



B62, Ortsumgehung Biedenkopf/ Eckelshausen

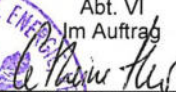
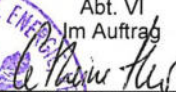
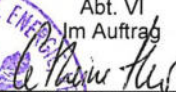
von km: NK 5017 075 und NK 5117 001, Strecken – km 0,290 (alt)
 nach km: NK 5117 001 und NK 5117 002, Strecken – km 0,948 (alt)

Nächster Ort: Biedenkopf/ Eckelshausen
 Baulänge: 2,700 km

Hessen-ID: 03552

FESTSTELLUNGSENTWURF

Hydraulische Berechnungen und hydraulische Ausgleichsplanungen - Erläuterungsbericht -

Aufgestellt: Marburg, den 10.03.2017 Hessen Mobil - Dezernat Planung Westhessen- i.A. Hartwig _____ (Dezernent)	<table border="1"> <tr> <td> Nachrichtliche Unterlage Nr. 18.2 zum Planfeststellungsbeschluss vom 16. März 2021 Az. VI 1-E-061-k-04#2.189 Wiesbaden, den 25.03.2021 Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen Abt. VI Im Auftrag  Regierungsoberberrätin </td> </tr> </table>	Nachrichtliche Unterlage Nr. 18.2 zum Planfeststellungsbeschluss vom 16. März 2021 Az. VI 1-E-061-k-04#2.189 Wiesbaden, den 25.03.2021 Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen Abt. VI Im Auftrag  Regierungsoberberrätin
Nachrichtliche Unterlage Nr. 18.2 zum Planfeststellungsbeschluss vom 16. März 2021 Az. VI 1-E-061-k-04#2.189 Wiesbaden, den 25.03.2021 Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen Abt. VI Im Auftrag  Regierungsoberberrätin		
		

INHALT	SEITE
1 EINLEITUNG.....	1
2 GRUNDLAGEN.....	2
2.1 Allgemeine Beschreibung des Berechnungsgebiets.....	2
2.2 Digitales Geländemodell / Koordinatensystem.....	3
2.3 Ortsumgehung.....	3
3 VARIANTENBETRACHTUNG	5
3.1 Bestandsmodell	5
3.2 Planungsmodell mit Trasse und Furkation.....	5
3.2.1 Aufteilungsbauwerk Lahn/ Furkation und Hauptabmessungen	6
3.2.2 Ortsumgehung und Bauwerke	7
3.2.3 Umverlegungen von Ver- und Entsorgungsleitungen.....	7
3.2.4 Sicherungsmaßnahmen des Straßendamms.....	7
4 HYDROLOGIE	8
4.1 Hydrologie der Lahn am Pegel Biedenkopf	8
4.2 Hydrologie der Lahn im Planungsgebiet.....	8
5 HYDRAULISCHE BERECHNUNGEN	9
5.1 Grundlegendes	9
5.2 Verwendete Software: Hydro_AS-2D und Surface-water Modeling System	10
5.3 Berechnungsverfahren	11
5.4 Rauheiten.....	11
5.5 Berechnungsnetz.....	13
5.6 Modellränder und Randbedingungen für die hydraulische Berechnung	14
5.6.1 Modellränder außen und innen.....	14
5.6.2 Obere und untere Randbedingungen.....	14
5.7 Kalibrierung	15
6 ERGEBNISSE DER BERECHNUNG.....	17
6.1 Strömungsänderung.....	17
6.2 Gewässermorphologische Betrachtung	21
6.3 Auswirkungen auf das Grundwasser	23
7 NACHWEIS RETENTIONSRAUM SOWIE DESSEN AUSGLEICH	24
7.1 Ermittlung Retentionsraum.....	24
7.2 Planung und Berechnung des Ersatzretentionsraums durch die Furkation.....	24
8 ZUSAMMENFASSUNG.....	25

9	KOSTENBERECHNUNG.....	26
9.1	Massen und Kosten: Wasserbau.....	26
	LITERATURVERZEICHNIS	28

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Seite

Abbildung 1:	Luftbild des Planungsgebiets.....	2
Abbildung 2:	Verlauf der Trasse der Ortsumgehung (schwarz) im Planungsgebiet (rot) an der Lahn (blau).....	4
Abbildung 3:	Höhenverhältnisse im beispielhaften Querschnitt von Trasse (links), Furkation (Mitte) und alter Lahn (rechts) bei ca. Lahn-km 212.....	5
Abbildung 4:	Prinzipskizze zur Anordnung des Querriegels in der alten Lahn im Längsschnitt.....	6
Abbildung 5:	Ablaufschema einer 2D-Simulation	9
Abbildung 6:	Programmoberfläche von „SMS 11.1“ bei geöffnetem Projekt in der Postprocessing-Phase	10
Abbildung 7:	Exemplarische Darstellung der Rauheitsverteilung im Planungsgebiet	12
Abbildung 8:	Exemplarischer Ausschnitt eines typischen Berechnungsgitters mit inneren Rändern (bzgl. Modellrändern siehe auch Kapitel 5.6).....	13
Abbildung 9:	Wasserspiegellängsschnitt durch das bestehende Lahnbett in Bestand (blau) und Planung (orange gepunktet) sowie Sohlhöhe (schwarz)	17
Abbildung 10:	Vergleich von Energielinie, Druck- und Geschwindigkeitshöhe in Bestand (durchgezogene Linien) und Planung (gestrichelte Linien) im Bereich des Zusammenflusses von Furkation und alter Lahn (Bild re., weißer Kreis).....	18
Abbildung 11:	Qualitative Lage eines strömungslenkenden Dammkörpers (grün) zum Schutz der Bebauungen der Erlenmühle (unterer Rand des Bildes)	20
Abbildung 12:	Bevorzugte Fließwege zwischen Kläranlage und Trasse im Bestand (links) und durch Trassenverlauf abgeschnitten (rechts)	20
Abbildung 13:	Wasserspiegellagen (links) und Geländehöhen (rechts) am Brückenbauwerk 3.....	21
Abbildung 14:	Verortung der 100 m Abschnitte im alten Lahnbett zur gewässermorphologischen Untersuchung.....	22
Abbildung 15:	Darstellung der Bestimmung des Retentionszuwachses durch die Furkation	24

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1	Auszug Gewässerkundliches Jahrbuch Pegel Biedekopf, Lahn (2011)
Anlage 2	Wasserspiegellängsschnitt durch „alte“ Lahn in Bestand und Planung

PLANVERZEICHNIS

Unterlage Nr.	Blatt Nr.	Planinhalt
18	1	Topographie (Bestand-Planung)
18	2	Rauheiten (Bestand-Planung)
18	3	Fließtiefen mit Fließvektoren (Bestand-Planung)
18	4	Wasserspiegellagen (Bestand-Planung)
18	5 + 6	Lage der Ver- und Entsorgungsleitungen
18	7	Retentionsraumbilanz

1 EINLEITUNG

Hessen Mobil, Straßen- und Verkehrsmanagement Marburg, plant eine Umgehung der Ortslage Biedenkopf/Eckelshausen im Zuge der Bundesstraße B 62. Hierfür wurden vom Straßenplaner unterschiedliche Varianten bezüglich des Achsenverlaufs der Ortsumgehung vorgeschlagen und auf Ihre Umsetzbarkeit hin untersucht.

Um mögliche Änderungen der Wasserspiegellagen und der Strömungsverhältnisse bei Hochwasserereignissen infolge der Ortsumgehung in der Lahnaue bei Eckelshausen bestimmen zu können, wurde das Ingenieurbüro

UNGER ingenieure
Ingenieurgesellschaft mbH
Waßmuthshäuser Straße
34576 Homberg (Efze)

beauftragt, diese mittels hydronumerischer Modelle für den Bestand und die Planungsvariante zu berechnen. Zudem wurde eine gewässermorphologische Betrachtung durchgeführt, um den Einfluss der geplanten Ausgleichsmaßnahme (Furkation) zu bewerten. Abschließend wird die Retentionsraumveränderung infolge des Einflusses der Ortsumgehung ermittelt sowie die Planung eines eventuellen Ersatzretentionsraums erläutert.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Allgemeine Beschreibung des Berechnungsgebiets

Das Berechnungsgebiet zur Bestimmung der Wasserspiegellagen und Strömungsverhältnisse für den Bereich der Ortsumgehung Eckelshausen hat eine Gesamtgewässerlänge von ca. 3.100 m (GESIS-Stationierung ca. km 210,8 bis km 214,0). Die Lahn fließt im Planungsgebiet von Norden nach Süden parallel zur Bundesstraße B 62. Sie liegt in einem Tal mit einer mittleren Auenbreite von ca. 300 m. Im Bereich des Modellgebiets verläuft die eingleisige Bahntrasse der Oberen Lahntalbahn von Marburg über Biedenkopf bis Erndtebrück. Die Bahnlinie kreuzt bei etwa Gewässer-km 213,6 die Lahn und verläuft anschließend am Rande der Lahnaue auf der rechten Lahnseite.

Im südlichen Bereich des Modellgebiets, kurz oberhalb des Modellabflussrandes verläuft eine Brücke der B 453 zwischen Eckelshausen und Dautphetal über die Lahn.

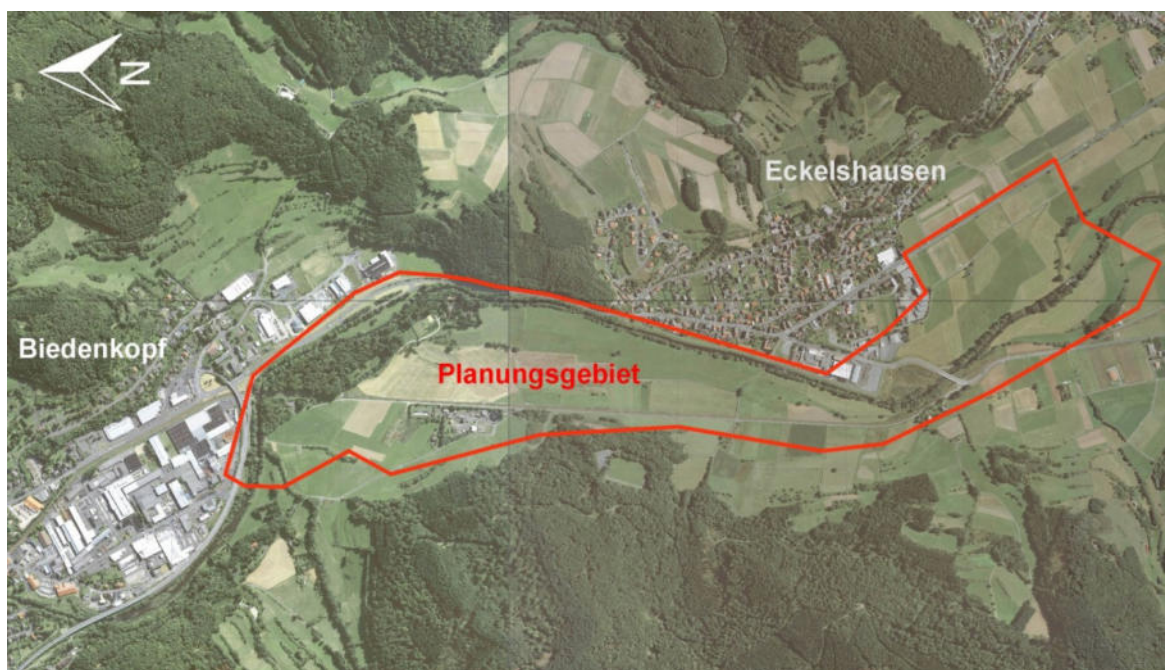


Abbildung 1: Luftbild des Planungsgebiets

Parallel zur Lahn existiert linksseitig zwischen Eckelshausen und der Lahn ein Hochwasserschutzdeich, um die Bebauung des Ortsteils Eckelshausen vor Hochwasserereignissen zu schützen.

Innerhalb des Modellgebiets existieren Brunnenstuben, die bei Bedarf Trinkwasser für die Stadt Biedenkopf liefern. Die Brunnen liegen innerhalb der Wasserschutzgebietszone II in der Lahnaue. Im Planungsgebiet südlich von Biedenkopf zwischen der Bahntrasse und der Lahn bestehen in der Lahnaue Bebauungen der Erlenmühle, die innerhalb des Überschwemmungsbereichs liegen. Südlich von Biedenkopf, am Fuße der westlichen Hanglage, befindet sich eine Kläranlage, deren Anbindung über einen parallel der Bahnlinie verlaufenden Wirtschaftsweg erfolgt.

2.2 Digitales Geländemodell / Koordinatensystem

Grundlage für die Erstellung der Geländemodelle für Bestand und Planung sind die von Hessen Mobil Marburg an das Büro UNGER ingenieure übermittelten Vermessungs- respektive Laserscandaten des Projektgebiets im Bereich Biedenkopf und Eckelshausen (vgl. Abbildung 1) sowie die Flussschlauchdaten des Retentionskatasters Hessen.

Zu Projektbeginn im Jahr 2009 sind sämtliche Daten im Gauß-Krüger-Koordinatensystem verwendet worden. Durch die darauffolgende hessenweite Umstellung des Gauß-Krüger- auf das UTM-Koordinatensystem ist durch Hessen Mobil 2012 eine Vereinheitlichung des Bearbeitungskoordinatensystems von Gauß-Krüger in UTM vorgegeben worden. Hierbei sind dem Auftragnehmer alle Vermessungsdaten im UTM Format übergeben worden.

2.3 Ortsumgehung

Die bestehende Bundesstraße 62 (B 62) stellt eine überregionale Verkehrsachse zur Verbindung des Raums Marburg mit dem Raum Siegen/Wittgenstein dar. Im Planungsgebiet werden das Oberzentrum Marburg und das Mittelzentrum Biedenkopf durch die B 62 verbunden, wobei sie von Biedenkopf kommend durch Eckelshausen in Richtung Marburg führt.

Zum Verlauf der geplanten Ortsumgehung (vgl. auch Abbildung 2) folgt ein Auszug aus dem Erläuterungsbericht des Vorentwurfs zum Neubau eben dieser Trasse des dafür beauftragten Büros Emch + Berger GmbH Ingenieure und Partner, Weimar:

Im Norden beginnt die Trasse unmittelbar nach dem Knoten der B 62 mit der B 62B am südlichen Rand Biedenkopfs. In einem Rechtsbogen schwenkt sie über die Lahn hinweg und um das Trinkwasserschutzgebiet herum nach Südwesten. Mit einem nachfolgenden Linksbogen durch die Lahnaue wird die Parallellage östlich der Bahnstrecke erreicht. Nach etwa 600 m bahnparallelem Verlauf wechselt die Trasse in einem erneuten Linksbogen wieder auf die westliche Lahnseite um mit einem Rechtsschwenk die Bestandstrasse südlich Eckelshausens zu erreichen.

Diese Trasse wurde in den vorangegangenen Planungsphasen festgelegt. Das damalige Sicherheitsaudit gab Korrekturen vor, die sich sämtlich auf die Einhaltung von Trassierungswerten der damals geltenden Richtlinie RAS-L95 bezogen. Inzwischen wurde diese Richtlinie durch die RAL 2012 abgelöst. Somit wurde die Vorplanungstrasse unter Beachtung der neuen Richtlinie im nördlichen Abschnitt mit großzügigeren Radien der Lageplankurven abgeändert, ohne jedoch vom ausgewählten Korridor abzuweichen (Lageverschiebungen bis max. 45 m). Die Trassenführung entspricht sowohl den Ergebnissen der Vorplanung, den Forderungen des Sicherheitsaudits als auch der aktuell geltenden RAL 2012.

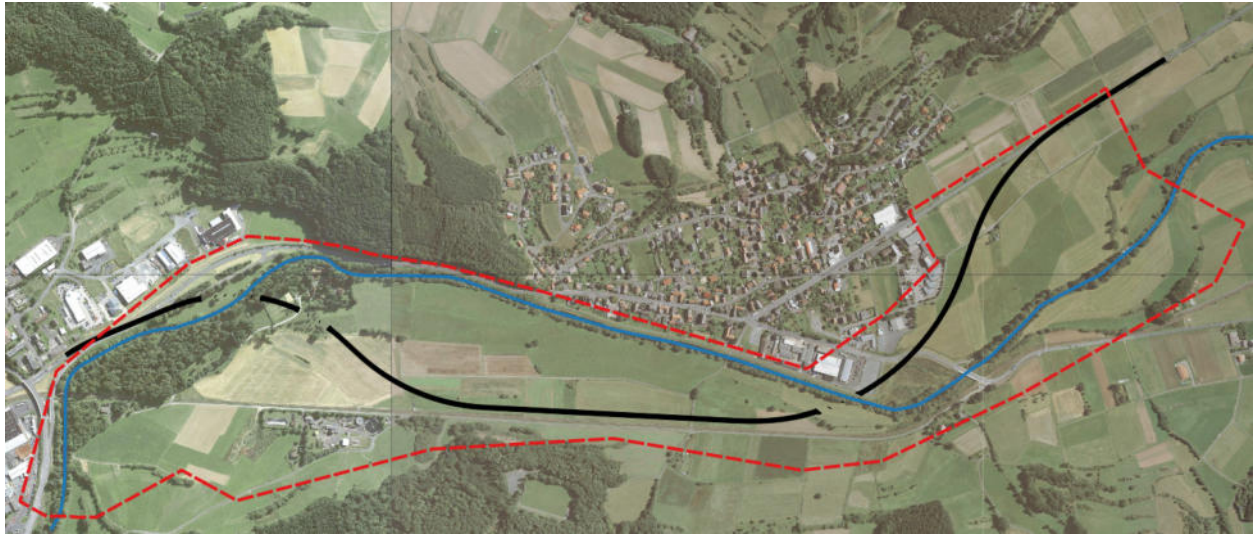


Abbildung 2: Verlauf der Trasse der Ortsumgehung (schwarz) im Planungsgebiet (rot) an der Lahn (blau)

3 VARIANTENBETRACHTUNG

3.1 Bestandsmodell

Als Grundlage für die Erstellung des geometrischen Bestandsmodells wurden die an das Büro UNGER ingenieure übermittelten Querprofildaten des Retentionskatasters Hessen [1] verwendet. Um den Gewässerverlauf korrekt abbilden zu können wurden die Vermessungsdaten durch Bruchkanten ergänzt. Darüber hinaus wurden Laserscandaten auf einem regelmäßigen Raster von 1 m x 1 m für die Modellierung des Vorlands genutzt (DGM1) [2]. Das Modellgebiet löst mit 285.000 Elementen hinreichend genau auf. Die Fläche des etwa 2,7 km langen und im Mittel etwa 400 m breiten Modellgebietes beläuft sich auf rund 1,1 km².

Die Lahn wird in diesem Gebiet etwa von Fließ-km 214,0 bis 210,8 betrachtet.

3.2 Planungsmodell mit Trasse und Furkation

Auf Grundlage des Bestandsmodells wurde die aktuelle Planungsvariante entwickelt, deren Grundlage der aktuelle Planungsstand von Mai 2015 darstellt. Die äußeren Grenzen des Planungs-DGM dieser Variante sind mit den Grenzen des Bestands-DGM identisch, sodass die Unterschiede lediglich in der hinzugefügten Trasse und der Ausgleichsmaßnahme in Form einer Furkation liegen.

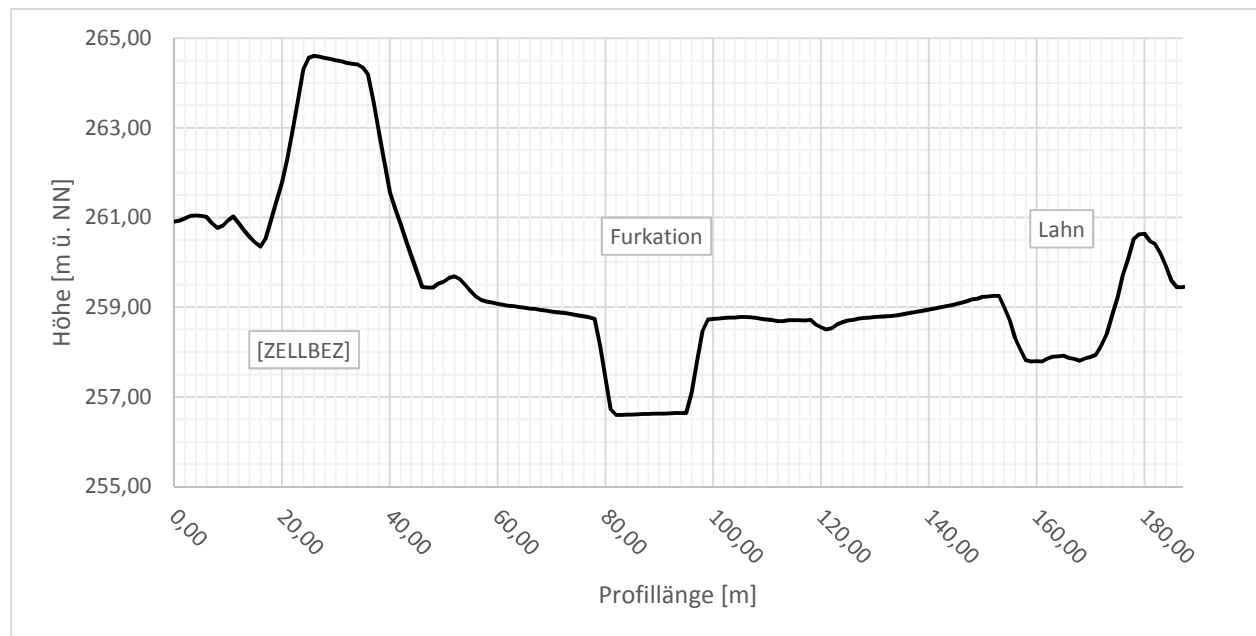


Abbildung 3: Höhenverhältnisse im beispielhaften Querschnitt von Trasse (links), Furkation (Mitte) und alter Lahn (rechts) bei ca. Lahn-km 212
 Darstellung überhöht

3.2.1 Aufteilungsbauwerk Lahn/ Furkation und Hauptabmessungen

Nach Rücksprache mit Vertretern des Regierungspräsidiums Gießen wurde eine Furkation als Vorgabe aufgenommen. Sie dient neben der Wiederherstellung des Retentionsvolumens auch als Ausgleichsmaßnahme für die Errichtung der Ortsumgehung innerhalb der Lahnaue.

Die Geometrie sowie Linienführung der ca. 1.200 m langen Gewässerstrecke basiert auf ehemaligen Flutmulden, wurde durch ein Variantenstudium ermittelt und ist ebenfalls mit den Vertretern des Regierungspräsidiums Gießen abgestimmt worden. Sie beginnt ca. 110 m südlich der Bebauungen der Erlenmühle rechtsseitig der Lahn, verläuft folgend mit einem mittleren Abstand von ca. 70 m parallel zum bestehenden Lahnbett und mündet unmittelbar vor der neuen südlichen Gewässerquerung der Ortsumgehung wieder in die Lahn. Die Verzweigung weist eine Breite von ca. 20 m bei einer Böschungsneigung zwischen 1 : 1,5 und 1 : 2 sowie einer mittleren Tiefe von ca. 2,15 m auf. Ein- und Auslaufbereich der Furkation werden sohlgleich an die Lahn angeschlossen, das Sohlgefälle wird im Verlauf als konstant angenommen. Das im Querschnitt in Abbildung 3 dargestellte Trapezprofil wurde lediglich für die Modellierung im Rahmen der Berechnung gewählt, die naturnahen Eigenschaften über eine angepasste Rauheitsverteilung simuliert (vgl. Kapitel 5.4 bzw. Pläne zur Rauheitsverteilung). Während der Ausführungsphase sollen das Gewässerbett und die Böschungen der Furkation naturnah gestaltet werden.

Im Bereich der oberwasserseitigen Abzweigung der neuen Furkation wird in das alte Lahnbett ein Querriegel eingebracht, der den Abfluss der Lahn in Furkation und altes Lahnbett aufteilt (siehe Abbildung 4). Die Oberkante des Querriegels wird mit 259,10 m ü.NN festgelegt, sodass der Abfluss über das alte Lahnbett erst ab ca. MNQ ($\approx 0,433 \text{ m}^3/\text{s}$, gebietsproportionale Umrechnung nach Kapitel 4) eintritt. Die ökologische Durchgängigkeit wird im Rahmen späterer Planungsphasen dargestellt.

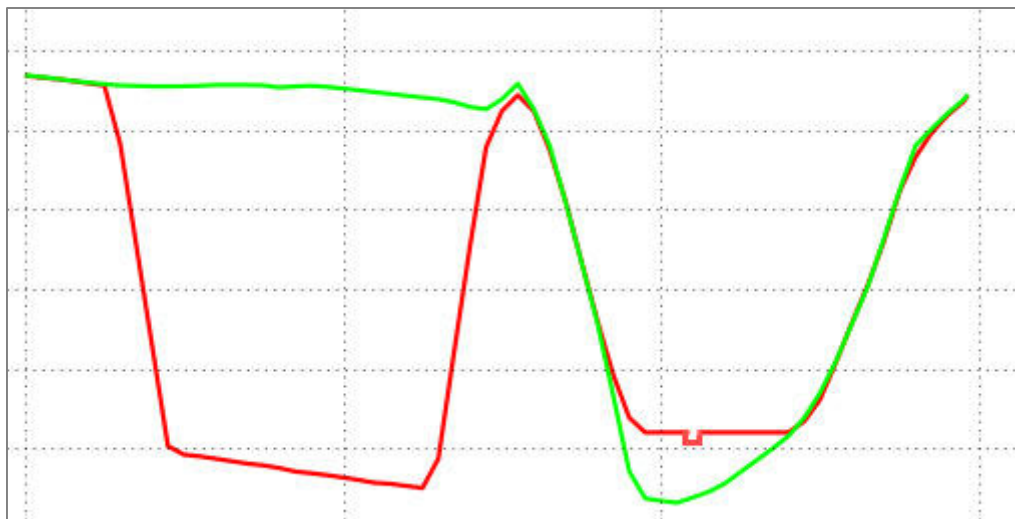


Abbildung 4: Prinzipskizze zur Anordnung des Querriegels in der alten Lahn im Längsschnitt
 Bestand ohne Furkation (grün), Planungszustand (rot). Darstellung überhöht

3.2.2 Ortsumgehung und Bauwerke

Die Achse der Trasse wurde im Gauß-Krüger-Koordinatensystem überliefert und mit einer fachgerechten Transformation in das UTM-Format überführt. Sie beginnt östlich der Bebauungen der Erlenmühle von der Bundesstraße B 62 und verspringt vom linken auf das rechte Ufer der Lahn. An der Kreuzungsstelle der Lahn wird ein Brückenbauwerk angeordnet. Die Achse verläuft parallel zur Lahn und verspringt südwestlich der Industriebauten Eckelshausen vom rechten auf das linke Vorland, kreuzt die B 453 und führt östlich von Eckelshausen auf die bestehende B 62.

Die Anordnung der Brückenpfeiler für die jeweiligen Gewässerkreuzungen wurde in Absprache mit Hessen Mobil Marburg anhand eines Variantenstudiums erarbeitet, sodass die Pfeiler und der Damm der Ortsumgehung den Hochwasserabfluss möglichst wenig beeinflussen.

3.2.3 Umverlegungen von Ver- und Entsorgungsleitungen

Wie dem Leitungssummenplan zu entnehmen ist, kreuzen zu Beginn der Furkation (zwischen Lahnkilometern 213,0 und 212,5) der Auslauf sowie der Regenwasserüberlauf von der benachbarten Kläranlage kommend die Furkation und münden in das alte Lahnbett. Eine Verpressung der Leitungen bis zum rechtsseitigen Ufer der Furkation (je rund 100 m) sowie der Rückbau der bestehenden Einleitstelle in der Lahn müssen berücksichtigt werden. Darüber hinaus muss ein neues Einleitbauwerk an der Furkation errichtet werden. Etwa 100 m Unterstrom kreuzen zwei weitere Leitungen (zwei Trinkwasser- und eine Telekomleitung) die Maßnahme auf einer Länge von jeweils etwa 40 m, für die eine Unterdükerung hergestellt werden muss. Im mittleren Abschnitt der Furkation sind nach aktueller Auskunft keine weiteren Leitungskonflikte zu erwarten. Lediglich im Bereich der Einmündung in die Lahn am südlichen Ende liegt eine zu berücksichtigende Stromleitung. Diese Leitungen müssen im Rahmen der Maßnahme ebenfalls umgelegt werden.

Vor der Bauausführung sollte eine erneute Leitungsabfrage bei den einschlägigen Versorgern erfolgen.

3.2.4 Sicherungsmaßnahmen des Straßendamms

In Bereichen, in denen die Ausdehnung des Wasserspiegels eines HQ₁₀₀-Ereignisses bis an den Dammkörper der geplanten Ortsumgehung reicht (vgl. Pläne zu Wasserspiegellagen bzw. Fließtiefen) und die im direkten Strömungsbereich liegen, muss eine Böschungsfußsicherung durch geeignete Maßnahmen (z. B. Steinschüttungen) mit einem Freibord von mindestens 0,5 m vorgesehen werden. Besonders betroffen sind in diesem Fall die Dammbereiche in unmittelbarer Nähe zu den Kreuzungsbauwerken, insbesondere im Fall des Bauwerks 2, das einen bevorzugten Fließweg im Bestand unmittelbar abschneidet. Der südliche Teil der Trasse (nach Bauwerk 3) ist der Strömung nicht direkt ausgesetzt, aufgrund der zusätzlichen Funktion als Hochwasserschutzdeich für die Ortschaft Eckelshausen sollte dieser Bereich ebenso gesichert werden. Die Gestaltung und Dimensionierung der einzelnen Maßnahmen sind als Teil der Ausführungsplanung genauer zu erörtern.

4 HYDROLOGIE

4.1 Hydrologie der Lahn am Pegel Biedenkopf

Für die Bestimmung der maßgeblichen Abflüsse wird der Pegel Biedenkopf an der Lahn herangezogen. Dieser ist etwa einen Kilometer flussaufwärts vom oberen Rand des betrachteten Projektareals bei Fluss-km 215,0 zu finden und weist ein Einzugsgebiet von $A_E = 303,3 \text{ km}^2$ auf. Für diesen Pegel wurden dem gewässerkundlichen Jahrbuch, Stand 2011, zunächst die nachfolgenden Stammdaten entnommen (siehe [3] bzw. Anlage 1).

MQ	=	5,54 m ³ /s	
HQ	=	210 m ³ /s	am 07.02.1984

4.2 Hydrologie der Lahn im Planungsgebiet

Mit einer aus dem Wasserrahmenrichtlinien-Viewer (WRRL-Viewer) ermittelten Gesamt-Einzugsgebietsgröße von $A_E = 328,917 \text{ km}^2$ ist das unterhalb des Pegels liegende Planungsgebiet etwa um 8,5 % größer als das des Pegels Biedenkopf. Die unmittelbare geographische und geologische Nähe zum Projektgebiet lässt eine gebietsproportionale Umrechnung der ermittelten Abflusswerte um den Faktor 1,085 auf das neue Einzugsgebiet zu. Demzufolge ergeben sich für das Planungsgebiet die nachfolgenden Abflusswerte:

MQ	=	6,00 m ³ /s	
HQ	=	228 m ³ /s	am 07.02.1984

Zudem wurde vom Retentionskataster Hessen (RKH) der hundertjährige Abfluss für das Planungsgebiet mit

$$HQ_{100} = 203,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

beziffert. Maßgeblich für die hydraulische Berechnung ist nicht der höchste, durch den Pegel ermittelte Abfluss (HQ von 1984), sondern das statistisch einmal alle 100 Jahre auftretende Hochwasser (HQ_{100} , ermittelt durch RKH).

5 HYDRAULISCHE BERECHNUNGEN

5.1 Grundlegendes

Für die Betrachtung der Strömung in der Aue innerhalb des Bereichs der Lahnaue und des Gewässerbettts wird ein zweidimensionales Strömungsmodell verwendet. Für eine Plausibilitätsprüfung wurden die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen aus dem Retentionskataster Hessen zugrunde gelegt. Jedoch werden bei dem verwendeten zweidimensionalen Strömungsmodell gegenüber der 1d-Berechnung flächig differenzierte Berechnungsergebnisse erzeugt, insbesondere unter Berücksichtigung des Strömungsverhaltens in der Aue sowie der komplexen Interaktionen im Übergangsbereich zwischen Flussschlauch und Aue. Dadurch sind genauere Betrachtungen der Fließvorgänge als auch in den Bereichen der Brückenbauwerke sowie dem unmittelbaren Umfeld möglich. Eine etwaige Abweichung des zweidimensionalen gegenüber einem eindimensionalen Modell ist somit nicht zu vermeiden.

In der folgenden Abbildung wird das Ablaufschema einer Simulation dargestellt, wie sie idealerweise organisiert ist:

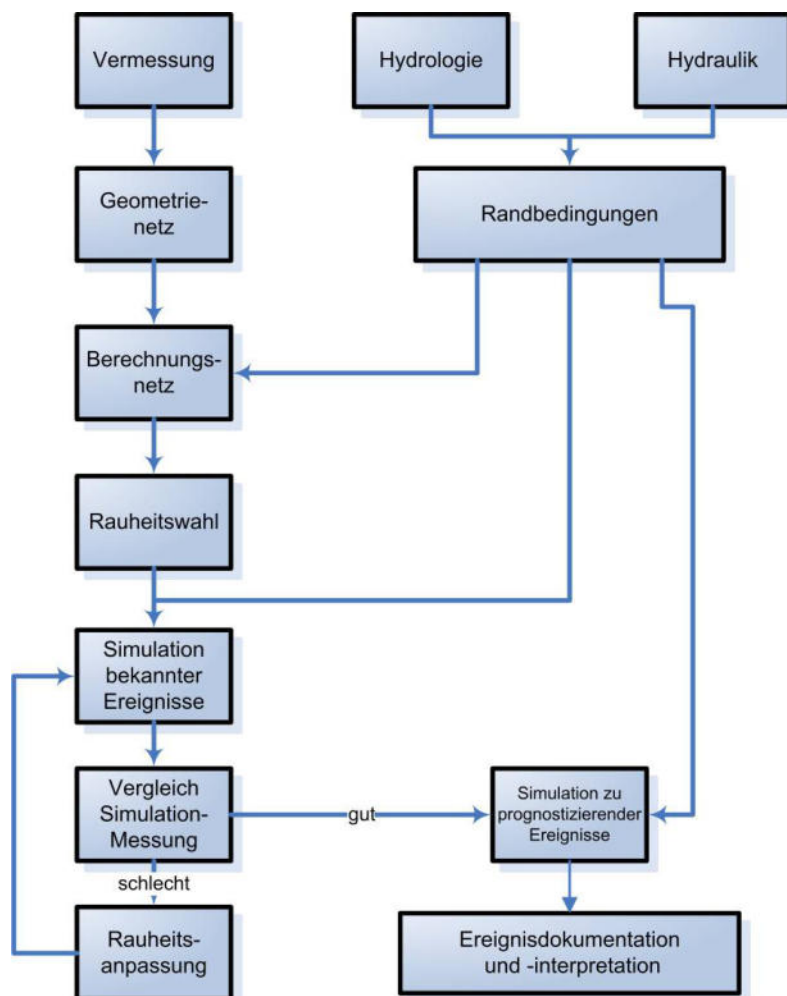


Abbildung 5: Ablaufschema einer 2D-Simulation

5.2 Verwendete Software: Hydro_AS-2D und Surface-water Modeling System

Zur zutreffenden Abbildung der schwer einzuschätzenden Strömungslage im Modellgebiet wird die Berechnung mit einem 2D-Strömungsmodell ausgeführt, dessen Vorteile im vorhergehenden Kapitel näher betrachtet wurden. Die vom Büro UNGER ingenieure während der Projektphase genutzte Software beläuft sich auf die Programme Surface-water Modeling System [4], kurz SMS, der Firma Aquaveo (siehe Abbildung 6) sowie dem von der Hydrotec Ingenieurgesellschaft entwickelten und vertriebenen Hydro_AS-2D [5].

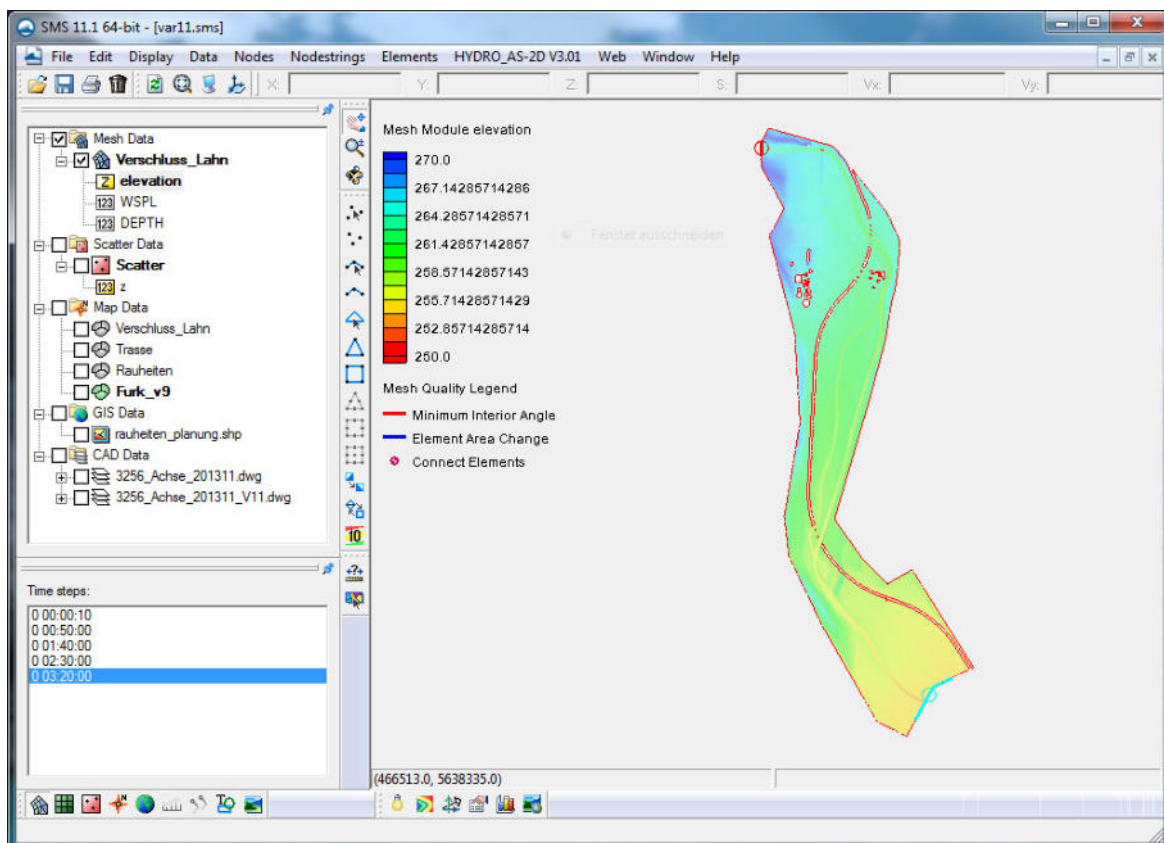


Abbildung 6: Programmoberfläche von „SMS 11.1“ bei geöffnetem Projekt in der Postprocessing-Phase

Während Aquaveos SMS als Pre- und Postprocessor zur Erstellung und Bearbeitung des triangulierten Dreiecksnetzes sowie der Auswertung der berechneten Ergebnisse desselbigen dient, ist Hydro_AS-2D für die eigentliche hydrodynamische Berechnung zuständig. Das für die spätere Visualisierung genutzte QGIS soll hier erwähnt, jedoch nicht Bestandteil der weiteren Ausführungen sein. Das in Hydro_AS-2D integrierte Strömungsmodell basiert dabei auf der numerischen Lösung der 2D-tiefengemittelten Strömungsgleichungen mithilfe der Finite-Volumen-Diskretisierung. Durch die Vernachlässigung der Veränderung der vertikalen Geschwindigkeitskomponente (Tiefenmittlung) in den 2D-Verfahren ist Hydro_AS-2D auf den Einsatz in Flachwassergebieten beschränkt. Bei dem betrachteten Gebiet handelt es sich um ein solches, weshalb die Einschränkung in diesem Fall keine Probleme verursacht.

Die in Kapitel 5.7 vorgestellten Ergebnisse werden über ein HQ₁₀₀-Ereignis ermittelt, da dem Büro keine Ablaufwellendaten für Extremereignisse mit 100-jährlicher Wahrscheinlichkeit vorgelegt wurden. Entgegen der in der Leistungsbeschreibung geforderten instationären Berechnung wird deshalb, bei vergleichbarer Aussagekraft der Ergebnisse und nach Rücksprache mit dem Regierungspräsidium Gießen, quasi-stationär gerechnet.

5.3 Berechnungsverfahren

Das Berechnungsverfahren stützt sich dabei auf die sogenannten Flachwassergleichungen von Abbott. Diese 2D-tiefengemittelten Strömungsgleichungen (siehe Gl. 1) werden durch „Integration der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung und den Reynolds- bzw. Navier-Stokes-Gleichungen für inkompressible Fluide über die Wassertiefe und unter der Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung“ ermittelt. Die räumliche Diskretisierung des Modellgebiets wird in Hydro_AS-2D über die Finite-Volumen Methode realisiert. [6]

$$\frac{\partial \mathbf{w}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{g}}{\partial y} + \mathbf{s} = 0 \quad \text{Gl. 1}$$

mit

$$\mathbf{w} = \begin{bmatrix} H \\ uh \\ vh \end{bmatrix}; \quad \mathbf{f} = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + 0.5gh^2 - vh \frac{\partial u}{\partial x} \\ uvh - vh \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{g} = \begin{bmatrix} vh \\ uvh - vh \frac{\partial u}{\partial y} \\ v^2h + 0.5gh^2 - vh \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{s} = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(I_{Rx} - I_{Sx}) \\ gh(I_{Ry} - I_{Sy}) \end{bmatrix}$$

sowie

$$I_{Sx} = -\frac{\partial z}{\partial x}, \quad I_{Sy} = -\frac{\partial z}{\partial y}$$

wobei

$H = h + z$	Wasserspiegel über Bezugsniveau	[-]
u, v	Geschwindigkeitskomponenten in x- und y-Richtung	[m/s]
I_S	Sohlneigung	[-]
I_R	Reibungsgefälle (siehe dazu Kapitel 5.3)	[-]

5.4 Rauheiten

Die Betrachtung der Rauheiten erfolgt mittels Reibungsgefälle I_R nach Darcy-Weisbach, wobei der Fließwiderstandsbeiwert λ nach Manning-Strickler bestimmt wird. (siehe Gl. 2)

$$I_R = \frac{v_m^2 \lambda}{2 g D} \quad \text{Gl. 2}$$

mit

$$\lambda = 6,34 * \frac{2 g n^2}{D^{\frac{1}{3}}}$$

wobei

I_R	Reibungsgefälle	[-]
v_m	tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit	[m/s]
λ	Fließwiderstandsbeiwert	[-]
$n = 1/k_{st}$	Manning-Reibungskoeffizient	[s/m ^{1/3}]
$D = 4r$	hydraulischer Durchmesser	[m]
g	Erdbeschleunigung (i.M. 9,81)	[m/s ²]

Das Modellgebiet wird deshalb in unterschiedliche Bereiche aufgeteilt, die je nach Nutzungsart verschiedene Rauheitsgrößen zugeordnet bekommen. Abbildung 7 zeigt exemplarisch die Rauheitsverteilung in einer Variante der Planung.

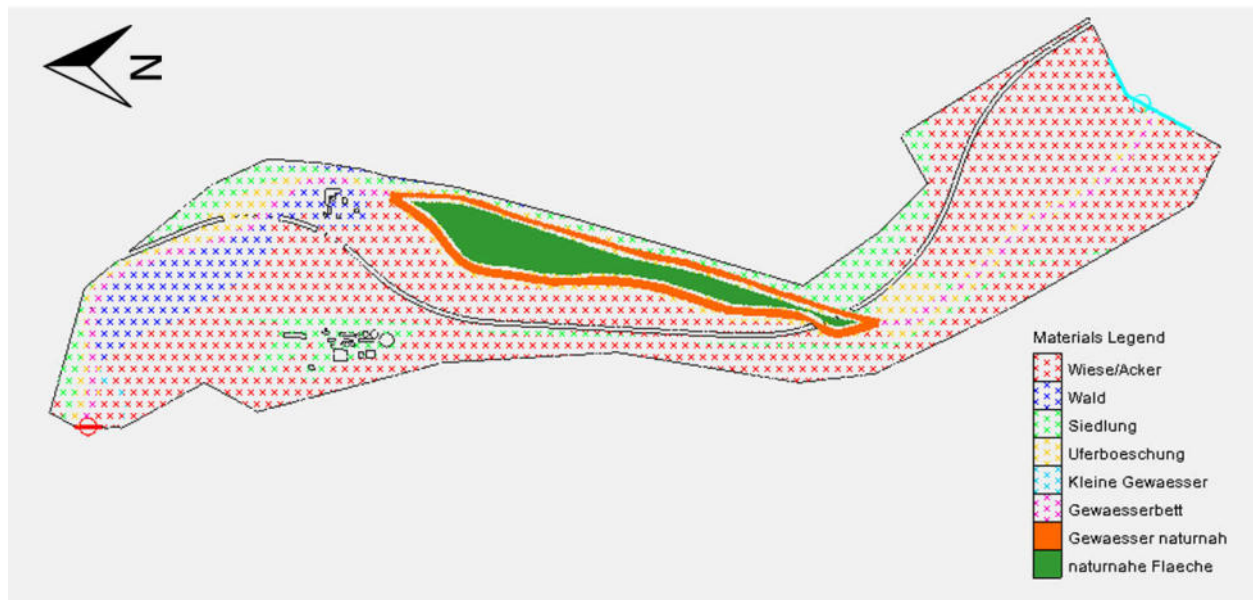


Abbildung 7: Exemplarische Darstellung der Rauheitsverteilung im Planungsgebiet
 (Auszug aus „SMS 11.1“)

In dieser Untersuchung wird – je nach Modell – zwischen den in Tabelle 1 aufgeführten Einteilungen unterschieden. Hydro_AS-2D setzt dabei auf die im deutschen Sprachraum typischerweise verwendeten Strickler-Beiwerte. Die Rauheiten im Modell wurden daher auf Grundlage von Erfahrungswerten aus vorhergehenden Berechnungen aus dem Fulda- und Lahn-Einzugsgebiet angesetzt sowie an den Retentionskatasterdaten des HLUG kalibriert. Die Werte gelten für die angegebenen typischen Fließ-tiefenverhältnisse. Die genaue Klassifizierung, Flächeneinteilung und die dazugehörigen Strickler-Beiwerte sind den zugehörigen Plänen im Anhang zu entnehmen.

Nutzungsart	$k_{St}^{1/3}$ [m ^{1/3} /s]
Gewässerbett	30
Gewässerbett (naturnah)	27
kleine Gewässer	33
Uferböschung	22
naturnahe Fläche	15
Wiese/Äcker	18
Wald	8
Siedlung	15

Tabelle 1: Rauheitsverteilung im Modellgebiet als Strickler-Werte

5.5 Berechnungsnetz

Auf Grundlage des digitalen Geländemodells des Bestands wurde durch Triangulation ein unstrukturiertes Berechnungsnetz mit Dreiecks- und Viereckselementen Abbildung 8) erzeugt, welches die Topographie des Untersuchungsgebiets abbildet.

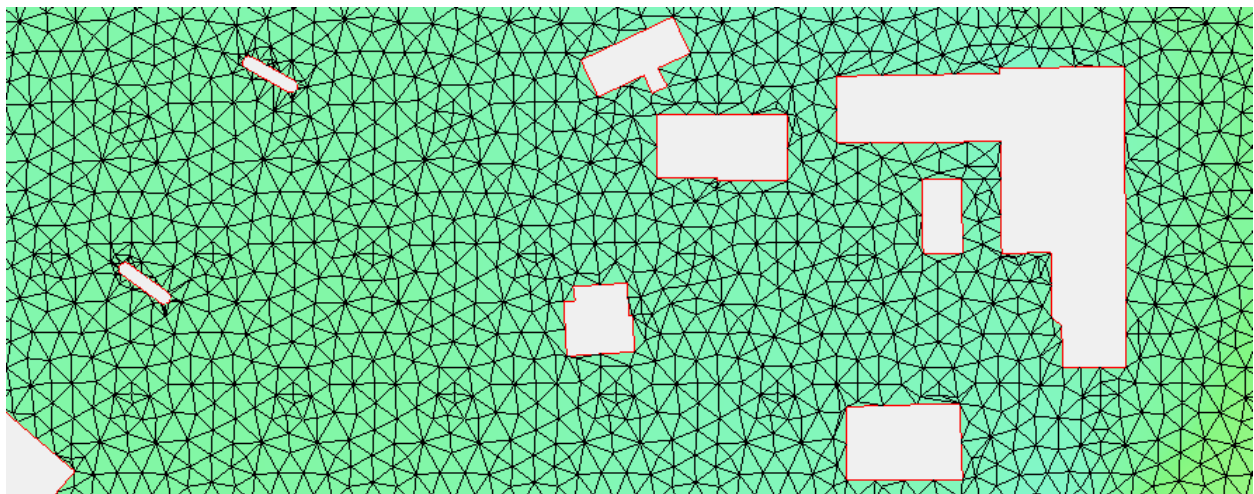


Abbildung 8: Exemplarischer Ausschnitt eines typischen Berechnungsgitters mit inneren Rändern (bzgl. Modellrändern siehe auch Kapitel 5.6)

Im Bereich des Gewässerschlauchs und an Geländebruchkanten erfolgt gegenüber dem Vorland eine zusätzliche lokale Netzverdichtung, um Unterschiede in der Höhe besser abbilden zu können. Das Berechnungsnetz für das Bestandsmodell basiert auf etwa 150.000 Knoten bei ca. 300.000 Elementen, während die Planungsvariante durch die eingefügten Geometrien der Furkation und der Trasse ca. 200.000 Knotenpunkte respektive 400.000 Elemente aufweist.

5.6 Modellränder und Randbedingungen für die hydraulische Berechnung

Für eine qualitativ hochwertige Berechnung sollten sowohl innere als auch äußere Ränder sinnvoll gewählt werden, wozu auch die Betrachtung von etwaigen Hochwasserschutzanlagen zählt, hinter denen das Modellgebiet im Normalfall enden sollte, um den Berechnungsaufwand und die -dauer nicht unnötig zu erhöhen. Für den gesamten äußeren Rand des Berechnungsgebiets (Modellgebiet) müssen Randbedingungen definiert werden. Es wird hierbei zwischen zwei Randtypen, den offenen und den geschlossenen Rändern, unterschieden. Die Strömungsrichtung bei geschlossenen Rändern ist tangential. Daher können geschlossene Ränder nicht durchströmt werden. Offene Ränder werden durchströmt und müssen mit entsprechenden hydraulischen Vorgaben belegt werden.

5.6.1 Modellränder außen und innen

Sowohl äußere als auch innere Modellränder sollten sinnvoll gewählt werden. So wurde für diese Berechnung der äußere Rand linksseitig der Lahn aufgrund eines Hochwasserschutzdeiches begrenzt. Die Breite des betrachteten Gebiets ergibt sich aus der mittleren Auenbreite sowie dem Verlauf der geplanten Ortsumgehung.

Für die inneren Ränder wurden die im Planungsgebiet befindlichen Bauwerke (Wohnbebauung, bestehende Brückenpfeiler) angesetzt, da diese gemeinhin vom Hochwasser umspült werden und daher als Strömungshindernis gelten. In der Planungsvariante wurden zudem die Pfeiler der neuen Kreuzungsbauwerke als innere Ränder definiert.

5.6.2 Obere und untere Randbedingungen

Zu- und Ablaufränder sind stets offene Ränder. Nach Empfehlungen des Programmentwicklers und der allgemein gängigen Praxis bei hydronumerischen Oberflächenwasser-Simulationen wurde als Randbedingung für den Zulauf der Abfluss $[m^3/s]$ samt Fließrichtung $[^\circ]$ angegeben. Bezüglich der oberen Randbedingung werden die in Kapitel 4 ermittelten Abflüsse zugrunde gelegt.

Der Unterwasserrand wurde im Zuge der Kalibrierung als Energieliniengefälle gewählt. Unter der Annahme, dass das Energieliniengefälle im stationären Fall annähernd mit dem Wasserspiegelgefälle übereinstimmt, wurden die an der Lahn verfügbaren 1D-HN-Berechnungen des RKH im Betrachtungsgebiet zwischen Fließ-km 210,8 und 213,9 ausgewertet. Es wurden alle drei berechneten Abflüsse (HQ_{10} , HQ_{100} , HQ_{extrem}) betrachtet, wobei die Neigung zunächst für alle im Maßnahmengebiet enthaltenen Querprofile einzeln ermittelt wurde. Im darauffolgenden Schritt wurde die Streuung der Werte betrachtet um etwaige Ausreißer (aufgrund von Sohlschwellen, Brücken o.ä.) von der abschließenden Mittelwertbildung auszuschließen. Nach dieser Vorgehensweise ergibt sich ein Mittelwert von etwa 3,1 ‰, der als untere Randbedingung sowohl für Bestand als auch Planung festgelegt wurde.

Aufgrund der Eigenheiten und Vereinfachungen des Berechnungskerns (Hydro_AS-2d) sind die Berechnungen aufgrund des durch die Randbedingungen beeinflussten Fließzustandes bis mehrere 100 m nach Betrachtungsbeginn sowie vor –ende mit Ungenauigkeiten behaftet. Die im nachfolgenden Kapitel beschriebene Kalibrierung des Modells zeigt jedoch, dass die Ergebnisse im Bereich der geplanten Furkation und Ortsumgehung belastbar sind. Zudem ist im Wasserspiegellängsschnitt (siehe Anhang) von Bestand und Planung zu erkennen, dass die Wasserspiegelverläufe beider Modelle vor und hinter dem Planungsraum deckungsgleich und damit vergleichbar sind.

Des Weiteren ist die Vorgabe einer Randbedingung nur bei strömendem Fließverhalten zulässig. Diese Vorgabe ist an beiden Rändern und in allen Berechnungsfällen eingehalten.

5.7 Kalibrierung

Die Kalibrierung des Bestandsmodells wird über einen Vergleich zwischen bereits vorliegenden Strömungsgrößen aus dem HWRMP bzw. den Berechnungen des RKH sowie dem in diesem Zuge erstellten Modell des Bestands durchgeführt. Modellparameter und hydraulische Randbedingungen werden, wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben, ermittelt. Um die entsprechenden Wasserspiegellagen aus der 1D-Berechnung im Bestandsfall zu reproduzieren, finden gegebenenfalls eine Anpassung dieser Werte sowie eine Überprüfung der Geometrie statt. Darüber hinaus maßgebend für die Kalibrierung eines Modells ist der Rauigkeits- bzw. Stricklerbeiwert (k_{st} -Wert), über welchen Energieverluste aus der Oberflächenrauheit (Stichwort: Korngröße bzw. Sieblinie) sowie der Formrauheit (Bewuchsdichte oder kleine, durch Modellauflösung nicht berücksichtigte Hindernisse) pauschal berücksichtigt werden. Die in diesem Modell aus ähnlichen Projekten angesetzten und anschließend iterativ ermittelten Rauheiten finden sich in Kapitel 5.4.

Ein Vergleich der Ergebnisse der 2D-Berechnung mit den Ergebnissen des Retentionskatasters Hessen [1] ist nur bedingt durchzuführen, da bei der 1D-Modellierung die Strömungen in der Aue insbesondere in der Aufteilung Aue/Gewässerbett mit ihrer Strömungsgeschwindigkeitsverteilung nur unzureichend abgebildet werden können. Dennoch wurde versucht, das Modell an ausgewählten Punkten der 1D-Berechnung des RKH zu kalibrieren, die Ergebnisse finden sich in Tabelle 2.

Die Genauigkeit der durchgeführten Kalibrierung liegt mit Abweichungen von in der Regel weniger als 5 cm in einem sehr guten Bereich. Dennoch wurde zusätzlich eine visuelle Überprüfung der Überflutungsgrenzen des HWRMP [7] mit denen der 2D-Berechnung durchgeführt. Auch für diesen flächenhaften Parameter ist dem Modell eine gute Genauigkeit zuzuschreiben. Die Abweichungen sind lediglich lokaler Natur und in diesen Fällen vor allem durch die feinere räumliche Diskretisierung (Stichwort: Berechnungsnetz statt Querprofile) sowie die höhere Berechnungsgenauigkeit (keine Ergebnismittlung über den Querschnitt) zu erklären.

Stationierung [Lahn-km]	Wasserspiegellagen [m ü. NN]		Differenz 2D – 1D [m]
	1D	2D	
211,042	256,45	256,49	-0,04
211,647	258,99	258,97	0,02
211,744	259,17	259,19	-0,02
212,172	260,43	260,44	-0,01
212,518	261,22	261,25	-0,03
212,966	262,04	262,06	-0,02
213,402	263,74	263,70	0,04

Tabelle 2: Kalibrierung des 2D-Modells mit der bestehenden 1D-Berechnung des RKH an maßgeblichen Punkten.

Da das Planungsmodell lediglich eine Geometrievariante des Bestands darstellt, gelten für dieses dieselben Randbedingungen und Rauheiten, um die spätere Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Der Wasserspiegellängsschnitt im Anhang zeigt, dass die Modelle in geometriegleichen Bereichen (im Ein- bzw. Auslaufbereich) dieselben Ergebnisse liefern und die im Planungsraum auftretenden Unterschiede, die im folgenden Kapitel näher erläutert werden, daher miteinander vergleichbar sind.

Die kleineren Stege und Brücken, die im Modellgebiet über die Lahn verlaufen und im berechneten Strömungszustand vollständig unter Wasser stehen, wurden im Rahmen der Rauheitswahl entsprechend berücksichtigt [8] – Seite 16.

6 ERGEBNISSE DER BERECHNUNG

6.1 Strömungsänderung

Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse dienen im Variantenvergleich der relativen Bewertung zwischen Bestand und Planung im zweidimensionalen Rechenfall. Die Kalibrierung mit dem bestehenden 1D-Modell des RKH findet sich im vorhergehenden Kapitel. Die Aussagekraft des geometrisch veränderten Planungsfalls gegenüber dem Bestandsmodell wird durch die nahezu unveränderten Wasserspiegel am Einlauf- und Auslauftrand bekräftigt.

Auswirkungen der Furkation (km 213,00 bis km 211,70)

Im Wasserspiegellängsschnitt (siehe Abbildung 9 bzw. für eine größere Darstellung die entsprechende Anlage) ist ersichtlich, dass sich in der Planungsvariante durch die Aufteilung des Fließweges ein Wasserspiegelverfall in der alten Lahn einstellt. Dieser liegt im Mittel bei etwa 40 cm, wobei durch die eigendynamische Entwicklung ein Wiederanstieg durch eine zu erwartende Auflandung als Wahrscheinlich zu werten ist (vgl. folgendes Kapitel zur gewässermorphologischen Untersuchung). Die punktuelle Unregelmäßigkeit des Wasserspiegels im Bereich um km 212,90 ist auf die im alten Lahnbett eingefügte Sohlschwelle (vgl. Kapitel 3.2) zurückzuführen.

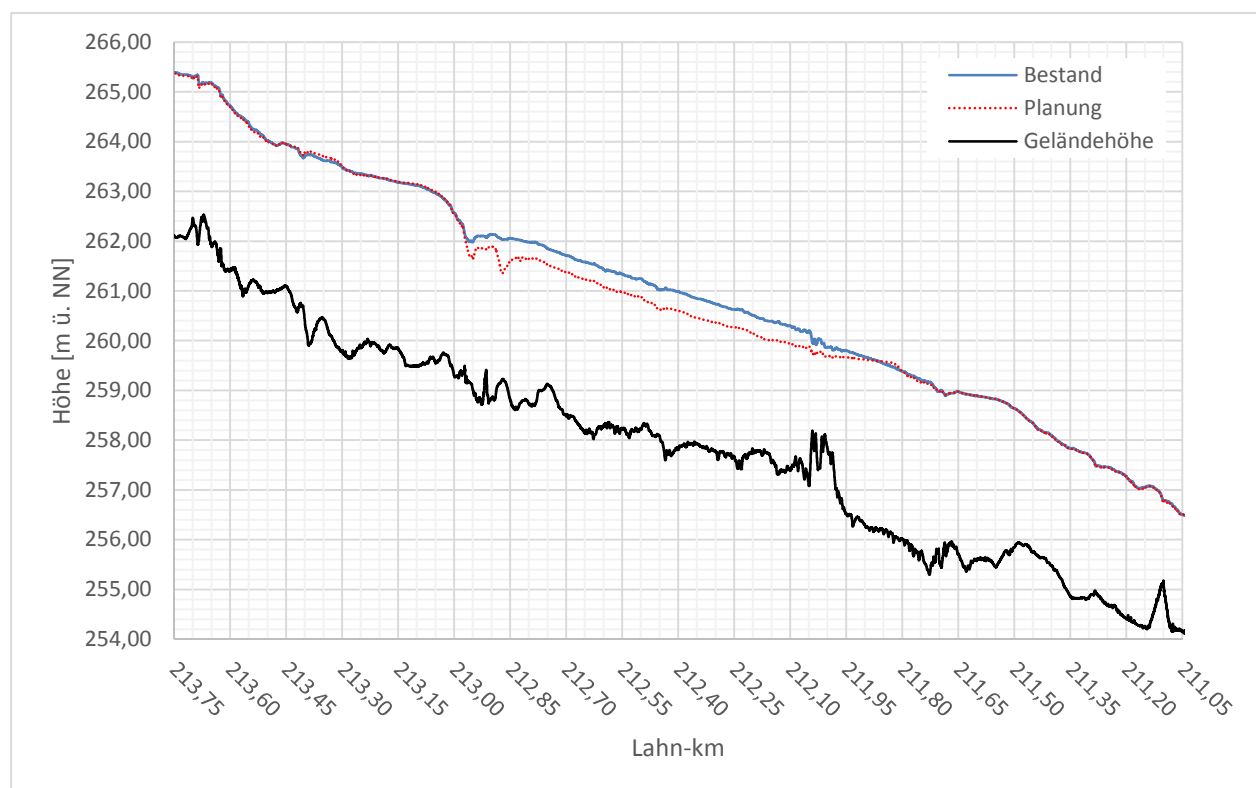


Abbildung 9: Wasserspiegellängsschnitt durch das bestehende Lahnbett in Bestand (blau) und Planung (orange gepunktet) sowie Sohlhöhe (schwarz)
 Größere Darstellung im A3-Format siehe Anhang.

Der oberhalb des Einlaufbereichs befindliche Anstieg der Planungsvariante (um km 211,85) ist auf die Einmündung der Furkation vor dem dritten Brückenbauwerk zurückzuführen, lokal stark begrenzt und im Mittel auf etwa 5 bis 7 cm zu beziffern. Dies lässt sich unter Berücksichtigung der Energielinie [9] Seite 106 ff erklären, die sich wie folgt zusammensetzt:

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \quad \text{Gl. 3}$$

wobei

H	Energiehöhe	[m]
z	Geländehöhe bzw. Bezugshorizont	[m]
$p/\rho g$	Druckhöhe (= Wassertiefe h)	[m]
$v^2/2g$	Geschwindigkeitshöhe	[m]

Da der Bezugshorizont in Bestand und Planung unverändert ist, lässt sich Gl. 3 unter Vernachlässigung der Geländehöhen zu folgender Gleichung vereinfachen:

$$H = h + \frac{v^2}{2g} \quad \text{Gl. 4}$$

Abbildung 10 zeigt, dass es sich hierbei lediglich um eine Energieumwandlung bzw. -dissipation (Energielinie der Planung liegt unter der Energielinie des Bestands) durch das Zusammentreffen der beiden Strömungen handelt.

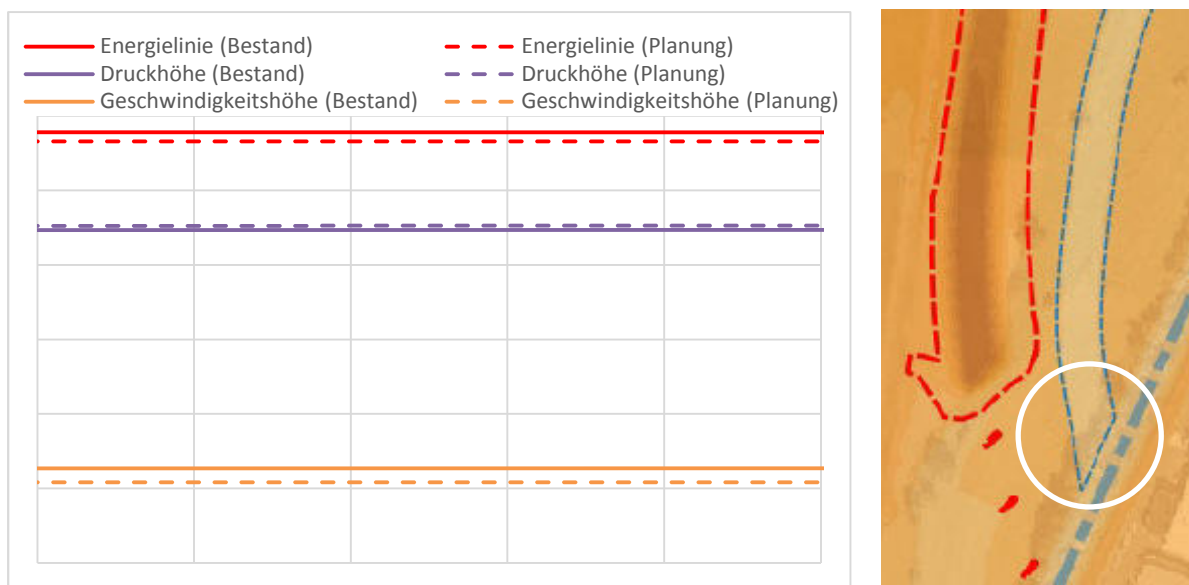


Abbildung 10: Vergleich von Energielinie, Druck- und Geschwindigkeitshöhe in Bestand (durchgezogene Linien) und Planung (gestrichelte Linien) im Bereich des Zusammenflusses von Furkation und alter Lahn (Bild re., weißer Kreis)

Durch den Zusammenfluss der beiden Strömungen findet (lokal betrachtet) eine deutliche Absenkung der Geschwindigkeitshöhe statt, die Druckhöhe hingegen steigt nicht im gleichen Maße an. Bei identischem Bezugshorizont stellt sich daher nach Gl. 3 eine geringere Energiehöhe in der Planungsvariante ein. Der geringe Wasserspiegelanstieg ist daher nicht, wie zunächst zu vermuten wäre, ein potentieller Anstieg der im Wasser gespeicherten Energie. Vielmehr werden durch das Zusammentreffen der beiden Strömungen Turbulenzen erzeugt und Energie umgewandelt. Der Anstieg ist in erster Linie in der entstehenden, aufgrund der stationären Berechnung jedoch nicht berücksichtigte Wellenbildung zu begründen.

Durch die modelltechnisch im Sinne der Strömungsbetrachtung ungünstige Anbindung der Furkation wird dieser Umstand weiter gefördert, weshalb im Rahmen der Ausführung auf eine strömungsgünstige Anbindung der Furkation zur weitergehenden Minimierung des Anstiegs zu achten ist.

➤ **Detail 1: Aufstau oberhalb des ersten Brückenbauwerks**

Von Lahn-km 213,50 bis 213,40 wird ein lokaler begrenzter Aufstau durch den nördlich angeordneten Trassenverlauf erzeugt. In unmittelbarer Nähe zur Trasse liegt der Anstieg im Bereich bis 10 cm, was in erster Linie auf die Geometrieänderung in Form der Böschungen sowie die Lage im bevorzugten Fließweg des Gewässers zurückzuführen ist. Im Vorland verringert sich dieser im Mittel auf rund 5 cm und weniger, wobei diese Werte bereits im Rahmen des Wellenbildes und der Rechengenauigkeit liegen. Dieser lokale Anstieg innerhalb des Gewässerbetts, der zudem keinerlei Einfluss auf die Überschwemmungslinie hat, ist deshalb als nicht maßgebend anzusehen.

➤ **Detail 2: Erlenmühle (km 213,00)**

In einer Variantenstudie wurde nachgewiesen, dass im Bereich der Erlenmühle ein Wasserspiegelanstieg im Dezimeterbereich sowie eine geringe Verlagerung der benetzten Bereiche zu verzeichnen ist. Dies wird vornehmlich durch eine Veränderung der bevorzugten Fließwege verursacht, die wiederum durch eine Zuwegung am nördlichen Widerlager des Brückenbauwerks 1 zu den Wohnhäusern sowie das Widerlager selbst herbeigeführt wird.

Nach Rücksprache mit Vertretern von Hessen Mobil wurde sich dazu entschieden, nördlich der Bebauung eine Erhöhung des bestehenden Dammkörpers (unmittelbar entlang des alten Mühlgrabens) vorzusehen (vgl. Abbildung 11). Dieser soll die Strömung derart lenken, dass Erhöhungen der Wasserspiegellagen im Bereich der Bebauung auszuschließen sind. Die Kronenhöhe sollte nach DWA-M 507 inklusive eines Freibords mindestens 50 cm über den anstehenden Wasserspiegellagen liegen (ca. 263,50 m ü. NN) [10, S. 40].

Der geplante Damm liegt nach Recherche im NATUREG-Viewer [11] ausschließlich im Landschaftsschutzgebiet.

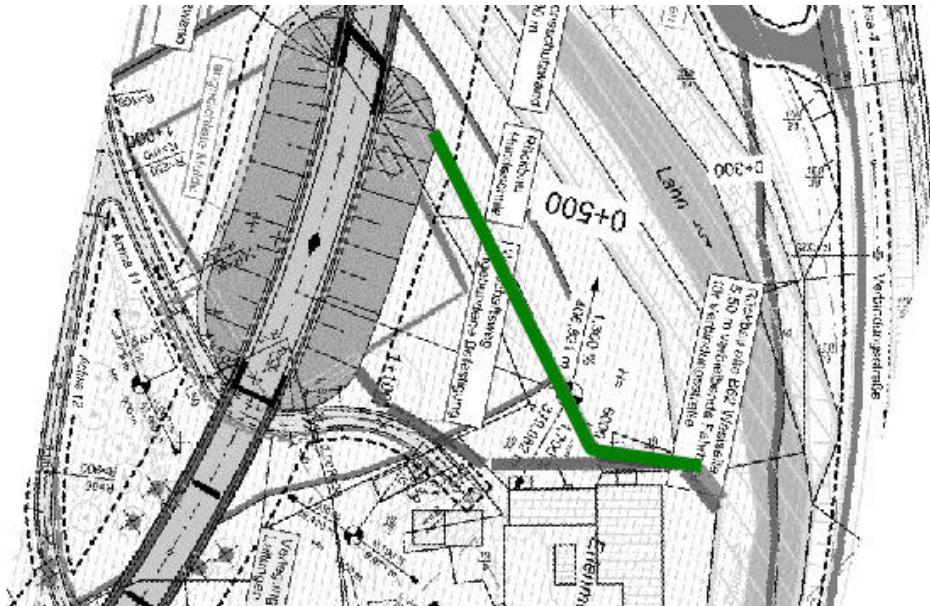


Abbildung 11: Qualitative Lage eines strömungslenkenden Dammkörpers (grün) zum Schutz der Bebauungen der Erlenmühle (unterer Rand des Bildes)

➤ **Detail 3: Bevorzugte Fließwege**

Die untenstehende Abbildung zeigt die Abschneidung der bevorzugten Fließwege der Nebenströmung zwischen Bahndamm und Hauptströmung im Bestand (links) sowie die durch die Trasse abgeschnittene Verbindung. Soweit möglich, sollte an der markierten Stelle (schwarz) ein Durchlass in mindestens DN1000 realisiert werden, um einem Aufstau bzw. einem Vernässungsbereich ohne Vorflut in diesem Bereich der Trasse vorzubeugen.

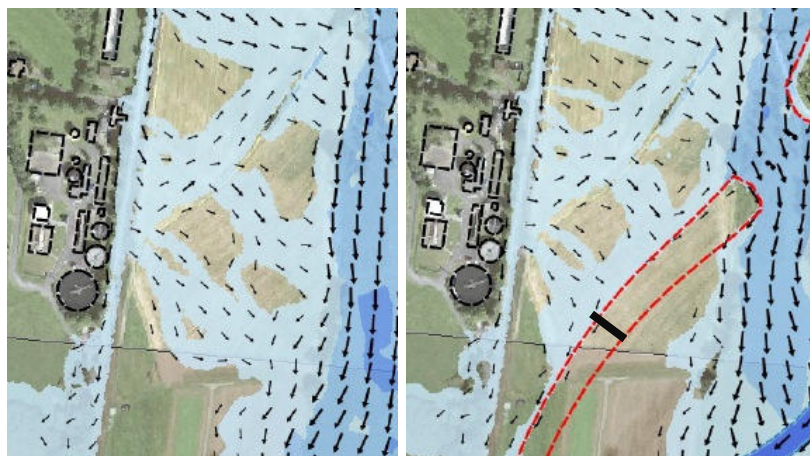


Abbildung 12: Bevorzugte Fließwege zwischen Kläranlage und Trasse im Bestand (links) und durch Trassenverlauf abgeschnitten (rechts)
 Vorschlag für einen verbindenden Durchlass in DN1000 (schwarz)

➤ **Detail 4: Einstau des Straßendamms im Bereich des dritten Brückenbauwerks**

In den Plänen zu den Wasserspiegellagen und Fließtiefen ist theoretisch eine Benetzung der Trassenfläche zu interpretieren (Blatt Nr. 3 und 4 bzw. Abbildung 13, li.). Dies liegt jedoch nur an der Darstellung der Grenzbereiche der Trasse (rot-gestrichelt), die den gesamten Aufbau inklusive der Böschungen aufzeigt. Das ist auch im Geländehöhenplan (Blatt Nr. 1 bzw. Abbildung 13 rechts) ersichtlich. Die Darstellung zeigt, dass lediglich eine Benetzung der Böschungsbereiche infolge der sich einstellenden Wasserstände bei Extremabflussereignissen zu verzeichnen ist, nicht jedoch die Trasse selbst überströmt wird. Für detaillierte Informationen zur Böschungssicherung des Straßendamms siehe Kapitel 3.2.4.



Abbildung 13: Wasserspiegellagen (links) und Geländehöhen (rechts) am Brückenbauwerk 3.

6.2 Gewässermorphologische Betrachtung

Erfahrungen, u.a. mit vorhergehenden Maßnahmen haben gezeigt, dass Gewässer, an denen Furkationen angelegt wurden, durch die eigendynamische Entwicklung nach einer Renaturierung ihr Gleichgewicht wieder herstellen. Das führt in der Regel dazu, dass das alte Flussbett auflandet und der Wasserstand sich damit an den Ursprungszustand angleichen wird.

Eine überschlägliche Rechnung der Sohlschubspannung nach Gl. 5 und somit des vermeintlichen Bewegungsbeginns des Sohlsubstrats soll diesen Effekt deutlich machen. Die Randbedingungen lauten dabei wie folgt:

- Aufteilung und Auswertung des ursprünglichen Flussbetts in 100 m Abschnitte (vgl. Abbildung 14),
- Bestimmung des Energieliniengefälles und hydraulischen Radius in jedem Abschnitt zur Berechnung der Sohlschubspannung (vgl. Gl. 3),
- Furkation und Trasse im Planungsmodell enthalten
- HQ₁-Ereignis als bordvoller (= bettbildender) Abfluss, gebietsproportional umgerechnet nach Kapitel 4

$$\tau_0 = \rho * g * r_{hy} * I_E$$

Gl. 5

mit

t_0	Sohlschubspannung	[N/m ²]
ρ	Dichte des Fluids (näherungsweise 1000)	[kg/m ³]
g	Erdbeschleunigung (i.M. 9,81)	[m/s ²]
r_{hy}	hydraulischer Radius	[m]
I_E	Energieliniengefälle	[‰]

Im Bestand liegt die Sohlschubspannung im Bereich der geplanten Furkation (Lahn-km 213,0 bis km 212,0) etwa 20 % über der der Planungs-Variante (vgl. Tabelle 3). Tendenziell wird im Bestand daher größeres Sohlmaterial abtransportiert, es kann sich weniger Material ablagern. In der Planungsvariante ist die Sohlschubspannung kleiner, wodurch sich demzufolge mehr Substrat ablagern kann. Das „alte“ Gewässerbett der Lahn wird somit über die Zeit auflanden und den in Kapitel 6.1 erläuterten Wasserspiegelverfall ausgleichen.

In diesem Zuge sei jedoch noch einmal darauf hingewiesen, dass die einschlägigen Berechnungsmethoden für den Geschiebetransport auf empirischen Untersuchungen basieren und teils große Streuungen untereinander aufweisen. Zudem sind Situation des Geschiebeanfalls und –transports sowie die Gewässerentwicklung der Lahn oberwasserseitig auf langfristige Sicht nicht sicher abzuschätzen. Auf die Darstellung absoluter Werte wurde deshalb an dieser Stelle bewusst verzichtet und stattdessen lediglich das Verhältnis zwischen Planung und Bestand interpretiert. Die (Einzel-)Ergebnisse stellen daher nur eine tendenzielle Entwicklung dar. Nach Errichtung der Furkation sollte im Rahmen des Gewässermonitorings der veränderte Geschiebetrieb und die ggf. dadurch entstehenden Auflandungen beobachtet und je nach Notwendigkeit im Rahmen der Gewässerunterhaltung korrektiv eingegriffen werden.



Abbildung 14: Verortung der 100 m Abschnitte im alten Lahnbett zur gewässermorphologischen Untersuchung

Abschnitt [-]	Sohlschubspannung	
	Bestand [N/m ²]	Planung [N/m ²]
12	55,20	73,34
13	80,81	74,21
14	92,27	88,13
15	68,38	64,03
16	65,43	56,90
17	66,48	59,95
18	72,67	60,16
19	58,79	45,19
20	93,94	49,30
21	55,53	21,08
22	102,30	89,84
Summe	811,80	682,13
Mittelwert	73,80	62,01
Differenz	-19,01%	

Tabelle 3: Sohlschubspannungen aus der gewässermorphologischen Betrachtung von Bestands- und Planungsmodell im Bereich der Furkation

6.3 Auswirkungen auf das Grundwasser

Da sich, wie im vorhergehenden Kapitel erläutert, durch die eigendynamische Entwicklung des Gewässers sowie dem Streben in einen Gleichgewichtszustand die Wasserspiegellagen im Bereich der Furkation wieder normalisieren werden, sind langfristig keine Auswirkungen auf das Grundwasser zu erwarten.

7 NACHWEIS RETENTIONSRAUM SOWIE DESSEN AUSGLEICH

7.1 Ermittlung Retentionsraum

Für die Ermittlung der Retentionsraumänderung wurde nach Rücksprache mit Vertretern des Regierungspräsidiums Gießen folgende Herangehensweise festgelegt:

1. Berechnung der Planungsvariante für den Abfluss MQ zur Teilfüllung der Furkation. Volumen in der Furkation oberhalb MQ steht als Retentionsraumgewinn zur Verfügung (vgl. Abbildung 15).
2. Die von der Trasse eingenommene Fläche wird vollständig als Retentionsraumverlust angerechnet.
3. Die Bereiche, die durch die Schutzwirkung der hochwassersicheren Trasse nicht mehr zur Verfügung stehen, werden ebenfalls als Retentionsraumverlust angerechnet.

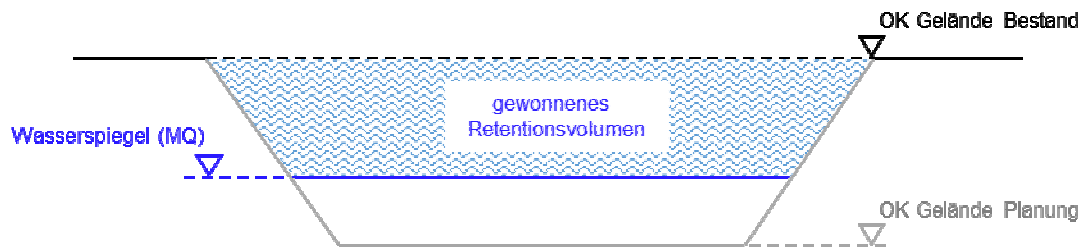


Abbildung 15: Darstellung der Bestimmung des Retentionszuwachses durch die Furkation

Wie in den beigegeführten Plänen ersichtlich ist summiert sich der durch die Trasse sowie den Schutzdamm an der Erlenmühle generierte Retentionsraumverlust auf etwas mehr als 18.000 m³ auf. Der durch die Furkation ausgeglichene Betrag beträgt mehr als 35.500 m³, wodurch vorübergehend ein Retentionsraumgewinn von etwa 17.500 m³ zu verzeichnen ist.

7.2 Planung und Berechnung des Ersatzretentionsraums durch die Furkation

Aufgrund des deutlichen Gewinns ist selbst bei einer eigendynamischen Entwicklung des Gewässers in Form der Auflandung des alten Lahnbetts durch die verringerten Sohlschubspannungen nicht damit zu rechnen, dass es langfristig zu einem Retentionsraumverlust kommen wird.

In Absprache mit Vertretern von Hessen Mobil Marburg und dem Regierungspräsidium Gießen kann daher auf eine weitergehende Planung des Ersatzretentionsraums über den gewonnenen Raum durch die Furkation hinaus verzichtet werden.

8 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Bericht wurde für das Projekt „B 62 Ortsumgehung Biedenkopf/Eckelshausen“ ein Modellgebiet an der Lahn etwa zwischen Fließ-km 211 und km 214 erstellt. Dabei wurden die Veränderungen der Wassertiefen und Strömungsrichtungen des 100-jährlichen Hochwasserabflusses zwischen dem aktuellen Ist-Zustand (Bestandsmodell) und einer Planungs-Variante dokumentiert und bewertet. Die Planung unterscheidet sich vom Bestand durch die Integration der Trasse der Ortsumgehung Biedenkopf/Eckelshausen sowie einer vom Regierungspräsidium Gießen auferlegten Ausgleichsmaßnahme in Form einer Furkation des Hauptgewässers.

Zusammenfassend gilt, dass sich – parallel zur in der Planungsvariante angeordneten Furkation im Bereich Eckelshausen – ein Wasserspiegelverfall in der Größenordnung von etwa 40 cm in diesem Bereich ergibt. Zur Erläuterung dieses Sachverhalts wurde eine gewässermorphologische Untersuchung des entsprechenden Teilabschnitts vorgenommen. Erfahrungswerte, nach denen sich durch die eigendynamische Entwicklung eines renaturierten Gewässers eine Auflandung des alten Flussbetts durch die Anordnung einer Furkation ergibt, wurden durch diese Untersuchung gestützt. Der Wasserspiegel wird aufgrund der verringerten Fließgeschwindigkeiten im aufgeweiteten, naturnah gestalteten Bereich langfristig ansteigen, da sich aufgrund der deutlich geringeren Sohlschubspannung mehr Substrat in diesem Bereich ablagern und dieser entsprechend auflanden wird, bis das Gewässer wieder einen Gleichgewichtszustand erreicht.

Langfristige signifikante Auswirkungen in diesem Bereich sind voraussichtlich nicht zu erwarten. Die zusätzliche Betrachtung des Retentionsraums hat gezeigt, dass die geplante Furkation auch nach Abzug der durch die Trasse verursachten Verluste noch einen deutlichen Retentionsraumgewinn darstellt, sodass eine Auflandung im Rahmen der eigendynamischen Entwicklung keine negativen Einflüsse auf den Hochwasserabfluss haben sollte.

Detailbetrachtungen haben gezeigt, dass im weiteren Verlauf der Trasse nach dem Brückenbauwerk 2 ein Durchlass angeordnet werden sollte, um den bevorzugten Fließweg wiederherzustellen und somit einem Aufstau zwischen Bahndamm und Trasse bzw. einem Vernässungsbereich unmittelbar am Straßendamm vorzubeugen. Ebenso sollte die Furkation an der Mündung in die Lahn vor dem Brückenbauwerk 3 strömungsgünstig angebunden werden, um auch an dieser Stelle einen eventuellen Aufstau zu vermeiden.

Vorbeugend sollten zudem im Rahmen der Gewässerunterhaltung korrektive Eingriffe bzw. Maßnahmen durchgeführt werden, um insbesondere die drei Brückenbauwerke vor eventuellen Fließquerschnittsverengungen durch Bewuchs zu schützen bzw. eventuelle Verlegungen nach einem Hochwasser entsprechend zu entfernen.

9 KOSTENBERECHNUNG

9.1 Massen und Kosten: Wasserbau

		Menge	Einheit	EP	GP
1	BAUSTELLENEINRICHTUNG				
1.1	BAUSTELLENEINRICHTUNG				
1.1.10	Baustelle einrichten	1	psch	25.000,00 €	25.000,00 €
1.1.20	Baustelle räumen	1	psch	5.000,00 €	5.000,00 €
1.2	VORBEREITENDE ARBEITEN				
1.2.10	Anlage/Unterhaltung Baustraßen	1.500	m	20,00 €	30.000,00 €
1.2.20	Unterhaltung bestehender Betriebswege	1	psch	1.500,00 €	1.500,00 €
1.2.30	Buschwerk roden	500	m²	1,20 €	600,00 €
1.2.40	Baufeld freimachen	25.000	m²	0,30 €	7.500,00 €
1.2.50	Bäume fällen 10-20 cm	4	Stck.	40,00 €	160,00 €
1.2.60	Bäume schneiden	10	Stck.	70,00 €	700,00 €
1.2.70	Bäume fällen 20-50 cm	3	Stck.	100,00 €	300,00 €
1.2.80	Bäume fällen bis 100 cm	4	Stck.	300,00 €	1.200,00 €
1.2.90	Baumwurzeln roden und umsetzen bis 10-20 cm	4	Stck.	30,00 €	120,00 €
1.2.100	Baumwurzeln roden und umsetzen bis 20-50 cm	3	Stck.	40,00 €	120,00 €
1.2.110	Baumwurzeln roden und umsetzen bis 100 cm	4	Stck.	75,00 €	300,00 €
1.2.120	Drainageleitungen zurückbauen	1	psch	8.000,00 €	8.000,00 €
1.2.130	Drainageleitungen (wieder-)anschießen	1	psch	7.000,00 €	7.000,00 €
1.2.140	Grenzsteine	10	Stck.	20,00 €	200,00 €
1.2.150	Uraufmaß	1	psch	5.000,00 €	5.000,00 €
1.2.160	Abrechnungsaufmaß	1	psch	4.000,00 €	4.000,00 €
1.2.170	Wasserhaltung	1	psch	5.000,00 €	5.000,00 €
2	ERDARBEITEN				
2.1	ERDARBEITEN				
2.1.10	Oberboden lösen, laden und entsorgen	5.000	m³	3,10 €	15.500,00 €
2.1.20	Boden Bodenklasse 3 - 5	40.000	m³	8,90 €	356.000,00 €
2.1.30	Zulage Bodenklasse 2	2.500	m³	16,00 €	40.000,00 €
2.1.40	Zulage Bauschutt	750	m³	14,50 €	10.875,00 €
2.1.50	Sohlsicherung aufnehmen, laden und entsorgen	350	m²	25,00 €	8.750,00 €
2.1.60	Uferbefestigung lösen, laden, transportieren, entsorgen	1.000	m²	12,00 €	12.000,00 €
2.1.70	Zulage Arbeiten im Hochwasserbereich	1	psch	2.500,00 €	2.500,00 €
2.1.80	Verfüllung des Lahnquerschnitts	320	m³	25,00 €	8.000,00 €
2.1.90	Fischdurchgängige Anpassung Aufteilungsbauwerk	1	psch	17.500,00 €	17.500,00 €
2.1.100	Umlegung Telekom	40	m	75,00 €	3.000,00 €
2.1.110	Umlegung Strom	100	m	50,00 €	5.000,00 €
2.1.120	Umlegung Trinkwasser	80	m	1000,00 €	80.000,00 €

2.1.130	Anpassung Einleitung Kläranlage Bauwerk	1	psch	15.000,00 €	15.000,00 €
2.1.140	Verpressen der bestehenden Leitung	120	m	50,00 €	6.000,00 €
2.1.150	Rückbau Einleitungsbauwerk	1	psch	2.500,00 €	2.500,00 €
2.1.160	Böschungssicherung Ortsumgehung	775	m²	80,00 €	62.000,00 €
2.1.170	Erhöhung Schutzdamm an der Erlenmühle	1	psch	55.000,00 €	55.000,00 €
3	MULDENBEFESTIGUNG				
3.1	MULDENBEFESTIGUNG				
3.1.10	Saatgut liefern und aufbringen	500	m²	1,95 €	975,00 €
3.1.20	Erlenstecklinge liefern und einbauen	1.500	Stck.	2,20 €	3.300,00 €
3.1.30	Steinsatz aus Wasserbausteinen herstellen	950	m³	30,00 €	28.500,00 €
3.1.40	Störsteine setzen	50	Stck	20,00 €	1.000,00 €
3.1.50	Einbringen von Totholz	1	psch	8.000,00 €	8.000,00 €
				Netto	843.100,00 €
				19% Mwst.	160.189,00 €
				Brutto	1.003.289,00 €

In den Kosten für die Erdarbeiten ist die Bodenbewegung beinhaltet.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Benjamin Peter/Br
 M.Sc. Marc-Georg Pater



UNGER Ingenieurgesellschaft mbH
 Waldmühlhäuser Straße 36
 34576 Homberg / Efze
 Tel.: 0 56 81 / 77 02-0 • Fax: -19

Homberg (Efze), März 2017

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: Retentionskataster Hessen (RKH), <http://www.hlnug.de/themen/wasser/hochwasser/retentionskataster-hessen.html>
- [2] Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation: Digitales Geländemodell (DGM), https://hvbgo.hessen.de/irj/HVBGO_Internet?cid=74bac50268276ce43f7739bb06ff96a3
- [3] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: Wasser / Aktuelle Messdaten, <http://www.hlnug.de/static/pegel/wiskiweb2/>
- [4] Aquaveo, L.L.C.: Surface-water modeling system, <http://www.aquaveo.com/software/sms-surface-water-modeling-system-introduction>
- [5] Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH: HYDRO_AS-2D, <https://www.hydrotec.de/software/hydro-as-2d/>
- [6] Nujić, Marinko: HYDRO_AS-2D Benutzerhandbuch : Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis
- [7] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: Hochwasserrisikomanagementpläne (HWRMP), <http://www.hlnug.de/themen/wasser/hochwasser/hochwasserrisikomanagementplaene.html>
- [8] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Tutorial zum HYDRO_AS-2D - Aufbaukurs
- [9] Der Wasserbau : Ein Handbuch für Studium und Praxis. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 1930
- [10] Merkblatt DWA-M 507 Deiche an Fließgewässern. [Stand:] Dezember 2011. Hennef : DWA, Dt. Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser u. Abfall, 2011 (DWA-Regelwerk : Merkblatt DWA-M 507-1)
- [11] Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz: NATUREG : Hessisches Naturschutzinformationssystem, <https://umweltministerium.hessen.de/umwelt-natur/naturschutz/hessisches-naturschutzinformationssystem>

Anlage 1 Auszug Gewässerkundliches Jahrbuch Pegel Biedekopf, Lahn (2011)

Anlage 2 Wasserspiegellängsschnitt durch „alte“ Lahn in Bestand und Planung

A_{Eo} : 303 km²

PNP : NN + 265.93 m

Lage: 215.0 km oberhalb der Mündung, links

m³/s

Pegel : Biedenkopf

Gewässer: Lahn

Gebiet : Lahn

Nr. 25810558

	Tag	2010		2011																
		Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez					
Tageswerte	1.	1.41	2.11	2.81	2.63	3.00	1.52	0.551	0.100	0.747	0.279	0.831	0.486	0.646	0.113					
	2.	1.26	2.00	2.77	2.69	2.67	1.38	0.469	0.100	0.575	0.214	0.824	0.435	0.549	0.519					
	3.	1.18	1.83	2.68	2.53	2.35	1.25	0.407	0.100	0.487	0.403	0.865	0.371	0.589	1.08					
	4.	1.55	1.76	2.62	2.58	2.19	1.46	0.354	0.100	0.435	0.795	7.57	0.300	0.602	2.75					
	5.	1.67	1.85	2.58	3.85	2.08	1.26	0.288	0.100	0.360	0.511	23.2	0.246	0.597	6.61					
	6.	4.78	1.92	5.49	3.94	1.93	1.28	0.280	0.100	0.340	0.663	7.80	0.214	0.598	6.71					
	7.	6.43	1.76	40.2	4.00	1.74	1.25	0.214	0.100	0.281	1.86	5.84	0.178	0.569	10.2					
	8.	6.34	1.74	54.7	4.12	1.69	1.08	0.212	0.793	0.281	1.62	5.00	0.791	0.574	12.4					
	9.	6.34	1.58	81.4	3.92	1.66	0.953	0.167	0.617	0.239	2.59	5.89	0.734	0.584	20.2					
	10.	6.83	1.54	64.8	3.82	1.77	0.851	0.167	0.465	0.214	2.33	4.87	0.802	0.578	18.4					
	11.	7.59	3.68	30.5	6.83	1.75	0.818	0.158	0.373	0.214	1.55	6.29	0.984	0.566	12.6					
	12.	17.6	10.7	25.6	13.4	1.63	0.789	0.132	0.328	0.177	1.35	9.94	4.68	0.464	11.2					
	13.	50.4	9.83	40.8	18.9	1.60	0.826	0.132	0.281	0.167	1.21	7.29	8.57	0.366	12.9					
	14.	53.4	7.92	87.2	18.6	1.68	0.781	0.132	0.232	0.167	1.67	5.54	6.37	0.492	22.5					
	15.	30.5	6.63	67.8	17.4	1.50	0.718	0.132	0.214	0.167	1.61	4.13	4.93	0.451	24.9					
	16.	18.7	5.81	46.3	13.7	1.45	0.692	0.115	0.206	0.147	1.13	3.17	3.89	0.354	35.7					
	17.	12.5	5.41	23.8	11.1	1.33	0.617	0.113	0.167	0.582	0.976	2.57	3.09	0.294	45.6					
	18.	9.84	4.68	16.4	9.56	1.32	0.533	0.113	0.167	0.739	0.859	2.38	2.59	0.275	27.9					
	19.	8.02	4.21	12.4	8.27	1.61	0.523	0.210	0.167	0.561	2.47	2.04	2.28	0.214	18.3					
	20.	6.32	3.90	10.5	7.08	1.46	0.453	1.09	0.167	0.446	1.74	1.62	1.92	0.214	13.2					
	21.	5.24	3.25	8.83	5.92	1.34	0.435	0.713	0.707	0.360	1.26	1.29	1.58	0.172	12.1					
	22.	4.42	3.14	7.63	4.99	1.31	0.378	0.480	1.28	0.314	1.21	1.13	1.34	0.167	12.3					
	23.	4.05	4.19	6.75	4.21	1.28	0.354	0.328	1.49	0.251	1.18	1.02	1.20	0.157	19.2					
	24.	3.89	4.61	6.09	3.94	1.22	0.343	0.195	1.08	0.214	1.27	0.874	1.13	0.132	28.1					
	25.	3.77	4.28	6.10	3.60	1.31	0.281	0.167	0.832	0.701	0.961	0.805	1.06	0.132	25.0					
	26.	3.26	3.63	5.76	3.44	1.31	0.281	0.134	0.718	0.711	1.04	0.717	0.983	0.132	19.8					
	27.	3.10	3.78	4.95	3.61	1.38	0.267	0.128	0.635	0.871	3.26	0.554	0.856	0.115	15.9					
	28.	2.82	3.55	4.35	3.65	1.32	0.631	0.113	0.542	0.643	2.36	0.445	0.826	0.113	12.6					
	29.	2.60	3.29	3.78		1.15	0.821	0.113	0.510	0.760	1.89	0.562	0.727	0.113	10.8					
	30.	2.45	3.16	3.32		1.06	0.663	0.108	0.980	0.509	1.32	0.593	0.708	0.113	17.2					
	31.		2.93	2.83		1.20		0.100		0.365	0.984		0.706		17.5					
Hauptwerte	Tag	3.	10.	5.	3.	30.	27.	31.	1.+	16.	2.	28.	7.	28.+	1.					
	NQ	1.18	1.54	2.58	2.53	1.06	0.267	0.100	0.100	0.147	0.214	0.445	0.178	0.113	0.113					
	MQ	9.61	3.89	22.0	6.87	1.62	0.783	0.259	0.455	0.420	1.37	3.86	1.77	0.364	15.9					
	HQ	65.7	11.7	99.0	19.9	3.36	1.91	1.46	2.97	1.75	3.78	31.6	10.3	1.06	54.0					
	Tag	14.	12.	14.	13.	1.	1.+	19.	22.	26.	27.	4.	13.	1.+	16.					
	h _N	mm	121	96	109	53	17	20	39	93	66	119	69	59	4	217				
	h _A	mm	82	34	194	55	14	7	2	4	4	12	33	16	3	140				
	1950/2010		1951/2011 61 Jahre																	
	Jahr	1971	1959	1973	1996	1963	2011	2011	2011	1973	1959	1959	1959	2011	2011					
	NQ	0.340	0.350	0.600	0.600	0.940	0.267	0.100	0.100	0.100	0.100	0.080	0.080	0.113	0.113					
	MNQ	1.88	2.63	2.75	2.78	2.94	2.21	1.17	0.771	0.690	0.679	0.742	1.17	1.80	2.59					
	MQ	6.51	10.2	10.6	8.75	9.14	5.69	3.05	2.07	2.09	1.95	2.21	3.64	6.31	10.4					
	MHQ	24.4	43.0	50.4	35.9	34.6	15.8	10.1	7.56	8.53	9.29	9.71	14.7	23.9	43.5					
	HQ	103	151	143	210	109	64.0	67.6	34.0	57.0	101	49.8	142	103	151					
	Jahr	1984	1965	1968	1984	1990	1986	1984	1984	1980	2007	1957	1998	1984	1965					
	1950/2010		1951/2011 61 Jahre																	
	Mh _N	mm	98	118	107	81	84	63	74	78	88	86	80	80	95	121				
	Mh _A	mm	56	90	93	70	81	49	27	18	18	17	19	32	54	92				
	Dauertabelle			Abflussjahr (*)				Kalenderjahr				Unter schreitungs- dauer in Tagen	Unterschnittene Abflüsse m³/s							
				2011				2011					Abfluss- jahr (*) 2011							
		Jahr	Datum	Winter	Sommer	Jahr	Datum	Kalender jahr 2011					1951/2011 Obere Hüllwerte	61 Kalenderjahre Mittlere Werte	Untere Hüllwerte					
NQ		m³/s	0.100	am 31.05.2011		0.267	0.100	0.100	am 31.05.2011	(365)				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
MQ		m³/s	4.40			7.50	1.35	4.66		364				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
HQ		m³/s	99.0	am 14.01.2011 bei W= 219 cm		99.0	31.6	99.0	am 14.01.2011 bei W= 219 cm	363				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
Nq		l/(s km²)	0.330			0.880	0.330	0.330		362				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
Mq		l/(s km²)	14.5			24.7	4.44	15.4		361				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
Hq		l/(s km²)	326			326	104	326		360				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
h _N		mm	861			416	445	865		359				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
h _A		mm	457			386	71	485		358				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
		1951/2011 (*) 61 Jahre				1951/2011				357				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
NQ		m³/s	0.080	am 27.09.1959		0.267	0.080	0.080	am 27.09.1959	356				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
MNQ		m³/s	0.385			1.14	0.388	0.386		355				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
MQ		m³/s	5.48			8.50	2.51	5.48		350				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
MHQ		m³/s	78.1			76.2	24.5	77.4		340				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
HQ		m³/s	210	am 07.02.1984		210	142	210	am 07.02.1984	330				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
HQ ₁		m³/s	39.2			37.1	9.39	39.7		320				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
HQ ₅		m³/s	95.2			87.5	28.0	95.2		320				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
MNQ		l/(s km²)	1.27			3.76	1.28	1.27		320				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
Mq	l/(s km²)	18.1			28.0	8.28	18.1		320				87.2	87.2	119	58.0	20.3			
MHQ	l/(s km²)	258			251	80.8	255		320				87.2	87.2	119	58.0	20.3			
		1951/2011 (*) 61 Jahre				1951/2011				320				87.2	87.2	119	58.0	20.3		
Mh _N	mm	1038			551	486	1037		320				87.2	87.2	119	58.0	20.3			
Mh _A	mm	570			438	132	570		320				87.2	87.2	119	58.0	20.3			
Extremwerte			Niedrigwasser				Hochwasser				Dauertabelle									
			m³/s	l/(s km²)	Datum	m³/s	l/(s km²)	cm	Datum											
	1	0.080	0.264	27.09.1959	210	692	313	07.02.1984												
	2	0.094	0.310	09.09.2005	151	498	266	06.12.1965												
	3	0.100	0.330	31.05.2011	143	471	259	15.01.1968												
	4	0.100	0.330	07.07.1973	142	468	258	28.10.1998												
	5	0.102	0.336	21.07.2010	137	452	254	21.01.2005												
	6	0.130	0.429	27.08.1978	135	445	252	20.01.1986												
	7	0.130	0.429	07.07.1976	130	429	248	24.12.1967												
	8	0.150	0.495	01.09.1983	118	389	237	23.01.1995												
9	0.150	0.495	07.07.1957	116	382	226	19.12.1965													
10	0.167	0.551	14.09.1991	115	379	235	30.01.1995													

Längsschnitt der Wasserspiegellagen (B62 - OU Eckelshausen)

