

Hydraulische Untersuchung der Ahr in Rech im Bereich der Nepomukbrücke

Erläuterungsbericht

16.08.2022

Im Auftrag der

Verbandsgemeinde Altenahr

bearbeitet durch

Fischer Teamplan Ingenieurbüro GmbH, Holzdam 8, 50374 Erftstadt

i.A. *Lea Steinwarz*

M.Sc. Lea Steinwarz

Erftstadt, im August 2022

i.A. *Manuel Sportmann*

Dipl.-Ing. Manuel Sportmann

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	6
1.1.	Veranlassung und Aufgabenstellung	6
1.2.	Beschreibung des Untersuchungsgebietes	8
2.	Grundlagendaten	10
3.	Modellaufbau – Ist-Zustand	11
3.1.	Nepomukbrücke	14
3.2.	Festlegung der Rauheiten	15
4.	Hydrologische Randbedingungen	16
5.	Kalibrierung des Ist-Zustandes	17
6.	Modellergebnisse Varianten Denkmalschutz	22
6.1.	Variante 0 – 4 Bögen	22
6.1.1.	Lastfall HQ ₁₀₀	22
6.1.2.	Lastfall HQ 2021	24
6.2.	Variante 1- 3 Bögen	26
6.2.1.	Lastfall HQ ₁₀₀	27
6.2.2.	Lastfall HQ 2021	28
6.3.	Variante 2 – 2 Bögen	30
6.3.1.	Lastfall HQ ₁₀₀	31
6.3.2.	Lastfall HQ 2021	33
6.4.	Variante 3 – 0 Bögen	35
6.4.1.	Lastfall HQ ₁₀₀	35
6.4.2.	Lastfall HQ 2021	37
7.	Variantenvergleich	40
7.1.	Lastfall HQ ₁₀₀	40
7.2.	Lastfall HQ 2021	45
8.	Fazit	52

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1-1:	Lage der Nepomukbrücke	6
Abb. 1-2:	Die Nepomukbrücke vor (oben links; Foto privat) während und nach dem Ereignis (oben rechts und unten; Leonardt, Andrä und Partner)	7
Abb. 1-3:	Untersuchungsgebiet im Bereich der Nepomukbrücke mit der vorläufigen Anschlaglinie HQ ₁₀₀ (Stand 02/22)	9
Abb. 3-1:	Festlegung des Modellgebietes	11
Abb. 3-2:	Daten zur Erstellung des Netzes	12
Abb. 3-3:	Kombination der Netze	13
Abb. 3-4:	Modell in Hydro_AS-2D von oben (rechts) und in der 3D-Ansicht (links)	13
Abb. 3-5:	Links: Netzhöhen; Rechts: Netz in Hydro_AS-2D	14
Abb. 3-6:	Modellierung der Nepomukbrücke aus den Vermessungshöhen	15
Abb. 3-7:	Nutzungen im Modellbereich auf Grundlage des digitalen Landschaftsmodells (DLM50)	16
Abb. 5-1:	Wasserspiegellagen der Rechenläufe für die Modellkalibrierung	18
Abb. 5-2:	Vergleich der berechneten Überflutungsfläche mit der digitalisierten Anschlaglinie HQ ₁₀₀	19
Abb. 5-3:	Wasserspiegellagen der Modellkalibrierung bei HQ ₁₀₀ und HQ 2021	20
Abb. 5-4:	Vergleich der Überflutungsfläche mit der Anschlaglinie 2021	21
Abb. 6-1:	Variante V0 - HQ ₁₀₀ Wassertiefen Übersicht	23
Abb. 6-2:	Variante 0 - HQ ₁₀₀ Fließgeschwindigkeiten	24
Abb. 6-3:	Variante V0 – HQ 2021 Wassertiefen Übersicht	25
Abb. 6-4:	Variante 0 – HQ 2021 Fließgeschwindigkeiten	26
Abb. 6-5:	Randbedingungen Nepomukbrücke bei Variante 1	27
Abb. 6-6:	Variante V1 - HQ ₁₀₀ Wassertiefen	27
Abb. 6-7:	Variante 1 - HQ ₁₀₀ Fließgeschwindigkeiten	28
Abb. 6-8:	Variante 1 – HQ 2021 Wassertiefen	29
Abb. 6-9:	Variante 1 – HQ 2021 Fließgeschwindigkeiten	30
Abb. 6-10:	Randbedingungen Nepomukbrücke bei Variante 2	31
Abb. 6-11:	Variante 2 - HQ ₁₀₀ Wassertiefen	32
Abb. 6-12:	Variante 2 - HQ ₁₀₀ Fließgeschwindigkeiten	33
Abb. 6-13:	Variante 2 – HQ 2021 Wassertiefen	34
Abb. 6-14:	Variante 2 – HQ 2021 Fließgeschwindigkeiten	35
Abb. 6-15:	Variante 3 - HQ ₁₀₀ Wassertiefen	36
Abb. 6-16:	Variante 3 – HQ ₁₀₀ Fließgeschwindigkeiten	37
Abb. 6-17:	Variante 3 - HQ 2021 Wassertiefe	38

Abb. 6-18:	Variante 3 – HQ 2021 Fließgeschwindigkeiten	39
Abb. 7-1:	Vergleich aller Varianten bei HQ ₁₀₀	40
Abb. 7-2:	Vergleich der Überflutungsflächen HQ ₁₀₀	41
Abb. 7-3:	Betroffene Gebäude im Lastfall HQ ₁₀₀ der einzelnen Varianten im Norden der Ortslage	42
Abb. 7-4:	Betroffene Gebäude im Lastfall HQ ₁₀₀ der einzelnen Varianten im Süden der Ortslage 43	
Abb. 7-5:	Vergleich aller Varianten für HQ 2021	46
Abb. 7-6:	Vergleich der Überflutungsflächen HQ 2021	47
Abb. 7-7:	Betroffene Gebäude bei Lastfall HQ 2021 für die nördliche Ortslage	48
Abb. 7-8:	Betroffene Gebäude im Lastfall HQ 2021 für die südliche Ortslage	49

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 3-1:	Rauheitsbeiwerte k_{SI} anhand der unterschiedlichen Nutzungen nach LfU Bayern (08/2017)	16
Tab. 5-1:	Randbedingungen der Rechenläufe zur Modellkalibrierung	17
Tab. 7-1:	Betroffene Gebäude im Lastfall HQ ₁₀₀	44
Tab. 7-2:	Vergleich der Wasserspiegellagen der Varianten für den Lastfall HQ ₁₀₀	45
Tab. 7-3:	Betroffene Gebäude im Lastfall HQ 2021	49
Tab. 7-4:	Vergleich der Wasserspiegellagen der Varianten für den Lastfall HQ 2021	51

1. Einleitung

Die Nepomukbrücke quert in der Ortslage Rech die Ahr bei ca. km 22,05. Sie wurde während des Hochwasserereignisses vom 14.7./15.7.2021 stark beschädigt. Für den Abriss oder den Teilerhalt der denkmalgeschützten Nepomukbrücke und der notwendigen Abwägung zwischen den Belangen des Denkmalschutzes und des Hochwasserschutzes ist eine hydraulische Untersuchung notwendig.

Rech liegt im Ahrtal oberhalb der flussabwärts liegenden Ortschaft Dernau im Norden und unterhalb von Mayschoß im Westen. Das Ahrtal ist für seine steil ansteigenden Hänge mit Weinanbau bekannt.

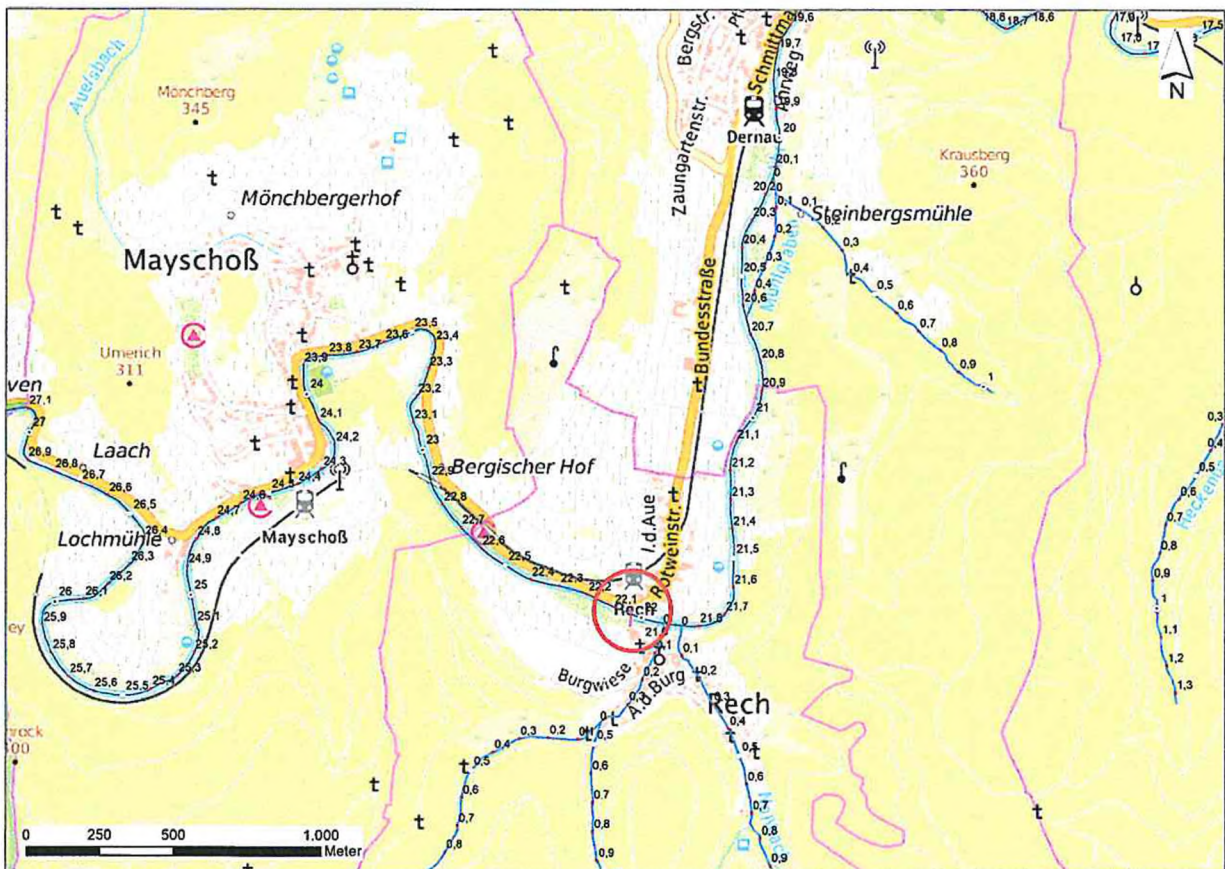


Abb. 1-1: Lage der Nepomukbrücke

1.1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Während des Juliereignisses 2021 wurde der südlichste Rundbogen von ursprünglich insgesamt vier Rundbögen sowie das südliche Widerlager der Nepomukbrücke zerstört. Durch die Verklauung aller vier Brückenbögen wirkte die Nepomukbrücke laut Augenzeugen und Fotos wie ein Wehr, was zu einem hohen

Rückstau des Abflusses führte (siehe Abb. 1-2). Der südlichste Rundbogen wurde in Folge des Ereignisablaufes durch den Strömungsdruck und die Unterspülung der Fundamente von Pfeiler und Widerlager zerstört. Eine Querung der Ahr ist an dieser Stelle aktuell nicht mehr möglich. In Hinblick auf den Wiederaufbau bzw. den Ersatzneubau für die Nepomukbrücke wurde eine Machbarkeitsstudie von Leonardt, Andrá und Partner (2021) erstellt. Als Ergebnis dieser Studie wird ein Ersatzneubau der Nepomukbrücke empfohlen.



Abb. 1-2: Die Nepomukbrücke vor (oben links; Foto privat) während und nach dem Ereignis (oben rechts und unten; Leonardt, Andrá und Partner)

Für den Abbruchantrag der Nepomukbrücke ist eine hydraulische Untersuchung für den Teilerhalt oder den Abriss der Nepomukbrücke erforderlich. Mit ihren drei verbliebenen Rundbögen erfüllt die Nepomukbrücke nach wie vor die Kriterien eines Kulturdenkmales, was einen Erhalt von 50 % des Bauwerkes erfordert.

Für die untere Denkmalschutzbehörde sind folgende Varianten zu untersuchen:

- Aktueller Zustand der Brücke mit drei Rundbögen (unvollständige Brücke)
- Nepomukbrücke mit dem Teilerhalt von zwei Rundbögen
- Vollständiger Abriss der Nepomukbrücke

Das Gelände soll in der Untersuchung dem Zustand vor dem Juliereignis 2021 entsprechen. Die Verklauung der Bögen der Brücke ist mit der n-1-Regel zu berücksichtigen.

Für die hydraulische Untersuchung wird ein zweidimensionales Strömungsmodell mithilfe der Software Hydro_AS-2D erstellt. Es werden die Wasserspiegellagen und Fließgeschwindigkeiten für das vorläufige HQ₁₀₀ und das HQ am 14./15. Juli 2021 berechnet und ausgewertet und für die zu untersuchenden Varianten verglichen.

Das Modell wird für den ursprünglichen Zustand mit vier Rundbögen erstellt und anhand der vorliegenden Anschlaglinien des vorläufigen HQ₁₀₀ und des Juliereignisses 2021 kalibriert. Die Ergebnisse des ursprünglichen Zustandes werden mit den Varianten des Teilerhalts bzw. des vollständigen Abrisses der Brücke verglichen.

Das erstellte Modell soll in Zukunft auch der Untersuchung von möglichen Planungsvarianten dienen.

1.2. **Beschreibung des Untersuchungsgebietes**

Die Nepomukbrücke stellt die Verbindung zwischen den Ortsteilen auf der rechten und linken Uferseite von Rech dar. Das Überflutungsgebiet der Ahr ist lateral deutlich durch das stark ansteigende Gelände begrenzt. Während oberhalb der Brücke weitläufige landwirtschaftlich genutzte Fläche am rechten Ufer der Ahr Möglichkeiten zur Ausuferung gewähren, wird sie auf der linken Uferseite durch das dort stark ansteigende Gelände begrenzt. Mit der Nepomukbrücke beginnt die Engstelle der Ahr in der Ortschaft Rech mit steigenden Uferbereichen. Unterhalb der Ortslage bieten landwirtschaftliche Flächen erneut Möglichkeiten zur Ausuferung (siehe Abb. 1-3).

Für den Ersatzneubau der Nepomukbrücke ist ein Standort oberhalb der Ortslage in Planung. Eine Fuß- und Radwegebrücke soll auch in Zukunft die Ortsteile auf beiden Ufern innerhalb der Ortslage verbinden.

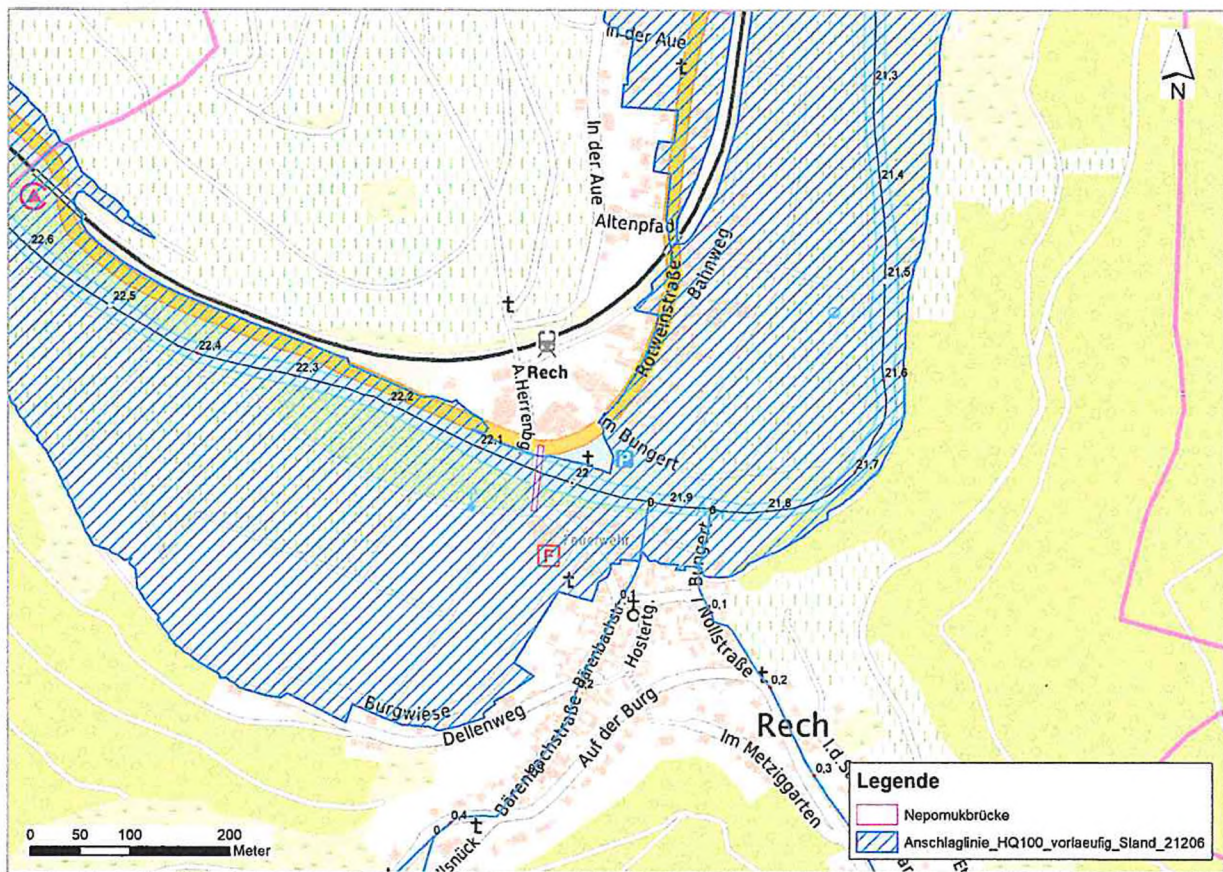


Abb. 1-3: Untersuchungsgebiet im Bereich der Nepomukbrücke mit der vorläufigen Anschlaglinie HQ₁₀₀ (Stand 02/22)

2. Grundlagendaten

Die folgenden Grundlagendaten wurden zur Verfügung gestellt und für die Untersuchung verwendet:

- Durch das LfU RLP am 01.03.2022:
 - Profilpunkte der Vermessungsdaten (2006-2007)
 - Digitales Geländemodell (1m-Raster; Stand 03.02.2021)
 - Anschlaglinie Hochwasser Juli 2021 (Stand 03.02.2022)
 - Vorläufige Anschlaglinie HQ₁₀₀ (Stand 06.02.2022)
- Frei verfügbares digitales Landschaftsmodell (DLM50) des Landesamts für Vermessung und Geobasisinformation (©GeoBasis-DE / LVermGeoRP<2022>, dl-de/by-2-0, www.lvermgeo.rlp.de)
- Frei verfügbares digitale Orthophotos mit einer Bodenauflösung von 40 cm (DOP40) des Landesamts für Vermessung und Geobasisinformation (©GeoBasis-DE / LVermGeoRP<2022>, dl-de/by-2-0, www.lvermgeo.rlp.de, Stand der Kachel in Rech 03.09.2021)
- Hausumrisse aus OpenStreetMap ©Open-StreetMap-Mitwirkende (Open Database License, "ODbL" 1.0)
- Wasserwirtschaftliche und sicherheitstechnische Beurteilung der Nepomukbrücke in der Ortsge-
meinde Rech (SGD Nord am 03.12.2021)
- Statische Grenzfallbetrachtung – Kippen eines Einzelbogens unter Wasserdruck (Leonardt, Andrä
und Partner; 02.03.2022)
- Nepomukbrücke Rech – Machbarkeitsuntersuchung (Leonardt, Andrä und Partner; 10.12.2021)
- Konzeptskizzen Straßenverkehrsbrücke Rech und Nepomukbrücke (Leonardt, Andrä und Partner;
Stand 23.02.2022)
- Nepomukbrücke Rech, Abbruchantrag, Nachforderung von Unterlagen (Direktion Landesdenkmal-
pflege 02.02.2022)

Aus der Kombination des Flussschlauchnetzes und des Vorlandnetzes wird das Gesamtmodell erstellt. Das resultierende Netz besteht aus insgesamt 190.345 Elementen und 99.008 Knoten mit einer Gesamtfläche von 1,6 km².

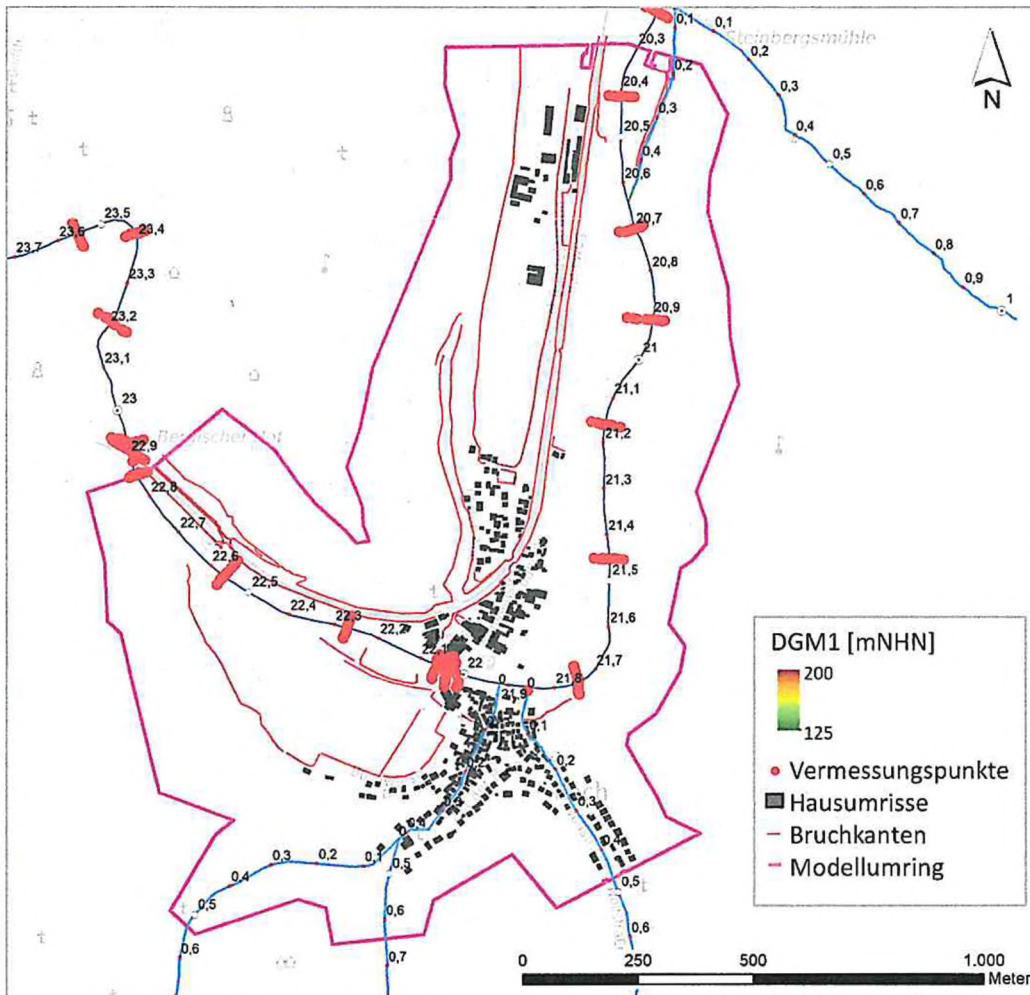


Abb. 3-2: Daten zur Erstellung des Netzes

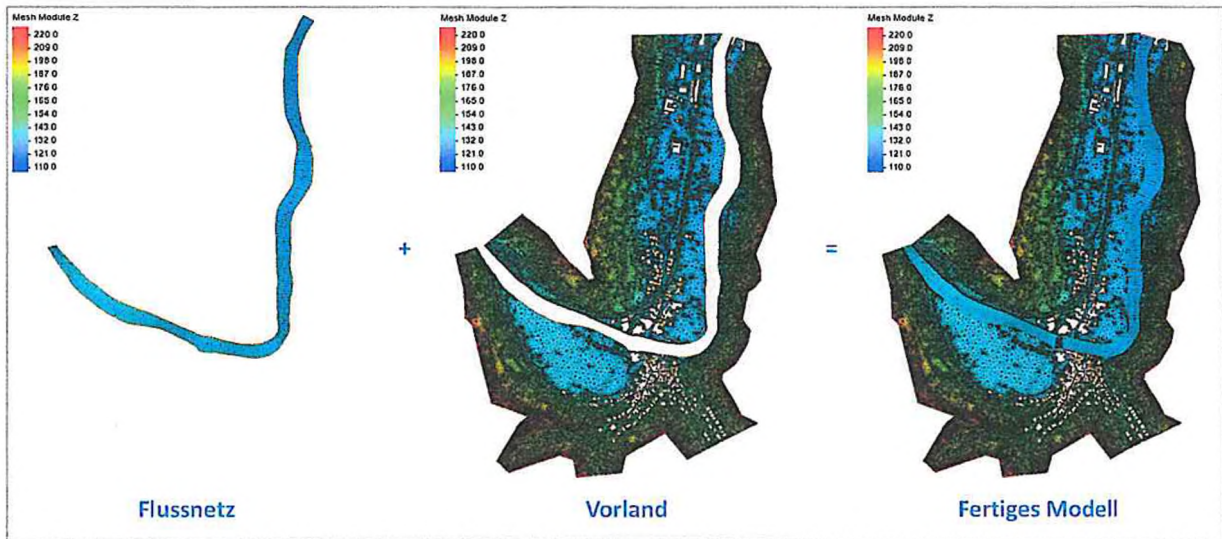


Abb. 3-3: Kombination der Netze

Das Netz in Hydro_AS-2D ist in Abb. 3-4 dargestellt. Gut zu erkennen sind die steil ansteigenden Geländestructuren, die Ahr sowie der höher gelegene Bahndamm im Ahrtal.

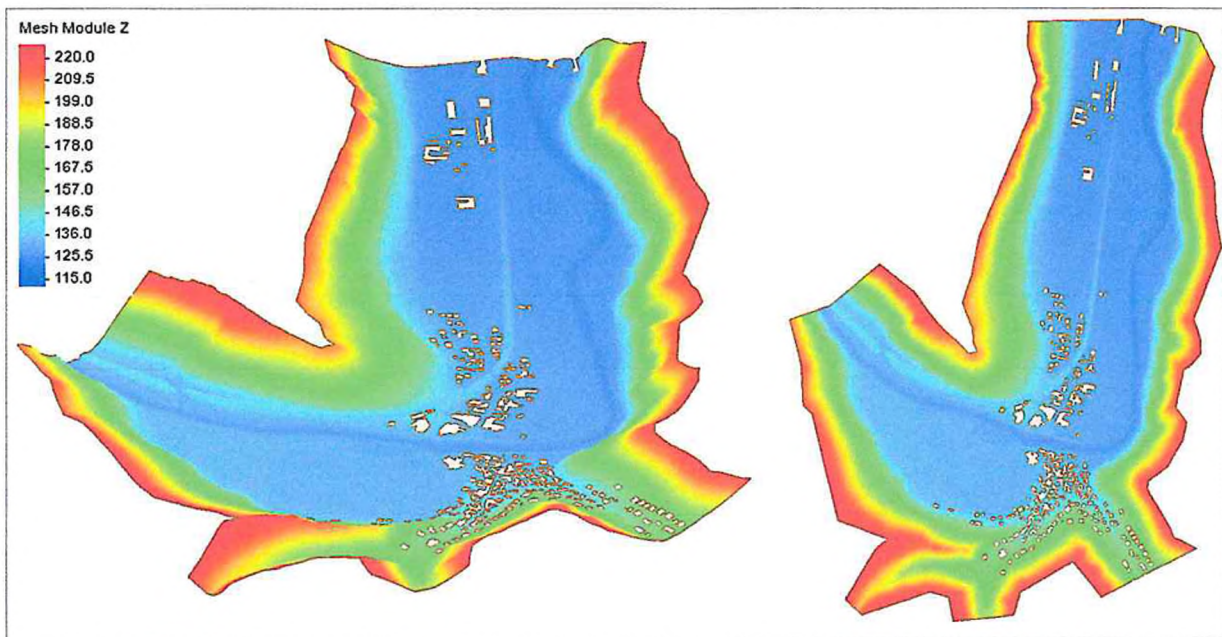


Abb. 3-4: Modell in Hydro_AS-2D von oben (rechts) und in der 3D-Ansicht (links)

In Abb. 3-5 ist der Nahbereich der Nepomukbrücke dargestellt. Im Vorland besteht das Netz aus Dreieckselementen. Der Flussschlauch wird mittels Rechteckelementen modelliert. Das Netz ist im Bereich der

Nepomukbrücke erkennbar feiner modelliert, um die sehr gute Modellgüte im Bereich des Interessengebietes sicherstellen zu können. Als untere Randbedingung wurde ein dem natürlichen Gefälle entsprechendes Energieliniengefälle von 3 ‰ angesetzt.

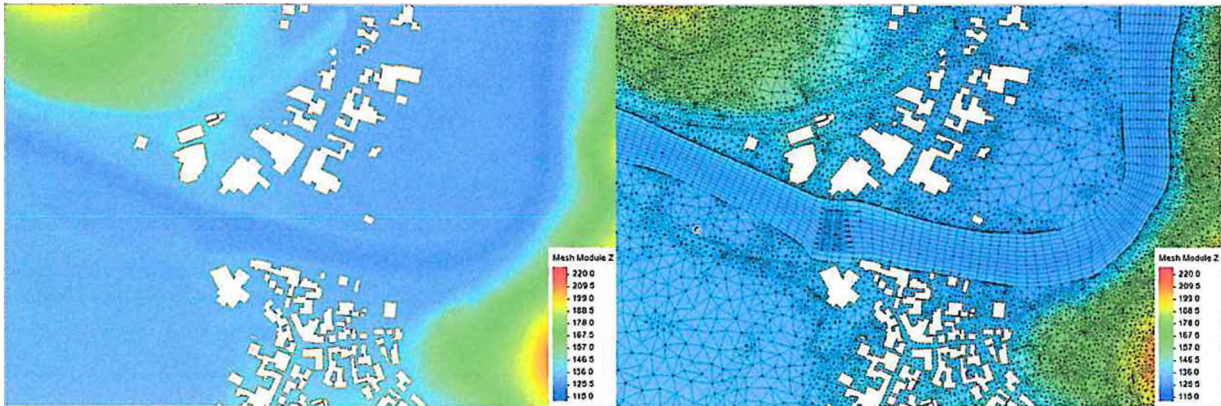


Abb. 3-5: Links: Netzhöhen; Rechts: Netz in Hydro_AS-2D

3.1. Nepomukbrücke

Die Nepomukbrücke wurde auf Grundlage der vorhandenen Vermessungsdaten in das Modell übernommen. Dazu wurden den Netzelementen die Vermessungshöhen der Sohle und den Knotenpunkten im Bereich der Brückenbögen die Höhe der Konstruktionsunterkanten aus der Vermessung zugewiesen. Oberhalb der Brückenmauer kann die Brücke überströmt werden. Diese Überlaufkante wurde in das Modell übernommen. Die Brückenpfeiler und -widerlager sind nicht durchströmbar und werden dementsprechend aus dem Berechnungsnetz entfernt (vgl. Abb. 3-6).

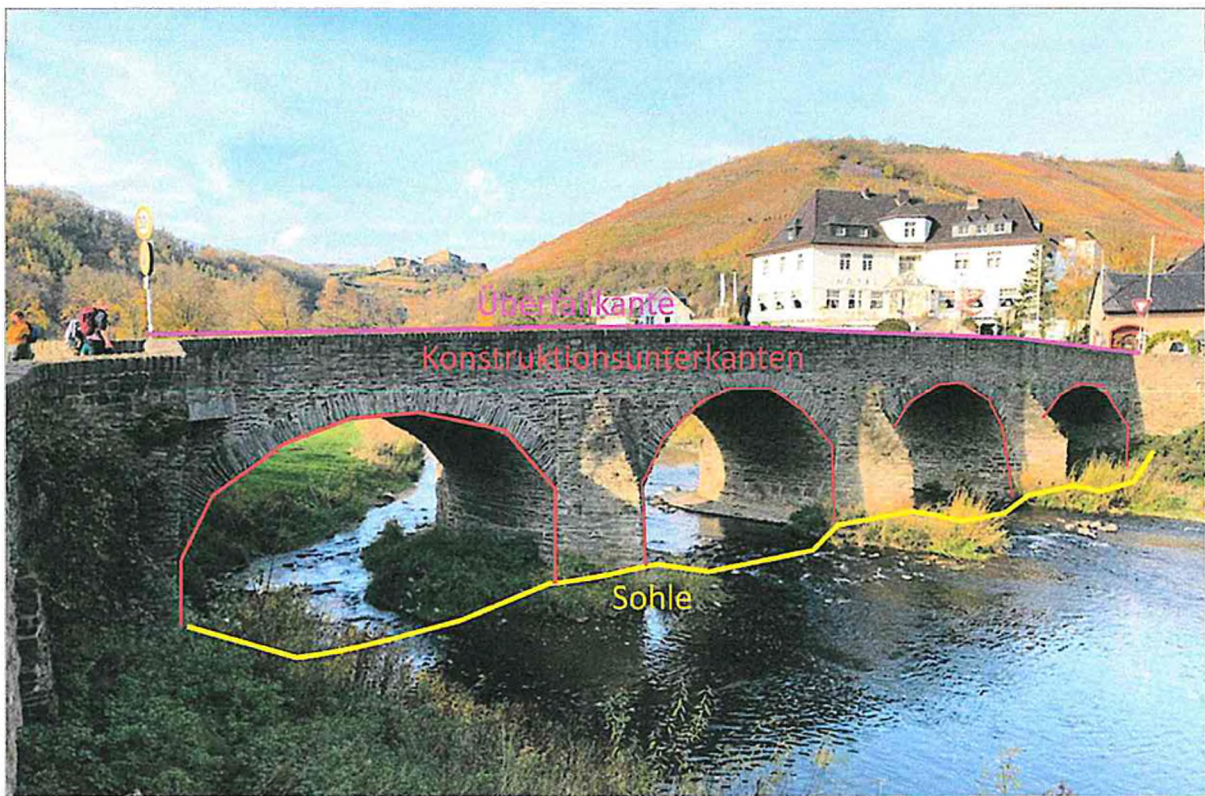


Abb. 3-6: Modellierung der Nepomukbrücke aus den Vermessungshöhen

3.2. Festlegung der Rauheiten

Den einzelnen Nutzungstypen aus dem digitalen Landnutzungsmodell (DLM 50) wurde für die 2D-hydraulische Berechnung im Modell eine Oberflächenrauheit zugewiesen. Genutzt wird in Hydro_As-2D der Rauheitsansatz nach Manning-Strickler. Eine Orientierung bzgl. der sinnvoll zuzuweisenden Rauheitsbeiwerte je Landnutzungstyp erfolgte anhand der Daten des LfU Bayern (08/2017). Die Gewässerrauheit wurde auf $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ festgelegt. Die nachfolgende Tab. 3-1 gibt einen Überblick über die gewählten Rauheitsbeiwerte für die jeweiligen Nutzungstypen. In Abb. 3-7 sind die Nutzungen und die zugewiesenen Rauheitsbeiwerte zusammengefasst.

Tab. 3-1: Rauheitsbeiwerte k_{st} anhand der unterschiedlichen Nutzungen nach LfU Bayern (08/2017)

Flächennutzung	Rauheit nach Strickler [m ^{1/3} /s]
AX_Bahnverkehr	40
AX_Fliessgewaesser	30
AX_Friedhof	33
AX_Gehoelz	10
AX_IndustrieUndGewerbeflaeche	12
AX_Landwirtschaft	20
AX_Platz	40
AX_Siedlungsflaeche	10
AX_SportFreizeitundErholungsflaeche	20
AX_UnlandVegetationsloserFlaeche	20
AX_Wald	10

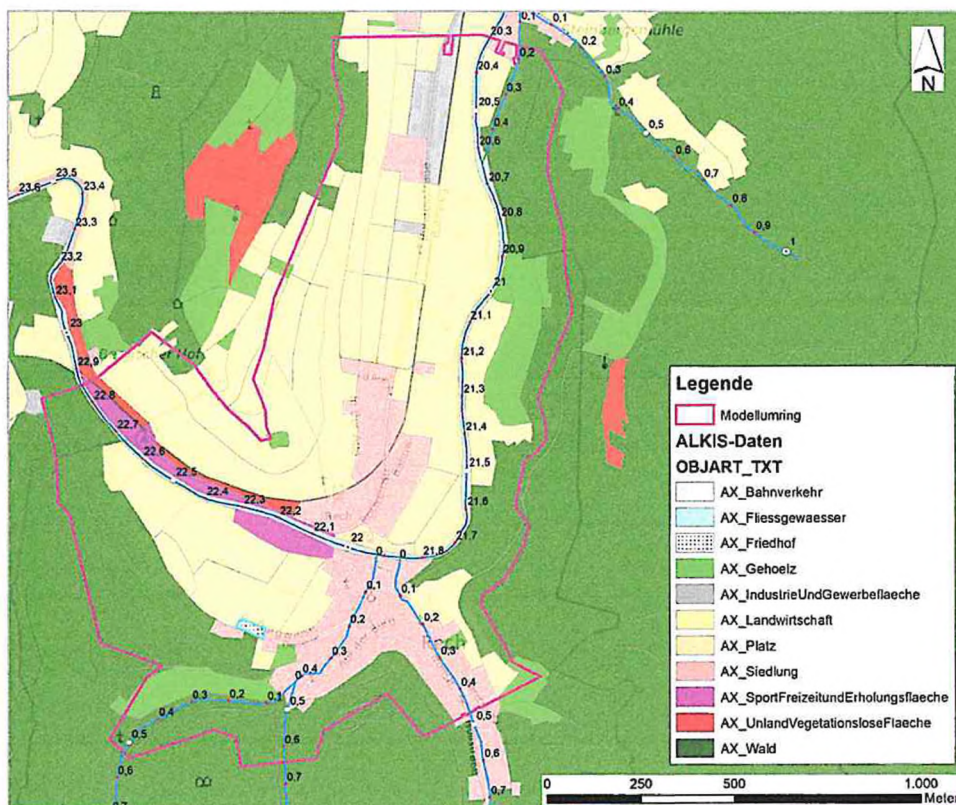


Abb. 3-7: Nutzungen im Modellbereich auf Grundlage des digitalen Landschaftsmodells (DLM50)

4. Hydrologische Randbedingungen

Die Lastfälle HQ₁₀₀ und das Extremereignis HQ Juli 2021 sind für das hydraulische Gutachten zu betrachten. Das neue HQ₁₀₀ wurde im Untersuchungsgebiet mit 440 m³/s nach Vorgabe der SGD Nord angesetzt. Das HQ 2021 wird vom LfU Rheinland-Pfalz im Untersuchungsgebiet auf 750 m³/s geschätzt.

5. Kalibrierung des Ist-Zustandes

Zur Modellkalibrierung wurden die zur Verfügung stehenden Anschlaglinien für das HQ₁₀₀ und das Julier-ereignis 2021 genutzt. Zu berücksichtigen ist, dass die Anschlaglinien für das neue HQ₁₀₀ und das HQ 2021 nur überschläglich und z.B. nicht auf Basis von Luftbilddauswertungen ermittelt wurden. Auch 2D-hydraulische Berechnungen wurden vor dieser Untersuchung für das Untersuchungsgebiet nicht durchgeführt.

Für die hydraulische Kalibrierung wurden die Rauheiten im Bereich des Flussschlauches innerhalb plausibler Grenzen variiert (siehe Tab. 5-1). Zudem wurde das Energieliniengefälle am unteren Modellrand angepasst. Ziel war die Angleichung der Überflutungsflächen an die bereitgestellten Anschlaglinien. Hierfür waren iterative Berechnungen erforderlich. Insgesamt wurden fünf Berechnungen durchgeführt. Angesetzt wurde der Modellzustand vor dem Extremhochwasser Juli 2021.

Bei der Modellkalibrierung wurde abstimmungsgemäß für den Lastfall HQ₁₀₀ keine Verklauung der 4 Durchlassbögen (Rundbögen) der Nepomukbrücke in der hydraulischen Berechnung angesetzt. Der Lastfall Extremhochwasser 2021 (HQ 2021) orientiert sich an den Beobachtungen während des Ereignisses. Die Durchlassbögen der Nepomukbrücke waren hier nahezu vollständig verklaut. Abstimmungsgemäß wurden daher in der hydraulischen Berechnung für den Lastfall HQ 2021 alle vier Rundbögen der Nepomukbrücke als vollständig verklaut angesetzt.

Tab. 5-1: Randbedingungen der Rechenläufe zur Modellkalibrierung

Rechenlauf	Rauheit landwirtschaftliche Fläche [m ^{1/3} /s]	Rauheit Flussschlauch [m ^{1/3} /s]	Energieliniengefälle [‰]
1	20	30	3
2	20	30	2,5
3	15	25	1,5
4	15	25	0,5
5	10	20	0,2

Gegenüber den ersten Berechnungen wurde demnach die Oberflächenrauheit im Modell erhöht und das Energieliniengefälle am unteren Modellrand verringert. Die berechneten Anschlaglinien der Überflutung passen mit diesem Modellsetup sehr gut zu den bereitgestellten Daten der Überflutungsausdehnung im Untersuchungsgebiet.

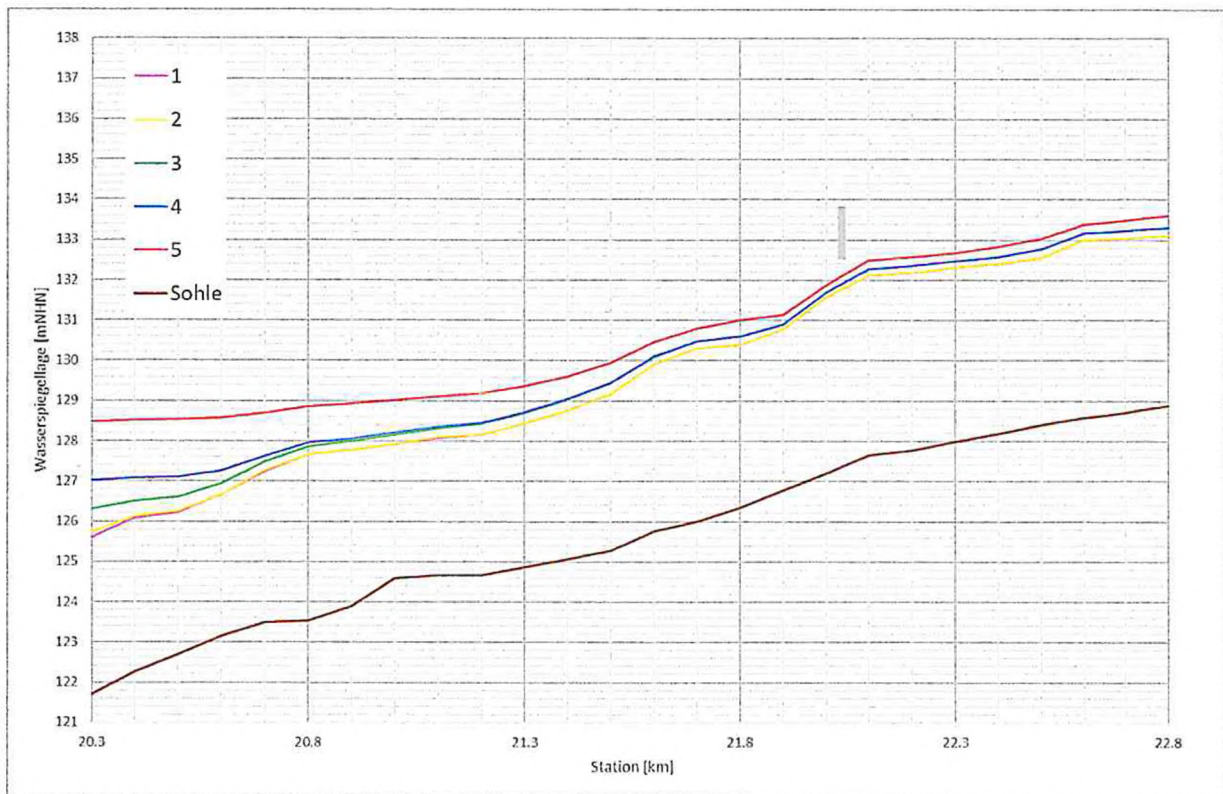


Abb. 5-1: Wasserspiegellagen der Rechenläufe für die Modellkalibrierung

Für die Modellkalibrierung wurden die berechneten Überflutungsflächen mit der Anschlaglinien des neuen HQ₁₀₀ verglichen. Wie in Abb. 5-2 zu sehen, stimmen die Überflutungsgrenzen sehr gut mit der Anschlaglinie überein. Die Insel bei km 22,7 bis 22,8 wird in der Berechnung nicht überflutet. Die Insel liegt deutlich höher. Es ist anzunehmen, dass die zur Verfügung gestellte Anschlaglinie hier ein Defizit aufweist. Dies gilt auch entsprechend für die Straße „In der Aue“ bei ca. km 21,1 bis 21,4. Hier ergeben sich ebenfalls aufgrund des Höhenverlaufs der Straße geringe Abweichungen im Überflutungsbild zwischen aktueller Berechnung und der digitalisierten Abgrenzung. Der Bahndamm bei ca. km 20,8 bis 21 wird in der Berechnung im Vergleich ebenfalls nicht geflutet.

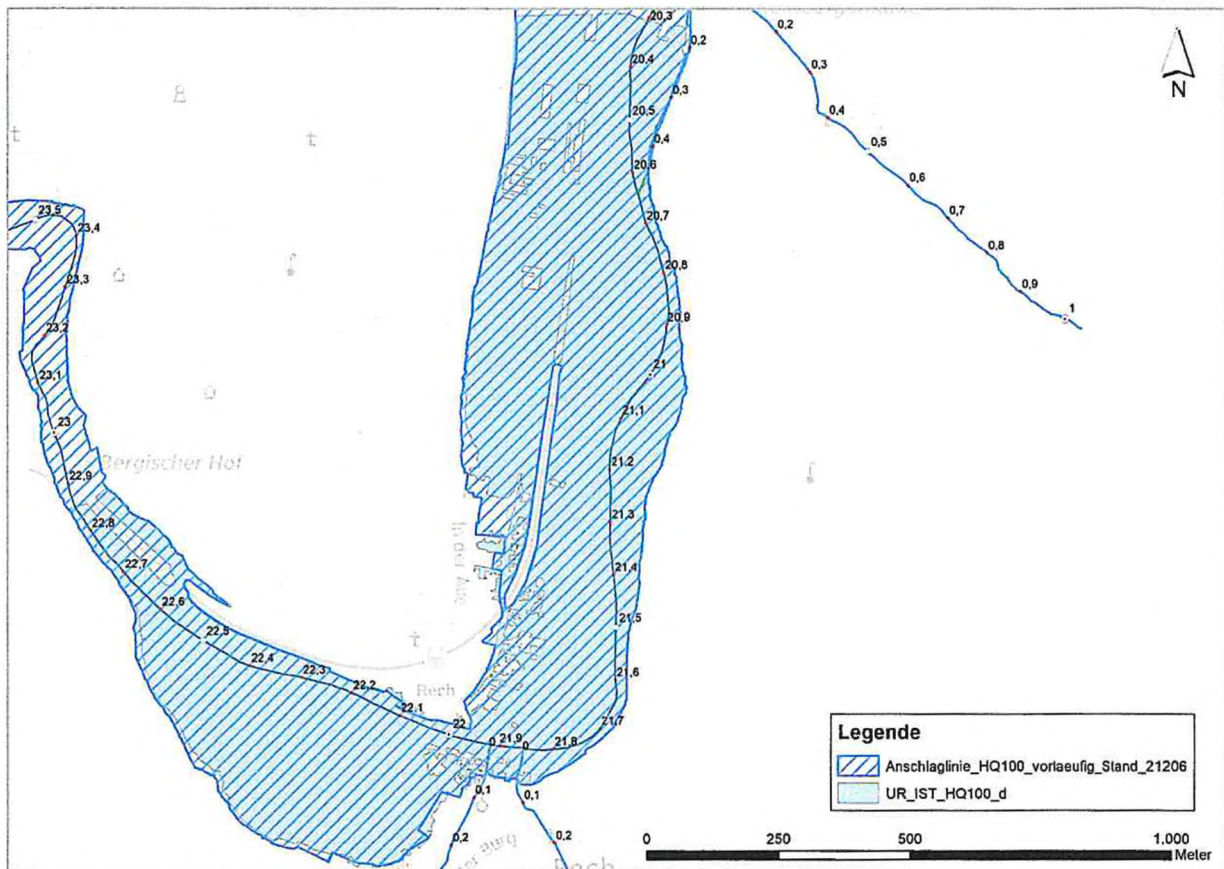


Abb. 5-2: Vergleich der berechneten Überflutungsfläche mit der digitalisierten Anschlaglinie HQ100

Im Nachgang zur hydraulischen Modellkalibrierung informierte die SGD Nord darüber, dass die Ermittlung der Anschlaglinie für den Lastfall HQ₁₀₀ mittels 1D-hydraulischer Berechnung und ohne Berücksichtigung des Einflusses von Brückenbauwerken durchgeführt wurde. Bei den aktuellen Berechnungen im Zuge der Modellkalibrierung war die Nepomukbrücke Bestandteil des Berechnungsnetzes. Auf die Modellkalibrierung nimmt dieser Umstand jedoch nur geringen Einfluss. Die Kalibrierung ist trotz Berücksichtigung des Brückenbauwerkes plausibel.

Mit dem für den Lastfall HQ₁₀₀ (neu) kalibrierten Modell wurde das Ereignis im Juli 2021 (HQ 2021) nachgerechnet. Dabei wurde, wie in Berichten und von Fotos ersichtlich, die Brücke als vollständig verklaut angenommen (s.o.). Im Modell wurden somit alle Brückenbögen geschlossen, so dass in der Berechnung lediglich eine Überströmung des Bauwerkes möglich ist.

Die Ergebnisse der Berechnung HQ 2021 für den ursprünglichen Zustand sind in Abb. 5-3 dargestellt und zeigen den deutlichen Rückstau von über einem Meter oberhalb der Nepomukbrücke. Die Nepomukbrücke wurde während des Ereignisses 2021 sowie in den Modellberechnungen mit etwa 90 m³/s deutlich überströmt.

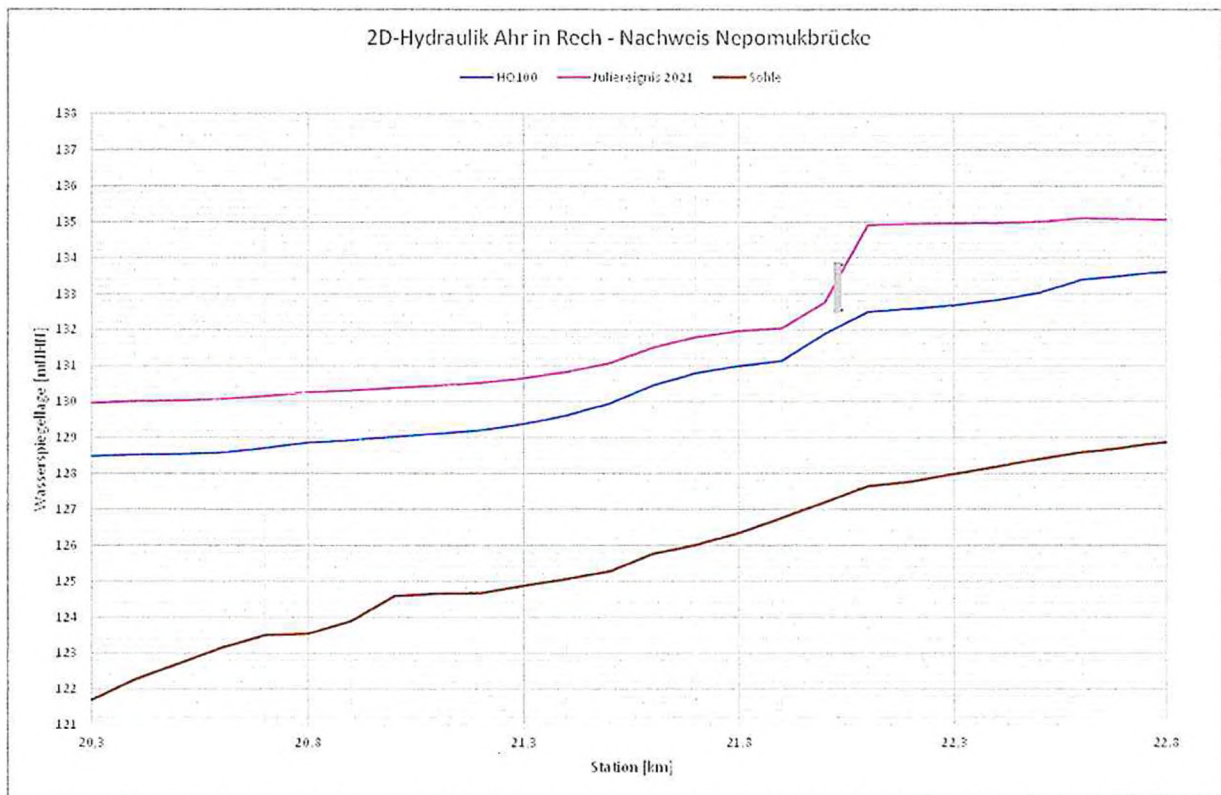


Abb. 5-3: Wasserspiegellagen der Modellkalibrierung bei HQ₁₀₀ und HQ 2021

Die beobachtete Anschlaglinie für das Extremereignis 2021 wird durch die berechneten Überflutungsflächen gut wiedergegeben. In Details gibt es Abweichungen, die aber auf die ungenaue Ermittlung der digitalisierten Anschlaglinie zurückzuführen sind (siehe Abb. 5-4).

Mit den zur Verfügung gestellten Grundlagendaten konnte somit ein lauffähiges 2D-hydraulisches Modell für den ursprünglichen Ist-Zustand der intakten Nepomukbrücke erstellt werden, welches über die bereitgestellten Anschlaglinien für die Lastfälle HQ₁₀₀ (neu) und HQ 2021 plausibilisiert werden konnte. Mit diesem Modell können nun die notwendigen Varianten für die hydraulische Untersuchung in Hinblick auf den Denkmalschutz und den möglichen Abbruch bzw. Teilerhalt der Nepomukbrücke berechnet und ausgewertet werden.

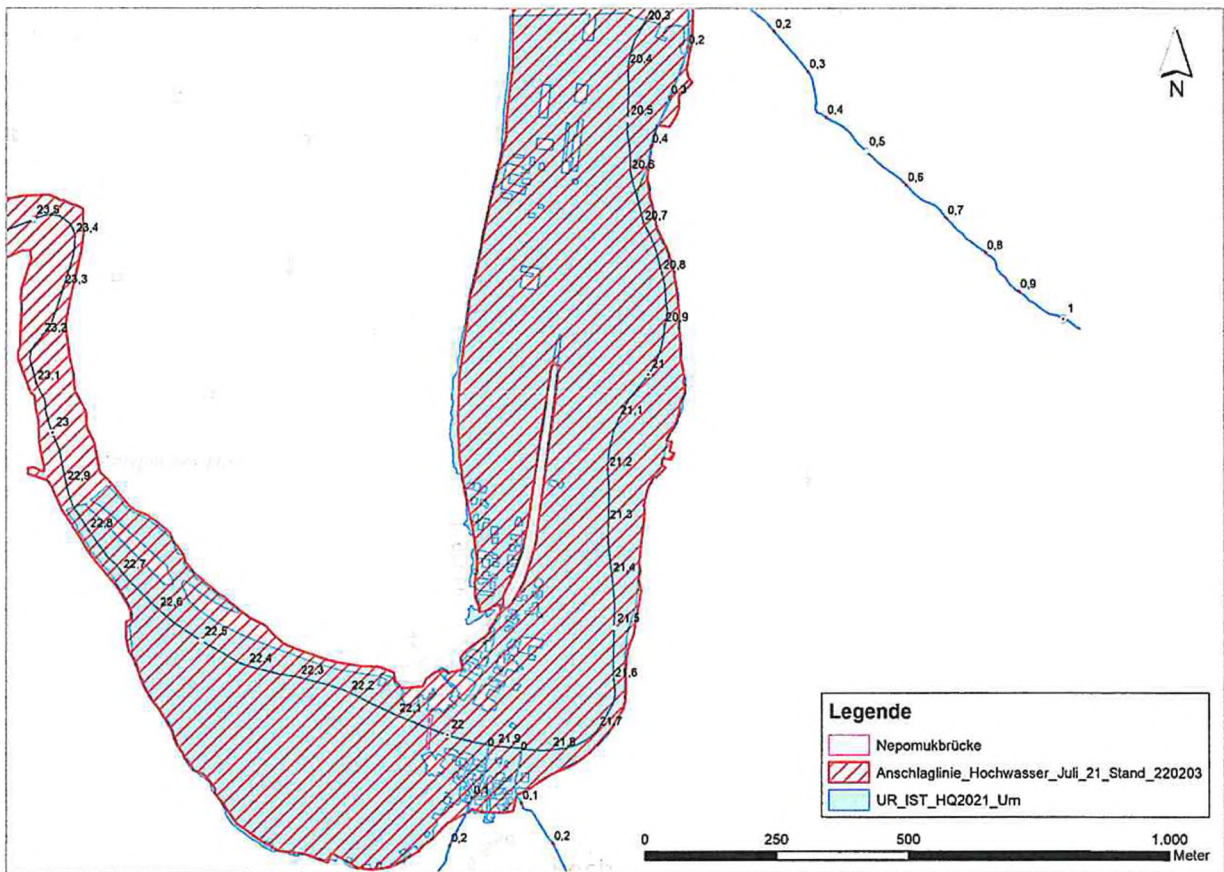


Abb. 5-4: Vergleich der Überflutungsfläche mit der Anschlaglinie 2021

6. Modellergebnisse Varianten Denkmalschutz

Die hydraulische Untersuchung im Hinblick auf den Abbruch bzw. den Teilerhalt der Nepomukbrücke umfasst die folgenden Varianten:

- Variante 0: vier Rundbögen (ursprünglicher Zustand mit intakter Brücke)
- Variante 1: drei Rundbögen (heutiger Zustand)
- Variante 2: zwei Rundbögen (Abriss eines weiteren Rundbogens)
- Variante 3: Abriss der vollständigen Brücke inkl. Widerlager

Dabei wurde durch die untere Denkmalschutzbehörde vorgegeben, dass Verklausungen zu berücksichtigen sind und in Anlehnung an die technischen Regeln für den Bau von Wehranlagen die n-1-Regel anzuwenden ist. Im Modell wurde dementsprechend für jede Variante der jeweils südlichste der Rundbögen als verschlossen (verklaut) angenommen.

6.1. **Variante 0 – 4 Bögen**

Die Variante 0 beschreibt den ursprünglichen Zustand der Nepomukbrücke mit vier intakten Brückenbögen. Die n-1-Regel wird berücksichtigt. Der südlichste Rundbogen wird als verklaut angenommen.

6.1.1. Lastfall HQ₁₀₀

Die Nepomukbrücke wird bei HQ₁₀₀ bei Variante 0 nicht überströmt und besitzt bei den vier Rundbögen etwa ein Freibord zwischen 10 und 40 cm. Das Freibord bezieht sich hierbei auf die Differenz der Scheitelhöhe der lichten Durchlassbögen abzüglich der WSP-Lage. Dieses niedrige Freibord begünstigt die Verlegung und Verklauung der einzelnen Rundbögen.

Abb. 6-1 zeigt eine Übersicht der berechneten maximalen Wassertiefen für den Lastfall HQ₁₀₀. Die Ahr breitet sich über das gesamte Tal aus. Bebauung ist betroffen. Die Ortslage Rech stellt in diesem Abschnitt der Ahr eine Engstelle dar. Der Fließquerschnitt der Ahr wird hier durch die hoch liegenden Uferböschungen stark begrenzt. Die Nepomukbrücke stellt den Beginn der Ortslage und der daraus resultierenden Engstelle dar. Die Wassertiefe in den überfluteten Bereichen der Wohnbebauung in Rech liegt bei rd. 1-2 m. Unmittelbar oberhalb der Nepomukbrücke zwischen km 22,1 und 22,2 liegen tiefer gelegene Sport- und Freizeitanlagen auf der sich die Ahr mit 2-3 m Wassertiefe ausbreiten kann.

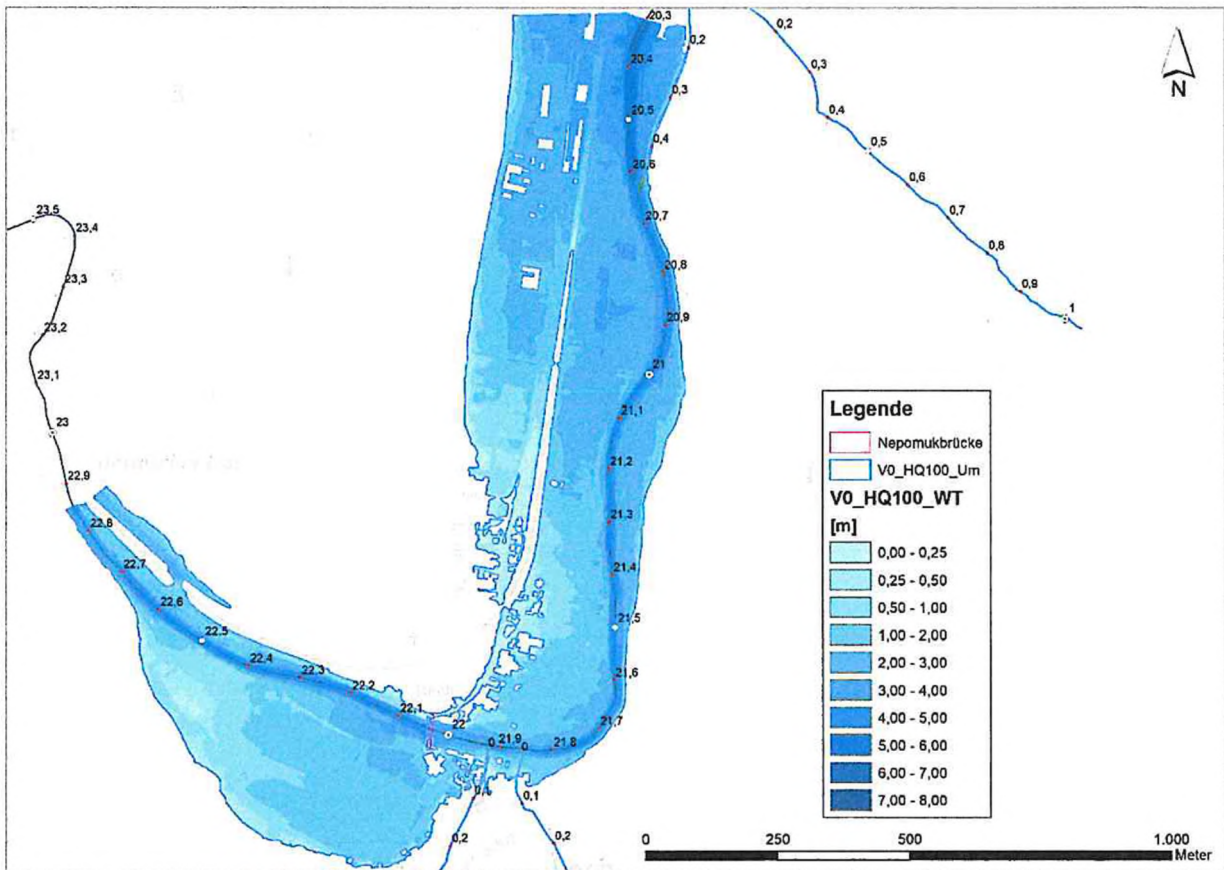


Abb. 6-1: Variante V0 - HQ₁₀₀ Wassertiefen Übersicht

Anhand der dargestellten Fließgeschwindigkeiten in Abb. 6-2 sind die durch den Rückstau und die größeren Ausbreitungsmöglichkeiten zwischen km 22,1 und 22,2 verminderten Fließgeschwindigkeiten oberhalb der Nepomukbrücke gut zu erkennen. Durch die hohen Wasserspiegeldifferenzen oberhalb und unterhalb der Brücke werden bei der Umströmung der Nepomukbrücke in der Ortslage am rechten Ufer insbesondere im Bereich der Bebauung Fließgeschwindigkeiten von bis zu 2 m/s erreicht. Auf der Rotweinstraße am linken Ufer werden geringere Fließgeschwindigkeiten von max. 1 m/s berechnet.

Die Ahr erreicht abseits der Ortslage und oberhalb des Einflusses der Brücke im Lastfall HQ₁₀₀ im Flussschlauch durchgehend Fließgeschwindigkeiten von 2–3 m/s. Im Bereich der Engstelle in der Ortschaft werden bis zu 4 m/s, zwischen den Rundbögen und bei ca. km 21,9 werden bis zu 4,5 m/s erzielt.

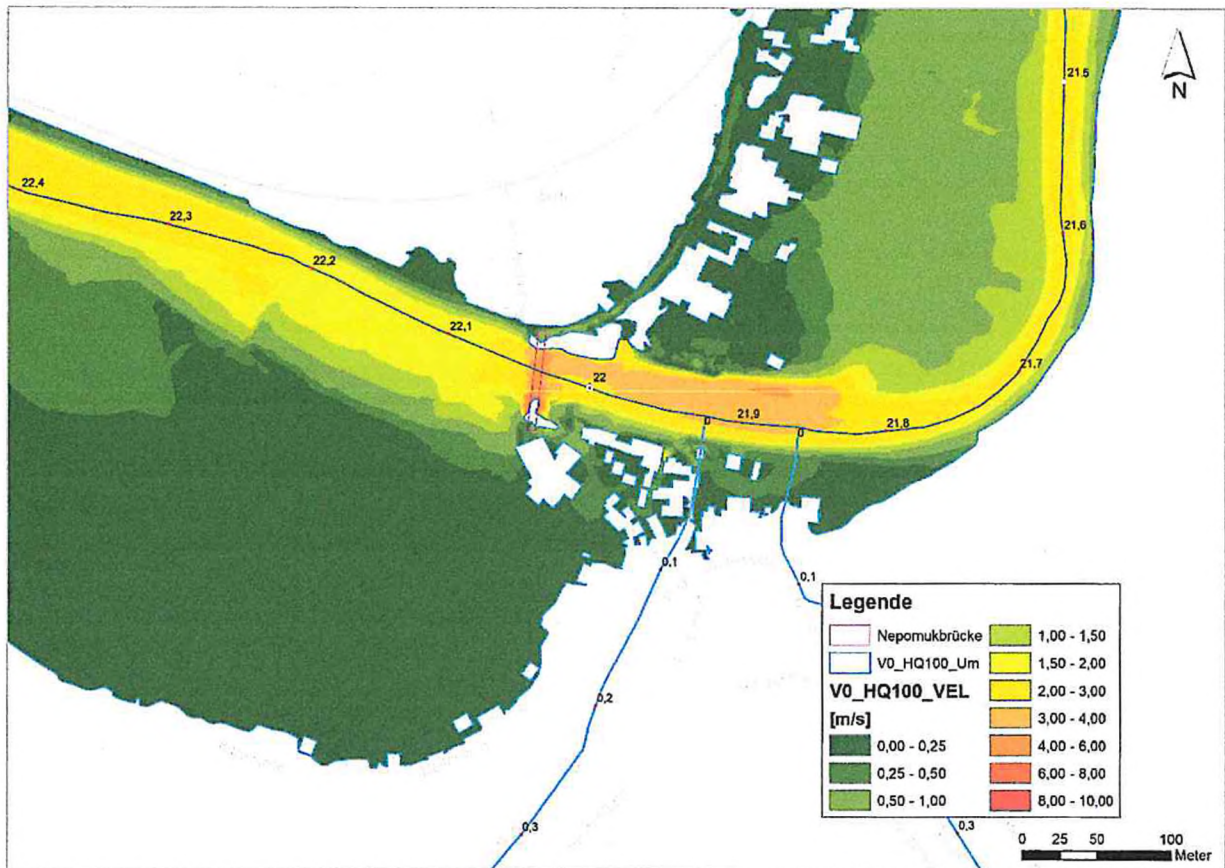


Abb. 6-2: Variante 0 - HQ₁₀₀ Fließgeschwindigkeiten

6.1.2. Lastfall HQ 2021

Im Lastfall HQ 2021 wird die Brücke bei Variante 0 mit rund 4 m³/s überströmt. Für die Variantenbetrachtung war abstimmungsgemäß die n-1-Regel anzuwenden. Im ursprünglichen Ist-Zustand ist die Nepomukbrücke vollständig intakt (4 Bögen). Nach Berücksichtigung der n-1-Regel verbleiben demnach 3 Bögen abflusswirksam im hydraulischen Modell. Bei der Modellkalibrierung wurde die Nepomukbrücke im Lastfall HQ 2021 als vollständig verlegt betrachtet. Dieser Unterschied in den Randbedingungen der Berechnungen drückt sich in der sehr deutlichen Differenz der die Brücke überströmenden Abflussmengen aus:

- Kalibrierung HQ 2021 - 4 Bögen verkleut - Brücke wird überströmt mit 90 m³/s
- Variante 0 Ur-Ist-Zustand - n-1-Regel, 3 Bögen abflusswirksam – Brücke wird überströmt mit 4 m³/s

Die Nepomukbrücke ist bei der Variante 0 voll eingestaut. Die Wassertiefen sind deutlich höher als im Lastfall HQ₁₀₀. Oberhalb der Nepomukbrücke werden die landwirtschaftlichen Flächen mit mindestens 2-3 m tief eingestaut. Gut zu erkennen ist der Rückstau oberhalb der Brücke mit Wassertiefen von über 5 m oberhalb der Brücke gegenüber mehr als 1 m geringeren Wassertiefen unterhalb der Brücke. Die Nepomukbrücke

wird über die Rotweinstraße am linken Ufer sowie durch Rech am rechten Ufer umströmt. Die Bebauung wird mit 2-3 m tief eingestaut.

Beim Ereignis 2021 waren alle vier Rundbögen von Verkläuerungen betroffen. Dementsprechend hat sich während des Ereignisses ein noch deutlich höherer Rückstau und folglich auch höhere Wasserspiegellagen und eine höhere Überströmung als in dieser Berechnung ausgewiesen, ergeben.

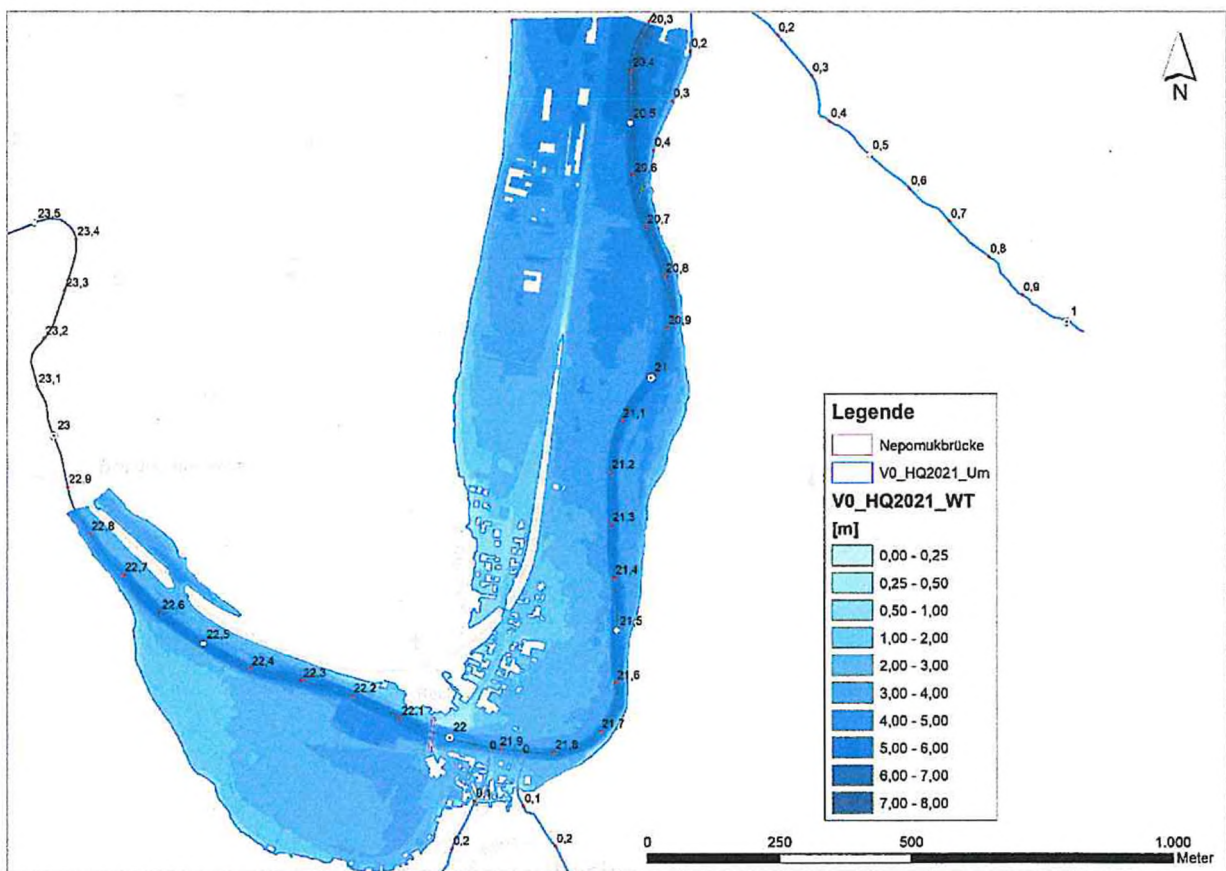


Abb. 6-3: Variante V0 – HQ 2021 Wassertiefen Übersicht

Die deutliche Umströmung der Nepomukbrücke am rechten Ufer führt zu hohen Fließgeschwindigkeiten von bis zu 2,5 m/s im Bereich der Bebauung und am rechten Ufer der Ahr. Im Brückenquerschnitt werden Fließgeschwindigkeiten von bis 7 m/s erreicht. Unterhalb der Brücke in der Engstelle der Ortslage werden bis zu 4-5 m/s berechnet. Unterhalb der Ortslage und oberhalb der durch die Nepomukbrücke rückstaubeinflussten Ahr werden im Flussschlauch 2-3 m/s erreicht. Oberhalb der Nepomukbrücke liegen die Fließgeschwindigkeiten bei unter 2 m/s (siehe Abb. 6-4).

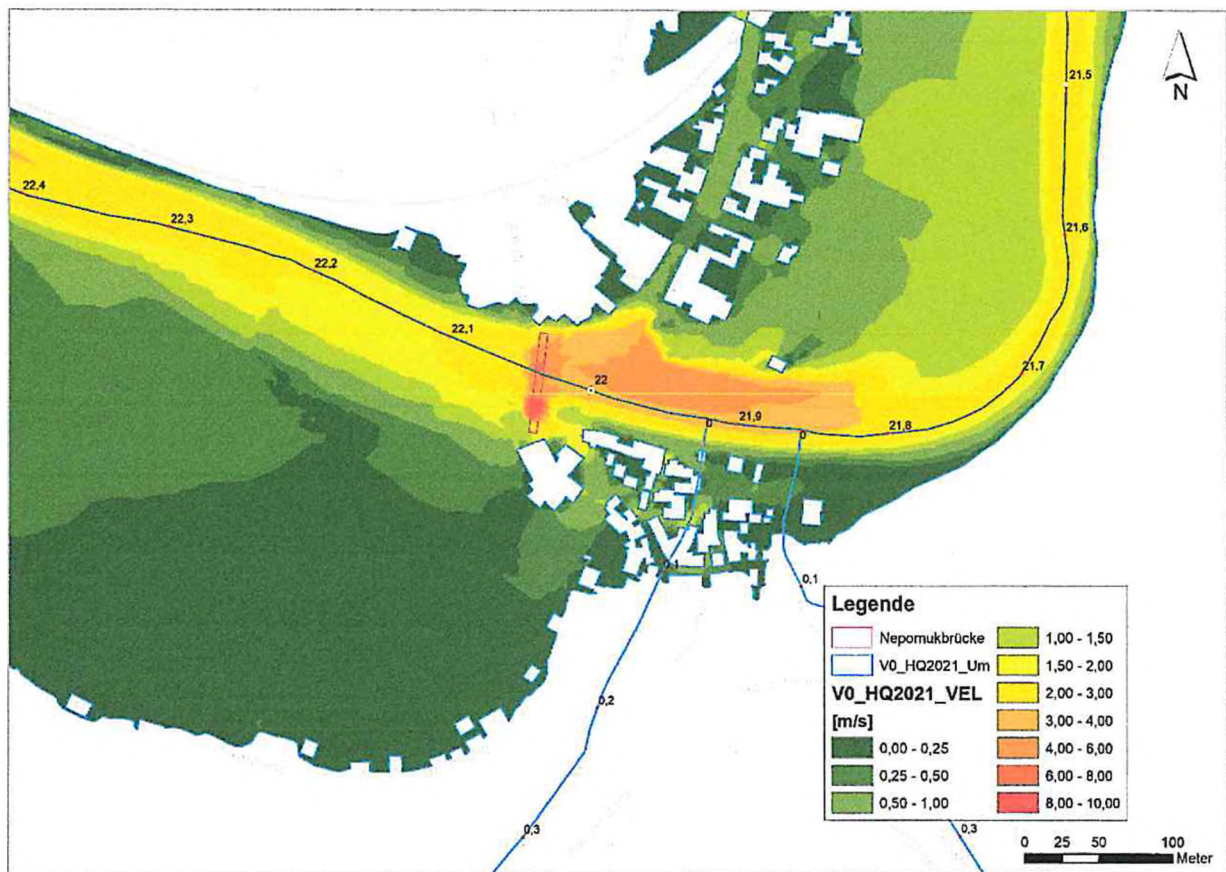


Abb. 6-4: Variante 0 – HQ 2021 Fließgeschwindigkeiten

6.2. Variante 1- 3 Bögen

Die Variante 1 beschreibt den aktuellen Zustand der Nepomukbrücke mit drei beschädigten Brückenbögen. Die n-1-Regel wird berücksichtigt. Der südlichste der drei noch vorhandenen Rundbögen wird als verklaust angenommen (siehe Abb. 6-5).

Ein Brückenfeld und das südliche Widerlager werden aus dem Modell entfernt. Das Gewässer wird in diesem Bereich nicht mehr durch die Brücke eingeschränkt. Das Gelände verbleibt im ursprünglichen Zustand.

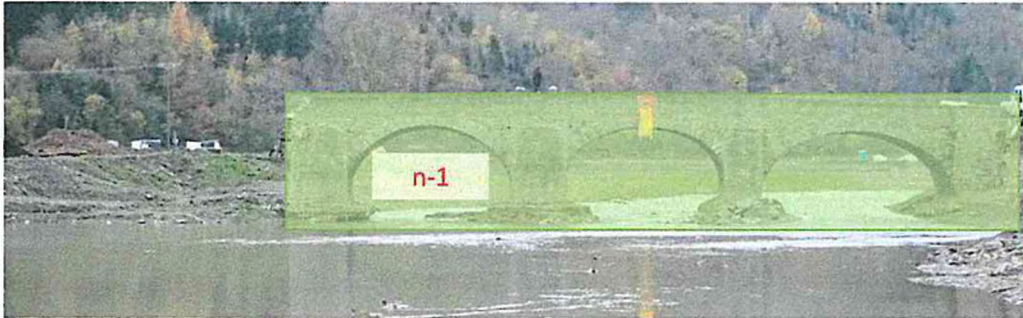


Abb. 6-5: Randbedingungen Nepomukbrücke bei Variante 1

6.2.1. Lastfall HQ₁₀₀

Im Lastfall HQ₁₀₀ weisen die Rundbögen, wie bei Variante 0, noch ein Freibord von 10-40 cm auf. Dieses geringe Freibord erhöht die Gefahr von Verklausungen. Im Vergleich zur Variante 0 sind nur sehr geringe Reduzierungen der Überflutungen innerhalb der Ortslage erkennbar. Oberhalb der Nepomukbrücke nimmt der Rückstau durch die höhere hydraulische Leistungsfähigkeit der Ahr im Bereich der Nepomukbrücke ab.

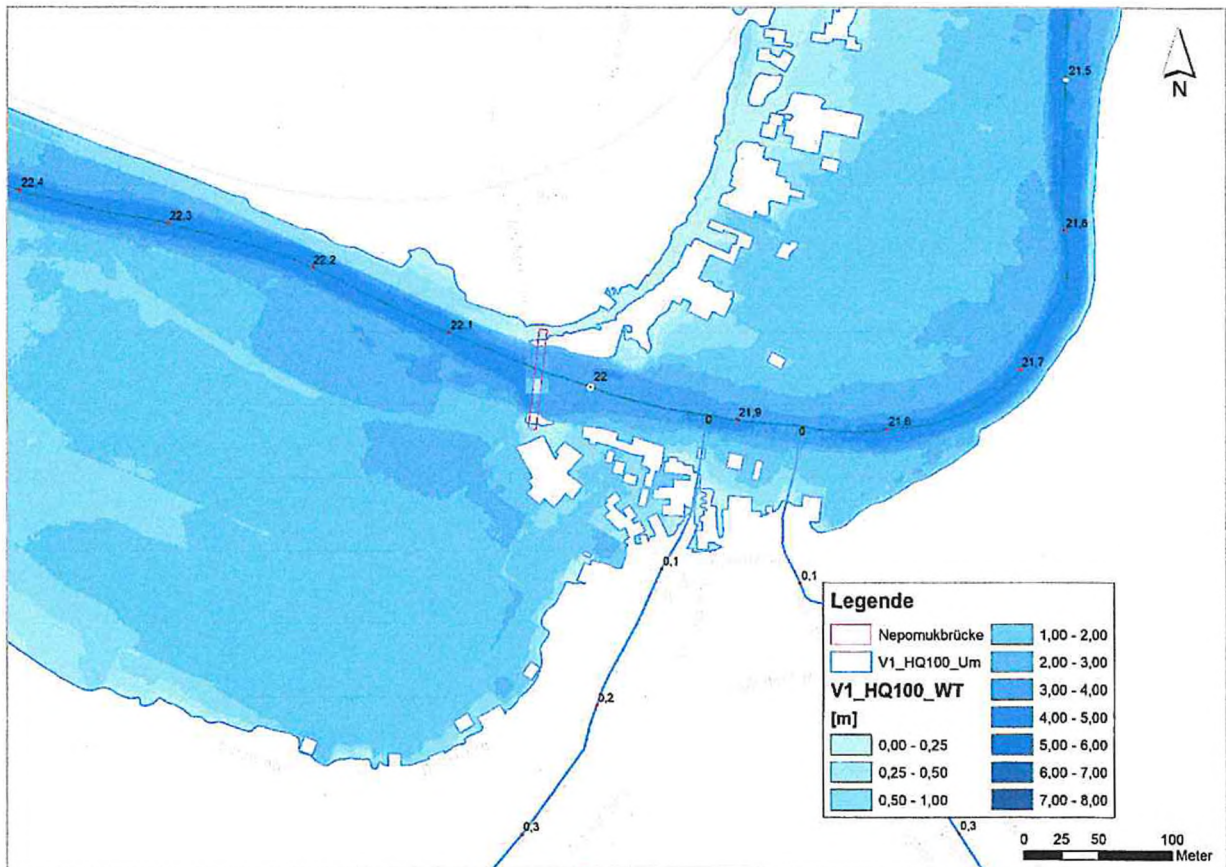


Abb. 6-6: Variante V1 - HQ₁₀₀ Wassertiefen

Durch das offene Brückenfeld erhöhen sich die Fließgeschwindigkeiten gegenüber der Variante 0 am rechten Ufer unmittelbar unterhalb der Nepomukbrücke (Abb. 6-7). Durch die höhere hydraulische Leistungsfähigkeit im Bereich des Brückenquerschnitts reduzieren sich der Rückstau und die Umströmung der Brücke geringfügig. Dementsprechend reduzieren sich auch die Fließgeschwindigkeiten auf der Rotweinstraße am linken Ufer sowie im Bereich der Wohnbebauung.

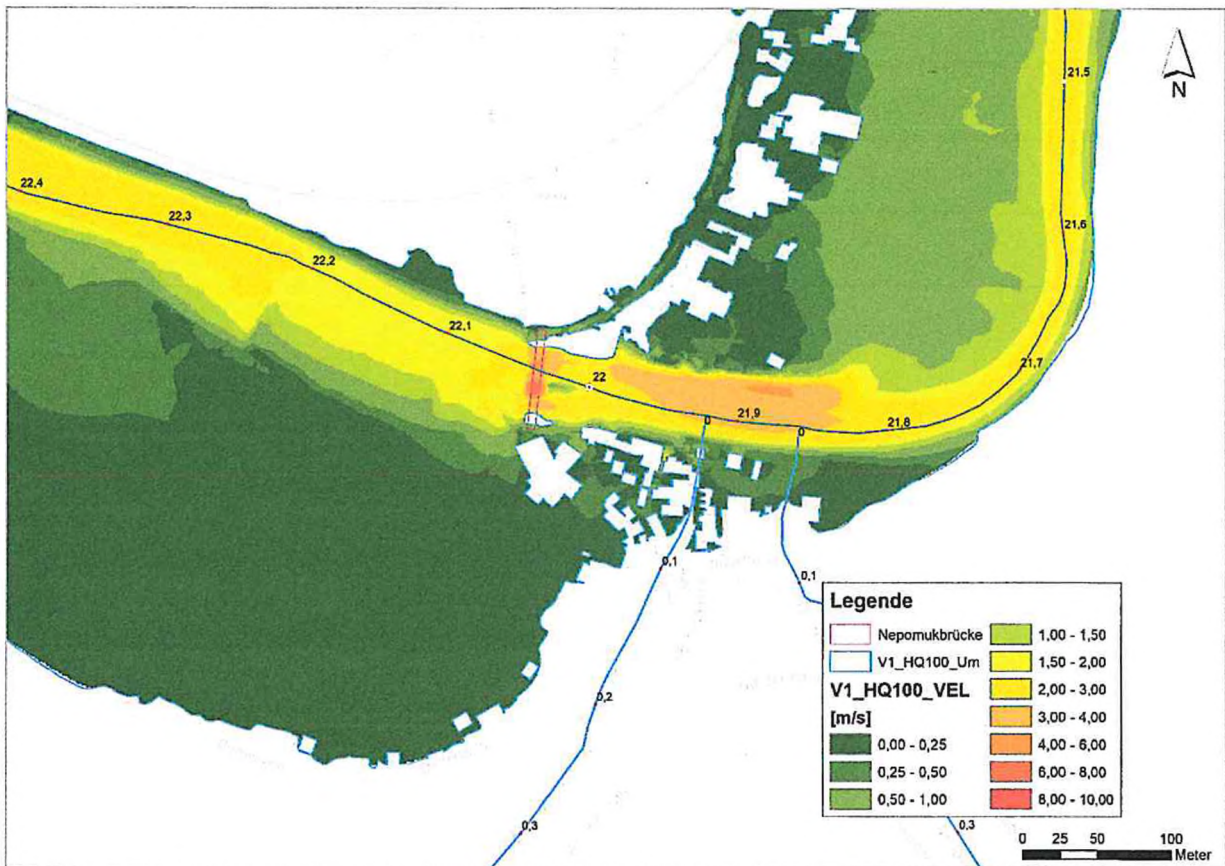


Abb. 6-7: Variante 1 - HQ₁₀₀ Fließgeschwindigkeiten

6.2.2. Lastfall HQ 2021

Im Lastfall HQ 2021 verändern sich die Überflutungsflächen der Variante 1 gegenüber der Variante 0 nur im Detail. Die Überströmung der Nepomukbrücke wird stark gegenüber der Variante 0 auf 0,01 m³/s reduziert. Der Rückstau nach Oberstrom ist dementsprechend im Vergleich zu Variante 0 ebenfalls geringer. In der Ortslage Rech reduzieren sich die Wassertiefen geringfügig.

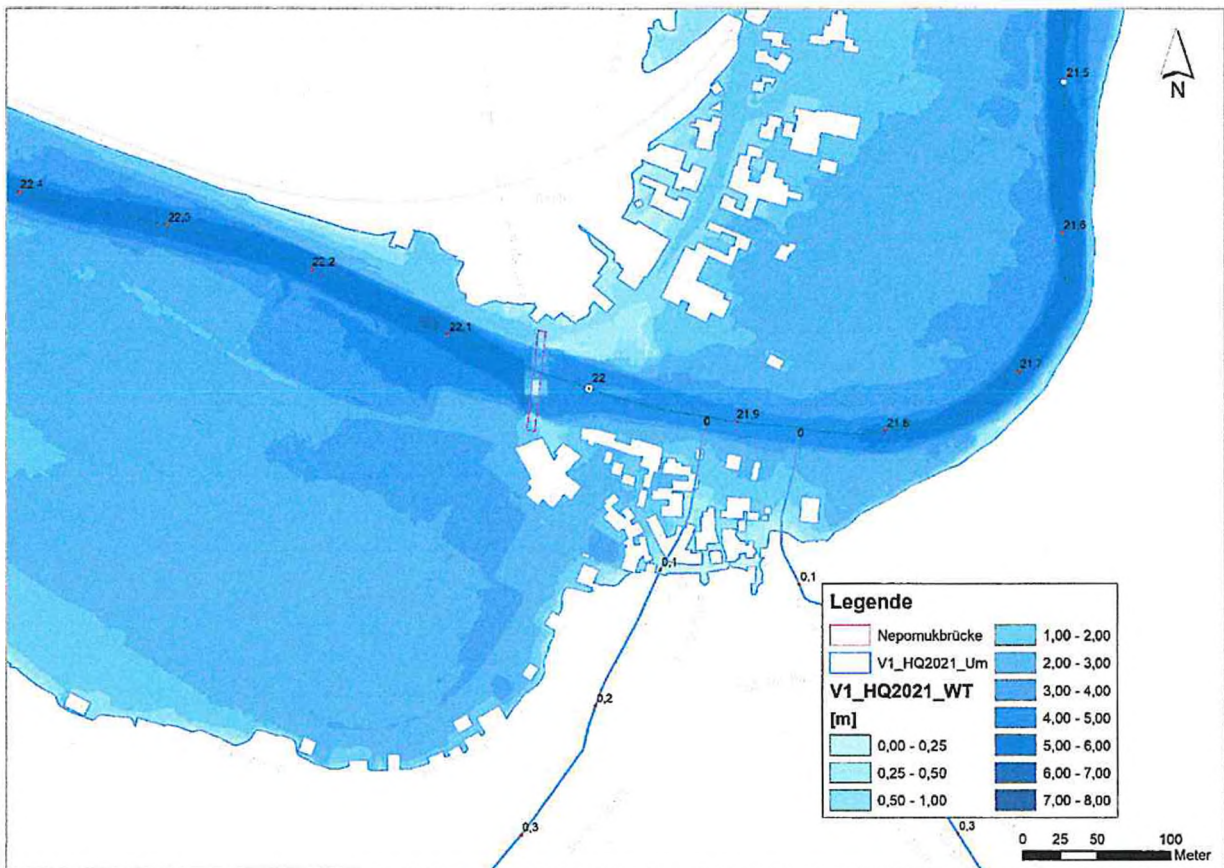


Abb. 6-8: Variante 1 – HQ 2021 Wassertiefen

Die höhere hydraulische Leistungsfähigkeit des offenen Brückenfeldes führt zu einer Vergleichmäßigung der Fließgeschwindigkeiten unterhalb der Brücke und zu einer Reduzierung des Bereiches mit sehr hohen Fließgeschwindigkeiten zwischen 4-4,5 m/s. Durch den geringeren Rückstau und die geringere Umströmung der Brücke werden geringfügig kleinere Fließgeschwindigkeiten im Bereich der Bebauung ausgewiesen.

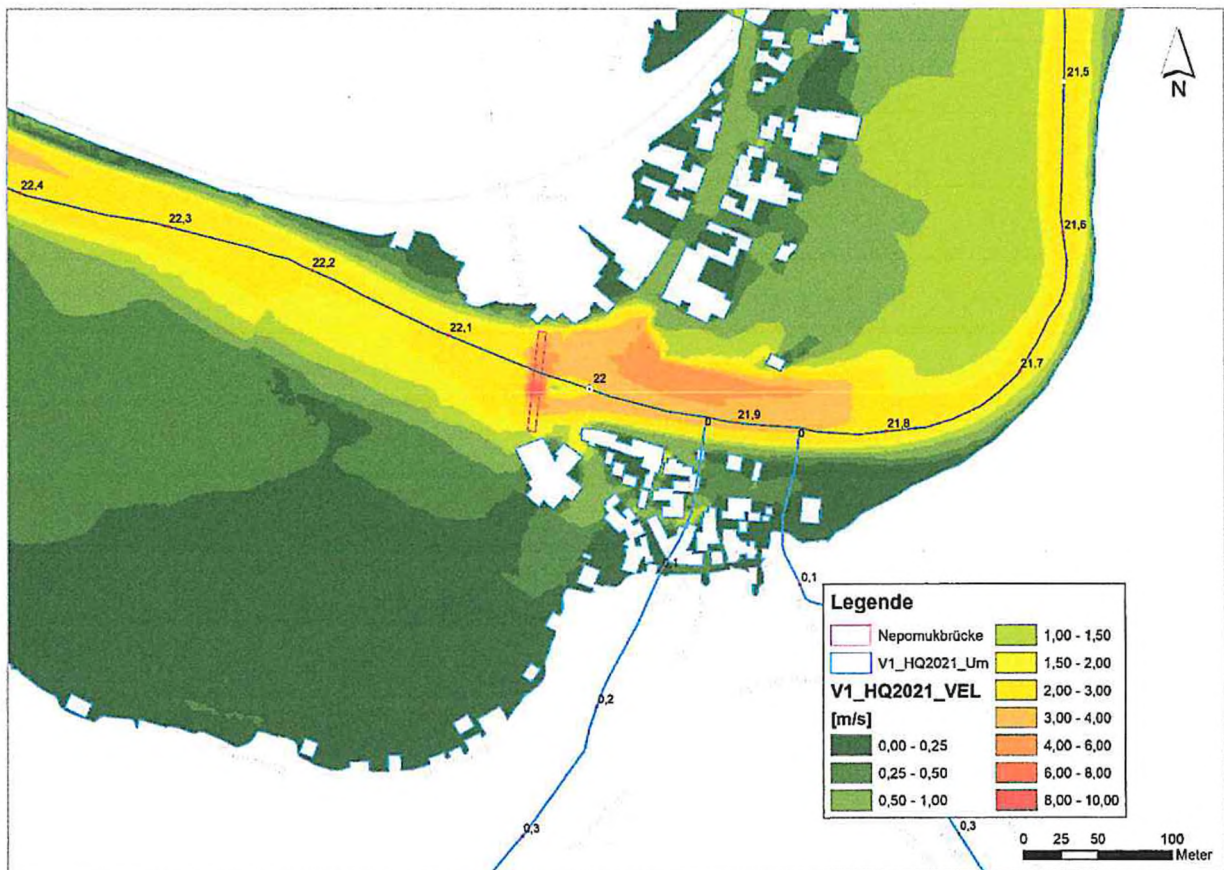


Abb. 6-9: Variante 1 – HQ 2021 Fließgeschwindigkeiten

6.3. Variante 2 – 2 Bögen

Bei der Variante 2 wird der südliche der drei im aktuellen Zustand noch vorhandenen Rundbögen im Modell entfernt. Es verbleiben dementsprechend zwei Brückenbögen der Nepomukbrücke erhalten. Die n-1-Regel wird berücksichtigt. Der südlichste der zwei Rundbögen wird als verklaust angenommen (vgl. Abb. 6-10).

Gegenüber dem Ur-Ist-Zustand werden zwei Brückenfelder sowie das südliche Widerlager aus dem Modell entfernt. Der Fließquerschnitt des Gewässers wird in diesem Bereich nicht mehr durch das Brückenbauwerk eingeschränkt.

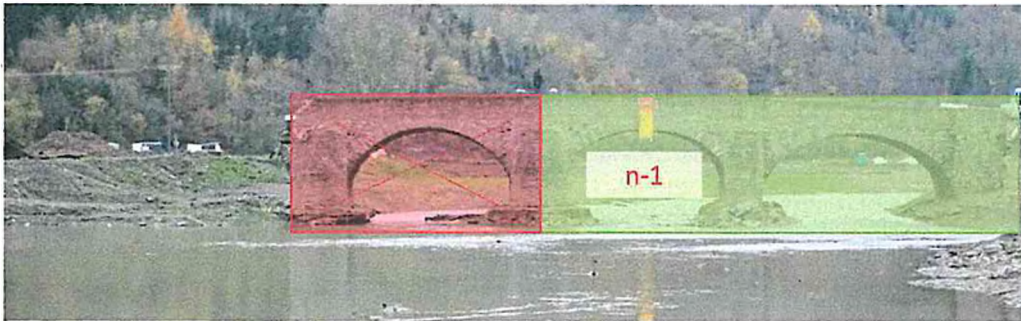


Abb. 6-10: Randbedingungen Nepomukbrücke bei Variante 2

6.3.1. Lastfall HQ₁₀₀

Bei Variante 2 wird im Lastfall HQ₁₀₀ der geringere Rückstau oberhalb der Nepomukbrücke durch die fehlende Überströmung der Rotweinstraße an dieser Stelle gegenüber der Variante 0 sichtbar. Etwas geringere Überflutungsflächen und Wassertiefen resultieren daraus im Bereich der Ortslage. Das Freibord in den beiden Rundbögen erhöht sich nicht und liegt im nördlichen Bogen bei nur 12 cm. Der südliche Bogen ist durch die n-1-Regel als geschlossen angenommen.

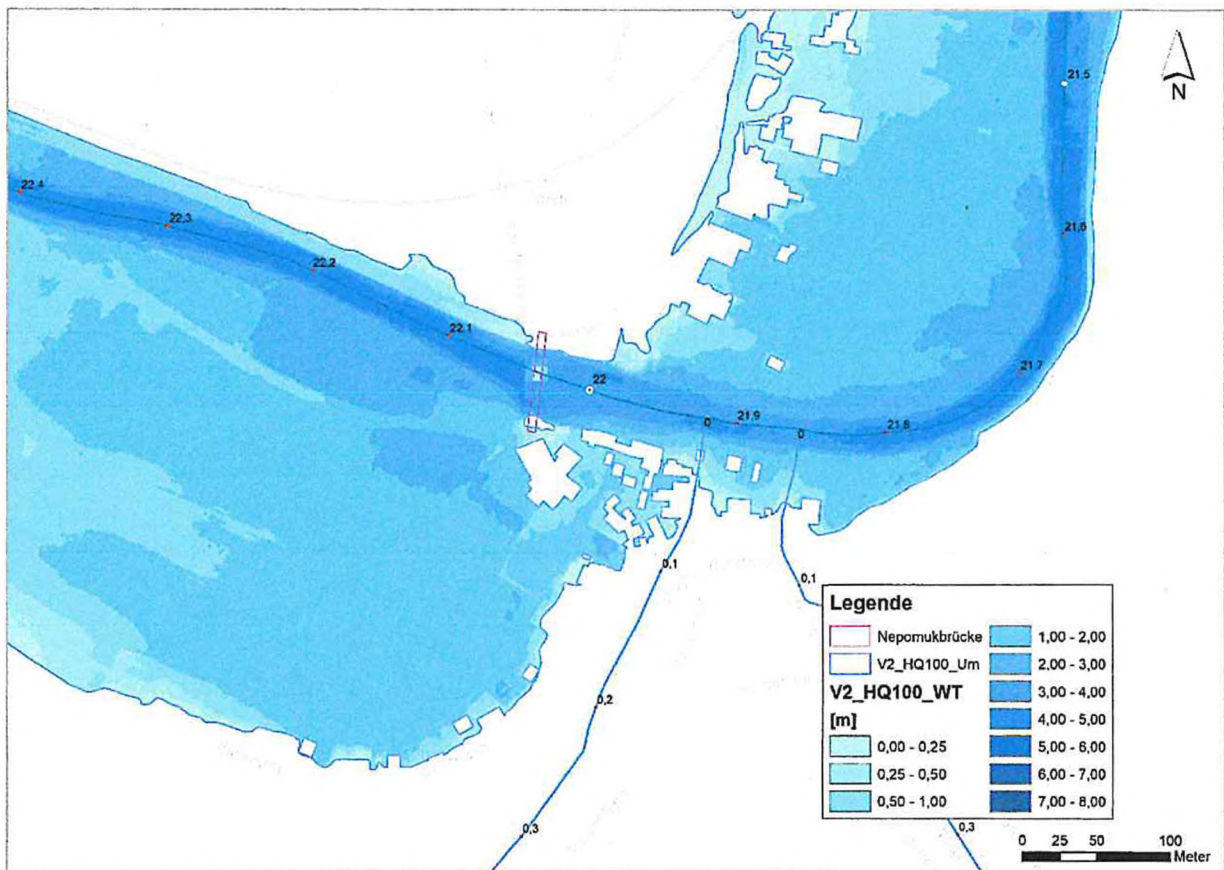


Abb. 6-11: Variante 2 - HQ₁₀₀ Wassertiefen

Bei Variante 2 reduzieren sich die Fließgeschwindigkeiten im Bereich des Brückenquerschnitts. Hier werden Fließgeschwindigkeiten zwischen 3-4 m/s erreicht im Vergleich zu etwa 4,5 m/s bei Variante 0. Rückstau stellt sich bei lediglich den verbleibenden zwei Rundbögen im Fließquerschnitt oberhalb der Nepomukbrücke ein. Innerhalb der Ortslage reduzieren sich die Fließgeschwindigkeiten geringfügig gegenüber Variante V0.

Die Gefahr einer Verklausung ist bei den noch vorhandenen zwei Brückenbögen durch das geringe berechnete Freibord auch in dieser Variante gegeben.

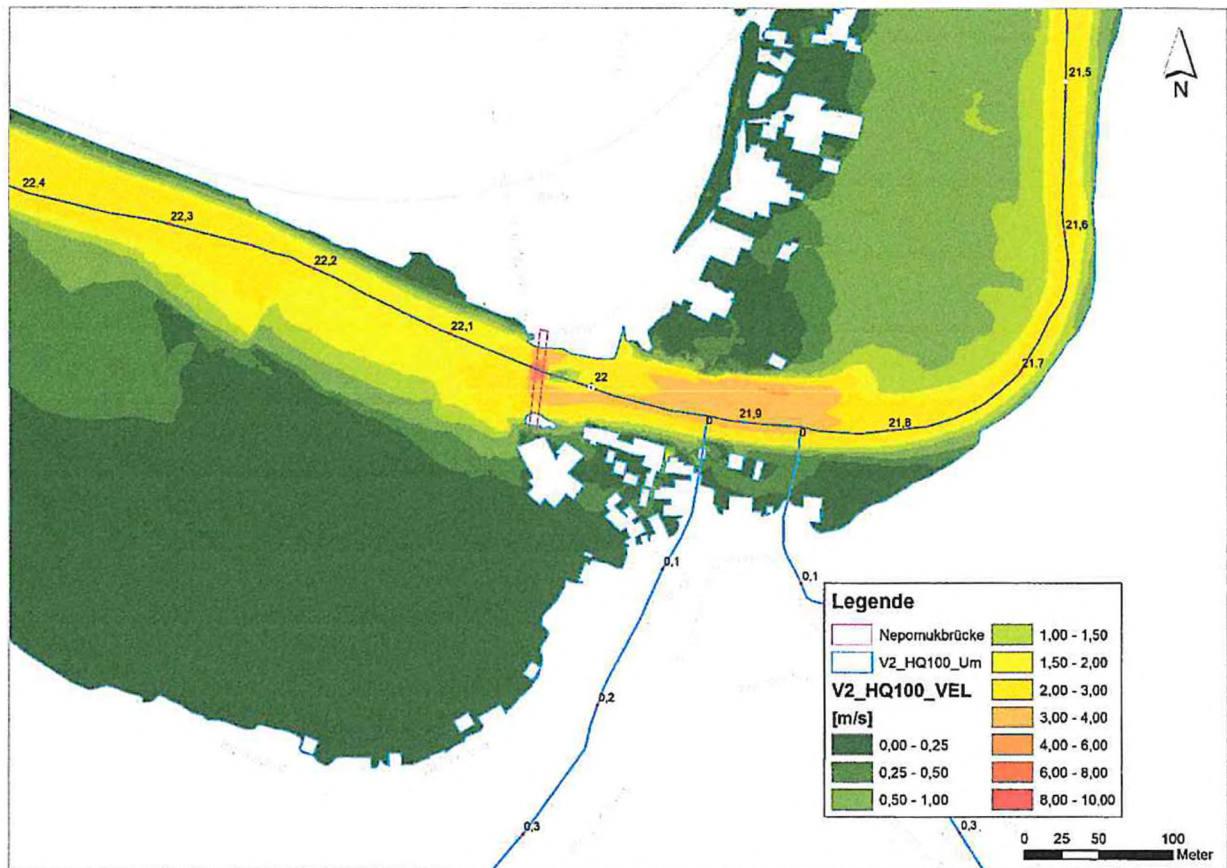


Abb. 6-12: Variante 2 - HQ₁₀₀ Fließgeschwindigkeiten

6.3.2. Lastfall HQ 2021

Im Lastfall HQ 2021 reduziert sich der Rückstau oberhalb der Nepomukbrücke bei Variante 2 so weit, dass keine Überströmung der Brücke mehr stattfindet. Die Überflutungsflächen reduzierten sich geringfügig in der Ortslage Rech.

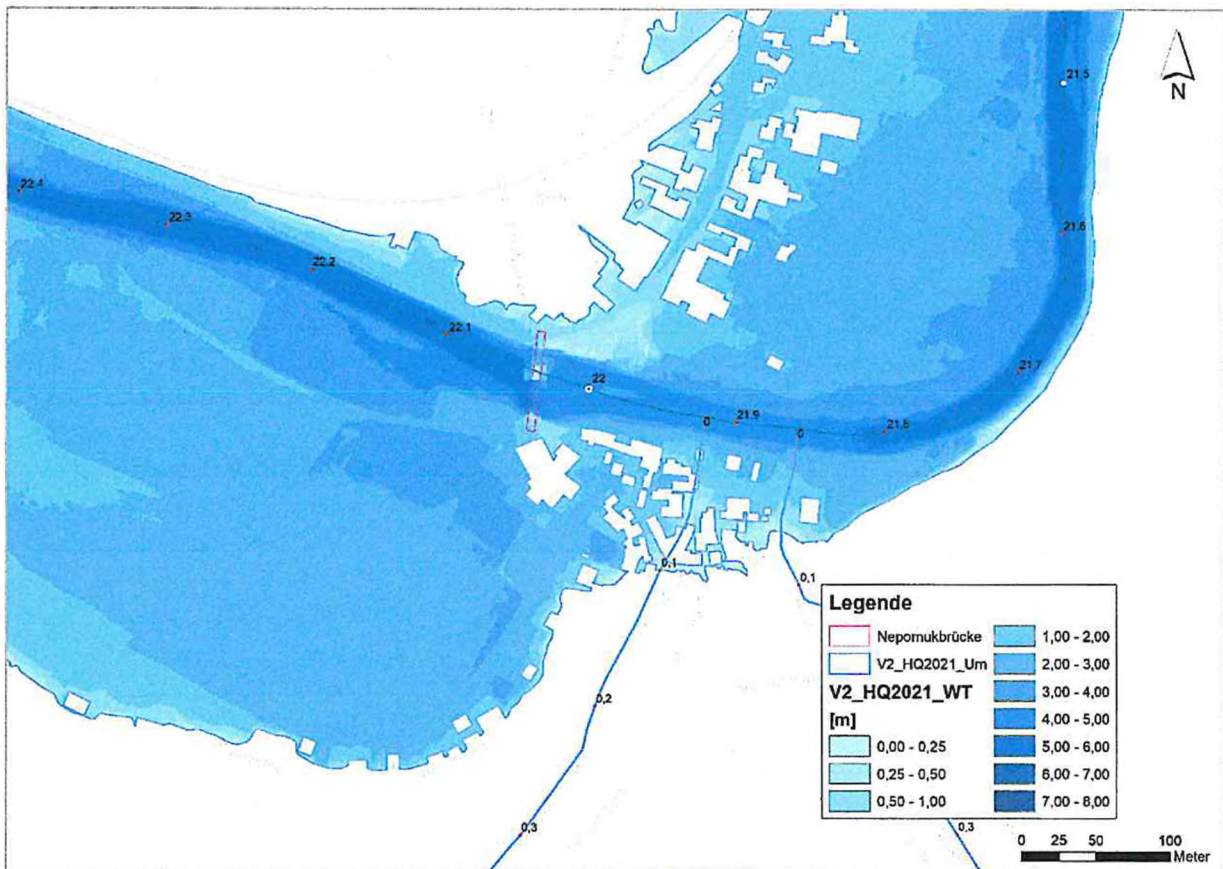


Abb. 6-13: Variante 2 – HQ 2021 Wassertiefen

Anhand der geringeren Fließgeschwindigkeiten ist die Reduzierung des Rückstaus oberhalb der Nepomukbrücke ersichtlich (siehe Abb. 6-14). Die Fließgeschwindigkeiten werden im Flussschlauch und auch geringfügig im Bereich der landwirtschaftlichen Flächen oberhalb etwas größer als in Variante 0. Die Fließgeschwindigkeiten im Ort reduzieren sich hingegen geringfügig. Die hydraulische Leistungsfähigkeit des Brückenquerschnitts vergrößert sich gegenüber der Variante 0, was zu einer Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten zwischen 4-5 m/s führt.

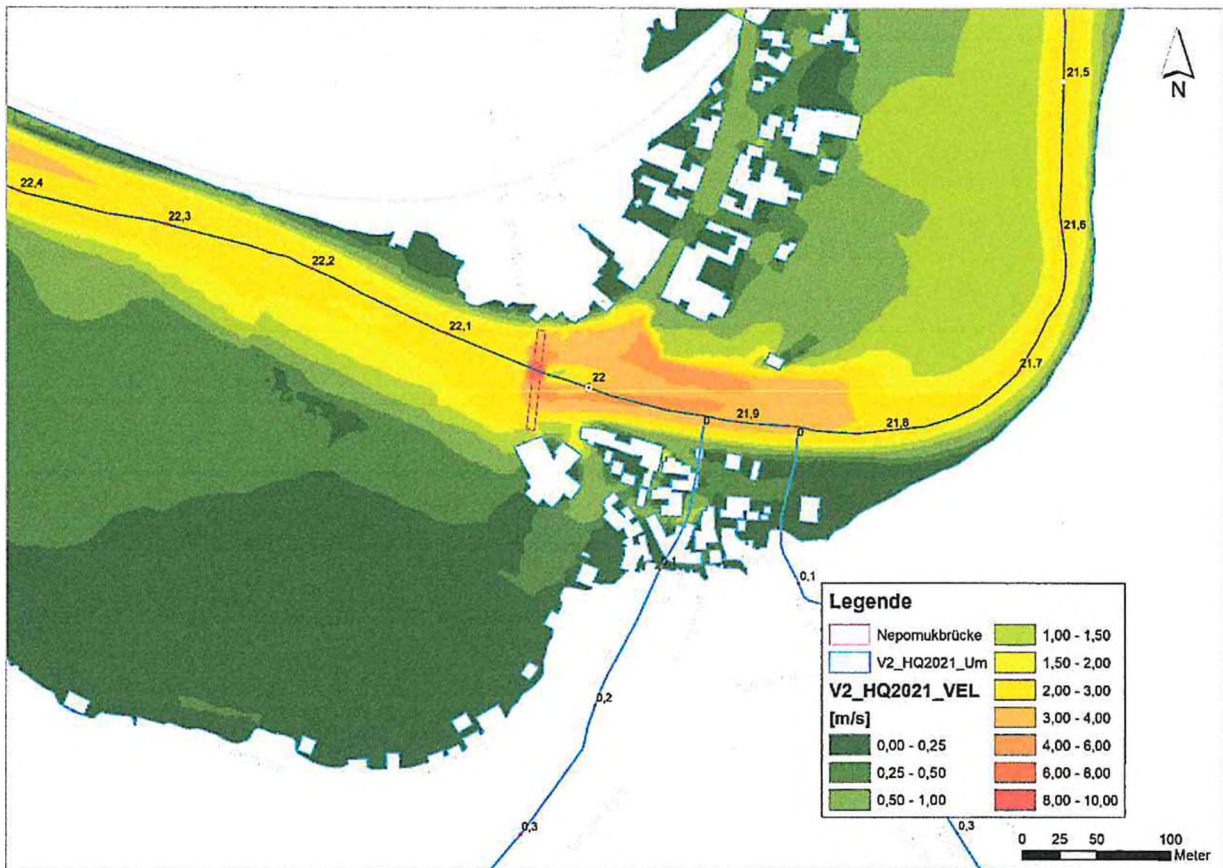


Abb. 6-14: Variante 2 – HQ 2021 Fließgeschwindigkeiten

6.4. Variante 3 – 0 Bögen

In Variante 3 wird die gesamte Brücke inkl. Widerlager entfernt. Das Gewässer wird über den vollständigen Querschnitt nicht mehr durch das Brückenbauwerk eingeschränkt.

6.4.1. Lastfall HQ₁₀₀

Bei Variante 3 werden die Überflutungsflächen mit der geringsten Ausdehnung berechnet (siehe Abb. 6-15). Die Reduzierung der Überflutungsflächen ist gegenüber den zuvor betrachteten Varianten allerdings gering. Der Rückstau oberhalb der Nepomukbrücke reduziert sich deutlich. Die landwirtschaftlichen Flächen oberhalb der Brücke werden mit einer geringeren Tiefe eingestaut.

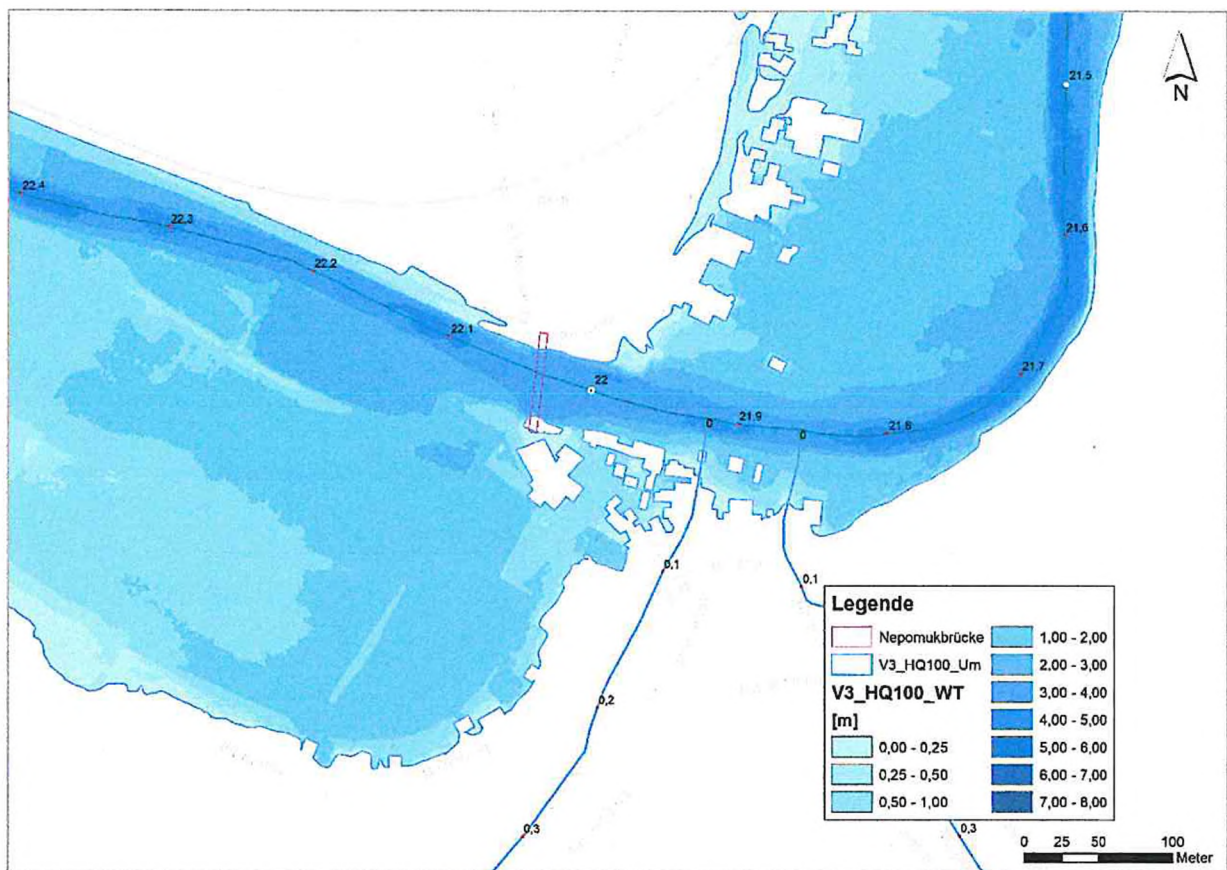


Abb. 6-15: Variante 3 - HQ₁₀₀ Wassertiefen

Auch anhand der geringeren Fließgeschwindigkeiten ist der geringere Rückstau oberhalb der Brücke gegenüber den Varianten 0, 1 und 2 zu erkennen (siehe Abb. 6-16). Im Bereich der Brücke werden gleichmäßig über den Querschnitt Fließgeschwindigkeiten zwischen 2-3 m/s berechnet. Die hydraulische Leistungsfähigkeit der Ahr ist deutlich gegenüber den zuvor betrachteten Varianten erhöht.

Die Engstelle der Ahr in der Ortslage Rech ist hier dennoch an den höheren Fließgeschwindigkeiten von 3-4 m/s in diesem Abschnitt zu erkennen.

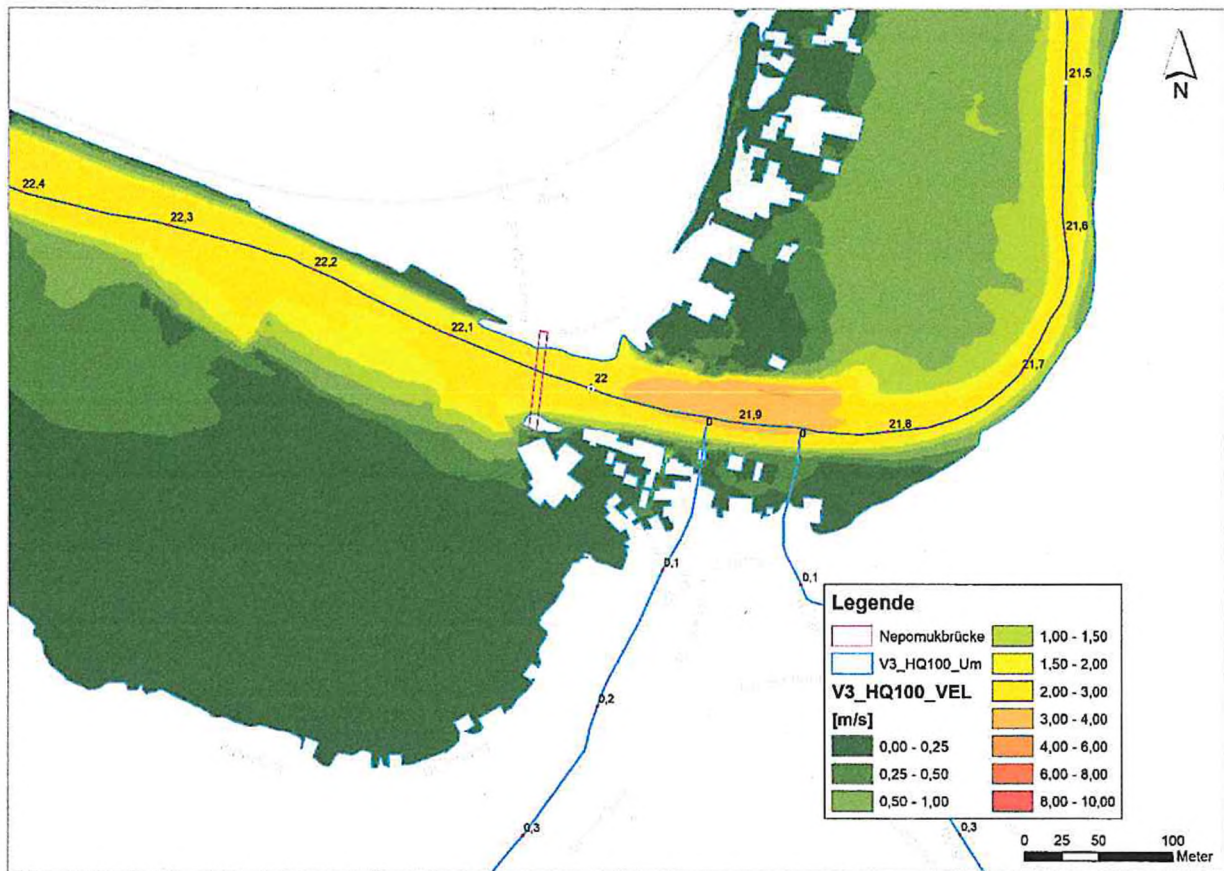


Abb. 6-16: Variante 3 – HQ₁₀₀ Fließgeschwindigkeiten

6.4.2. Lastfall HQ 2021

Im Lastfall HQ 2021 ist die Reduzierung des Rückstaus und dementsprechend der Wassertiefen oberhalb der Brücke noch deutlicher im Vergleich zur Variante 0 zu erkennen (vgl. Abb. 6-17 und Abb. 6-3). Gegenüber der Variante 0 verkleinern sich die Überflutungsflächen allerdings nur geringfügig. Begründet ist dies durch das rasch ansteigende Gelände an den Rändern der Ausdehnung der Überflutung.

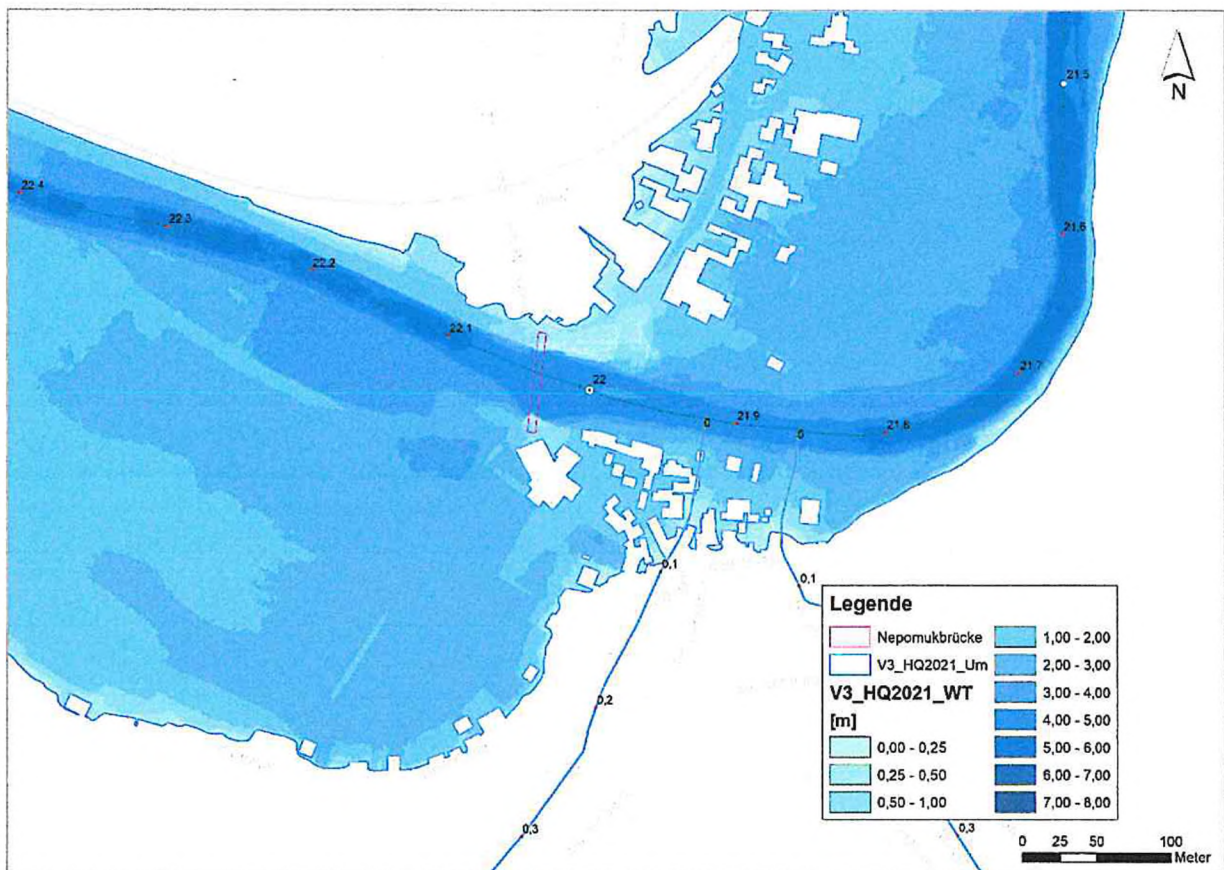


Abb. 6-17: Variante 3 - HQ 2021 Wassertiefe

In Abb. 6-18 ist der geringere Rückstau anhand der deutlichen Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten im Bereich der Bebauung im Vergleich zu Variante 0 erkennbar. Durch die anhand der höheren Fließgeschwindigkeiten erkennbare, weiterhin vorhandene Engstelle in der Ortslage, ist die Ahr oberhalb der abgerissenen Nepomukbrücke weiterhin rückstaubeinflusst.

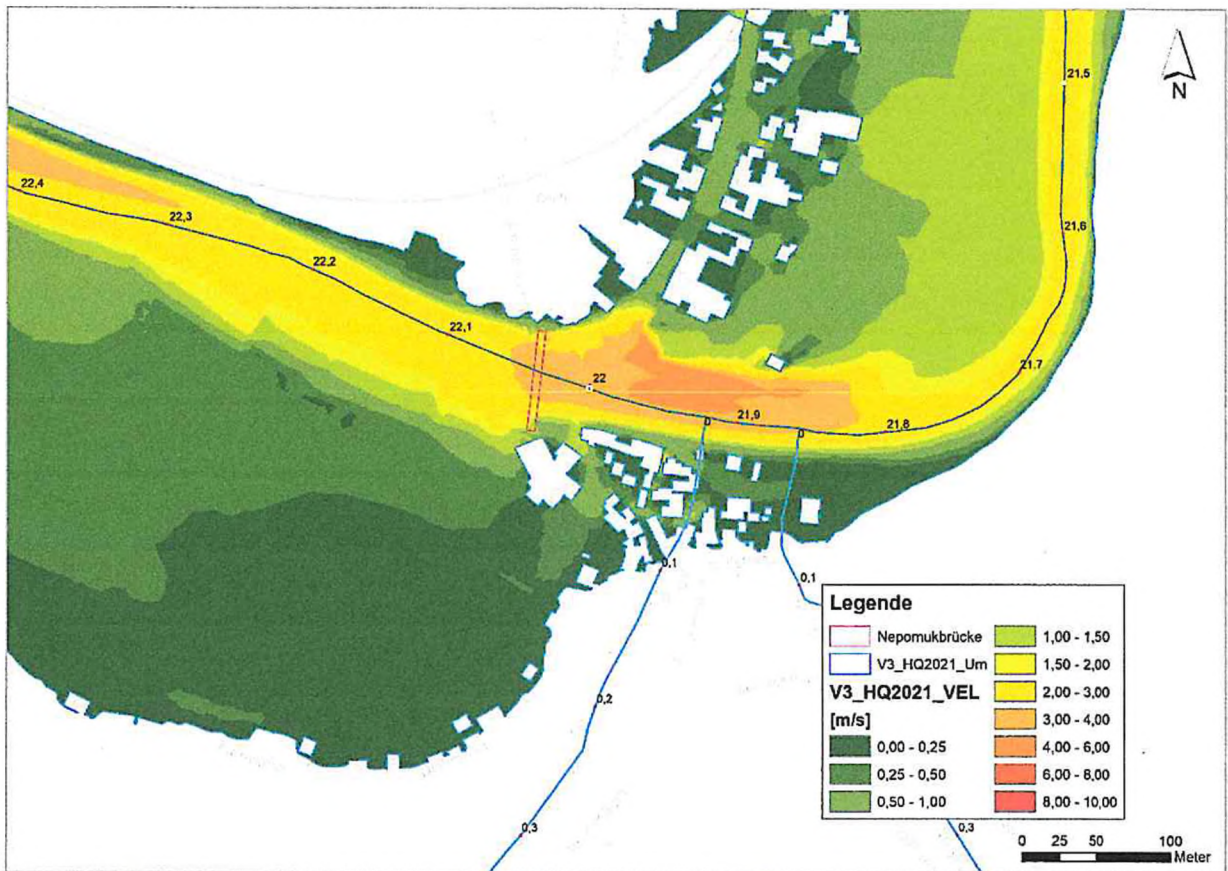


Abb. 6-18: Variante 3 – HQ 2021 Fließgeschwindigkeiten

7. Variantenvergleich

7.1. Lastfall HQ₁₀₀

Die Ergebnisse der Varianten zeigen zwischen der Variante 0 (Ur-Ist-Zustand) und der Variante 3 (vollständiger Abriss) die größten Unterschiede in den Wasserspiegellagen (siehe Abb. 7-1). Dabei generiert die Variante 0 die höchsten Wasserspiegellagen und Variante 3 die niedrigsten. Je geringer die Einschränkung des Fließquerschnitts der Ahr im Bereich der Nepomukbrücke durch den Brückenquerschnitt ausfällt, desto geringer ist auch der sich nach oberstrom einstellende Rückstau. Bei Variante 3 ist trotz Wegfall der Brücke der Oberlauf der Ahr durch die Engstelle in der Ortslage weiterhin rückstaubeinflusst. Unmittelbar unterhalb der Nepomukbrücke bei km 22 sind die Wasserspiegellagen höher als bei Variante 0, da der Brückenquerschnitt hydraulisch leistungsfähiger wird und der Abfluss durch den Brückenquerschnitt steigt, während die Umströmung der Brücke abnimmt.

Die Auswirkungen des reduzierten Brückenquerschnitts der Varianten 1-3 wirken sich nicht auf den Unterlauf aus. Die Wasserspiegellagen bleiben bei diesen Varianten unterhalb der Brücke auf demselben Niveau. Oberhalb der Brücke reduzieren sich die Wasserspiegellagen allerdings leicht.

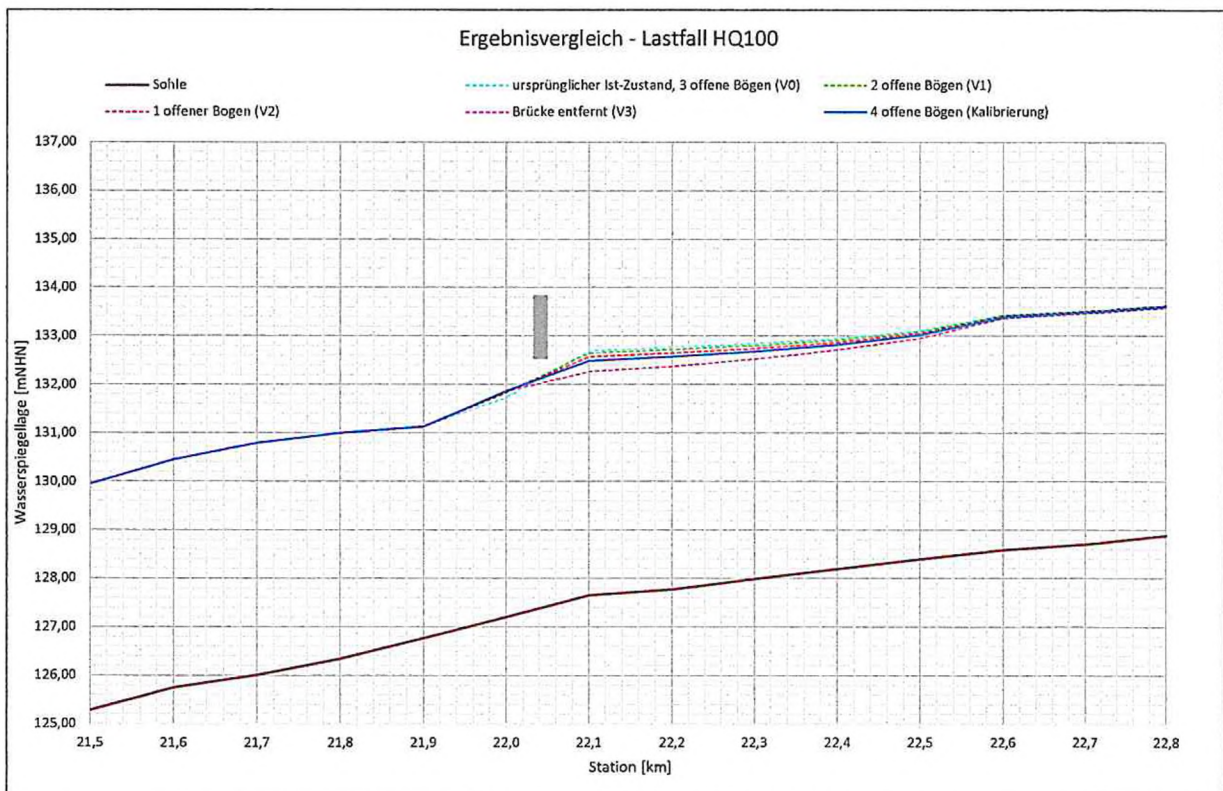


Abb. 7-1: Vergleich aller Varianten bei HQ₁₀₀

Im hydraulischen Längsschnitt in Abb. 7-2 ist ebenfalls zu erkennen, dass sich im Oberwasser der Brücke bei den Varianten 0, 1 und 2 gering höhere WSP-Lagen einstellen als bei der Kalibrierung. Bei der Kalibrierung musste die n-1-Regel im Gegensatz zu den Variantenrechnungen nicht berücksichtigt werden. Effektiv ist damit bei den Variantenrechnungen mit Ausnahme der Variante 3 (vollständiger Abriss) der lichte Durchflussquerschnitt geringer als bei der Kalibrierung.

Bzgl. der Überflutungsflächen in Abb. 7-2 ist die Reduzierung der Ausdehnung der Überflutung von Varianten 1 zu Variante 2 durch den Wegfall der Überflutung auf der Rotweinstraße am deutlichsten zu erkennen. Die Ausdehnung der Überflutung nimmt von Variante 0 bis zu Variante 3 konstant ab. Die Reduzierung der Überflutungsflächen hält sich im Bereich der Bebauung allerdings ins Grenzen.

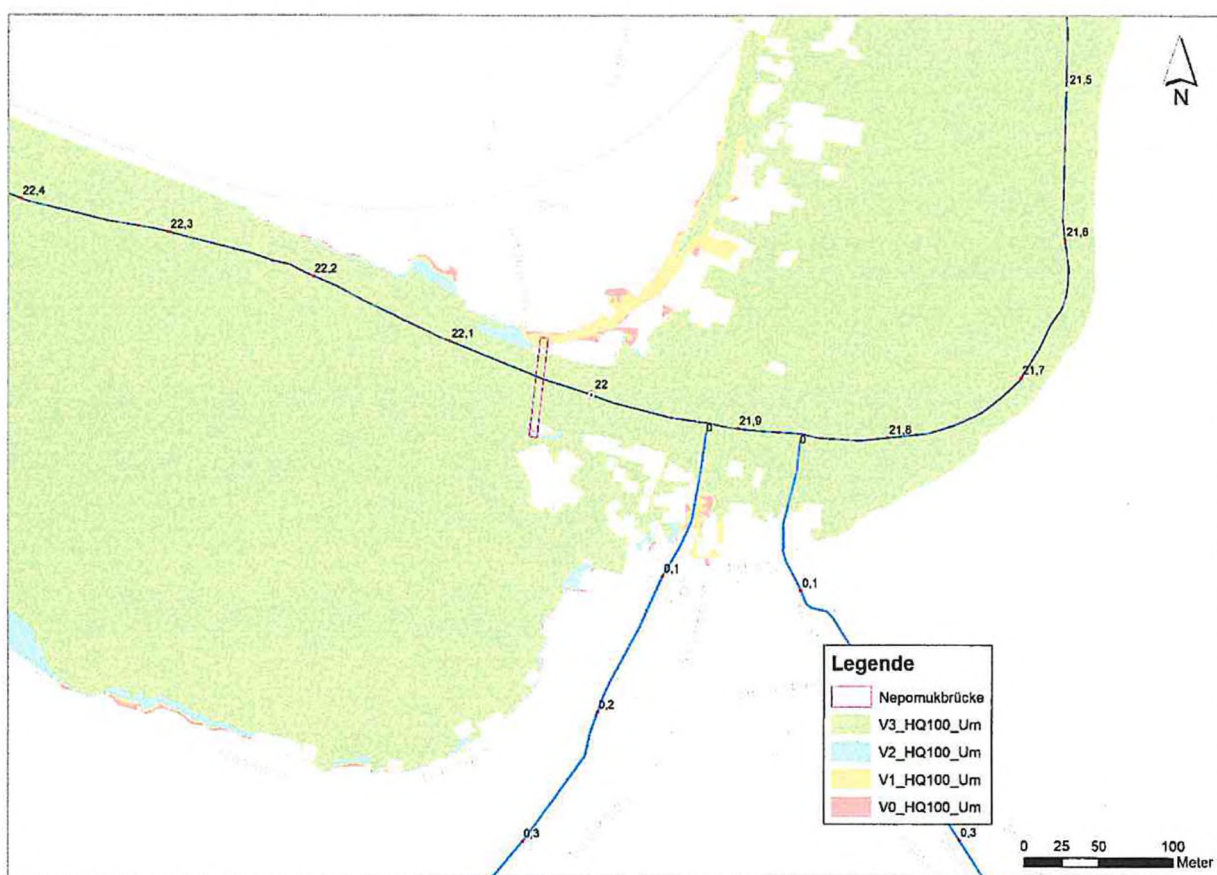


Abb. 7-2: Vergleich der Überflutungsflächen HQ₁₀₀

Die Gebäudebetroffenheit bei den betrachteten Varianten ist vergleichend für die nördliche und südliche Ortslage in den beiden nachfolgenden Abb. 7-3 und Abb. 7-4 dargestellt. Durch das Juliereignis 2021 wurden mehrere Gebäude durch das Hochwasser zerstört bzw. mussten anschließend abgerissen werden. Anhand des Luftbildes DOP40 mit Stand September 2019 wurden diese Gebäude grau hinterlegt und die Gebäudebetroffenheit bei den vier Varianten gegenübergestellt.

Nördlich der Bahntrasse sind weniger betroffene Gebäude durch den reduzierten Rückstau oberhalb der Nepomukbrücke bei Variante 2 und 3 zu erkennen (siehe Abb. 7-3). Die Rotweinstraße am linken Ufer der Ahr wird bei Variante 2 und 3 nicht mehr überströmt, sodass geringere Überflutungsflächen oberhalb des Bahndurchlasses entstehen.

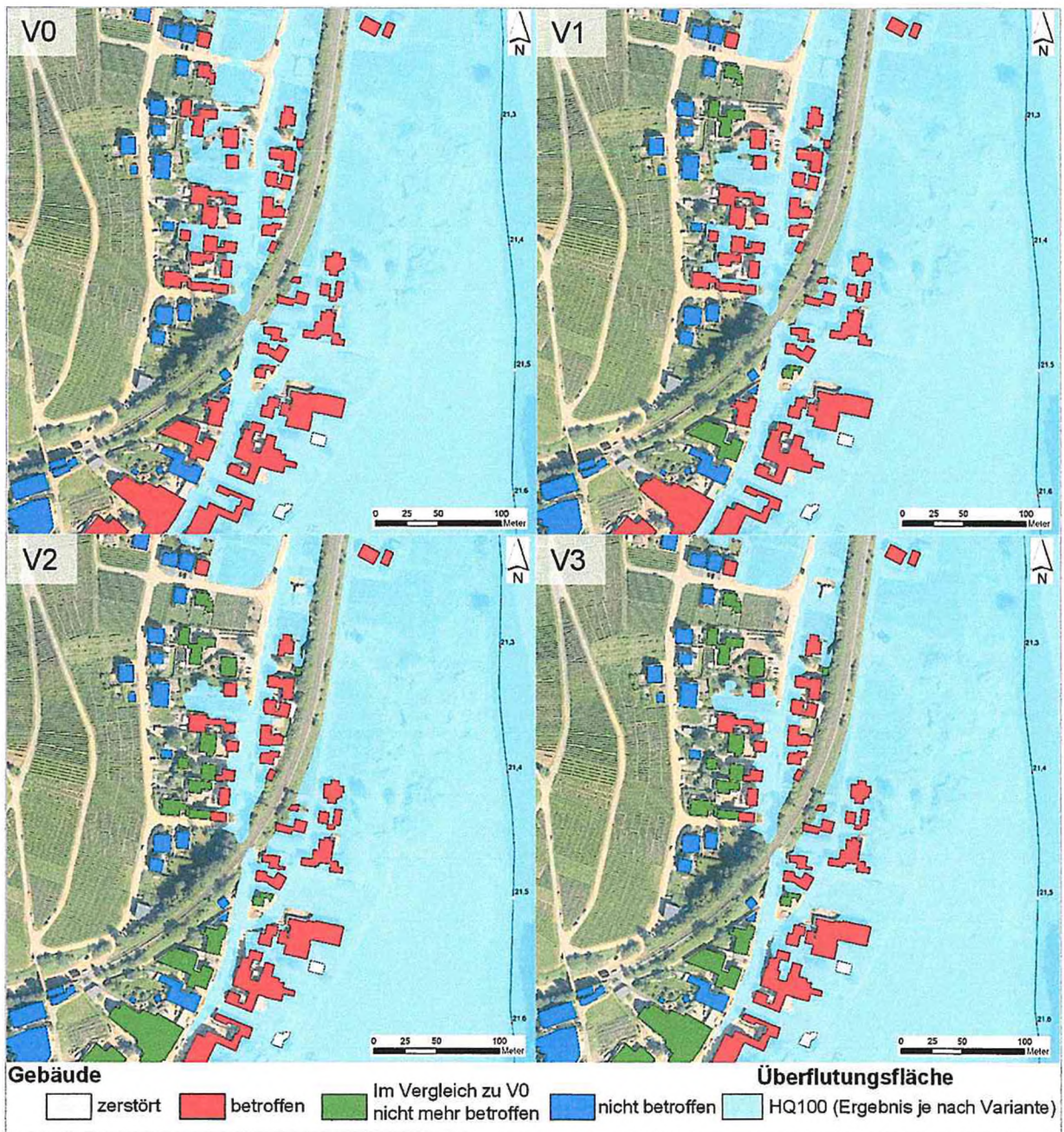


Abb. 7-3: Betroffene Gebäude im Lastfall HQ₁₀₀ der einzelnen Varianten im Norden der Ortslage

In Abb. 7-4 sind durch die fehlende Überflutung der Rotweinstraße bei HQ₁₀₀ in Variante 2 und 3 mehrere Gebäude von den Überflutungen nicht mehr betroffen. Zwischen Variante 0 und 1 wird nur ein Gebäude weniger überflutet. Bei Variante 2 und 3 werden weniger Gebäude innerhalb der Ortslage am rechten Ufer überflutet.

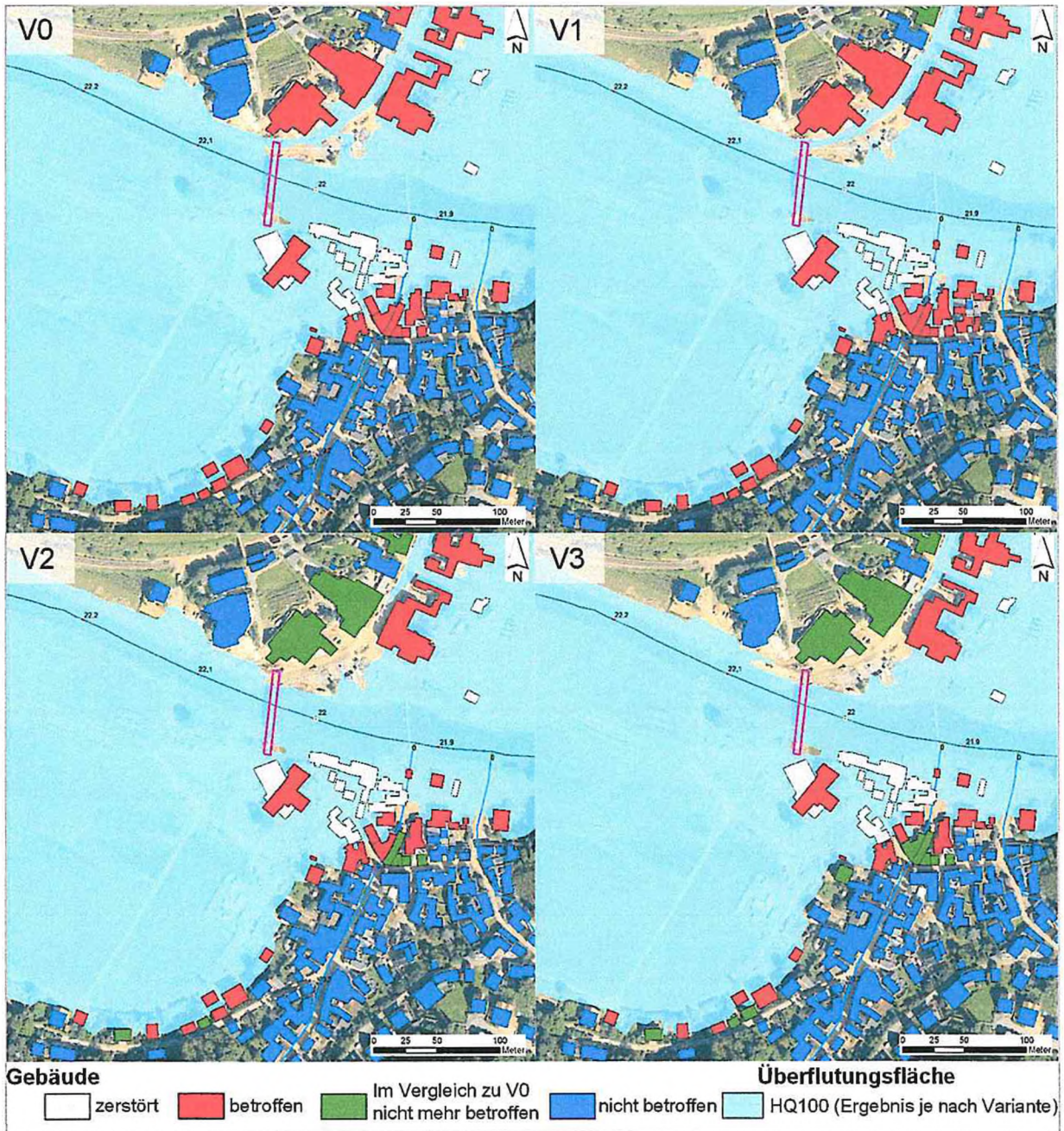


Abb. 7-4: Betroffene Gebäude im Lastfall HQ₁₀₀ der einzelnen Varianten im Süden der Ortslage

Insgesamt werden deutlich weniger Gebäude im Lastfall HQ₁₀₀ bei den Varianten 2 und 3 durch den geringeren Rückstau oberhalb der Nepomukbrücke überflutet (siehe Tab. 7-1). Bei Variante 3 liegt die geringste Gefährdungssituation vor. Zusätzlich wird durch den geringeren Rückstau die Nepomukbrücke weniger umströmt. Die Gefährdung für Gebäude und Anwohner sinkt durch die Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten hier im direkten Bereich der Bebauung.

Tab. 7-1: Betroffene Gebäude im Lastfall HQ₁₀₀

	V0 4 Bögen n-1-Regel	V1 3 Bögen n-1-Regel	V2 2 Bögen n-1-Regel	V3 0 Bögen n-1-Regel
Anzahl betroffener Gebäude				
HQ ₁₀₀	85	82	63	60

In Tab. 7-2 sind die Wasserspiegellagen vergleichend tabellarisch aufgelistet. Bei Variante 1 wird der maximale Rückstau oberhalb der Brücke gegenüber Variante 0 um 5 cm, bei Variante 2 um 12 cm sowie bei Variante 3 um 43 cm abgemindert. Diese Absenkung wirkt sich auf den gesamten Ahr-Oberlauf im Modell oberhalb des Brückenquerschnitts aus. Unterhalb der Brücke ändern sich die Wasserspiegellagen zwischen den einzelnen Varianten nicht.

Tab. 7-2: Vergleich der Wasserspiegellagen der Varianten für den Lastfall HQ₁₀₀

Station	Sohle	V0 4 Bögen n-1-Regel	V1 3 Bögen n-1-Regel	V2 2 Bögen n-1-Regel	V3 0 Bögen n-1-Regel	V0-V1	V0-V2	V0-V3
km	mNHN	mNHN	mNHN	mNHN	mNHN	m	m	m
20.3	121.70	128.48	128.48	128.48	128.48	0.00	0.00	0.00
20.4	122.26	128.52	128.52	128.52	128.52	0.00	0.00	0.00
20.5	122.70	128.54	128.54	128.54	128.54	0.00	0.00	0.00
20.6	123.15	128.58	128.58	128.58	128.58	0.00	0.00	0.00
20.7	123.50	128.71	128.71	128.71	128.71	0.00	0.00	0.00
20.8	123.54	128.86	128.86	128.86	128.86	0.00	0.00	0.00
20.9	123.89	128.93	128.93	128.93	128.93	0.00	0.00	0.00
21	124.59	129.02	129.02	129.02	129.02	0.00	0.00	0.00
21.1	124.66	129.11	129.11	129.11	129.11	0.00	0.00	0.00
21.2	124.67	129.20	129.20	129.20	129.20	0.00	0.00	0.00
21.3	124.87	129.37	129.37	129.37	129.37	0.00	0.00	0.00
21.4	125.06	129.62	129.62	129.62	129.62	0.00	0.00	0.00
21.5	125.28	129.95	129.95	129.95	129.95	0.00	0.00	0.00
21.6	125.76	130.46	130.46	130.46	130.46	0.00	0.00	0.00
21.7	126.01	130.80	130.80	130.80	130.80	0.00	0.00	0.00
21.8	126.34	131.00	131.00	131.00	131.00	0.00	0.00	0.00
21.9	126.77	131.14	131.14	131.13	131.13	0.00	-0.01	-0.02
22	127.20	131.74	131.84	131.84	131.87	0.10	0.11	0.13
22.1	127.65	132.70	132.65	132.58	132.27	-0.05	-0.12	-0.43
22.2	127.77	132.77	132.72	132.65	132.38	-0.05	-0.12	-0.39
22.3	127.99	132.85	132.80	132.74	132.53	-0.04	-0.11	-0.32
22.4	128.19	132.95	132.92	132.87	132.72	-0.03	-0.08	-0.23
22.5	128.40	133.12	133.09	133.06	132.96	-0.03	-0.06	-0.15
22.6	128.59	133.44	133.43	133.41	133.37	-0.01	-0.03	-0.08
22.7	128.71	133.53	133.52	133.50	133.46	-0.01	-0.03	-0.06
22.8	128.88	133.64	133.63	133.62	133.59	-0.01	-0.02	-0.05
Reduzierung der WSP-Lagen								
Erhöhung der WSP-Lagen								

7.2. Lastfall HQ 2021

Vor der Betrachtung des Ergebnisvergleichs der Varianten 0 bis 3 wird noch einmal auf die abstimmungsgemäß vorzunehmenden unterschiedlichen Berechnungsrandbedingungen bzgl. der Durchlasskapazität der Nepomukbrücke bei der Modellkalibrierung einerseits und den Variantenrechnungen andererseits hingewiesen. Im Zustand der Modellkalibrierung wurde die Nepomukbrücke für den Lastfall HQ 2021 als vollständig verlegt betrachtet. Bei den Variantenrechnungen war bzgl. der Durchlassbögen die n-1-Regel anzuwenden. Prinzipiell ist der Bereich der Nepomukbrücke damit bei den Variantenrechnungen hydraulisch leistungsfähiger als bei der Modellkalibrierung.

Im Lastfall HQ 2021 werden die höchsten Wasserspiegellagen ebenfalls bei Variante 0 berechnet, während die niedrigsten bei Variante 3 ausgewiesen werden. Wie in Abb. 7-5 zu erkennen, gilt auch hier: Je größer

die hydraulische Leistungsfähigkeit der Ahr im Bereich des Brückenquerschnitts, desto geringer der Rückstau in das Oberwasser. Während die Nepomukbrücke bei Variante 0 noch deutlich überströmt wird, ist die Überströmung bei Variante 1 nur noch geringfügig. Bei Variante 2 kommt es zu keiner Überströmung des hier noch verbleibenden Brückenquerschnitts.

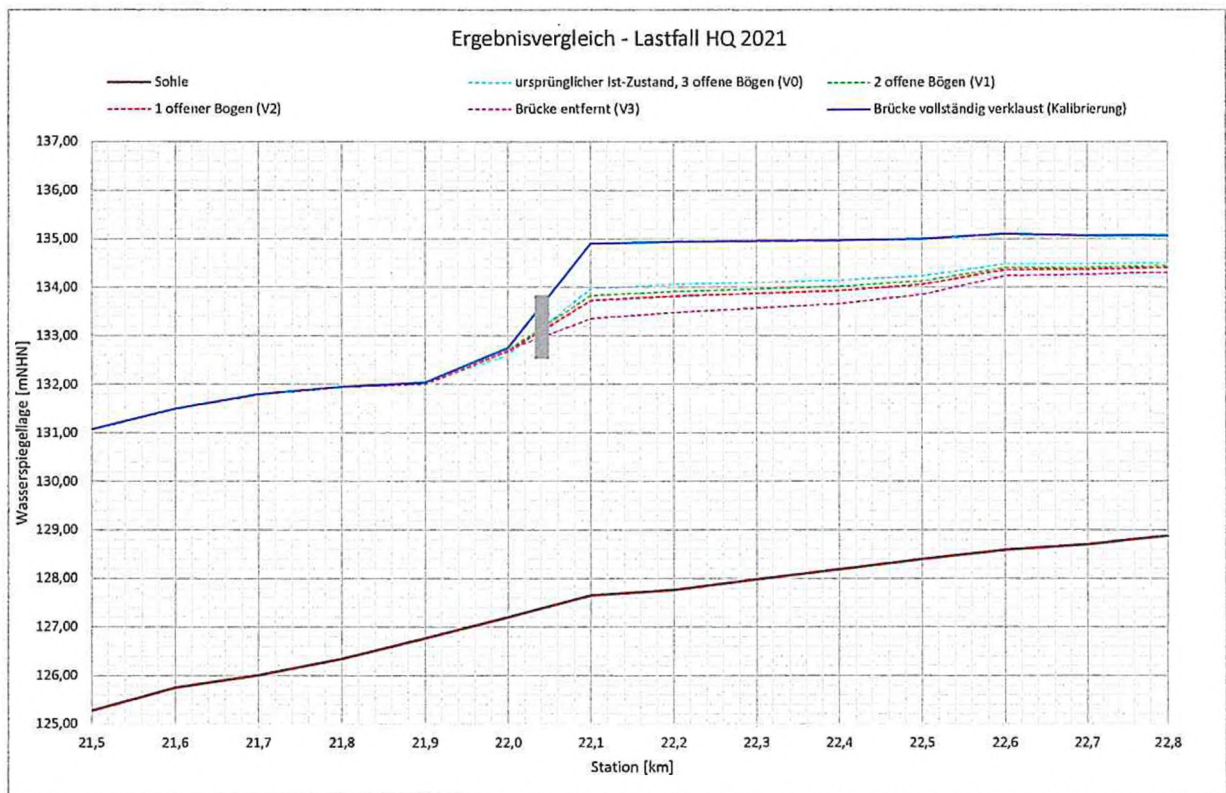


Abb. 7-5: Vergleich aller Varianten für HQ 2021

Im Vergleich zum Zustand bei der Modellkalibrierung liegen die berechneten WSP-Lagen der Variantenrechnungen im Oberwasser der Brücke deutlich niedriger. Im Rahmen der Kalibrierung wurden alle 4 Bögen der Nepomukbrücke als verlegt angenommen, was wahrscheinlich auch den Beobachtungen vor Ort während des Extremereignisses im Juli 2021 entsprochen hat. In Abb. 7-5 ist zu sehen, dass die Differenz in der WSP-Lage oberwasserseitig der Brücke zwischen Kalibrierung (alle 4 Bögen verlegt) und Variante 0 (3 Bögen offen) 0,93 m beträgt. Bei den weiteren Varianten mit weiter rückgebauter (teilweise abgerissener) Nepomukbrücke vergrößert sich diese Differenz mit bis zu 1,18 m weiter. Die größte Differenz stellt sich bei vollständigem Abriss der Nepomukbrücke (Variante 3) mit 1,55 m ein.

Durch die Veränderungen im Bereich der Nepomukbrücke bei Variante 1-3 werden die Wasserspiegellagen im Unterlauf nicht beeinflusst. Oberhalb der Nepomukbrücke sinken die Wasserspiegellagen durch den

reduzierten Rückstau. Durch die vorhandene Engstelle mit höheren Uferböschungen ist die Ahr auch bei vollständigem Abriss der Nepomukbrücke weiterhin im Oberlauf rückstaubeinflusst.

Im Lastfall HQ 2021 haben die Veränderungen im Bereich der Nepomukbrücke nur geringe Auswirkungen auf die Überflutungsflächen (siehe Abb. 7-6). Die geringste Ausdehnung der Überflutung wird bei Variante 3 erreicht.

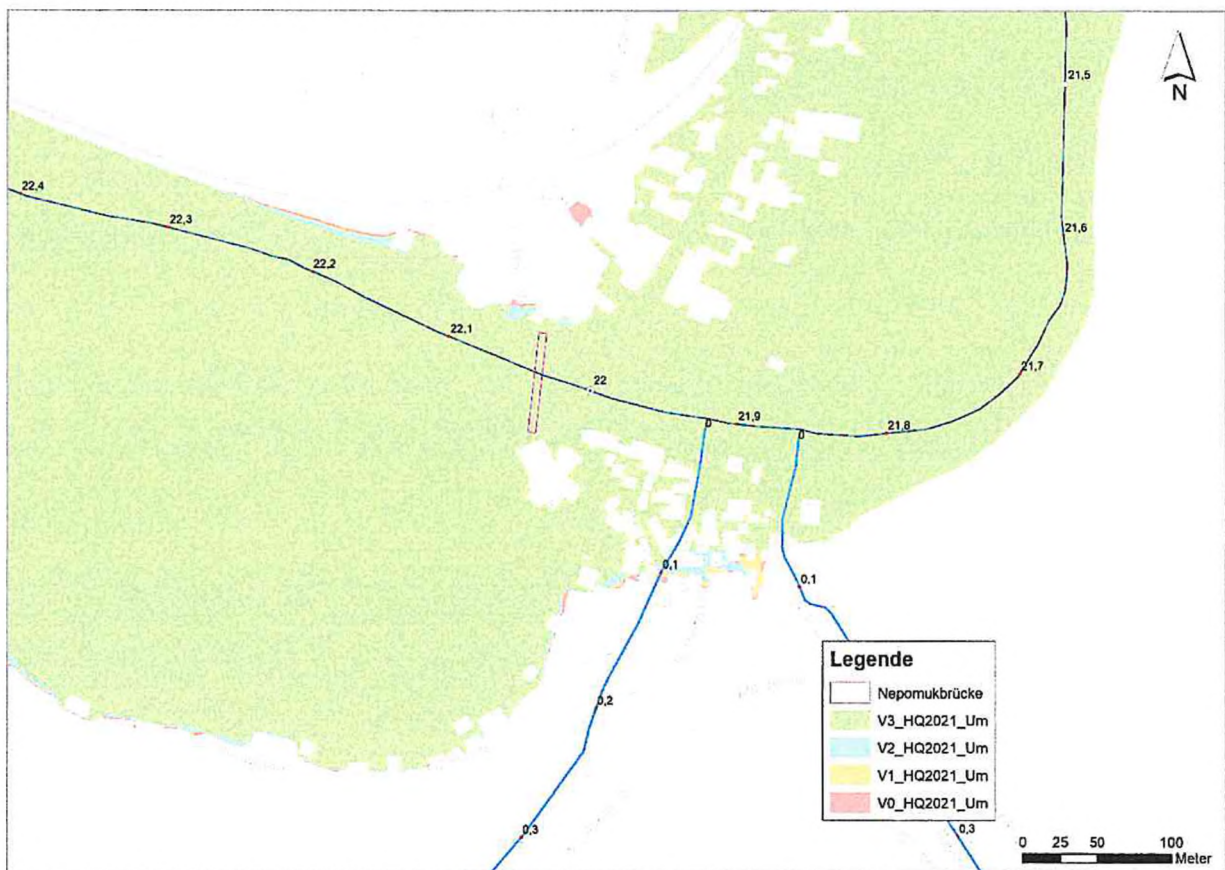


Abb. 7-6: Vergleich der Überflutungsflächen HQ 2021

Durch diese lediglich geringen Unterschiede in den Überflutungsflächen ist nördlich der Bahnlinie bei allen Varianten die gleiche Bebauung betroffen. In Abb. 7-7 sind daher stellvertretend für alle Varianten die betroffenen Gebäude bei HQ 2021 dargestellt.

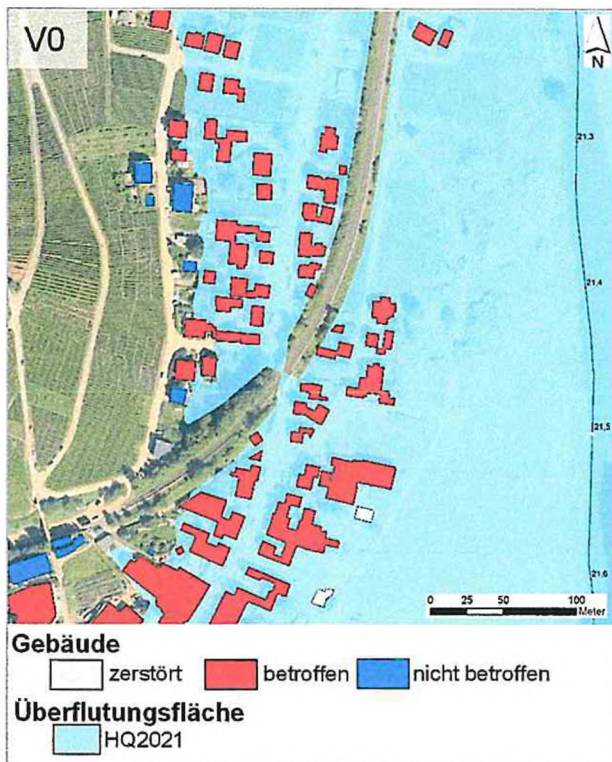


Abb. 7-7: Betroffene Gebäude bei Lastfall HQ 2021 für die nördliche Ortslage

In der südlichen Ortslage werden durch den geringeren Rückstau weniger Gebäude bei den Varianten 1, 2 und 3 überflutet. Die wenigsten Gebäude sind durch den geringsten Rückstau bei Variante 3 betroffen. Die Umströmung der Brücke nimmt bis zur Variante 3 stetig ab. Bei Variante 3 kommt es zu den geringsten Überflutungsflächen und Fließgeschwindigkeiten und damit zur geringsten Gefährdung für Gebäude und die Anwohner.

In Tab. 7-3 ist die Anzahl der betroffenen Gebäude im Lastfall HQ 2021 aufgelistet. Die Reduzierung der Anzahl der betroffenen Gebäude ist bei HQ 2021 etwas geringer als bei HQ₁₀₀. Der größte Unterschied ergibt sich bei Variante 3 im Vergleich zu Variante 0.

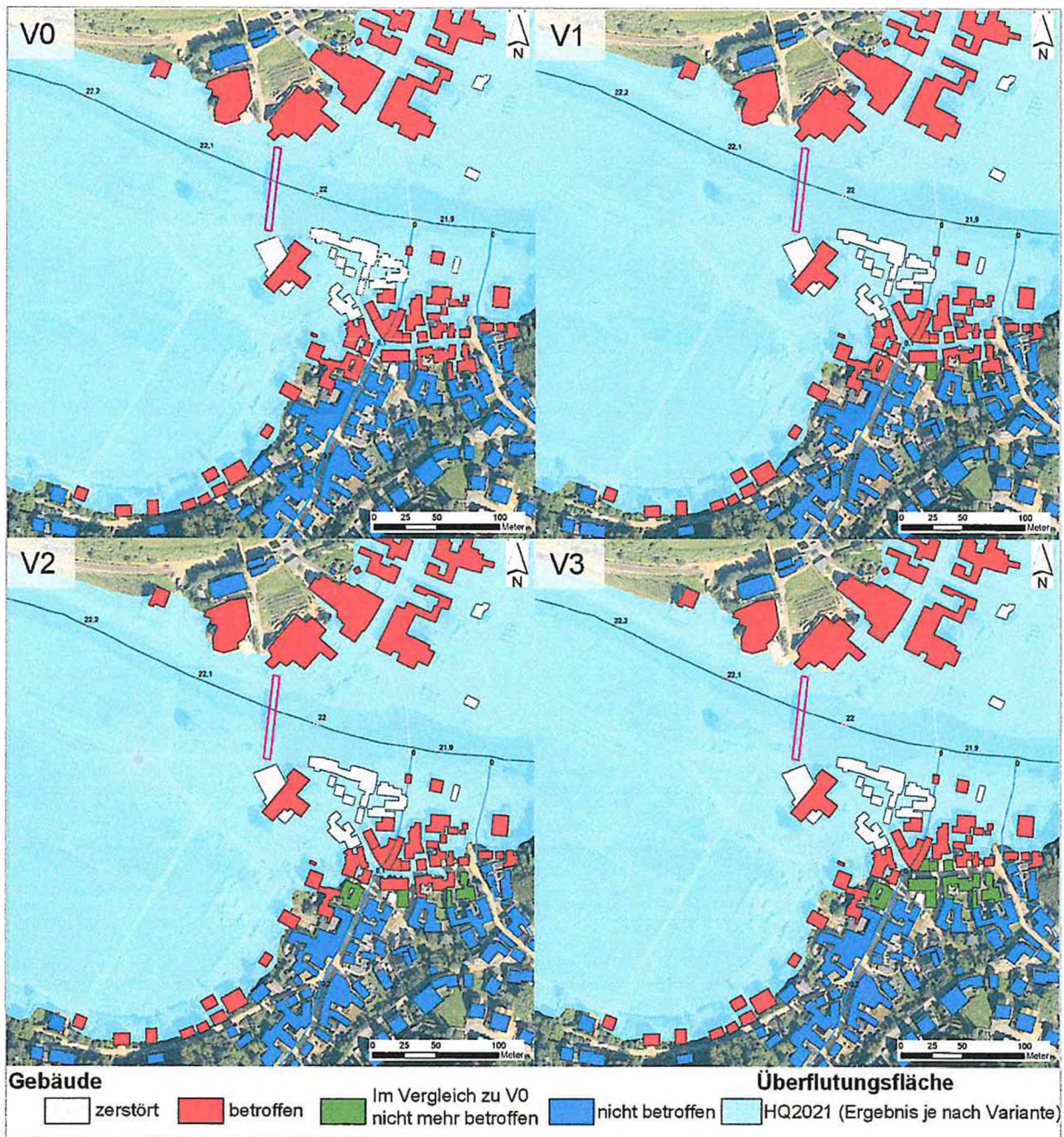


Abb. 7-8: Betroffene Gebäude im Lastfall HQ 2021 für die südliche Ortslage

Tab. 7-3: Betroffene Gebäude im Lastfall HQ 2021

	V0	V1	V2	V3
Anzahl betroffener Gebäude	4 Bögen n-1-Regel	3 Bögen n-1-Regel	2 Bögen n-1-Regel	0 Bögen n-1-Regel
HQ 2021	115	114	112	107

In Tab. 7-4 sind die Wasserspiegellagen im Modellbereich für die berechneten Varianten aufgelistet. Der Vergleich mit der Variante 0 zeigt eine maximale Reduzierung der Wasserspiegellagen von 15 cm bei Variante 1, 24 cm bei Variante 2 und 62 cm bei Variante 3 (jeweils gegenüber Variante 0).

Unmittelbar unterhalb der Nepomukbrücke bei km 22 werden bei Variante 1 11 cm höhere Wasserspiegellagen erreicht, da die hydraulische Leistungsfähigkeit des Brückenquerschnitts steigt und sich dadurch auch der Abfluss durch den Brückenquerschnitt erhöht, während sich die Umströmung reduziert. Bei Variante 2 werden ebenfalls 7 cm höhere Wasserspiegellagen an dieser Stelle erreicht. Das ist eine etwas geringere Erhöhung, da hier im Gegensatz zu Variante 1 keine Überströmung mehr stattfindet. Durch die deutlich höhere hydraulische Leistungsfähigkeit des ehemaligen Brückenquerschnitts bei Variante 3 werden wieder höhere Wasserspiegellagen mit 11 cm erreicht.

Durch die Reduzierung des Rückstaus oberhalb der Nepomukbrücke bei den Varianten 1-3 gegenüber Variante 0 kommt es auch beim Lastfall HQ 2021 zu einer geringeren Umströmung durch die Ortslage auf der rechten Uferseite. Folglich werden hier auch geringere Fließgeschwindigkeiten berechnet, womit sich die Gefährdungssituation in der angrenzenden Bebauung reduziert.

Tab. 7-4: Vergleich der Wasserspiegellagen der Varianten für den Lastfall HQ 2021

Station	Sohle	V0 4 Bögen n-1-Regel	V1 3 Bögen n-1-Regel	V2 2 Bögen n-1-Regel	V3 0 Bögen n-1-Regel	V0-V1	V0-V2	V0-V3
km	mNHN	mNHN	mNHN	mNHN	mNHN	m	m	m
20.3	121.70	129.95	129.95	129.95	129.95	0.00	0.00	0.00
20.4	122.26	130.00	130.00	130.00	130.00	0.00	0.00	0.00
20.5	122.70	130.02	130.02	130.02	130.02	0.00	0.00	0.00
20.6	123.15	130.06	130.06	130.06	130.06	0.00	0.00	0.00
20.7	123.50	130.15	130.15	130.15	130.15	0.00	0.00	0.00
20.8	123.54	130.25	130.25	130.25	130.25	0.00	0.00	0.00
20.9	123.89	130.31	130.31	130.31	130.31	0.00	0.00	0.00
21	124.59	130.38	130.38	130.38	130.38	0.00	0.00	0.00
21.1	124.66	130.45	130.45	130.45	130.45	0.00	0.00	0.00
21.2	124.67	130.51	130.51	130.51	130.51	0.00	0.00	0.00
21.3	124.87	130.65	130.65	130.65	130.65	0.00	0.00	0.00
21.4	125.06	130.82	130.82	130.82	130.82	0.00	0.00	0.00
21.5	125.28	131.07	131.07	131.07	131.07	0.00	0.00	0.00
21.6	125.76	131.50	131.50	131.50	131.50	0.00	0.00	0.00
21.7	126.01	131.80	131.79	131.79	131.80	0.00	0.00	0.00
21.8	126.34	131.96	131.96	131.95	131.96	0.00	-0.01	-0.01
21.9	126.77	132.01	132.02	132.00	132.00	0.00	-0.01	-0.01
22	127.20	132.61	132.72	132.68	132.72	0.11	0.07	0.11
22.1	127.65	133.98	133.83	133.73	133.36	-0.15	-0.24	-0.62
22.2	127.77	134.06	133.92	133.82	133.49	-0.14	-0.24	-0.58
22.3	127.99	134.10	133.97	133.88	133.57	-0.14	-0.23	-0.53
22.4	128.19	134.15	134.02	133.94	133.67	-0.13	-0.21	-0.48
22.5	128.40	134.24	134.13	134.06	133.86	-0.11	-0.18	-0.38
22.6	128.59	134.49	134.41	134.36	134.24	-0.08	-0.12	-0.24
22.7	128.71	134.49	134.42	134.38	134.27	-0.07	-0.11	-0.22
22.8	128.88	134.51	134.45	134.41	134.31	-0.06	-0.09	-0.19
<div style="background-color: #d9ead3; padding: 2px;">Reduzierung der WSP-Lagen</div> <div style="background-color: #f4cccc; padding: 2px;">Erhöhung der WSP-Lagen</div>								

8. Fazit

Für den Bereich Rech wurde zur hydraulischen Untersuchung der Nepomukbrücke ein 2-dimensionales Hydraulikmodell für die Ahr für den ursprünglichen Ist-Zustand mit der intakten Nepomukbrücke erstellt. Das Modell wurde mit den zur Verfügung gestellten Anschlaglinien für HQ₁₀₀ und HQ 2021 plausibilisiert.

Von der unteren Denkmalschutzbehörde wurden zu berechnende Varianten und zugehörige Randbedingungen für die hydraulische Berechnung vorgegeben. Die Ergebnisse zeigen, dass je größer der Abflussquerschnitt im Bereich der Nepomukbrücke ist, desto geringer fallen die Wasserspiegellagen und die Fließgeschwindigkeiten im Nahbereich der Brücke aus. Bei größerem Abflussquerschnitt wird der Rückstau in das Oberwasser geringer und mit diesem auch die Umströmung der Nepomukbrücke durch die Ortslage Rech. Bei niedrigeren WSP-Lagen in diesem Bereich kommt es nicht zu einer Umströmung des Bauwerks, dementsprechend geringer fallen die Fließgeschwindigkeiten im Bereich in der angrenzenden Bebauung aus wodurch sich die Gefährdungslage für die dortigen Anlieger reduziert.

Berechnet wurden Zustände zur Kalibrierung des hydraulischen Modells sowie 4 Varianten mit unterschiedlichen Zuständen der Nepomukbrücke (Anzahl der durchströmbaren lichten Durchlassbögen). Bzgl. der abgestimmten Randbedingungen für die Modellkalibrierung zeigen sich signifikante Unterschiede in den Ergebnissen beim Lastfall HQ 2021. Im Rahmen der Kalibrierung wurden alle 4 Bögen als verlegt (verklaut) angesetzt während bei den Variationsrechnungen unter Ansatz der n-1-Regel alle verbleibenden Bögen bis auf jeweils einen als abflusswirksam in die Berechnung eingegangen sind. Der bei der Kalibrierung abgebildete Zustand der vollständigen Verlegung wurde während des Extremereignisses vom Juli 2021 auch in dieser Form an der Nepomukbrücke beobachtet und dokumentarisch festgehalten. Diese Berechnungsergebnisse liegen zudem auf der sicheren Seite und sollten als maßgeblich für den weiteren ergebnisvergleich angesehen werden.

Der Abriss der Nepomukbrücke (Variante 3) und somit der freie Fließquerschnitt wirkt sich in dem geringsten Rückstau in das Oberwasser in den betrachteten Lastfällen sowie den niedrigsten Wasserspiegellagen und Fließgeschwindigkeiten aus. Dies gilt insbesondere im Vergleich zu dem während des Extremereignisses vom Juli 2021 beobachteten Zustand, der im Rahmen der Modellkalibrierung abgebildet und hydraulisch berechnet wurde. Oberwasserseitig der Brücke ergeben sich bei der Variante 3 hier um bis zu 1,55 m niedrigere WSP-Lagen. Bei Variante 3 wird weiterhin die geringste Anzahl an Gebäuden überflutet. Der vollständige Abriss der noch zum Teil bestehenden Nepomukbrücke stellt damit die beste Option im Hinblick auf die Reduzierung der Gefährdung der Anwohner und der Bebauung in Rech vor Überflutung dar.

Darüber hinaus ist zu konstatieren, dass jeder einzelne Rundbogen des verbleibenden Brückenbauwerks im Katastrophenfall verlegt sein kann. Der vollständige Abriss der Nepomukbrücke stellt dahingehend die

sicherste Option gegen mögliche Szenarien der Verklausung bei Erhalt oder auch Teilerhalt der noch bestehenden Nepomukbrücke dar. Die in den Varianten 1 (aktueller Zustand) und 2 (Abriss eines weiteren Bogens) noch vorhandenen Rundbögen weisen sehr geringe Freiborde im Lastfall HQ₁₀₀ und kein Freibord im Lastfall HQ 2021 auf. Die Gefahr der Verklausung ist daher sicher vorhanden.

Die Erkenntnisse aus den statischen Berechnungen zeigen, dass im gegenwärtigen Zustand die Standsicherheit des Restbauwerkes der Nepomukbrücke bei einem extremen Ereignis nicht mehr gegeben ist. Beim Versagen der noch verbleibenden Rundbögen bei einem weiteren Ereignis höherer Jährlichkeit ist von weiteren Gefahren, wie z.B. der Entstehung einer Stoßwelle auszugehen.

Zusammenfassend wird der vollständige Abriss der Nepomukbrücke aus den folgenden wasserwirtschaftlichen Gründen empfohlen:

- Jeder noch vorhandene Brückenbogen des Bauwerks birgt die Gefahr der Verlegung im Hochwasserfall. Dies kann im Katastrophenfall zu Rückstau und gefährlichen Stoßwellen bei Versagen der verbleibenden Brückenbögen führen.
- Die hydraulische Leistungsfähigkeit der Ahr im Bereich der Ortslage ist bei vollständigem Abriss der Brücke am größten.
- Der Rückstau oberhalb der Brücke reduziert sich den Variantenrechnungen bei vollständigem Abriss der Brücke um 43 cm bei HQ₁₀₀ und um deutliche 62 cm bei HQ 2021.
- Im Vergleich zu dem beobachteten Szenario während des Extremereignisses vom Juli 2021 mit vollständig verlegter Nepomukbrücke stellen sich bei vollständigem Abriss des Bauwerks oberwasserseitig um bis 1,55 m niedrigere WSP-Lagen ein.
- Bei vollständigem Abriss der Brücke kommt es zu den geringsten Überflutungsausdehnungen und Fließgeschwindigkeiten in der Ortslage im Rahmen der untersuchten Varianten.
- Bei vollständigem Abriss der Brücke werden in Relation zu Variante 0 mit 4 Bögen 25 der noch bestehenden Gebäude nicht mehr bei HQ₁₀₀ überflutet. 8 Gebäude werden nicht mehr bei HQ 2021 überflutet.
- Die Standsicherheit des Restbauwerkes ist bei einem extremen Hochwasserereignis nicht mehr gewährleistet.
- Der vollständige Abriss der Nepomukbrücke bewirkt eine deutliche Reduzierung der Gefährdung von Anwohnern und noch vorhandenen Gebäuden im Nahbereich der Ahr in Rech.

Der Bereich der Nepomukbrücke stellt eine Engstelle der Ahr dar. Auch bei vollständigem Abriss der Nepomukbrücke sollte der Ahr im Bereich der Ortslage Rech mehr Raum (Fließquerschnitt) gegeben werden, um Fließgeschwindigkeiten und Wasserspiegellagen im Bereich der Ortslage nach Möglichkeit zu reduzieren. Auch ohne Brückenbauwerk sind die sich hier einstellenden Fließgeschwindigkeiten deutlich gegenüber den oberhalb und unterhalb anschließenden Abschnitten erhöht. Dementsprechend ausgeprägt sind die angreifenden erosiven Kräfte auf Gewässersohle und Gewässerböschungen im Hochwasserfall.

In Zukunft wird erwogen, einen Ersatzneubau der Brücke für den Autoverkehr oberhalb der Ortslage Rech anzuordnen. Dieser Bereich befindet sich außerhalb der Engstelle des Gewässers oberhalb der Nepomukbrücke. Hier würde, je nach konstruktiver Ausgestaltung der Brücke, ein größerer Abflussquerschnitt der Ahr erhalten bleiben. Eine im Vergleich zur alten Konstruktion der Nepomukbrücke geringere Gefährdung der Ortslage würde hiermit einher gehen. Unterhalb der Nepomukbrücke soll eine Fußgängerbrücke zur Verbindung der beidseitig der Ahr gelegenen Ortsteile entstehen. Diese Brücke sollte bzgl. Widerlager, etwaiger Pfeiler und Brückenkörper so konzipiert werden, dass der freie Abflussquerschnitt der Ahr nicht bzw. nur in sehr geringem Maße beeinflusst wird.