        | -0,169893855        | -0,145565427        | -0,084235559        |
| -3,00                  | -0,14692296          | -0,3097824          | -0,171936337        | -0,095177036        | -0,106157121        | -0,25451426         | -0,080962028        | -0,185328895        | -0,084079067        | -0,119578947        | -0,041802083        | 1,582805257         | -0,081153029        | -0,299924449        | -0,147128829        | -0,188653055        | -0,158066137        | -0,0759608          |
| -2,70                  | -0,184944872         | -0,321616016        | -0,20117703         | -0,088531773        | -0,134090246        | -0,248398905        | -0,111295567        | -0,248398905        | -0,095957105        | -0,140894737        | -0,048653453        | 1,602795721         | -0,080391082        | -0,305426875        | -0,15821099         | -0,212843945        | -0,170566846        | -0,063585689        |
| -2,40                  | -0,222966784         | -0,333449632        | -0,230417724        | -0,087893849        | -0,133965058        | -0,24228355         | -0,1410201105       | -0,213088413        | -0,092531088        | -0,162210526        | -0,06672182         | 1,643884873         | -0,079629134        | -0,310929301        | -0,16929315         | -0,239264139        | -0,183067556        | -0,069852516        |
| -2,10                  | -0,260988696         | -0,337380772        | -0,259689418        | -0,098630499        | -0,133839869        | -0,236168195        | -0,133839869        | -0,220681971        | -0,089465072        | -0,183526316        | -0,084780188        | 1,684574024         | -0,078867187        | -0,316437128        | -0,180375311        | -0,265684333        | -0,173984932        | -0,078190669        |
| -1,80                  | -0,276768877         | -0,325506958        | -0,283774112        | -0,091767149        | -0,133714681        | -0,230052839        | 0,708598659         | -0,24084793         | -0,086399055        | -0,203872148        | -0,102858556        | 1,725463176         | -0,07810524         | -0,321934154        | -0,191457472        | -0,292105427        | -0,161581796        | -0,086528822        |
| -1,50                  | -0,09226348          | -0,313633144        | -0,24625            | -0,093703798        | -0,133589492        | -0,224999318        | 0,997937739         | -0,254727689        | -0,08333038         | -0,21791326         | -0,120926924        | 1,766352328         | -0,087612743        | -0,32743658         | -0,202539633        | -0,318524721        | -0,149178659        | -0,094866975        |
| -1,20                  | 0,092221917          | -0,30175933         | 0,01                | -0,100851011        | -0,133464304        | -0,225254968        | 1,287246416         | -0,28607447         | -0,08027021         | -0,231954371        | -0,138995292        | 1,807244479         | -0,110549527        | -0,321870098        | -0,213621794        | -0,344944915        | -0,321870098        | -0,103205128        |
| -0,90                  | 0,276727314          | -0,298885515        | 0,26854478          | -0,11841935         | -0,13339115         | -0,22510618         | 1,37000384          | -0,084954386        | -0,077201004        | -0,244995482        | -0,15706366         | 1,80919664          | -0,128961355        | -0,306943627        | -0,224703955        | -0,371365109        | -0,144277132        | -0,111543281        |
| -0,60                  | 0,461222711          | -0,213352878        | 0,575282609         | -0,112119776        | -0,13177451         | -0,261739507        | 1,389900154         | 0,086026192         | -0,074134987        | -0,235004501        | -0,175132028        | 1,784464986         | -0,129242154        | -0,292017157        | -0,235786115        | -0,392050253        | -0,15675969         | -0,105036247        |
| -0,30                  | 0,69331243           | -0,153325873        | 0,84266875          | 0,013510368         | -0,125480392        | -0,32944498         | 1,409796467         | 0,212623672         | 0,358813889         | -0,173949335        | -0,168549756        | 1,731770308         | -0,129528153        | -0,277090686        | -0,246868276        | -0,401265299        | -0,167242248        | 0,03507747          |
| 0,00 (Hektometerstein) | 0,381353488          | -0,121385414        | 1,01823125          | 0,139158512         | -0,138999139        | -0,182119552        | 1,42969278          | 0,375663571         | 0,413230556         | -0,112849489        | -0,18505037         | 1,67907563          | -0,125981452        | -0,262169616        | -0,224893361        | -0,387894963        | -0,187748906        | 0,175191187         |
| 0,30                   | 0,097748148          | 0,726923289         | 1,1937975           | 0,410377021         | -0,157099310        | 0,205640496         | 1,445809094         | 0,866658243         | 0,866658243         | -0,007556734        | -0,162150984        | 1,633148148         | -0,130100152        | -0,26440252         | -0,239581789        | -0,340609245        | -0,189962741        | 0,235177898         |
| 0,60                   | 0,14397037           | 0,839595343         | 1,36935625          | 1,373255688         | -0,177329497        | 0,48636496          | 1,514750456         | 1,15405241          | 0,549956627         | 0,011673293         | -0,158951598        | 1,621056645         | -0,130386151        | 0,416327044         | -0,315275584        | -0,293334188        | -0,201163041        | -0,168591195        |
| 0,90                   | 0,190192593          | 0,842524474         | 1,447742279         | 1,472427647         | 0,309940324         | 0,318533084         | 1,806237066         | 1,021836303         | 0,648414458         | -0,16881936         | -0,155752212        | 1,551086657         | -0,13067215         | 0,435823239         | -0,431449131        | 0,438463363         | -0,212363341        | -0,70611064         |
| 1,20                   | 0,236414815          | 0,722343862         | 0,651540074         | 1,300589921         | 0,570004263         | 0,150701207         | 1,876309218         | 0,872066118         | 0,745483142         | -0,212047203        | -0,152552826        | 1,348328871         | -0,130958149        | 0,288117018         | -0,434289493        | 0,519950137         | -0,223563641        | -0,684236019        |
| 1,50                   | 0,226604384          | 0,602183249         | 0,626323413         | 1,128752196         | 0,762655552         | 0,191503752         | 1,678974153         | 0,722295932         | 0,642059577         | -0,116066657        | -0,14955344         | 1,145040855         | -0,138602526        | 0,140410797         | -0,437119856        | 0,601436911         | -0,25530139         | -0,630358777        |
| 1,80                   | 0,249236686          | 0,469312173         | 0,62769246          | 0,955770959         | 0,887894192         | 0,159881888         | 1,481639089         | 0,572525747         | 0,514062016         | 0,033652174         | -0,139802311        | 0,941769299         | -0,142544077        | 0,134117817         | -0,439970218        | 0,624962108         | -0,196099862        | -0,576480536        |
| 2,10                   | 0,247639053          | 0,273108781         | 0,629061508         | 0,781646211         | 1,013132832         | 0,128260025         | 1,284304025         | 0,422755561         | 0,386030454         | -0,10947407         | 0,739034699         | -0,130959583        | -0,076855128        | 0,63399691          | -0,442810581        | 0,63399691          | -0,194449531        | -0,522602794        |
| 2,40                   | 0,24604142           | 0,11125112          | 0,605704594         | 0,724108764         | 1,138371472         | 1,08696896          | 0,96636161          | 0,272985375         | 0,257998893         | -0,103926663        | 0,536466024         | -0,118655088        | -0,058707865        | -0,448650943        | 0,518987186         | -0,206589173        | -0,468725052        | -0,408725052        |
| 2,70                   | 0,244443787          | 0,080126525         | 0,512635126         | 0,689616012         | 1,106868599         | 0,889633896         | 0,889633896         | 0,12321519          | 0,297728571         | 0,127608696         | 0,466483077         | -0,106710593        | -0,448491306        | 0,383229822         | -0,448491306        | -0,004266016        | -0,103661599        | -0,408725052        |
| 3,00                   | 0,242846154          | 0,076402504         | 0,477215126         | 0,662637788         | 0,852513192         | 0,097520586         | 0,749448236         | 0,142297386         | 0,227783636         | 0,200526316         | 0,498942609         | 0,436852308         | 0,809650292         | -0,095951013        | 0,242005472         | -0,409851716        | 0,231053571         | -0,35151796         |
| 3,30                   | 0,23055823           | 0,063678484         | 0,441795124         | 0,598677875         | 0,598140525         | 0,137471801         | 0,707975182         | 0,180447712         | 0,2064              | 0,138210526         | 0,565402105         | 0,407221538         | 0,935868122         | -0,114169963        | -0,343558824        | 0,100781122         | 0,307296791         | -0,292461992        |
| 3,60                   | 0,196983146          | 0,050954454         | 0,406375122         | 0,522245127         | 0,343767858         | 0,187257155         | 0,670840994         | 0,218598039         | 0,184926316         | 0,025023525         | 0,436117895         | 0,370842471         | 1,011608857         | -0,132389744        | 0,02726172          | 0,331172581         | -0,233412189        | -0,233412189        |
| 3,90                   | 0,175642423          | 0,036604776         | 0,37095512          | 0,445812378         | 0,329807481         | 0,23620819          | 0,59748366          | 0,63502329          | 0                   |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |

#### Anlage 4: Entwicklungsverlauf der maßgebenden Querprofile

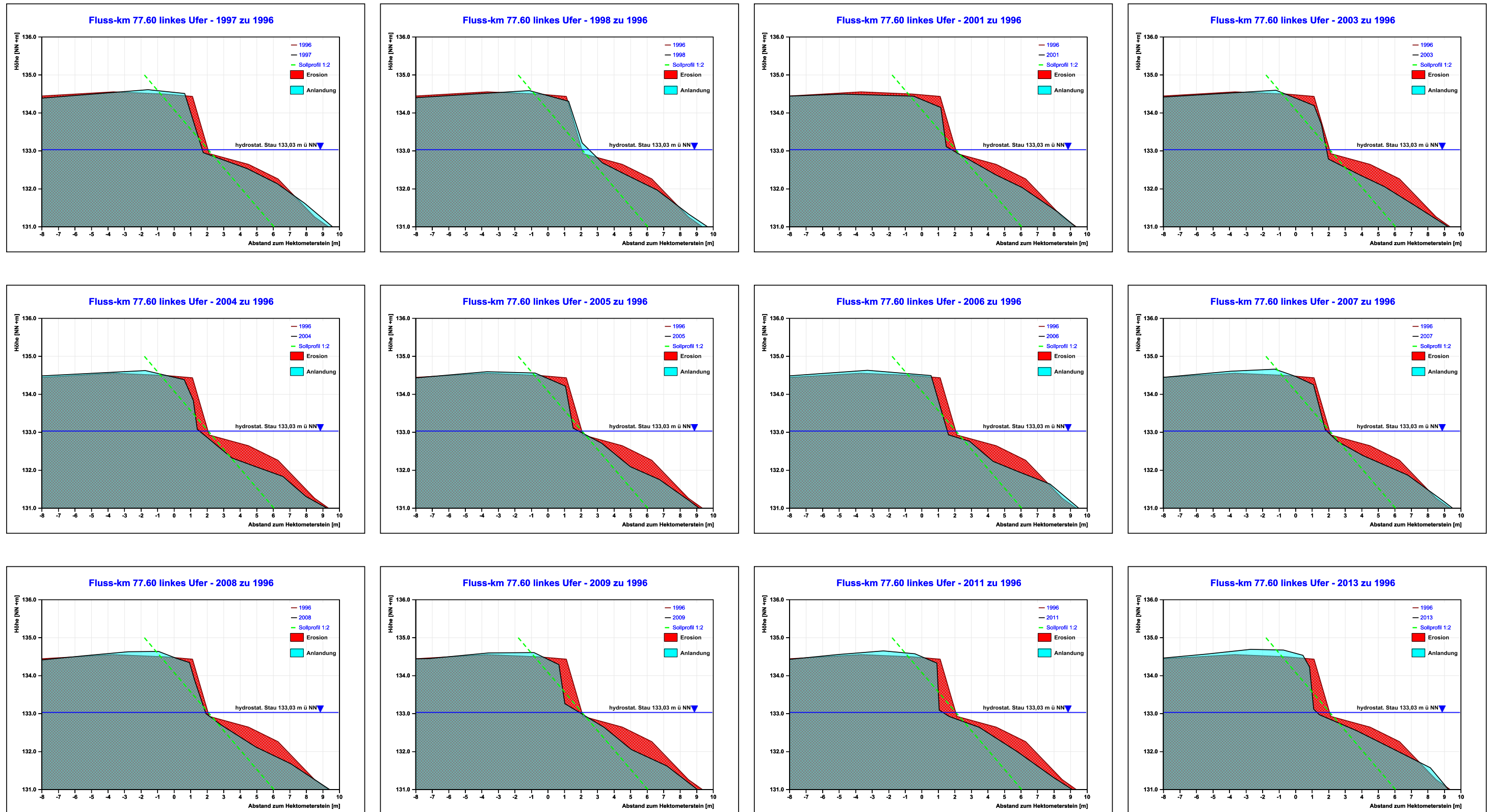


Vollständiges Querprofil: Fluss-km 77.60. Peilung vom 13.03.2015. Aufnahme Vorland links 28.07.2009. Aufnahme Vorland rechts 12.07.1996.

Bemessungsprofil



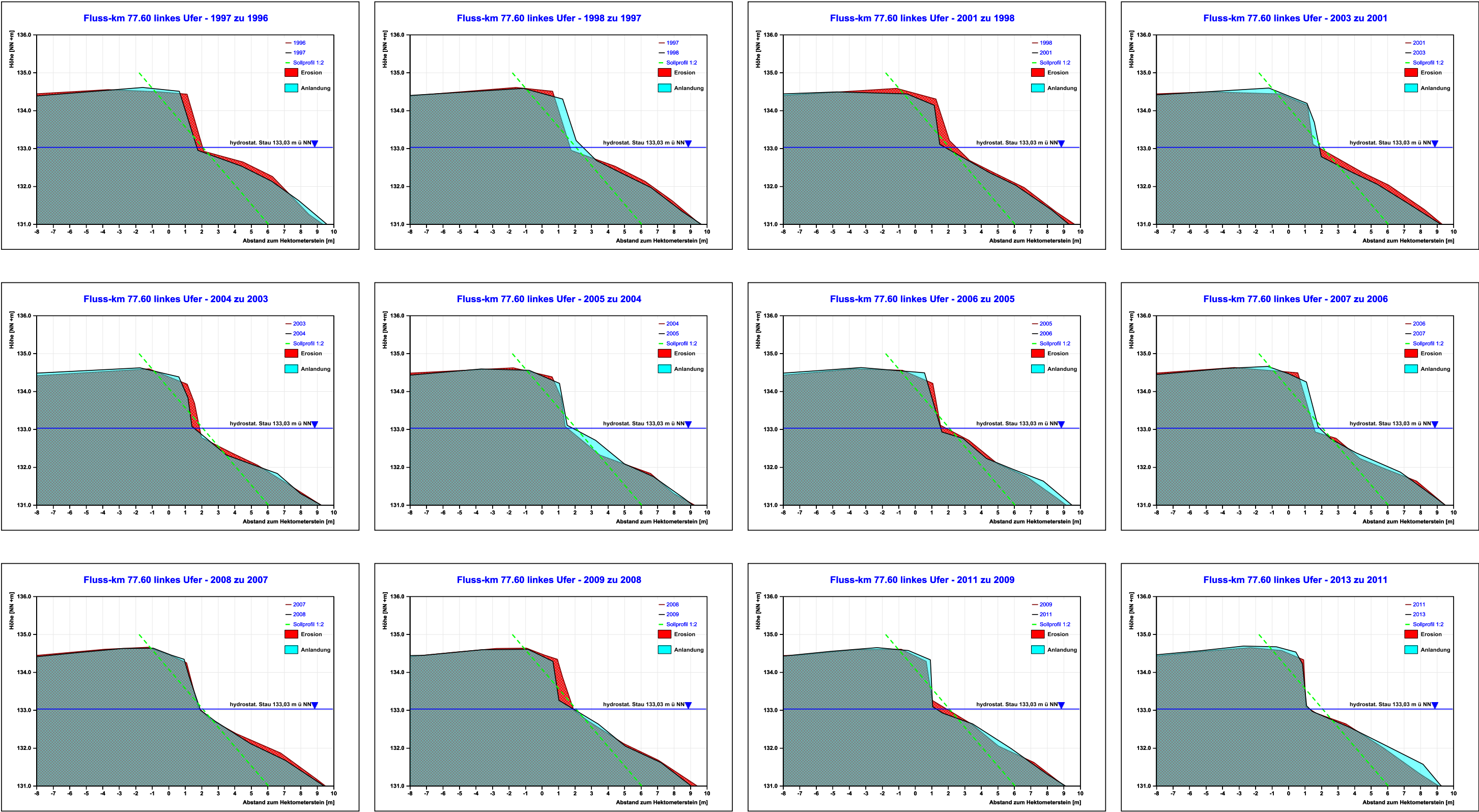
## Entwicklung des Uferprofils: Fluss-km 77.60 linkes Ufer. Darstellung zum Bezugsjahr 1996.



\*Jahre 1999, 2000, 2002, 2010 und 2012 ohne Peilungen. Sollböschungsneigung 1:2, Lage und Neigung angenommen. Hier nur zur Verdeutlichung der Entwicklung. Lage in Abhängigkeit Wasseranschnitt Ausgangsprofil 1996 und hydrostatischem Stau, da keine Information zur ursprünglichen Lage. Neigung in Abhängigkeit üblicher Einbausituation von Steinmatten nach PAUL (1989).



# Entwicklung des Uferprofils: Fluss-km 77.60 linkes Ufer. Darstellung zwischen den Jahren.

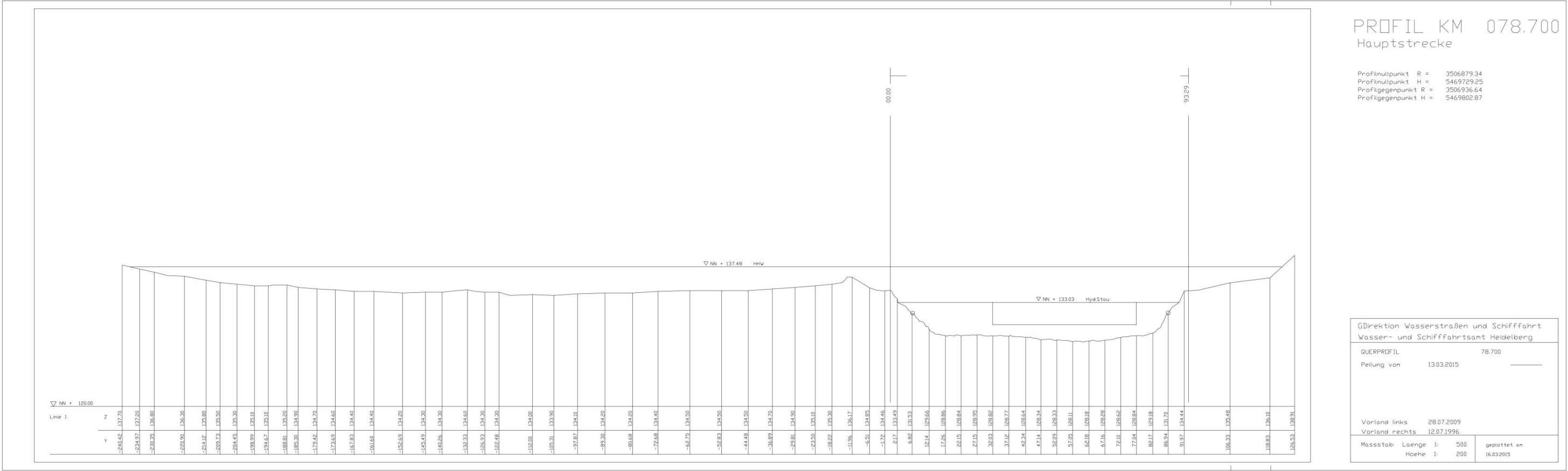


\*Jahre 1999, 2000, 2002, 2010 und 2012 ohne Peilungen. Sollböschungsneigung 1:2, Lage und Neigung angenommen. Hier nur zur Verdeutlichung der Entwicklung. Lage in Abhängigkeit Wasseranschnitt Ausgangsprofil 1996 und hydrostatischem Stau, da keine Information zur ursprünglichen Lage. Neigung in Abhängigkeit üblicher Einbausituation von Steinmatten nach PAUL (1989).

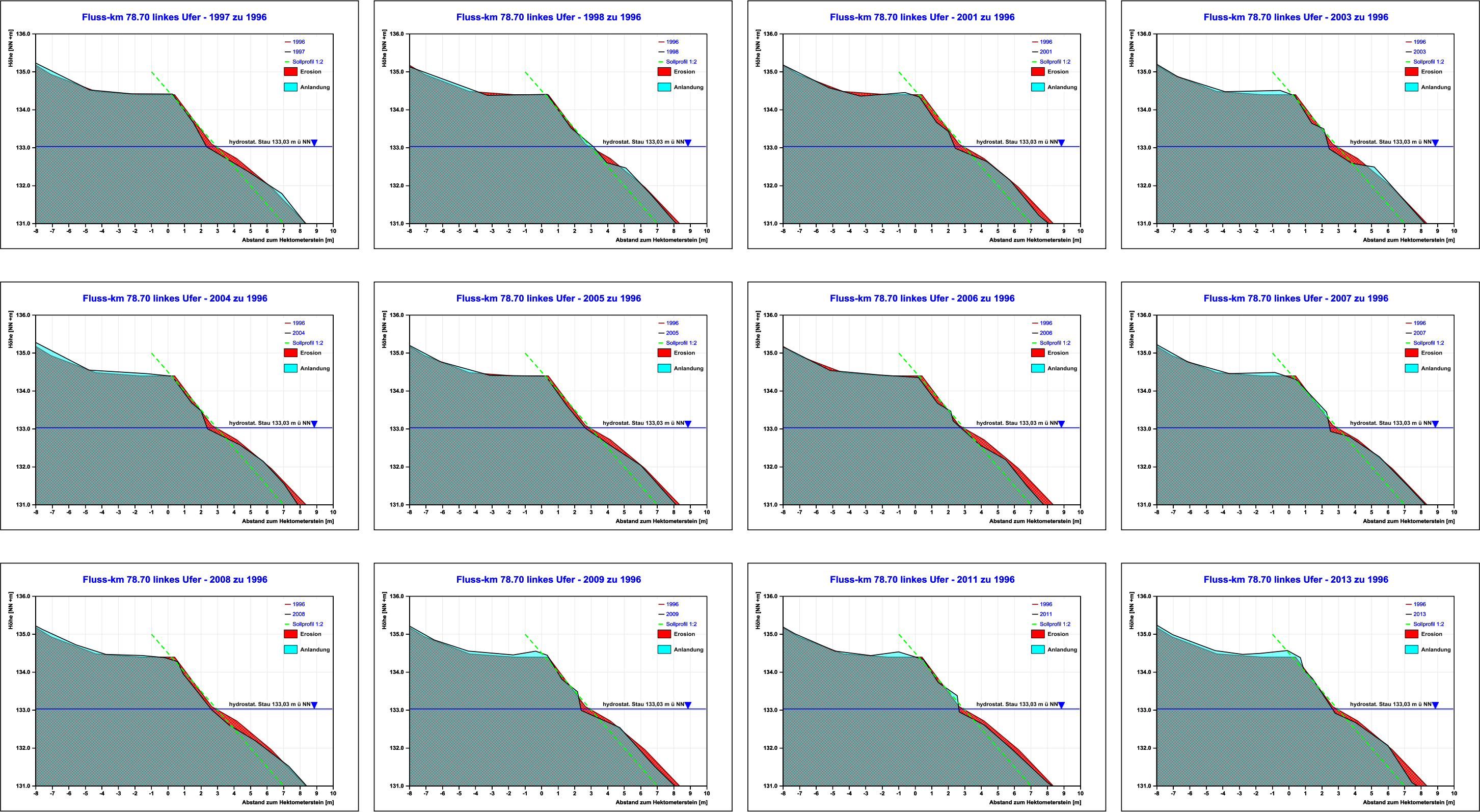


Vollständiges Querprofil: Fluss-km 78.70. Peilung vom 13.03.2015. Aufnahme Vorland links 28.07.2009. Aufnahme Vorland rechts 12.07.1996.

Bemessungsprofil



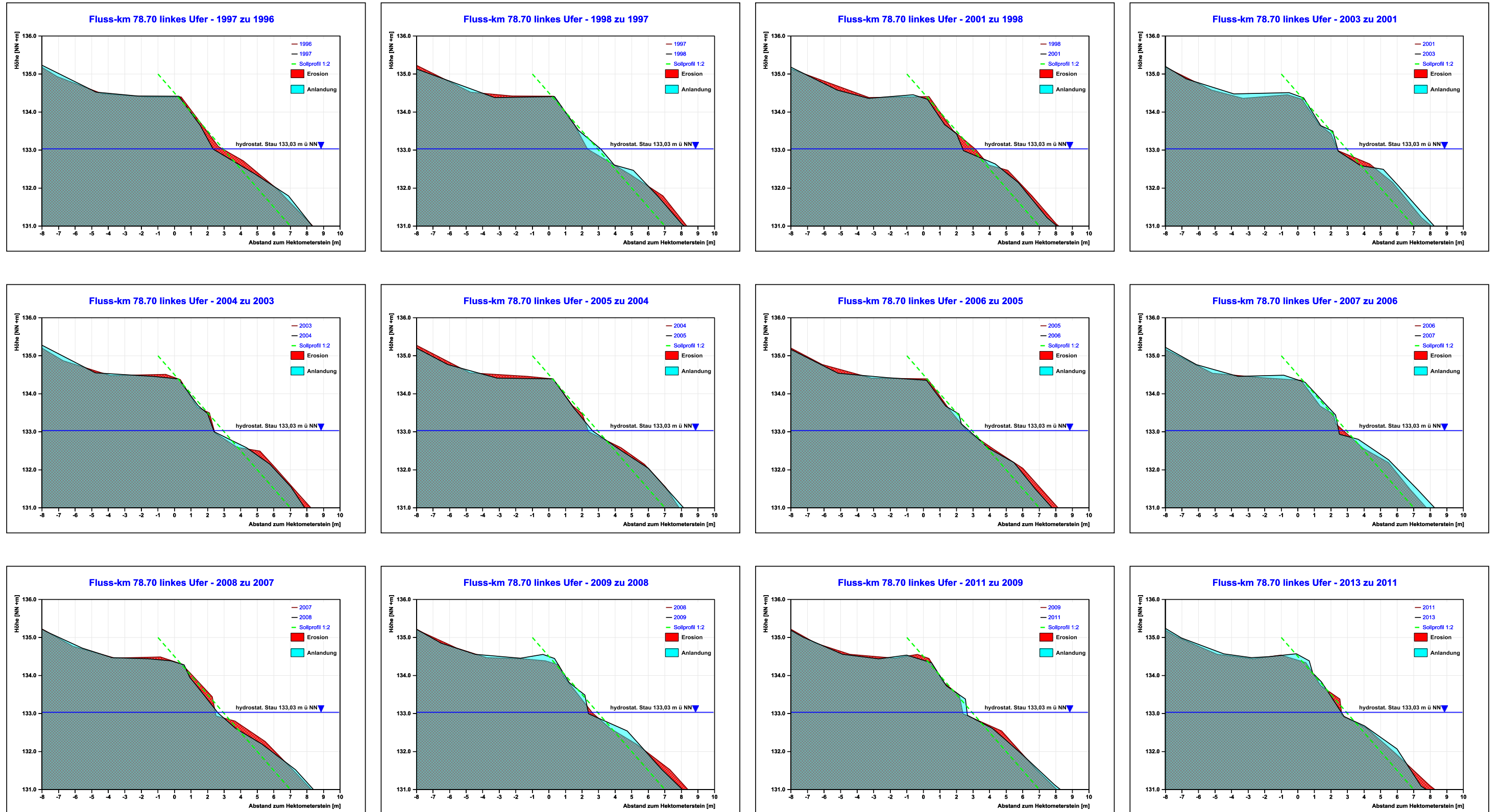
# Entwicklung des Uferprofils: Fluss-km 78.70 linkes Ufer. Darstellung zum Bezugsjahr 1996.



\*Jahre 1999, 2000, 2002, 2010 und 2012 ohne Peilungen. Sollböschungsnegung 1:2, Lage und Negung angenommen. Hier nur zur Verdeutlichung der Entwicklung. Lage in Abhängigkeit Wasseranschnitt Ausgangsprofil 1996 und hydrostatischem Stau, da keine Information zur ursprünglichen Lage. Negung in Abhängigkeit üblicher Einbausituation von Steinmatten nach PAUL (1989).



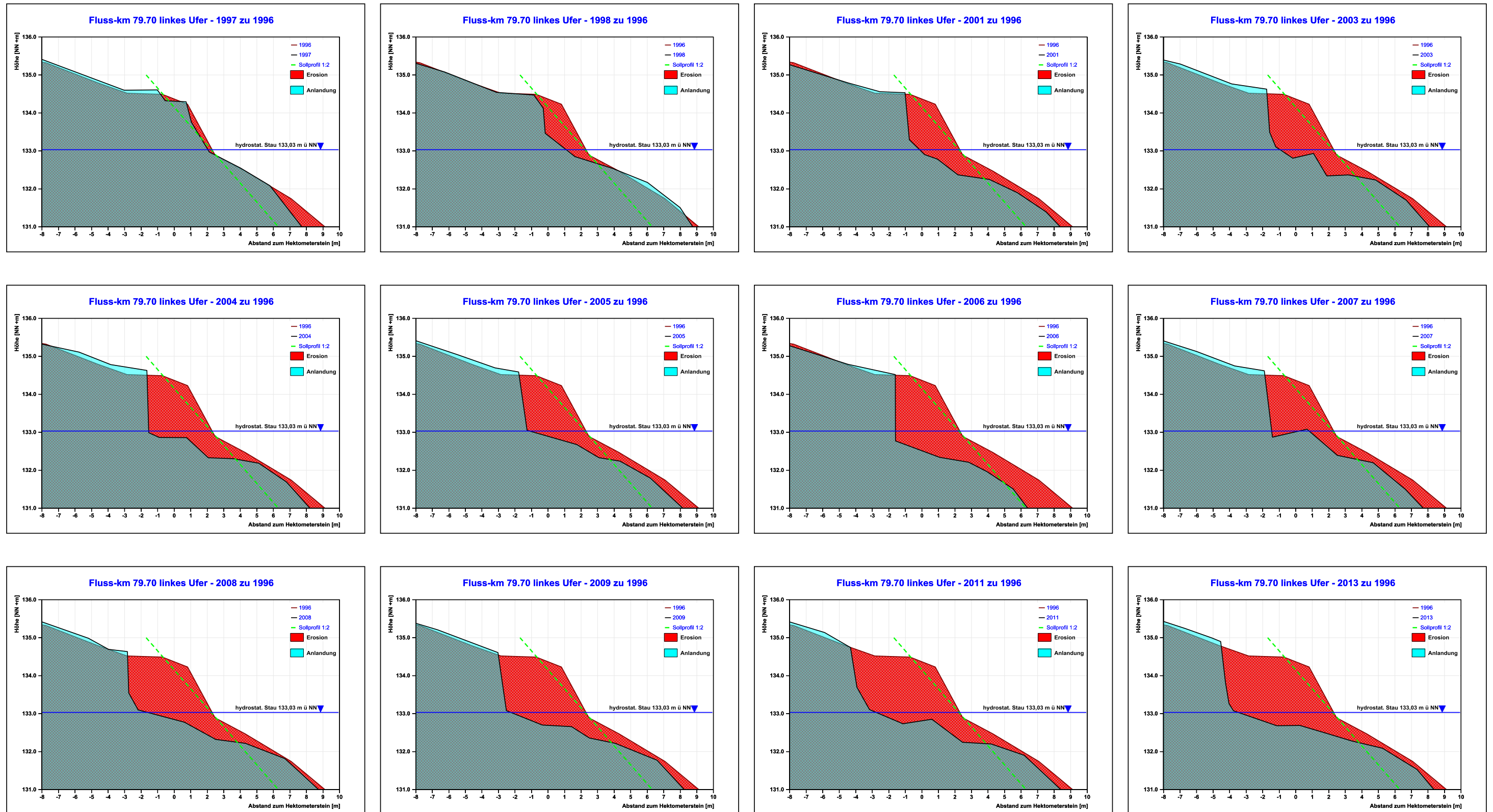
## Entwicklung des Uferprofils: Fluss-km 78.70 linkes Ufer. Darstellung zwischen den Jahren.



\*Jahre 1999, 2000, 2002, 2010 und 2012 ohne Peilungen. Sollböschungsnegung 1:2, Lage und Negung angenommen. Hier nur zur Verdeutlichung der Entwicklung. Lage in Abhängigkeit Wasseranschnitt Ausgangsprofil 1996 und hydrostatischem Stau, da keine Information zur ursprünglichen Lage. Negung in Abhängigkeit üblicher Einbausituation von Steinmatten nach PAUL (1989).



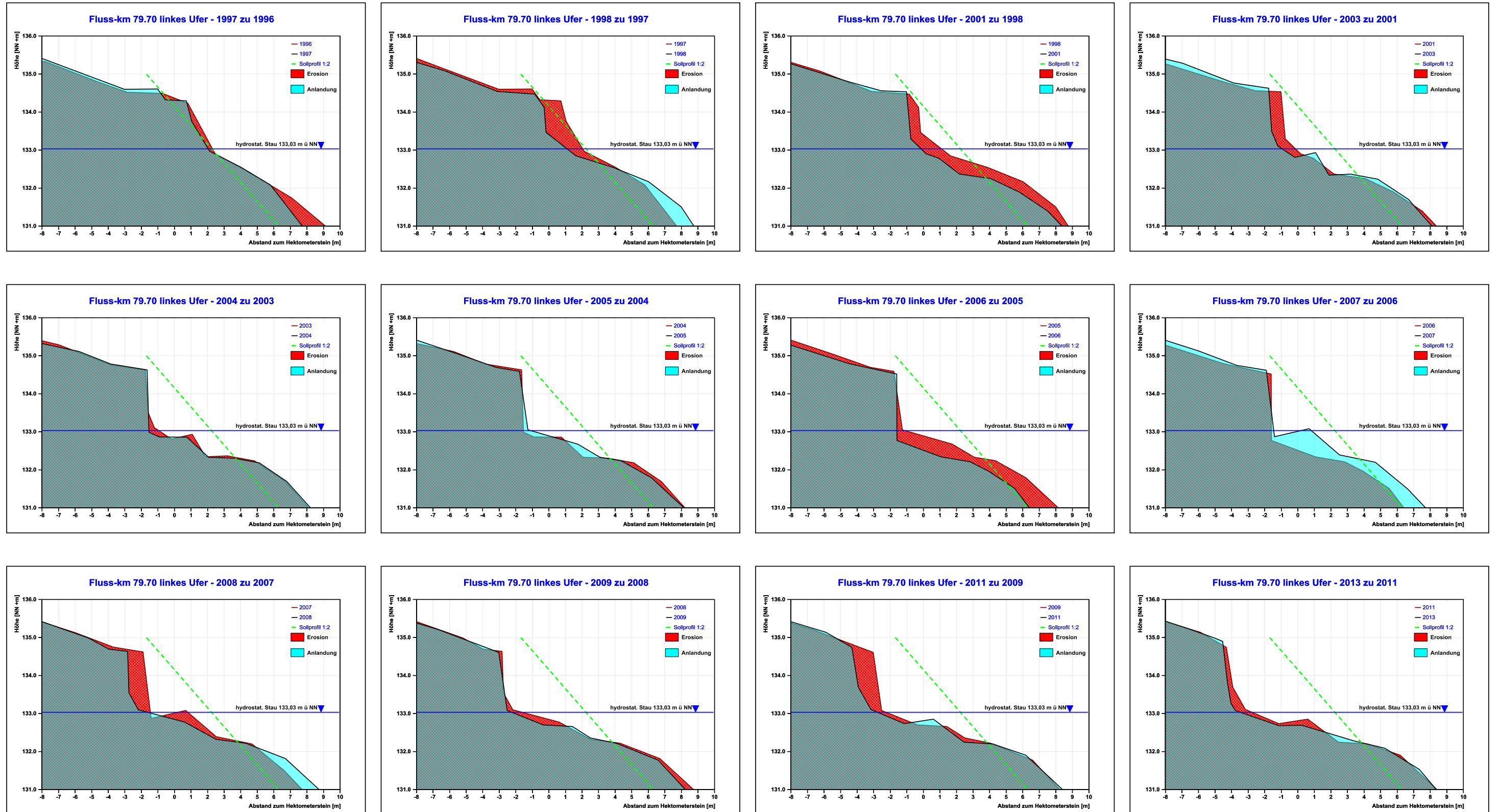
## Entwicklung des Uferprofils: Fluss-km 79.70 linkes Ufer. Darstellung zum Bezugsjahr 1996.



\*Jahre 1999, 2000, 2002, 2010 und 2012 ohne Peilungen. Sollböschungsnegung 1:2, Lage und Negung angenommen. Hier nur zur Verdeutlichung der Entwicklung. Lage in Abhängigkeit Wasseranschnitt Ausgangsprofil 1996 und hydrostatischem Stau, da keine Information zur ursprünglichen Lage. Negung in Abhängigkeit üblicher Einbausituation von Steinmatten nach PAUL (1989).

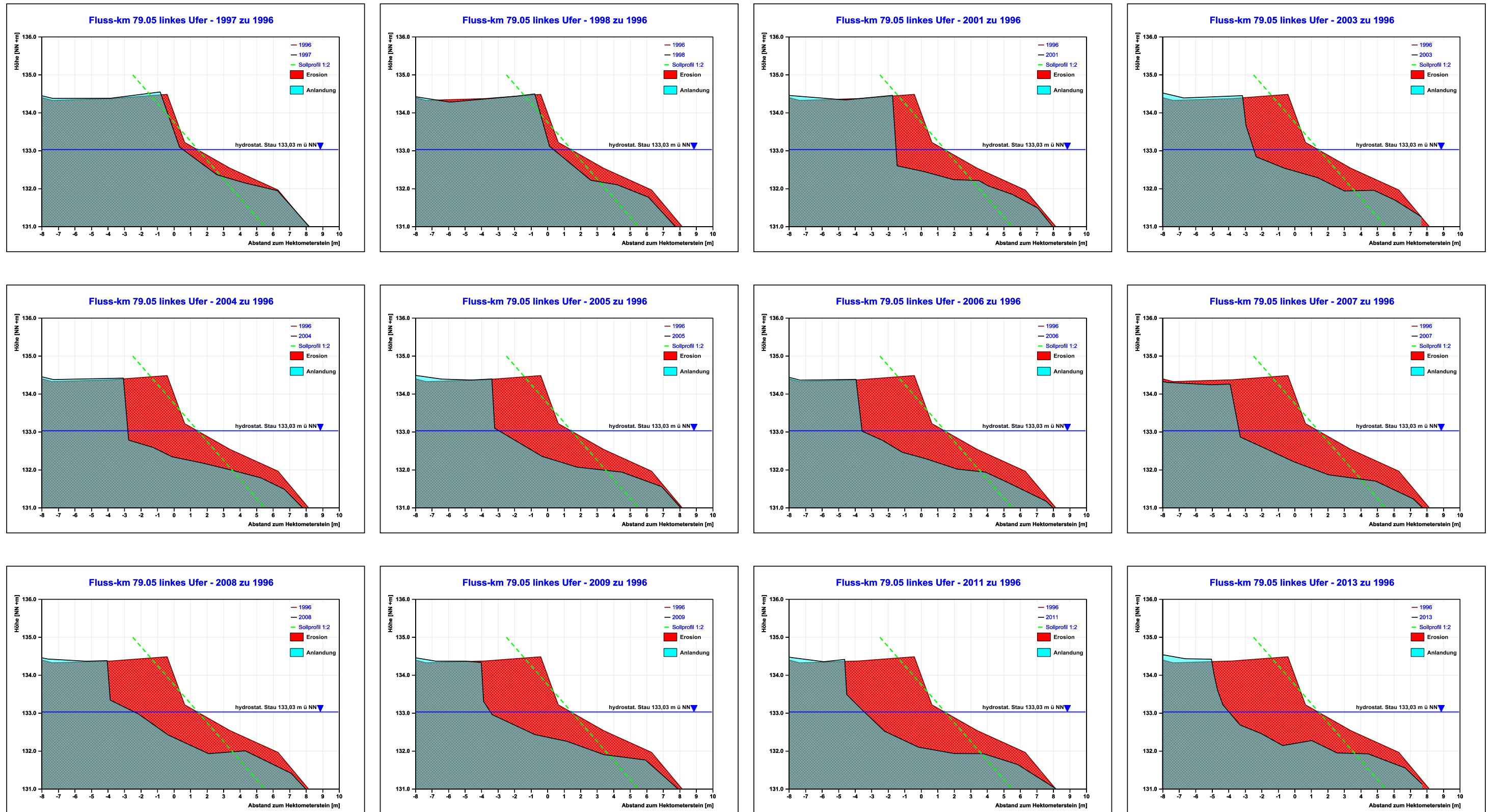


## Entwicklung des Uferprofils: Fluss-km 79.70 linkes Ufer. Darstellung zwischen den Jahren.



\*Jahre 1999, 2000, 2002, 2010 und 2012 ohne Peilungen. Sollböschungsnegung 1:2, Lage und Negung angenommen. Hier nur zur Verdeutlichung der Entwicklung. Lage in Abhängigkeit Wasseranschnitt Ausgangsprofil 1996 und hydrostatischem Stau, da keine Information zur ursprünglichen Lage. Negung in Abhängigkeit üblicher Einbausituation von Steinmatten nach PAUL (1989).

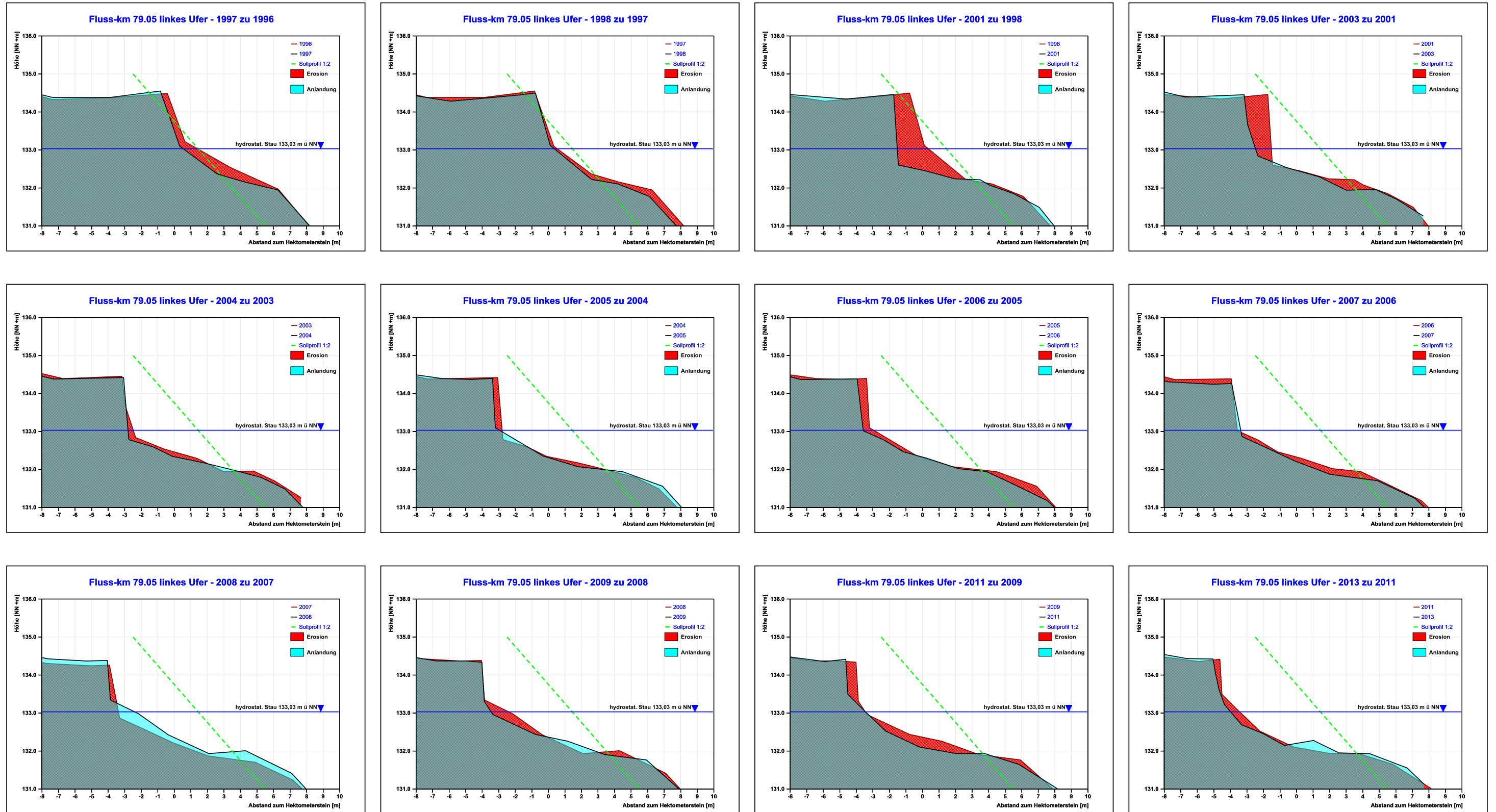
Entwicklung des Uferprofils: Fluss-km 79.05 linkes Ufer. Darstellung zum Bezugsjahr 1996.  
Querprofil mit maximaler Erosion. Kein Bemessungsprofil.



\*Jahre 1999, 2000, 2002, 2010 und 2012 ohne Peilungen. Sollböschungsneigung 1:2, Lage und Neigung angenommen. Hier nur zur Verdeutlichung der Entwicklung. Lage in Abhängigkeit Wasseranschnitt Ausgangsprofil 1996 und hydrostatischem Stau, da keine Information zur ursprünglichen Lage. Neigung in Abhängigkeit üblicher Einbausituation von Steinmatten nach PAUL (1989).

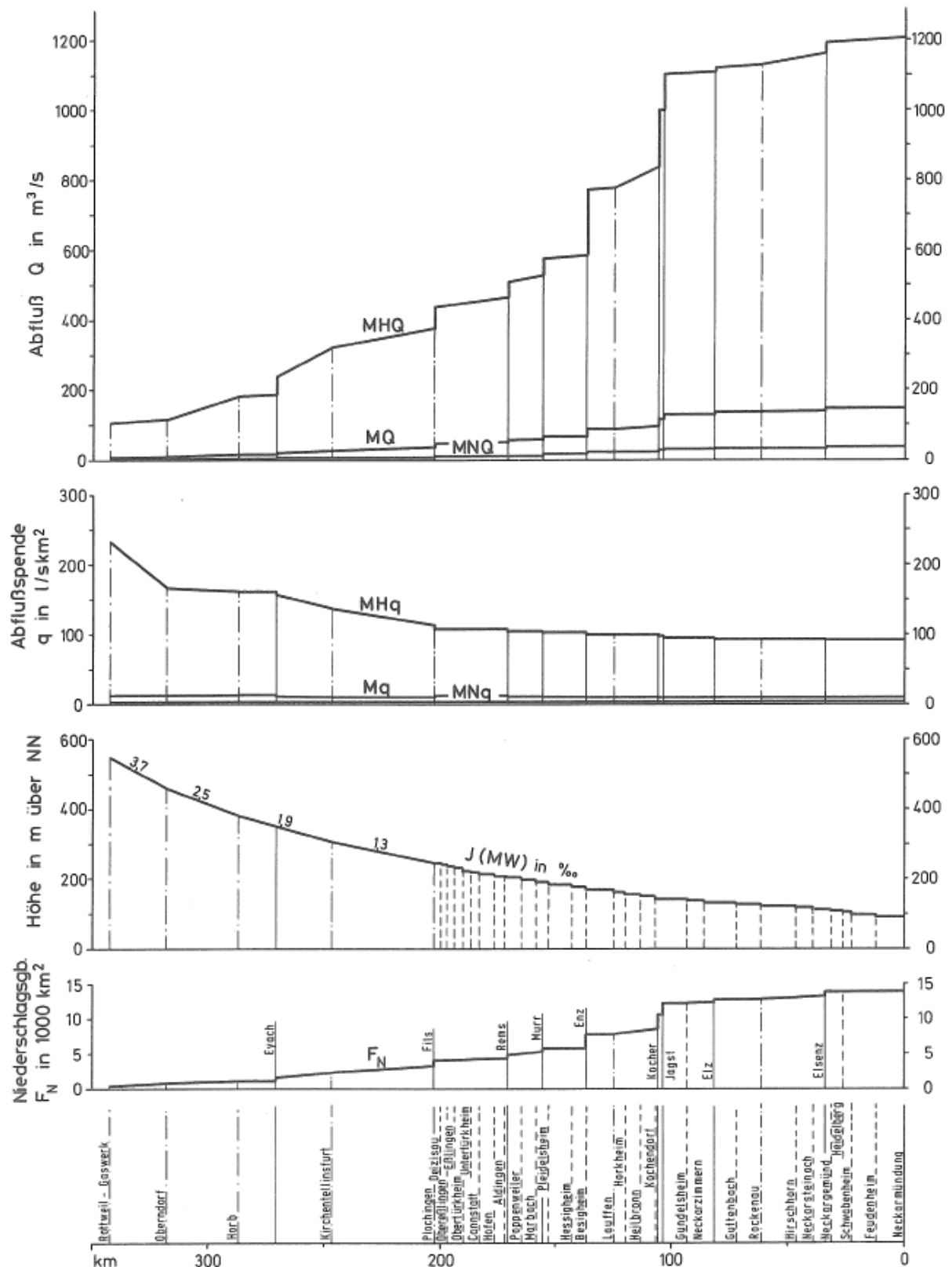


Entwicklung des Uferprofils: Fluss-km 79.05 linkes Ufer. Darstellung zwischen den Jahren.  
Querprofil mit maximaler Erosion. Kein Bemessungsprofil.



\*Jahre 1999, 2000, 2002, 2010 und 2012 ohne Peilungen. Sollböschungsnegung 1:2, Lage und Negung angenommen. Hier nur zur Verdeutlichung der Entwicklung. Lage in Abhängigkeit Wasseranschnitt Ausgangsprofil 1996 und hydrostatischem Stau, da keine Information zur ursprünglichen Lage. Negung in Abhängigkeit üblicher Einbausituation von Steinmatten nach PAUL (1989).

## Anlage 5: Hydrologischer Längsschnitt des Neckars



Hydrologischer Längsschnitt des Neckars nach DFG (1979), S. 105.



## Anlage 6: Länge der Neckarstauhaltungen und korrelierende Höhendifferenzen (Schleusen)

| <b>lfd. Nr.</b> | <b>Neckar-km</b> | <b>Schleuse</b>                                | <b>Stauhaltungslänge Schleuse / Schleuse</b> | <b>korrelierende Stauhöhendifferenz<sup>(1)</sup></b> |
|-----------------|------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1               | 6.21             | Feudenheim                                     | 11,47 km                                     | 8,71 m                                                |
| 2               | 17.68            | Schwabenheim                                   | 8,46 km                                      | 2,61 m                                                |
| 3               | 26.14            | Heidelberg                                     | 4,72 km                                      | 3,89 m                                                |
| 4               | 30.86            | Neckargemünd                                   | 8,44 km                                      | 4,68 m                                                |
| 5               | 39.3             | Neckarsteinach                                 | 8,44 km                                      | 5,30 m                                                |
| 6               | 47.74            | Hirschhorn                                     | 13,69 km                                     | 5,99 m                                                |
| 7               | 61.43            | Rockenau                                       | 10,79 km                                     | 5,30 m                                                |
| 8               | 72.22            | Guttenbach                                     | 13,73 km                                     | 5,60 m                                                |
| 9               | 85.95            | Neckarzimmern                                  | 7,91 km                                      | 4,20 m                                                |
| 10              | 93.86            | Gundelsheim                                    | 10,03 km                                     | 8,03 m                                                |
| 11              | 103.89           | Kochendorf                                     | 9,70 km                                      | 3,18 m                                                |
| 12              | 113.59           | Heilbronn                                      | 3,95 km                                      | 7,37 m                                                |
| 13              | 117.54           | Horkheim                                       | 7,63 km                                      | 8,38 m                                                |
| 14              | 125.16           | Lauffen                                        | 11,07 km                                     | 6,31 m                                                |
| 15              | 136.23           | Besigheim                                      | 6,78 km                                      | 6,17 m                                                |
| 16              | 143.01           | Hessigheim                                     | 7,10 km                                      | 8,05 m                                                |
| 17              | 150.11           | Pleidelsheim                                   | 7,52 km                                      | 5,99 m                                                |
| 18              | 157.63           | Marbach                                        | 7,37 km                                      | 7,01 m                                                |
| 19              | 165.00           | Poppenweiler                                   | 6,99 km                                      | 3,60 m                                                |
| 20              | 171.99           | Aldingen                                       | 4,26 km                                      | 6,91 m                                                |
| 21              | 176.25           | Hofen                                          | 6,46 km                                      | 5,30 m                                                |
| 22              | 182.71           | Cannstatt                                      | 3,74 km                                      | 3,65 m                                                |
| 23              | 186.45           | Untertürkheim                                  | 3,07 km                                      | 8,35 m                                                |
| 24              | 189.52           | Obertürkheim                                   | 4,46 km                                      | 5,20 m                                                |
| 25              | 193.98           | Esslingen                                      | 0,86 km                                      | 5,91 m                                                |
| 26              | 194.84           | Oberesslingen                                  | 4,74 km                                      | 5,08 m                                                |
| 27              | 199.58           | Deizisau                                       | 1,85 km                                      | 8,71 m                                                |
| 28              | 201.43           | Hafen Plochingen (Ende der Bundeswasserstraße) |                                              |                                                       |

<sup>(1)</sup>Differenz von Oberwasser und Unterwasser oberliegender Schleuse der Stauhaltung bei hydrostatischem Stau

Berechnung mit Grunddaten nach WSD SÜDWEST & BMVBS (2007), S. 203.

## Anlage 7: Geometrie und natürliche Strömungsgeschwindigkeiten der Bemessungsprofile

|                                                               | Station                    |                           |                          |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                                                               | km 77.60                   | km 78.70                  | km 79.70                 |
| <b>Streckenverlauf und Kurvenradius</b>                       |                            |                           |                          |
|                                                               | Linkskurve,<br>R = 1.100 m | gerader Verlauf,<br>R = ∞ | Linkskurve,<br>R = 500 m |
| <b>mittlere Wassertiefe im Bereich des Schiffspfades real</b> |                            |                           |                          |
| $h_{SP,real,MQ}$                                              | 4,74 m                     | 4,61 m                    | 3,92 m                   |
| $h_{SP,ETP,MQ} = \text{Wassertiefe } h_{ETP,MQ}$              | 4,74 m                     | 4,61 m                    | 3,92 m                   |
| $h_{SP,real,HSQ}$                                             | 5,22 m                     | 5,30 m                    | 4,78 m                   |
| $h_{SP,ETP,HSQ} = \text{Wassertiefe } h_{ETP,HSQ}$            | 5,22 m                     | 5,30 m                    | 4,78 m                   |
| <b>Wasserspiegelbreite</b>                                    |                            |                           |                          |
| $b_{WS,real,MQ}$                                              | 101,70 m                   | 88,02 m                   | 84,05 m                  |
| $b_{WS,ETP,MQ, BN Soll=BN Ist}$                               | 101,69 m                   | 88,02 m                   | 84,07 m                  |
| $b_{WS,real,HSQ}$                                             | 103,67 m                   | 89,86 m                   | 87,79 m                  |
| $b_{WS,ETP,HSQ, BN Soll=BN Ist}$                              | 103,67 m                   | 89,86 m                   | 87,78 m                  |
| <b>Fahrrinntiefe</b>                                          |                            |                           |                          |
| $h'$                                                          | 2,80 m                     | 2,80 m                    | 2,80 m                   |
| <b>Fahrrinnenbreite</b>                                       |                            |                           |                          |
| $b_F$                                                         | 45,00 m                    | 45,00 m                   | 52,00 m                  |
| <b>Abstand der Fahrrinne zum linken Ufer (Bemessungsufer)</b> |                            |                           |                          |
| $a_{F,lks,real,MQ}$                                           | 32,09 m                    | 29,62 m                   | 21,73 m                  |
| $a_{F,lks,ETP,MQ, BN Soll=BN Ist}$                            | 32,09 m                    | 29,63 m                   | 21,73 m                  |
| $a_{F,lks,real,HSQ}$                                          | 33,08 m                    | 30,66 m                   | 22,32 m                  |
| $a_{F,lks,ETP,HSQ, BN Soll=BN Ist}$                           | 33,08 m                    | 30,66 m                   | 22,32 m                  |
| <b>Abstand der Fahrrinne zum rechten Ufer<sup>(1)</sup></b>   |                            |                           |                          |
| $a_{F,rts,real,MQ}$                                           | 24,60 m                    | 13,39 m                   | 10,34 m                  |
| $a_{F,rts,ETP,MQ, BN Soll=BN Ist}$                            | 24,60 m                    | 13,39 m                   | 10,34 m                  |
| $a_{F,rts,real,HSQ}$                                          | 25,59 m                    | 14,20 m                   | 13,46 m                  |
| $a_{F,rts,ETP,HSQ, BN Soll=BN Ist}$                           | 25,59 m                    | 14,20 m                   | 13,46 m                  |
| <b>Querschnittsfläche</b>                                     |                            |                           |                          |
| $A_{real,MQ}$                                                 | 382,60 m <sup>2</sup>      | 342,68 m <sup>2</sup>     | 265,43 m <sup>2</sup>    |
| $A_{ETP,MQ, BN Soll}$                                         | 391,80 m <sup>2</sup>      | 357,10 m <sup>2</sup>     | 287,07 m <sup>2</sup>    |
| $A_{ETP,MQ, BN Ist}$                                          | 382,25 m <sup>2</sup>      | 341,35 m <sup>2</sup>     | 264,25 m <sup>2</sup>    |
| $A_{real,HSQ}$                                                | 432,04 m <sup>2</sup>      | 403,94 m <sup>2</sup>     | 356,86 m <sup>2</sup>    |
| $A_{ETP,HSQ, BN Soll}$                                        | 446,74 m <sup>2</sup>      | 415,72 m <sup>2</sup>     | 352,64 m <sup>2</sup>    |
| $A_{ETP,HSQ, BN Ist}$                                         | 446,88 m <sup>2</sup>      | 405,05 m <sup>2</sup>     | 328,69 m <sup>2</sup>    |

|                                                                                                             | Station  |          |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
|                                                                                                             | km 77.60 | km 78.70 | km 79.70 |
| <b>natürliche Strömungsgeschwindigkeiten im Mittel</b>                                                      |          |          |          |
| V <sub>Str,mittel,MQ</sub>                                                                                  | 0,36 m/s | 0,40 m/s | 0,52 m/s |
| V <sub>Str,mittel,HSQ</sub>                                                                                 | 1,09 m/s | 1,20 m/s | 1,44 m/s |
| V <sub>Str,mittel,bordvoll</sub>                                                                            | 1,90 m/s | 1,66 m/s | 1,99 m/s |
| V <sub>Str,mittel,HQ<sup>100</sup></sub>                                                                    | 1,89 m/s | 1,67 m/s | 1,78 m/s |
| <b>natürliche Strömungsgeschwindigkeiten am linken Ufer<sup>(2)</sup></b>                                   |          |          |          |
| V <sub>Str,Ufer,lks,MQ</sub>                                                                                | 0,09 m/s | 0,25 m/s | 0,32 m/s |
| V <sub>Str,Ufer,lks,HSQ</sub>                                                                               | 0,36 m/s | 0,70 m/s | 0,88 m/s |
| V <sub>Str,Ufer,lks,bordvoll</sub>                                                                          | 0,67 m/s | 1,08 m/s | 0,95 m/s |
| V <sub>Str,Ufer,lks,HQ<sup>100</sup></sub>                                                                  | 1,42 m/s | 1,87 m/s | 1,99 m/s |
| <b>natürliche Strömungsgeschwindigkeiten am rechten Ufer<sup>(2)</sup></b>                                  |          |          |          |
| V <sub>Str,Ufer,rts,MQ</sub>                                                                                | 0,18 m/s | 0,28 m/s | 0,38 m/s |
| V <sub>Str,Ufer,rts,HSQ</sub>                                                                               | 0,61 m/s | 0,80 m/s | 0,98 m/s |
| V <sub>Str,Ufer,rts,bordvoll</sub>                                                                          | 1,11 m/s | 1,14 m/s | 1,50 m/s |
| V <sub>Str,Ufer,rts,HQ<sup>100</sup></sub>                                                                  | 1,61 m/s | 1,90 m/s | 2,38 m/s |
| <b>natürliche maximale Strömungsgeschwindigkeiten am linken Ufer oberhalb Wasserstand MQ<sup>(3)</sup></b>  |          |          |          |
| V <sub>Str,Ufer,omax,lks,HSQ</sub>                                                                          | 0,16 m/s | 0,22 m/s | 0,30 m/s |
| V <sub>Str,Ufer,omax,lks,bordvoll</sub>                                                                     | 0,75 m/s | 0,67 m/s | 0,79 m/s |
| V <sub>Str,Ufer,omax,lks,HQ<sup>100</sup></sub>                                                             | 1,55 m/s | 1,59 m/s | 1,84 m/s |
| <b>natürliche maximale Strömungsgeschwindigkeiten am linken Ufer oberhalb Wasserstand HSQ<sup>(3)</sup></b> |          |          |          |
| V <sub>Str,Ufer,o2max,lks,bordvoll</sub>                                                                    | 0,48 m/s | 0,20 m/s | 0,41 m/s |
| V <sub>Str,Ufer,o2max,lks,HQ<sup>100</sup></sub>                                                            | 1,32 m/s | 0,96 m/s | 1,64 m/s |

Real: Angaben nach vorliegenden vollständigen Flussquerprofilen (Anlage 4), Querschnittsfläche ermittelt nach Gauß-Elling-Verfahren

ETP: Angaben für generiertes Ersatztrapezprofil (GBBSof)

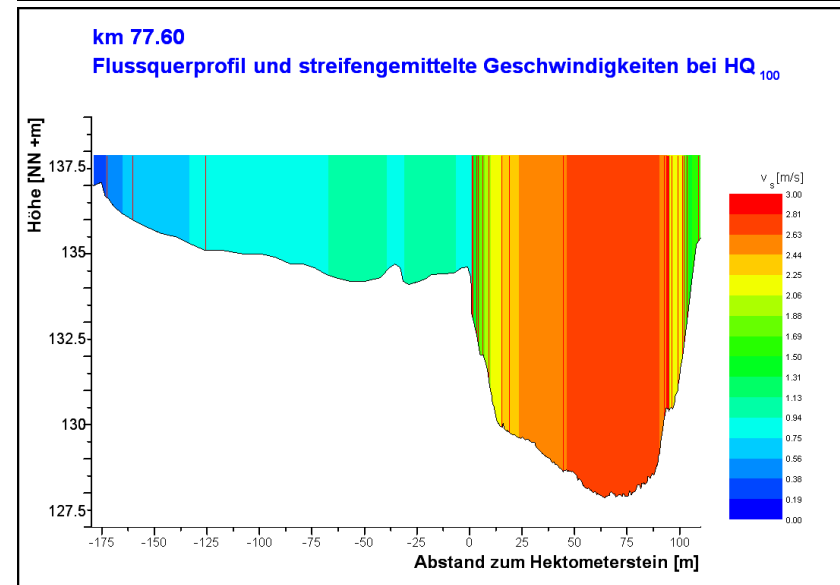
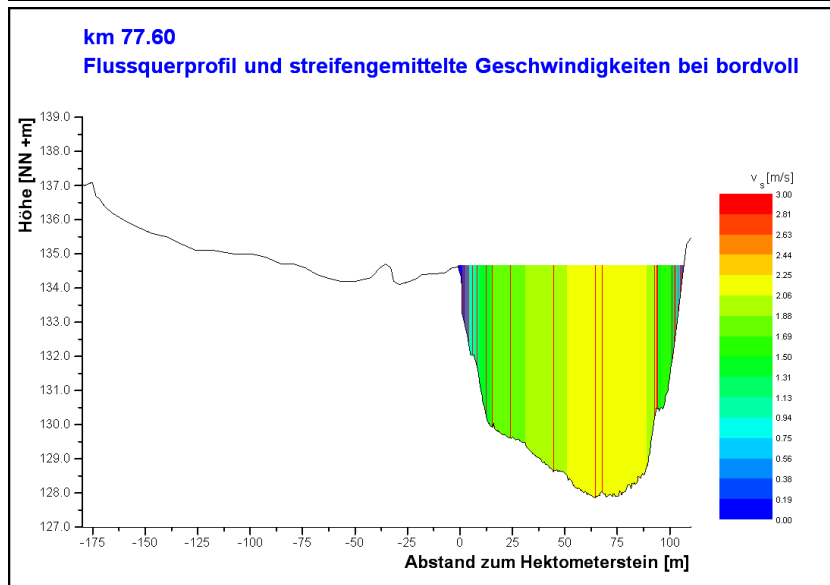
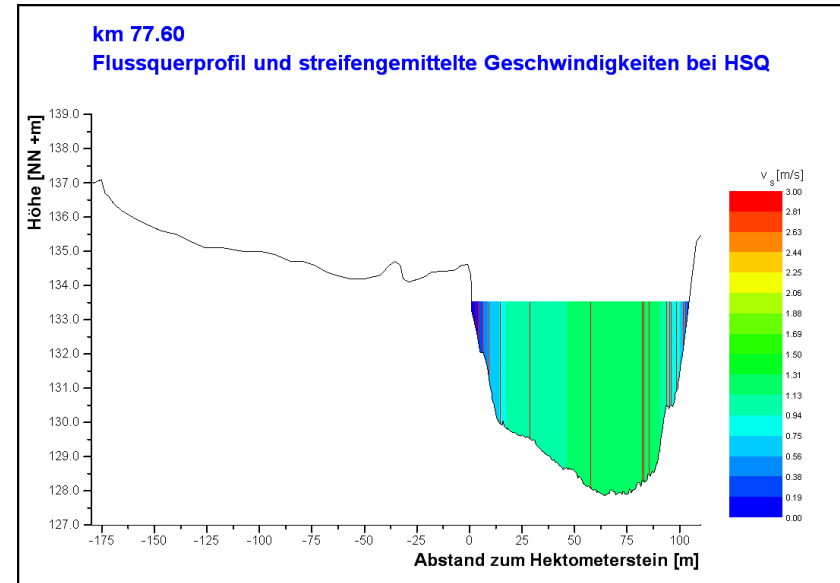
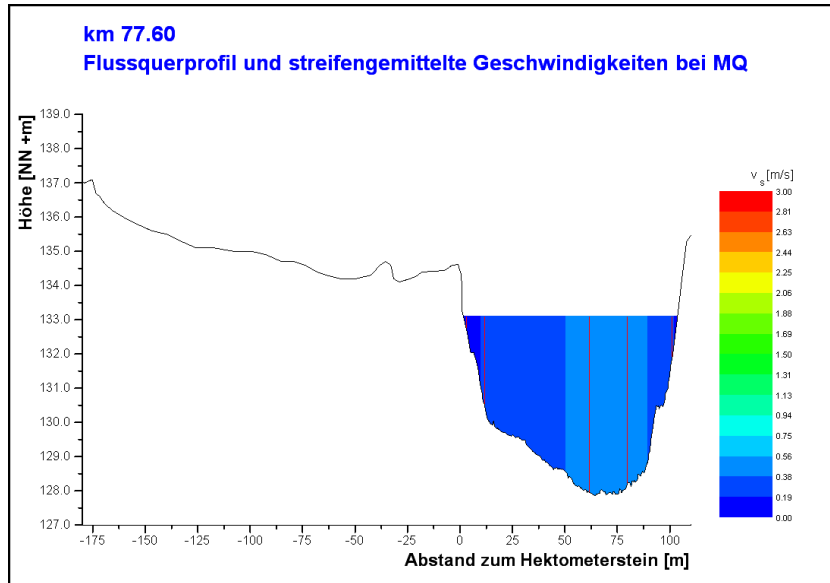
<sup>(1)</sup>zu berücksichtigen, da die Hälfte der Einflussbreite des Rückströmungsfeldes  $b_E$  für ein GMS bereits der realen Wasserspiegelbreite  $b_{WS, real}$  entspricht)

<sup>(2)</sup>Mittlung der natürlichen Strömungsgeschwindigkeiten über geometrisch angenommene zu sichernde Böschungslänge; die Werte unterscheiden sich von den Geschwindigkeiten für eine technisch-biologische Ufersicherung oberhalb Wasserstand MQ

<sup>(3)</sup>als Grundlage für technisch-biologische Ufersicherung bzw. Beurteilung der Oberflächenerosion oberhalb Wasserstand MQ bzw. HSQ

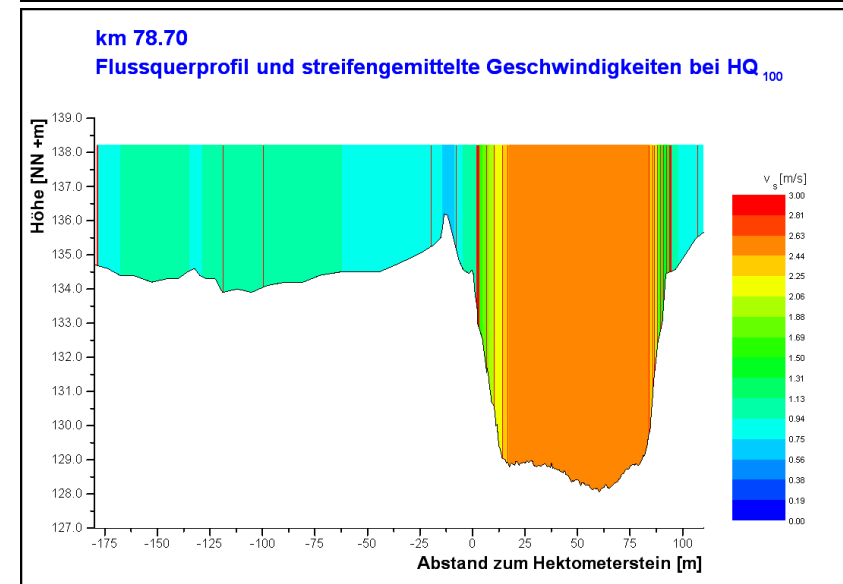
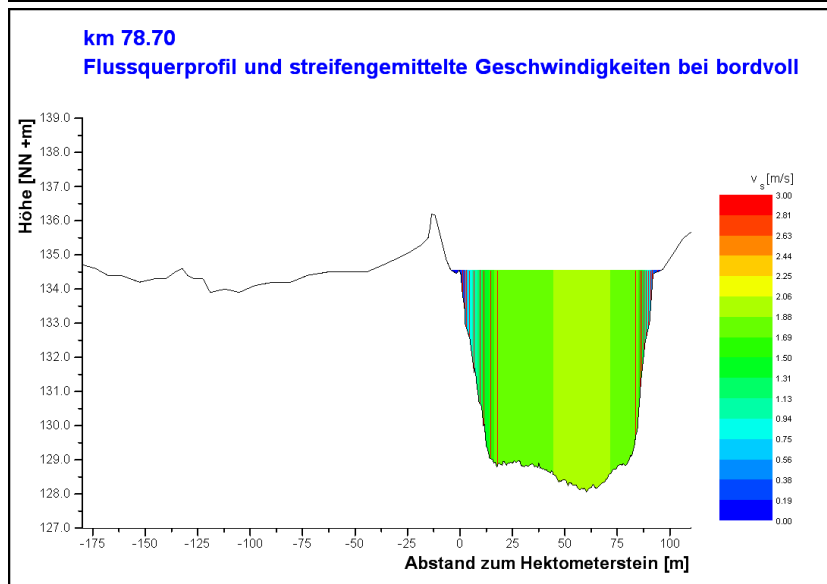
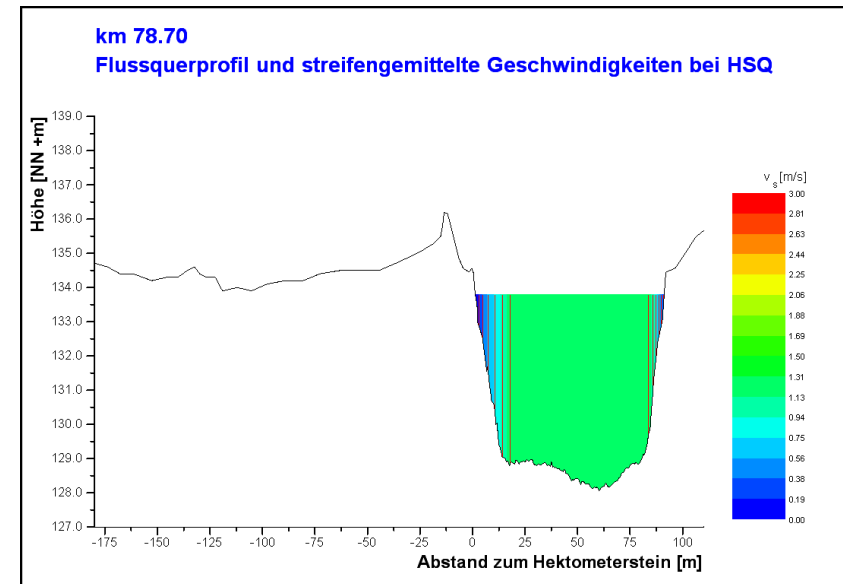
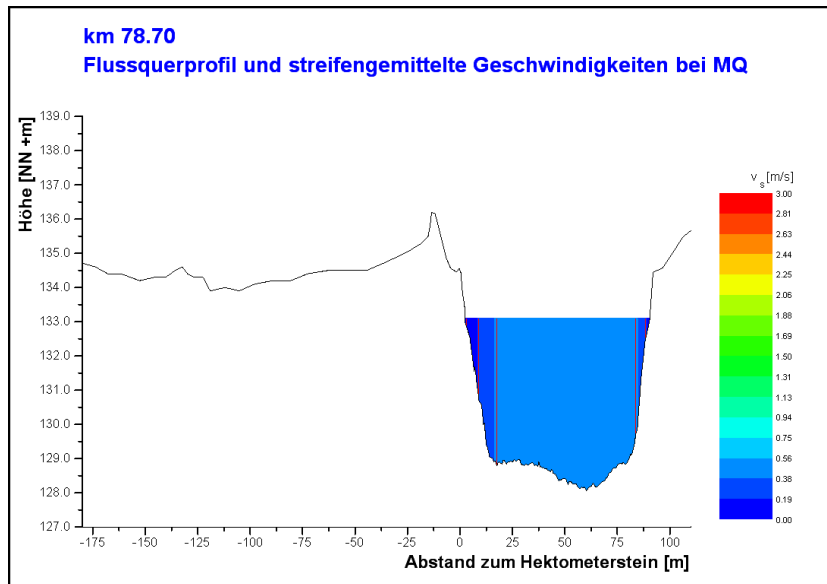
## Anlage 8: Darstellung streifengemittelter Strömungsgeschwindigkeiten

# Darstellung der streifengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten $v_s$ . Flussquerprofil km 77.60.



Vollständiges Flussquerprofil: Peilung vom 13.03.2015. Aufnahme Vorland links 28.07.2009. Aufnahme Vorland rechts 12.07.1996.

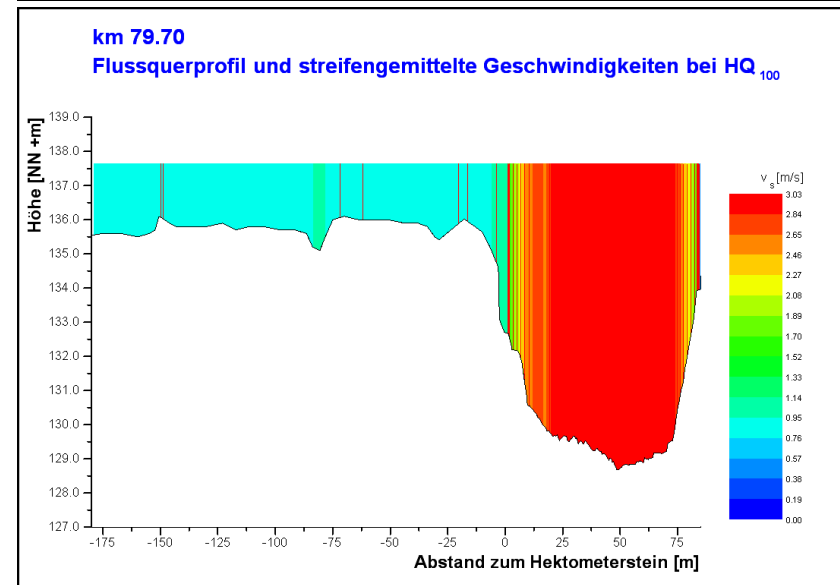
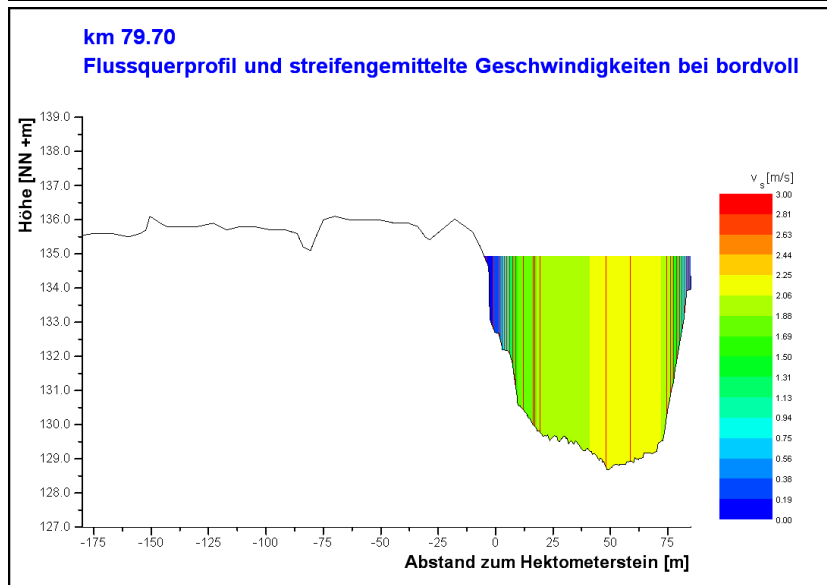
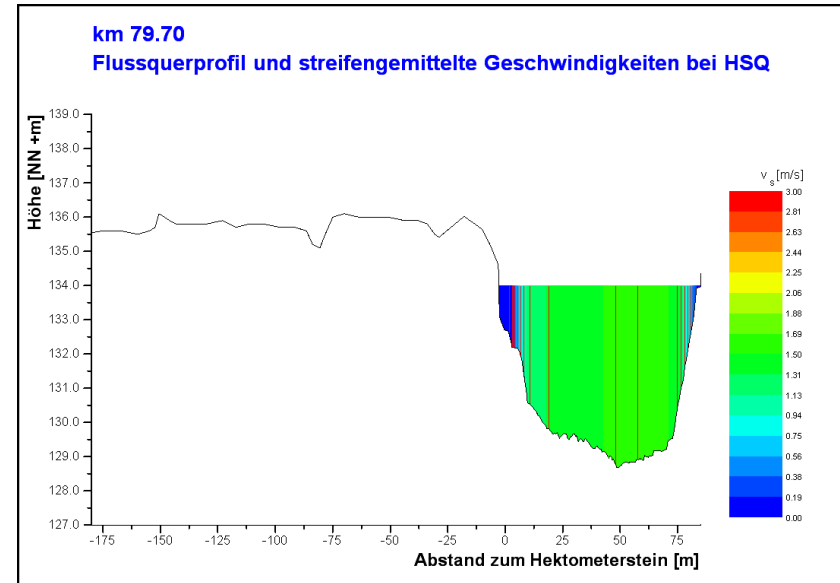
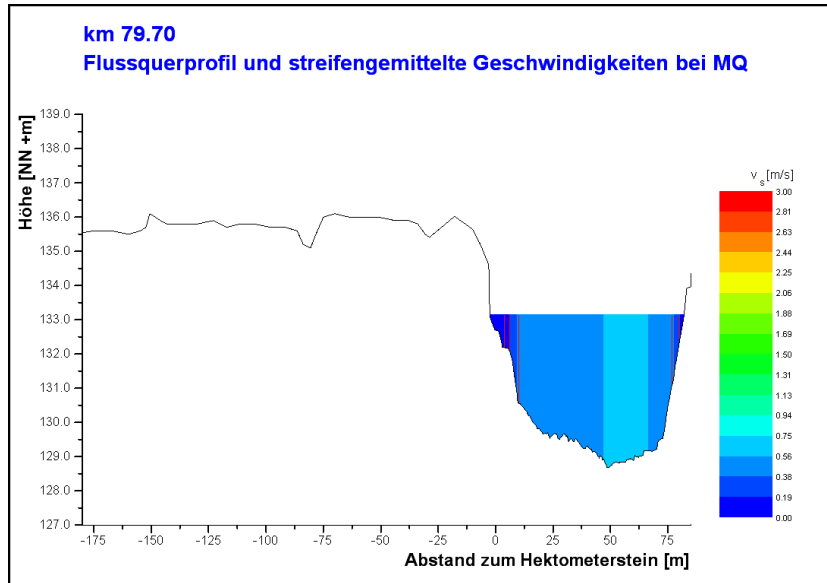
# Darstellung der streifengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten $v_s$ . Flussquerprofil km 78.70.



Vollständiges Flussquerprofil: Peilung vom 13.03.2015. Aufnahme Vorland links 28.07.2009. Aufnahme Vorland rechts 12.07.1996.



# Darstellung der streifengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten $v_s$ . Flussquerprofil km 79.70.



Vollständiges Flussquerprofil: Peilung vom 13.03.2015. Aufnahme Vorland links 28.07.2009. Aufnahme Vorland rechts 12.07.1996.

## **Abstract**

Seit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie sind bei Maßnahmen an Gewässern neben technischen gleichrangig ökologische Aspekte zu berücksichtigen. Der Forderung nach „ökologischen Uferumgestaltungen und –aufwertungen (auch) an Binnenwasserstraßen“ folgt die Idee, Uferabschnitte auszuwählen, an denen eine Einstellung der Uferunterhaltung und / oder ein Rückbau der technischen Ufersicherung erfolgen kann. Es gibt hierzu jedoch nur wenige Erfahrungen und Handlungsempfehlungen.

Ziel der vorliegenden Masterthesis ist es, die Randbedingungen herauszustellen und zu bewerten, die bei der Auswahl geeigneter Uferabschnitte zu berücksichtigen sind. Untersucht und beurteilt wird hierzu die Entwicklung einer Versuchsstrecke am Neckar nach Einstellung der Unterhaltung und teilweisem Rückbau der technischen Ufersicherung.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Entwicklung positiv zu bewerten ist. Zur weiteren Verbesserung des ökologischen / sozialen Zustands werden Maßnahmen empfohlen, wie eine künstliche Abflachung des Ufers oder Anpflanzungen.

Mithilfe der Ausarbeitung kann eine Identifikation und Priorisierung der o. g. Randbedingungen erfolgen. Jedoch hat sich gezeigt, dass deren Zusammenspiel so komplex ist, dass eine strikte und schematische Priorisierung nicht zielführend sein kann. Denkansätze sind stets für den Einzelfall zu entwickeln. Die vorliegende Arbeit ist durch Formulierung und Verknüpfung der dabei zu berücksichtigenden Randbedingungen ein wichtiger Baustein.

## Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere,

dass ich die Masterthesis (Abschlussarbeit) selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe,

dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe,

dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur oder dem Internet sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe.

Ich bin mir im Weiteren darüber im Klaren, dass die Unrichtigkeit dieser Erklärung zur Folge haben kann, dass ich von der Ableistung weiterer Prüfungsleistungen nach §16 Abs. 4 SPO ausgeschlossen werde und dadurch die Zulassung zum Studiengang verlieren kann.

Karlsruhe, den 03.06.2015

Zroschup