Gewässerrandstreifenprojekt "Untere Havelniederung zwischen Pritzerbe und Gnevsdorf"

Unterlage zur Genehmigungsplanung

Hydrodynamische Modellierung der SH Rathenow im Rahmen der Nachweisführung zum Maßnahmenkomplex 10

im Auftrag des Naturschutzbundes Deutschland e. V.

Verfasser:
Dipl.-Ing. Jan Feldmann
apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Milbradt

Redaktionelle Bearbeitung:
Dipl.-Ing. agr. Marianne Uden

© smile consult GmbH

Alle Rechte vorbehalten. Die Unterlagen dürfen nur nach Zustimmung der smile consult GmbH kopiert, vervielfältigt oder in andere Sprachen übersetzt werden.

Hannover, den 19.06.2019

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Milbradt

smile consult GmbH
Schiffgraben 11
30159 Hannover

Tel.: 0511 / 54 36 17 - 40
Fax: 0511 / 54 36 17 - 66

info@smileconsult.de
www.smileconsult.de

Inhaltsverzeichnis

1. VERANLASSUNG 7

2. VORGEHENSWEISE 8
2.1. Abgestimmte Maßnahmen nach der Optimierung 8
2.2. Rauheitenmodell PLZ 10
2.3. Untersuchte Szenarien 10
2.3.1. Stationäre statistische Ereignisse 11
2.3.2. Havelhochwasser 1984 12
2.3.3. Landwirtschaftsvariante 13

3. NACHWEISPARAMETER UND MODELLERGEBNISSE 14
3.1. Untersuchungen zur Hochwasserneutralität 14
3.1.1. Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen 14
3.1.1.1. Statistische Ereignisse von NNQ bis HHQ 14
3.1.1.2. Havelhochwasser 1984 17
3.1.2. Auswirkungen auf Überflutungsflächen 18
3.1.2.1. Statistische Ereignisse von NNQ bis HHQ 18
3.2. Fließgeschwindigkeiten 21
3.2.1. Statistische Ereignisse von NNQ bis HHQ 21
3.2.2. Havelhochwasser 1984 23
3.3. Durchflüsse Altarm und Flutrinne 24
3.4. Aktivierung der Flutrinnen 26
3.5. Bestimmung der Schubspannungen 26
3.5.1. Statistische Ereignisse von NNQ bis HHQ 26
3.5.2. Havelhochwasser 1984 28

4. ZUSAMMENFASSUNG 30

5. LITERATURVERZEICHNIS 31

6. ANLAGEN ZUM BERICHT 32

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Maßnahmen im MK 10 10

Abbildung 2: Vergleich der Wasserstands-Durchflussbeziehungen aufgrund unterschiedlicher Zeitreihen 12

Abbildung 3: Instationäres Ereignis „Havelhochwasser 1984“ (01.01. – 31.01.1984) 13

Abbildung 4: Übersicht über Wasserspiegelverläufe der Havel (Nachweisrechnungen, PLZ) 15

Abbildung 5: Wasserspiegel im IST und PLZ sowie Differenz PLZ-IST, WiMQ 16

Abbildung 6: Maßnahmenbedingte Änderungen der Wasserstände am UP Bahnitz (UHW-km 82,1) 17

Abbildung 7: Wasserstand am Einstromrand MK 10 (UHW-km 82,1), Hochwasserereignis 1984 18

Abbildung 8: Überflutungsfläche WiMQ, MK 10 19

Abbildung 9: Relative Änderung der Überflutungsflächen in der SH Rathenow im PLZ 21

Abbildung 10: Strömungsgeschwindigkeit im PLZ, HQ2 22

Abbildung 11: Differenz der Strömungsgeschwindigkeit (PLZ-IST), HQ2 22

Abbildung 12: Maximale Strömungsgeschwindigkeit im PLZ, Hochwasserereignis 1984 23

Abbildung 13: Differenz der max. Strömungsgeschwindigkeit (PLZ-IST), Hochwasserereignis 1984 24

Abbildung 14: Lage des Altarms und der Flutrinne im MK 10 25

Abbildung 15: Schubspannung im PLZ, HQ2 27

Abbildung 16: Differenz der Schubspannung (PLZ-IST), HQ2 27

Abbildung 17: Maximale Schubspannung im PLZ, Hochwasserereignis 1984 29

Abbildung 18: Differenz der max. Schubspannung (PLZ-IST), Hochwasserereignis 1984 29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Maßnahmen des MK 10 9

Tabelle 2: Modellrandbedingungen (WSA Brandenburg - PEP) 11

Tabelle 3: Wasserspiegellage am Einstromrand (UP Bahnitz, UHW-km 82,1) 16

Tabelle 4: Überflutungsflächen in der SH Rathenow für IST und PLZ 20

Tabelle 5: Durchflüsse durch Altarm und Flutrinne MK 10 25

Abkürzungen

HHQ	Höchster bekannter Abfluss
HQ	Höchster Abfluss gleichartiger Zeitabschnitte in der betrachteten Zeitspanne
IST	Ist-Zustand
MEI	Zustand nach Einstellung eines morphodynamischen Gleichgewichts auf der Basis des IST
MEV	Zustand nach Einstellung eines morphodynamischen Gleichgewichts auf der Basis des PLZ
MHQ	Mittlerer höchster Abfluss gleichartiger Zeitabschnitte in der betrachteten Zeitspanne
MK	Maßnahmenkomplex
MNQ	Mittlerer niedrigster Abfluss gleichartiger Zeitabschnitte in der betrachteten Zeitspanne
MQ	Mittelwert des Abflusses gleichartiger Zeitabschnitte in der betrachteten Zeitspanne
NABU	Naturschutzbund Deutschland e. V.
NHN	Normalhöhennull
NNQ	Niedrigster bekannter Abfluss
OP	Oberpegel
PEP	Pflege und Entwicklungsplan
PLZ	Plan-Zustand, Zustand nach Abschluss der Baumaßnahme
SH	Stauhaltung
SoMQ	Mittelwert des Abflusses gleichartiger Zeitabschnitte im Sommerhalbjahr
UHW	Untere Havel-Wasserstraße
UP	Unterpegel
WiMQ	Mittelwert des Abflusses gleichartiger Zeitabschnitte im Winterhalbjahr
WSA	Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt

1. Veranlassung

Die smile consult GmbH wurde im Januar 2016 vom Naturschutzbund Deutschland e. V. - vertreten durch das NABU-Institut für Fluss- und Auenökologie - beauftragt, für die SH Rathenow hydrodynamische Simulationsmodelle aufzubauen, zu kalibrieren und zu validieren. Der Modellaufbau der SH Rathenow und die Validierung des hydronumerischen Simulationsmodells sind in einem gesonderten Bericht dargestellt und liegen als Anlage bei.

Mit dem validierten Simulationsmodell wurden zunächst Modellrechnungen zur Optimierung und Bewertung der Einzelmaßnahmen durchgeführt und abschließend auf der Basis einer wasserbaulichen Systemanalyse die hydraulischen Nachweise für die Genehmigungsplanung des MK 10 erbracht.

Der MK 10 liegt im Land Brandenburg in der SH Rathenow zwischen Mögelin und der Wehranlage Rathenow (UHW-km 98,4 und UHW-km 102,9).

Die Maßnahmen des MK 10 werden kumulativ mit den anderen in der SH Rathenow liegenden MK 8, 9, 11 und 12 sowie der flankierenden Maßnahme Grubenlanke betrachtet.

2. Vorgehensweise

Nach erfolgreicher Festlegung der Maßnahmen infolge der Optimierung werden die hydraulischen Nachweise für die Genehmigungsplanung in Form einer wasserbaulichen Systemanalyse erbracht. Diese prognostiziert auf der Basis von Modelluntersuchungen der Zustände

- IST: Ist-Zustand mit der aktuellen Sohle aus der Vermessung 2016
- PLZ: Planungszustand (Ist-Zustand mit eingeprägten Maßnahmen, d. h. nach Umsetzung der Maßnahmen der MK 8, 9, 10, 11 und 12 sowie der flankierenden Maßnahme Grubenlanke)

die durch die Maßnahmen induzierten Veränderungen.

Zur Beurteilung der Entwicklung der maßnahmenbedingten hydrodynamischen und hydraulischen Veränderungen über einen längeren Zeitraum werden zusätzlich morphodynamische Simulationen über einen Zeitraum von 10 Jahren durchgeführt. Die sich dabei einstellenden morphodynamischen Gleichgewichtsgewässersohlen des

- MEI: morphologischer Endzustand IST und
- MEV: morphologischer Endzustand PLZ

dienen als Basis zur Prognose der langfristigen hydrodynamischen Betroffenheiten. Die morphodynamischen Modelluntersuchungen der SH Rathenow werden in separaten Berichten dargestellt (SMILE CONSULT GMBH, 2019). Die Darstellung der langfristig zu erwartenden Änderungen hydrodynamischer Parameter auf der Basis von MEI und MEV erfolgt in diesem Bericht.

Durch die Untersuchung stationärer und instationärer hydrodynamischer Verhältnisse werden die geplanten Maßnahmen bzgl.

- Hochwasserneutralität und Niedrigwasserrobustheit
- Veränderung der Überflutungsflächen und der Wassertiefen im Gerinne und auf den Flächen der Aue
- Nachweis der Schubspannungen und Fließgeschwindigkeiten im Gerinne und auf den Fließflächen der Aue
- Standsicherheitsnachweise

abschließend beurteilt.

2.1. Abgestimmte Maßnahmen nach der Optimierung

Der Aufbau des PLZ erfolgt über den Einbau der im Zuge der Optimierung entwickelten Maßnahmen in das Modell des IST.

In der Tabelle 5 sind die Maßnahmen des MK 10 zusammengestellt und in der Abbildung 1 dargestellt.

Bei der Deckwerksentsiegelung wird die Oberfläche des PLZ um 20 cm gegenüber dem IST erhöht (70 cm Übersandung-50 cm Deckwerkssteine).

Bei der Deckwerksübersandung wird die Oberfläche des PLZ um 50 cm gegenüber dem IST erhöht (50 cm Übersandung).

Maßnahme	Einzel-maßnahme	UHW-km		Uferseite	Abtragskote	Mittlere OK Deckwerk	Mittlerer Deckwerks-fuß	Mittlere OK Verwallung
		von	bis	-	m ü NHN	m ü NHN	m ü NHN	m ü NHN
Deckwerksentfernung	D_Ra_11_01	102,60	103,30	rechts	-	27,60	25,00	-
Deckwerksübersandung	Sd_Ra_02a	101,59	101,61	links	-	-	-	-
	Sd_Ra_02b	101,54	101,56	links	-	-	-	-
	Sd Ra 02c	101,44	101,48	links	-	-	-	-
	Sd Ra 02d	101,28	101,33	links	-	-	-	-
	Sd Ra 02e	101,15	101,21	links	-	-	-	-
	Sd Ra 02f	101,04	101,10	links	-	-	-	-
	Sd Ra 03a	100,96	101,06	links	-	-	-	-
	Sd Ra 03b	100,69	100,76	links	-	-	-	-
	Sd Ra 04a	100,05	100,20	rechts	-	-	-	-
	Sd Ra 04b	99,86	100,01	rechts	-	-	-	-
	Sd Ra 04c	99,25	99,85	rechts	-	-	-	-
	Sd Ra 07a	98,75	98,83	rechts	-	-	-	-
	Sd Ra 07b	98,68	98,71	rechts	-	-	-	-
Flutrinnen	Fl Ra 11 03	100,26	100,36	rechts	27,20	-	-	27,45
Verwallung	D Ra 11 1	102,60	102,93	rechts	27,20			27,70
Altarmanschluss	Ra AaN 11 04a	99,52	100,10	rechts	25,85	-	-	-
Auftragsflächen	Ra AaN 11 04a 1	99,67	100,18	rechts	-	28,30	-	-
Deichschlitzungen	Deichrückbau 1a	100,95	100,97	links	27,10	-	-	-
	Deichrückbau 1b (Graben)	100,94	100,95	links	26,00	-	-	-
	Deichrückbau 1c	100,73	100,94	links	27,10	-	-	-
	Deichrückbau 3	100,21	100,33	links	27,20	-	-	-
	Deichrückbau 4a	99,92	100,00	links	27,20	-	-	-
	Deichrückbau 4b	99,90	99,91	links	27,40	-	-	-
	Deichrückbau 4c (Graben)	99,91	99,92	links	26,20	-	-	-
	Deichrückbau 5b	99,49	99,57	links	27,20	-	-	-
	Deichrückbau 5c	99,38	99,40	links	27,70	-	-	-
	Deichrückbau 5d (Graben)	99,37	99,38	links	26,20	-	-	-
	Deichrückbau 5e	99,36	99,37	links	27,70	-	-	-

Tabelle 1: Maßnahmen des MK 10

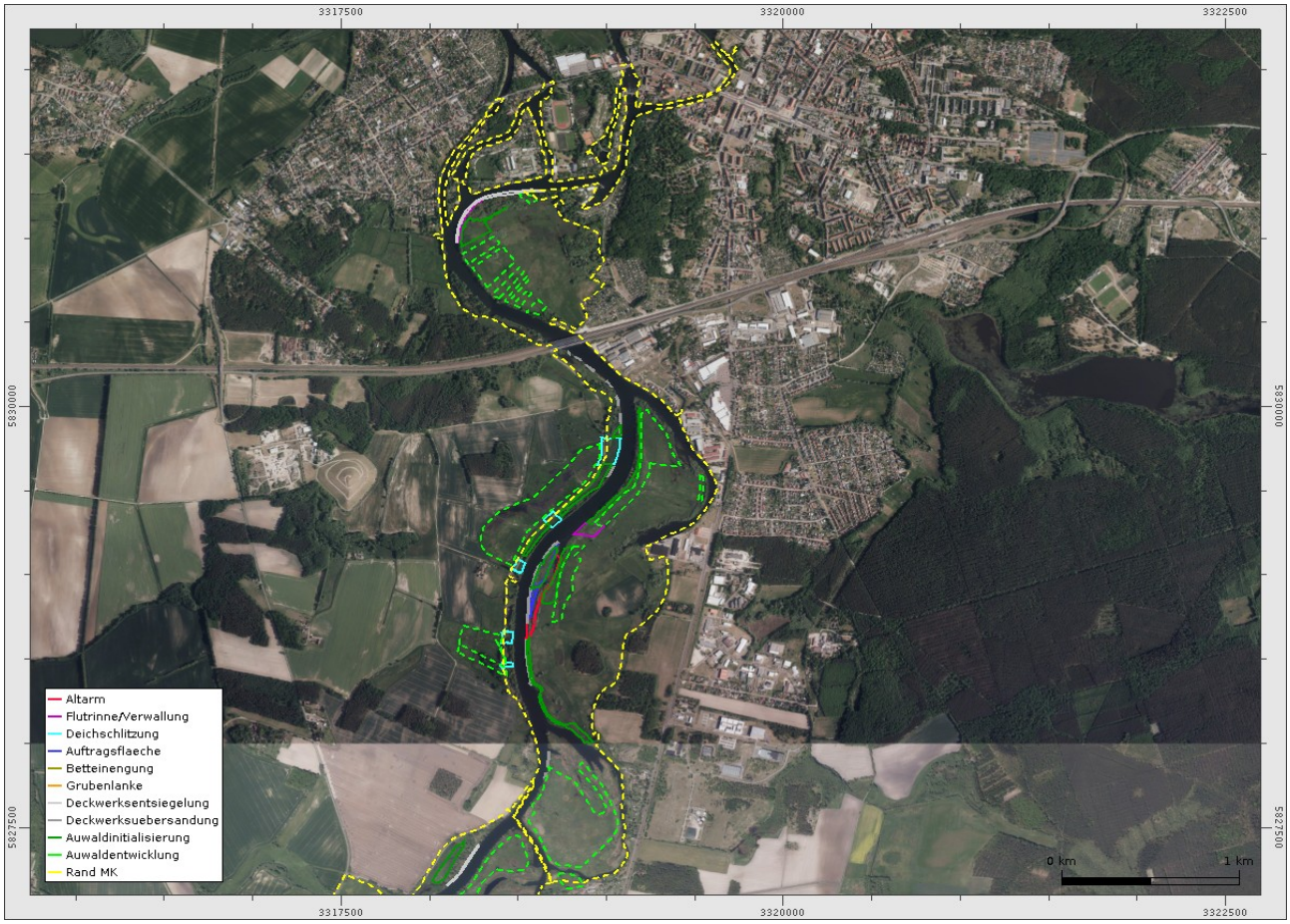

Abbildung 1: Lage der Maßnahmen im MK 10

2.2. Rauheitenmodell PLZ

Das Rauheitenmodell des PLZ entspricht bis auf die Maßnahmenbereiche dem des validierten IST.

In den durchflossenen Altarmen wird ein verringerter Rauheitswert des Fließgewässers mit dem Strickler-Wert von $k_{st} = 35\ m^{1/3}/s$ angesetzt. Für die Auwaldinitialisierungs- und Auwaldentwicklungsflächen wird ein Strickler-Wert von $k_{st} = 14\ m^{1/3}/s$ angesetzt. Die Flutrinnen erhalten einen leicht erhöhten Strickler-Wert von $k_{st} = 20\ m^{1/3}/s$. Im Bereich der entfernten Verwallungen bleibt die ursprüngliche Rauheit erhalten. Die Bereiche der entnommenen oder überkiesten und anschließend mit Röhricht bepflanzten Deckwerke erhalten eine Rauheit von $k_{st} = 18\ m^{1/3}/s$.

2.3. Untersuchte Szenarien

Für die wasserbauliche Systemanalyse, Prognose und Darstellung der maßnahmenbedingten Änderungen sowohl zwischen IST und PLZ als auch zwischen MEI und MEV werden je nach Fragestellung unterschiedliche Szenarien angesetzt, welche zuvor in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt wurden.

Die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf die Hochwasserneutralität und Niedrigwasserrobustheit sowie Veränderungen in den Strömungsgeschwindigkeiten und Bodenschubspannungen werden anhand von

- 11 stationären statistischen Ereignissen und
- einem instationären Ereignis „Havelhochwasser 1984“ (01.01. – 31.01.1984)

nachgewiesen.

2.3.1. Stationäre statistische Ereignisse

Für die Beurteilung der hydraulischen Belastung der Gewässersohle in den Maßnahmenbereichen sowie der Veränderungen der hydrodynamischen Verhältnisse nach Umsetzung der Maßnahmen ist eine Bewertung über den gesamten Bereich möglicher Abflussverhältnisse notwendig. In der Regel wird das Spektrum der Abflüsse durch statistisch ermittelte wasserwirtschaftliche Hauptzahlen diskretisiert. Die zu den statistischen Ereignissen gehörigen Randbedingungen am oberen sowie unteren Modellrand sind in der Tabelle 2 zusammengestellt. Die wasserwirtschaftlichen Hauptzahlen wurden im PEP für die Ereignisse NNQ – MHQ aufgrund der 20-Jahresreihe 1986 – 2005 sowie für die Hochwasser aufgrund der Zeitreihe 1967 – 2005 des WSA Brandenburg zusammengestellt. Diese Hauptzahlen sollen aus dem Grund der Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit denen des PEP auch hier verwendet werden.

Stauhaltung Rathenow	Einheit	NNQ	MNQ	SoMQ	MQ	WiMQ	MHQ	HQ2	HQ10	HQ50	HQ100	HHQ
Durchfluss Bahnitz, UHW-km 82,1	m³/s	3,0	12,4	50,9	75,3	99,7	158,5	176,0	214,0	256,0	273,0	300,0
Zufluss Königsgraben	m³/s	0,0	0,0	0,3	0,5	0,7	2,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Zufluss Milower Stremme	m³/s	0,0	0,0	0,3	0,5	0,6	1,5	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0
Wasserstand OP Rathenow Hinterarche	m	26,64	26,87	27,03	27,10	27,18	27,50	27,40	27,73	27,98	28,02	28,05
Wasserstand OP Rathenow Mühlenwehr	m	26,64	26,87	27,03	27,09	27,15	27,40	27,36	27,68	27,90	27,93	27,94

Tabelle 2: Modellrandbedingungen (WSA Brandenburg - PEP)

In der Abbildung 2 sind die Wasserstands-Durchflussbeziehungen dargestellt, die sich aufgrund der wasserwirtschaftlichen Hauptzahlen unterschiedlicher Zeitreihen ergeben. Für die Hochwasser sind es die Zeitreihen 1967 – 2005 aus dem PEP und 1967 – 2015. Die sich ergebenden Wasserstands-Durchflussbeziehungen sind praktisch gleich.

Für die Ereignisse von NNQ bis MHQ wurden die drei Zeitreihen 1986 – 2005 (PEP), 2001 – 2010 und 2006 – 2015 verglichen. Hier liegt die Wasserstands-Durchflussbeziehung der Zeitreihe 1986 – 2005 (PEP) im Mittelfeld zwischen den anderen beiden Zeitreihen. Die Durchflüsse der Jahre 2006 – 2015 liegen höher als bei den anderen Zeitreihen. Es zeigt sich, dass die Wasserstands-Durchflussbeziehung aus Zeitreihe 1986 – 2005 des PEP einen guten Mittelwert darstellt. Daher soll diese auch bei den Nachweisen verwendet werden.

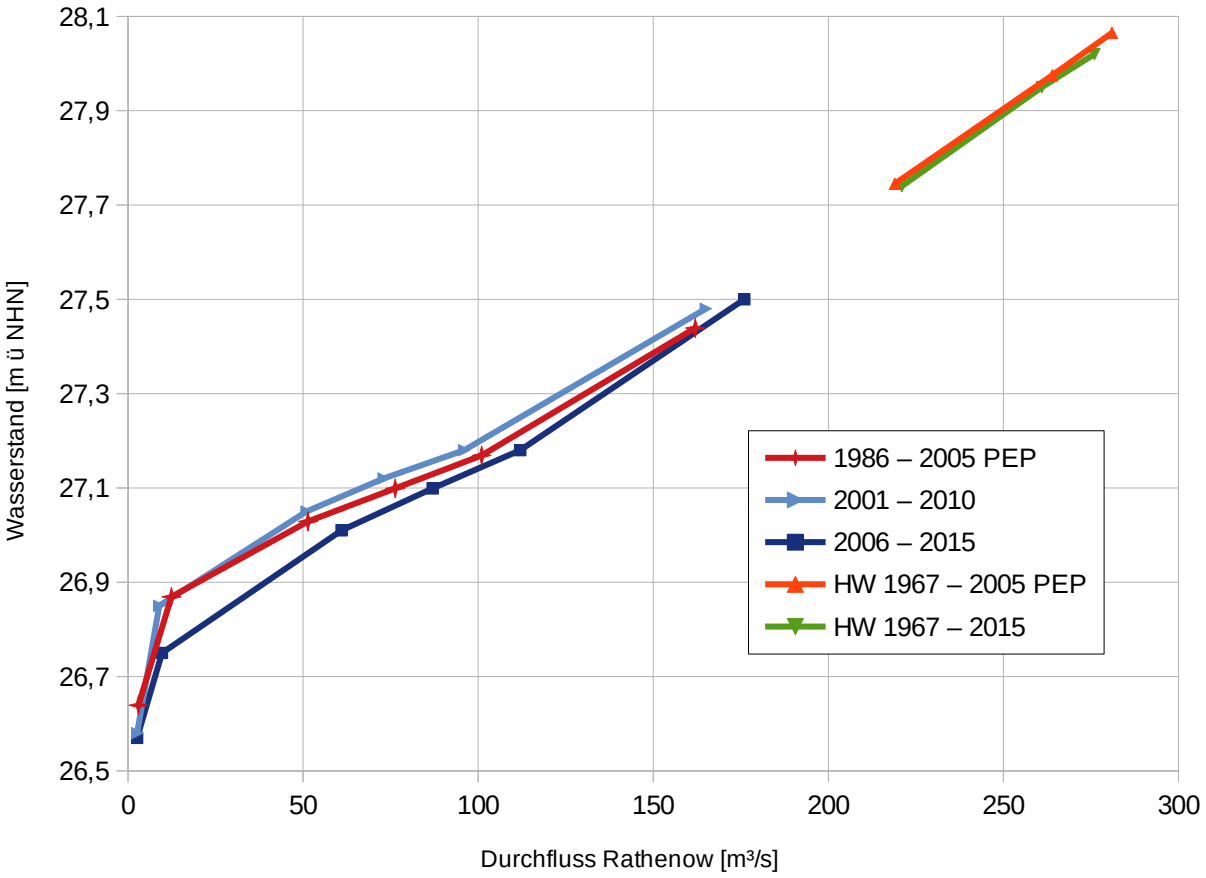

Abbildung 2: Vergleich der Wasserstands-Durchflussbeziehungen aufgrund unterschiedlicher Zeitreihen

2.3.2. Havelhochwasser 1984

Das Havelhochwasser Januar 1984 kombiniert einen relativ starken Abfluss der Havel (Q_{max} = 138 m³/s am 25.01.1984 am Pegel Albertsheim) mit einem hohen Gefälle in der SH Rathenow. Aus diesem Grund wurde das Havelhochwasser im Januar 1984 als das kritischste Ereignis für den Nachweis der Schubspannungen unter instationären Bedingungen festgelegt. Die Randbedingungen des Havelhochwassers 1984 (01.01. – 31.01.1984) sind in der Abbildung 3 dargestellt.

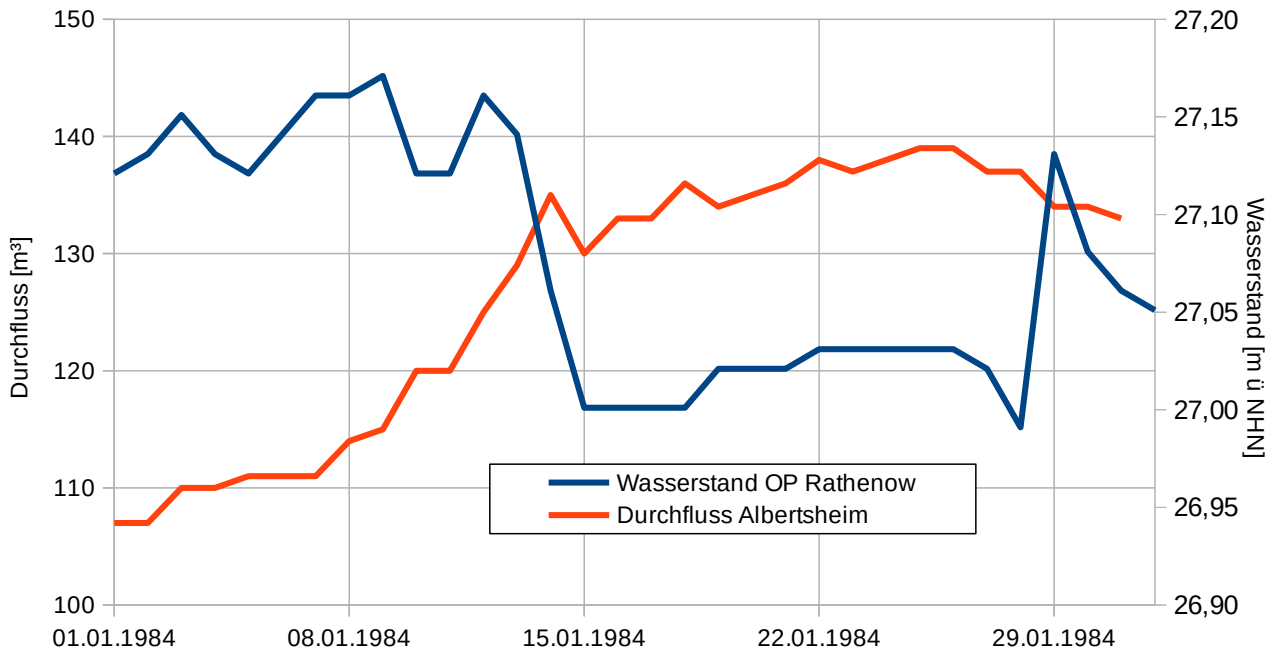

Abbildung 3: Instationäres Ereignis „Havelhochwasser 1984“ (01.01. – 31.01.1984)

2.3.3. Landwirtschaftsvariante

Im MK 10 ist 1 anzuschließende Flutrinne geplant. Die Maßnahme wurde so geplant, dass sie erst bei einem Wasserstand deutlich über den während der Nutzungsperiode üblicherweise auftretenden Ereignissen anspringt. Das Anspringen der Flutrinne könnte ggf. dazu führen, dass landwirtschaftliche Flächen zukünftig öfter betroffen sind als im gegenwärtigen Zustand. Um diesen Einfluss zu quantifizieren, wurde eine sogenannte „Landwirtschaftsvariante“ analysiert. Hierbei wird berechnet, ab welchem realistischen Durchfluss - bei Einhaltung des Sommerstau-zieles am Pegel Rathenow - die geplante Flutrinne anspringt.

3. Nachweisparameter und Modellergebnisse

Für die Beurteilung möglicher Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf die hydraulischen Verhältnisse im Projektgebiet werden die in Kapitel 2.3 beschriebenen 11 stationären statistischen Abflussszenarien und das Havelhochwasser von 1984 ausgewertet.

Nachweisparameter im Rahmen der wasserbaulichen Systemanalyse sind die Wasserspiegellagen, Überflutungsflächen, Strömungsgeschwindigkeiten und Bodenschubspannungen.

3.1. Untersuchungen zur Hochwasserneutralität

Die Berechnungsergebnisse werden hinsichtlich Änderungen der Wasserspiegellage analysiert und eine Aussage zur Hochwasserneutralität bzw. Niedrigwasserrobustheit getroffen.

3.1.1. Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen

Die geplanten Maßnahmen, wie der Anschluss eines Altarms und einer Flutrinne bzw. das Entfernen von Verwallungen, führen zu veränderten Fließquerschnitten. In Abhängigkeit von den hydrologischen Bedingungen haben diese Maßnahmen Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen.

3.1.1.1. Statistische Ereignisse von NNQ bis HHQ

Es sind 11 statistische Ereignisse berechnet worden. Die Verläufe der Wasserspiegellagen über die SH sind in der Abbildung 4 zusammengestellt. Abbildung 5 zeigt die Verläufe für den IST, PLZ und die Differenz PLZ-IST beispielhaft für WiMQ.

Zur Beurteilung der kurzfristigen (nach Fertigstellung der Maßnahmen) maßnahmenbedingten Betroffenheit sind in der Tabelle 3 die Wasserstände am Einstromrand der SH Rathenow am UP Bahnitz (UHW-km 82,1) für den IST und PLZ zusammengestellt.

Zur Beurteilung der langfristigen Entwicklung der maßnahmenbedingten Veränderungen wurden mit denselben Randbedingungen hydronumerische Simulationen mit den prognostizierten Sohlgeometrien MEI und MEV durchgeführt und ebenfalls in der Tabelle 3 zusammengestellt. Die Differenzen der Wasserstände am UP Bahnitz für PLZ-IST und MEV-MEI sowie die Differenzen PLZ-IST aus dem PEP sind ebenfalls in der Tabelle enthalten.

Die Differenzen der Wasserstände sind in der Abbildung 6 im Diagramm dargestellt. Die Ergebnisse aus dem PEP zeigen einen ähnlichen Verlauf der Schlüsselkurve, allerdings mit einer maßnahmenbedingten geringeren Absenkung bei mittleren und hohen Abflüssen.

Bei niedrigen Abflüssen sind die Wasserspiegellagen im Wesentlichen gleich, so dass von einer Niedrigwasserrobustheit der geplanten Maßnahmen ausgegangen werden kann. Die Wirkung der Altarmanschlüsse, Flutrinnen, Deichschlitzungen sowie die Wegnahme von Uferverwallungen führen bei mittleren Abflüssen zu leichten Veränderungen des Wasserspiegels in der SH Rathenow und zu einer Abnahme des Wasserspiegels am UP Bahnitz. Bei Hochwasserabflüssen ab HQ10 wirkt nur noch die Deichschlitzung im MK 10, so dass es durch den lokal vergrößerten Abflussquerschnitt stromauf zu einer Wasserspiegelabnahme kommt. Die größte Abnahme des Wasserspiegels am UP Bahnitz wird im PLZ bei MHQ mit ca. 1,2 cm erzielt. Die Veränderung des

Wasserspiegels infolge der Maßnahmen ist sehr gering und liegt im Bereich der Mess- und Rechengenauigkeit.

Der Verlauf der Kurve der maßnahmenbedingten Veränderungen auf der Basis der prognostizierten Tiefenverteilungen nach 10 Jahren (MEV-MEI) zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf, so dass die Maßnahmen auch langfristig als niedrigwasserrobust und hochwasserneural bezeichnet werden können.

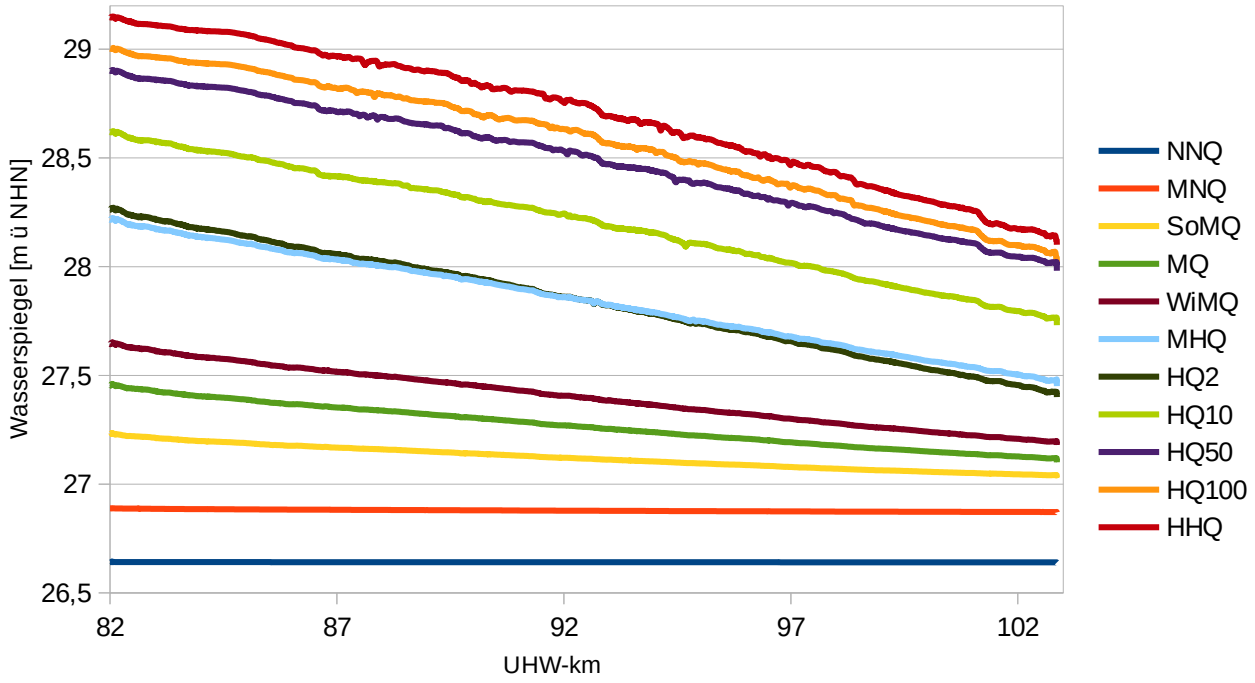

Abbildung 4: Übersicht über Wasserspiegelverläufe der Havel (Nachweisrechnungen, PLZ)

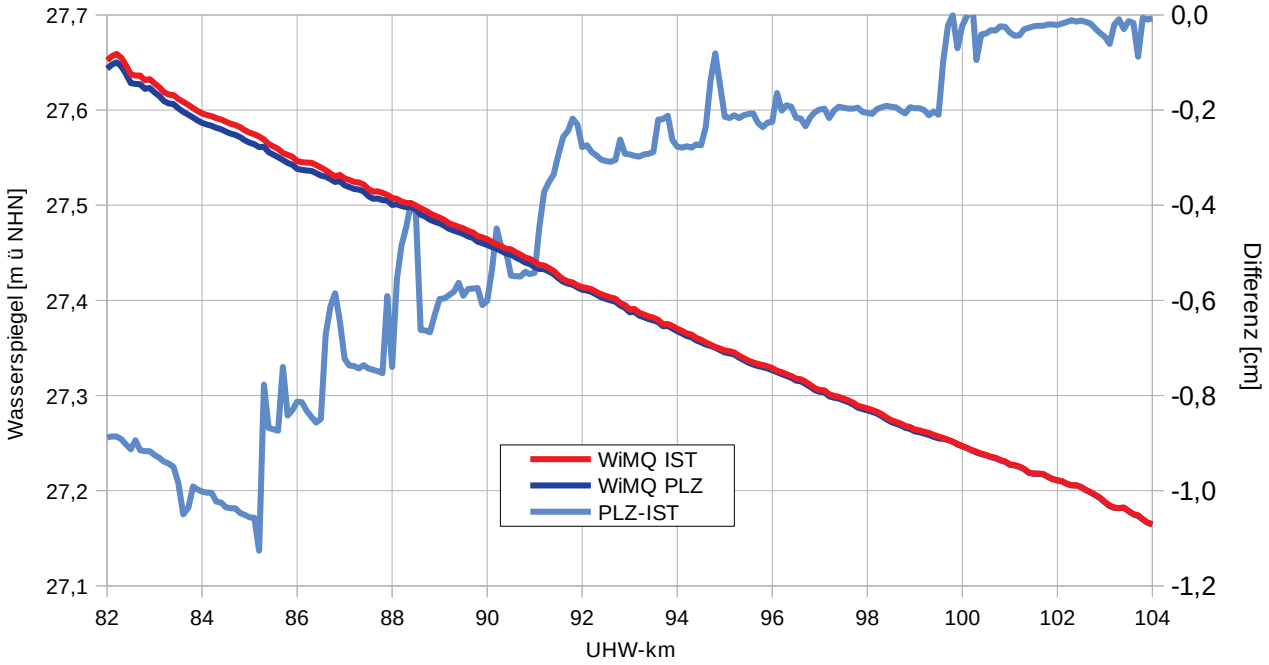

Abbildung 5: Wasserspiegel im IST und PLZ sowie Differenz PLZ-IST, WiMQ

		Einheit	NNQ	MNQ	SoMQ	MQ	WiMQ	MHQ	HQ2	HQ10	HQ50	HQ100	HHQ
Durchfluss UP Bahnitz, UHW-km 82,1	Einstromrand	m³/s	3,0	12,4	50,9	75,3	99,7	158,5	176,0	214,0	256,0	273,0	300,0
Wasserstand am UP Bahnitz, UHW-km 82,1	IST	m	26,642	26,888	27,224	27,435	27,661	28,205	28,288	28,623	28,895	28,990	29,117
	PLZ	m	26,642	26,888	27,222	27,430	27,650	28,193	28,276	28,614	28,888	28,984	29,112
	MEI	m	26,642	26,889	27,227	27,438	27,664	28,211	28,293	28,627	28,899	28,994	29,123
	MEV	m	26,642	26,889	27,225	27,433	27,654	28,200	28,282	28,619	28,893	28,989	29,119
Wasserstand am	Ausstromrand	m	26,639	26,869	27,029	27,099	27,169	27,439	27,395	27,745	27,975	28,065	28,100
Differenz Einstrom-/Ausstromrand	für IST	cm	0,3	1,9	19,5	33,6	49,2	76,6	89,3	87,8	92,0	92,5	101,7
Differenz der Wasserstände UP Bahnitz	PLZ-IST	cm	0,0	0,0	-0,2	-0,5	-1,1	-1,2	-1,2	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5
	MEV-MEI	cm	0,0	0,0	-0,2	-0,5	-1,0	-1,1	-1,1	-0,8	-0,6	-0,5	-0,4
Zunahme des Wasserstandes am Einstromrand (bezogen auf Differenz Einstrom-Ausstromrand)	PLZ zu IST	%	0,0	0,0	-1,0	-1,5	-2,2	-1,6	-1,3	-1,0	-0,8	-0,6	-0,5
	MEV zu MEI	%	0,0	0,0	-1,0	-1,5	-2,0	-1,4	-1,2	-0,9	-0,7	-0,5	-0,4
Differenz der Wasserstände UP Bahnitz **PEP**	PLZ-IST (PEP)	cm	0,1	0,1	-0,3	-0,6	-0,8	-0,9	-0,7	-0,5		-0,2	-0,1

Tabelle 3: Wasserspiegellage am Einstromrand (UP Bahnitz, UHW-km 82,1)

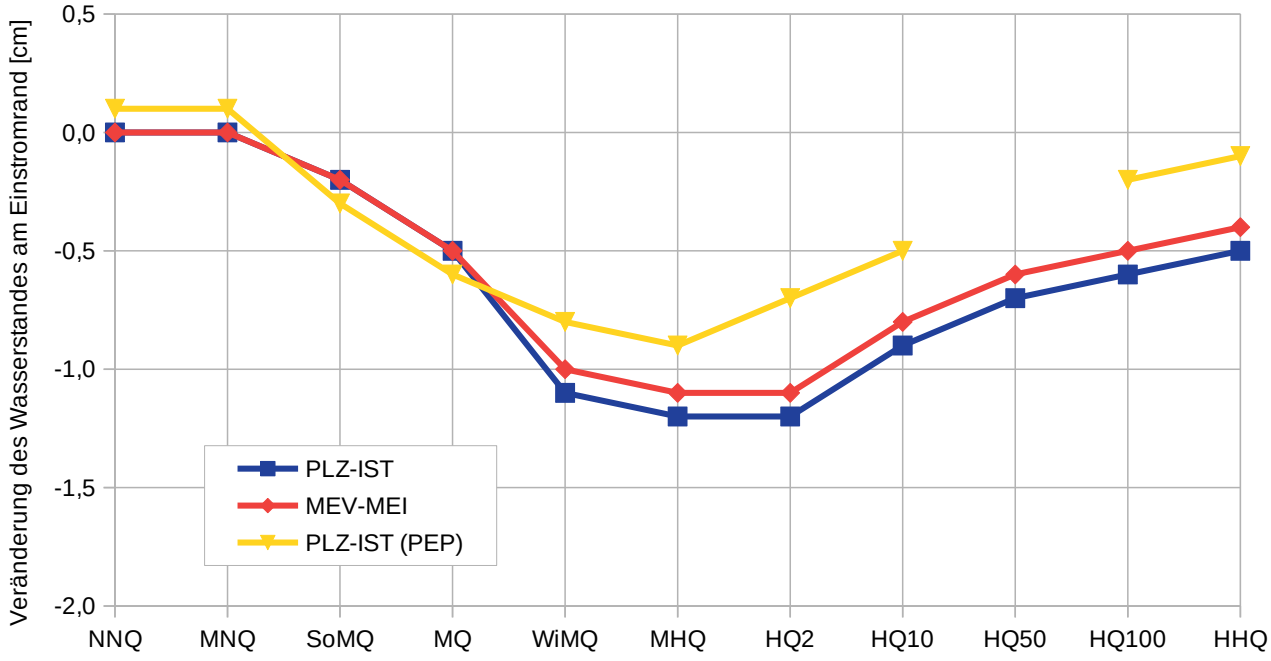

Abbildung 6: Maßnahmenbedingte Änderungen der Wasserstände am UP Bahnitz (UHW-km 82,1)

3.1.1.2. Havelhochwasser 1984

In der Abbildung 7 sind die Ganglinien des Szenarios „Havelhochwasser 1984“ für den IST, PLZ, MEI sowie MEV am Einstromrand am UP Bahnitz (UHW-km 82,1) dargestellt. Die Ganglinie des PLZ befindet sich ca. 1 cm unter der des IST. Dieses liegt im Rahmen der prognostizierten Veränderungen bei den entsprechenden stationären Abflusssimulationen (WiMQ, MHQ). Die Ganglinien von MEI und MEV liegen ca. 0,5 cm über denen von IST und PLZ.

Bezüglich des gewählten instationären Ereignisses „Havelhochwasser 1984“ können die geplanten Maßnahmen in der SH Rathenow, kumulativ betrachtet, als hochwasserneutral bewertet werden.

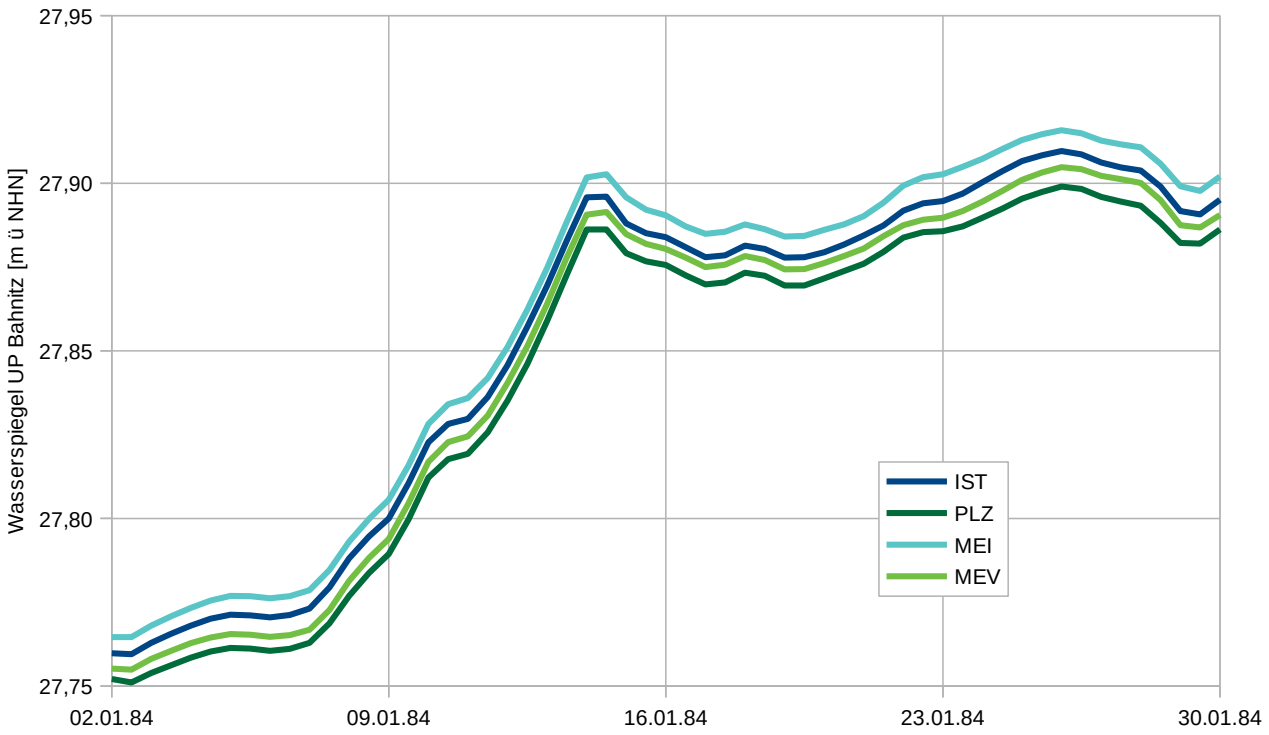

Abbildung 7: Wasserstand am Einstromrand MK 10 (UHW-km 82,1), Hochwasserereignis 1984

3.1.2. Auswirkungen auf Überflutungsflächen

Für eine weitere Beurteilung der Maßnahmen wird die Änderung der überfluteten Flächen von IST und PLZ für die statistischen Abflüsse und das Hochwasserszenario dargestellt.

3.1.2.1. Statistische Ereignisse von NNQ bis HHQ

Die Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Überflutungsfläche von MQ im MK 10. In Hellblau ist die Zunahme der Überflutungsfläche im PLZ dargestellt. Die Überflutungsflächen der anderen Ereignisse finden sich im Anhang „Anlagen zum Bericht“. In der Tabelle 4 sind die Überflutungsflächen in der SH Rathenow für IST und PLZ sowie die Differenz von PLZ-IST aufgelistet. Die Ergebnisse sind für die gesamte SH und auch für die einzelnen MK aufgelistet. Das dazugehörige Diagramm der relativen Änderungen ist in der Abbildung 9 dargestellt. Auf der x-Achse sind die untersuchten statistischen Abflussereignisse und auf der y-Achse die prozentuale Änderung der überfluteten Fläche gegenüber dem IST aufgezeichnet. Positive Werte bedeuten eine Vergrößerung der überfluteten Fläche im PLZ, negative eine Verringerung.

Die Maßnahmen führen bei geringen und mittleren Abflüssen zu einer Erhöhung der überfluteten Flächen. Dieses wird durch den Anschluss von Altarmen, Flutrinnen und die Wegnahme von Uferverwallungen hervorgerufen. Die größte prozentuale Zunahme der Wasserfläche im MK 10 ergibt sich bei MQ mit 2,4 %. Bei Hochwasserabflüssen ab HQ10 verringert sich die Ausdehnung der überfluteten Flächen infolge des durch die Deichschlitzungen im MK 10 vergrößerten Abflussquerschnittes geringfügig.

Die Deichschlitzungen führen nicht zu einer Erhöhung der überfluteten Fläche, da der Polder schon im IST eine Verbindung zur Havel hat. Durch die Deichschlitzungen wird der Polder durchflossen und der Abflussquerschnitt der Havel vergrößert sich lokal.

Im Vergleich zu den im PEP geplanten Maßnahmen und den damaligen hydronumerischen Modelluntersuchungen führen die nun geplanten Maßnahmen zu Änderungen der überfluteten Flächen in ähnlicher Größenordnung.

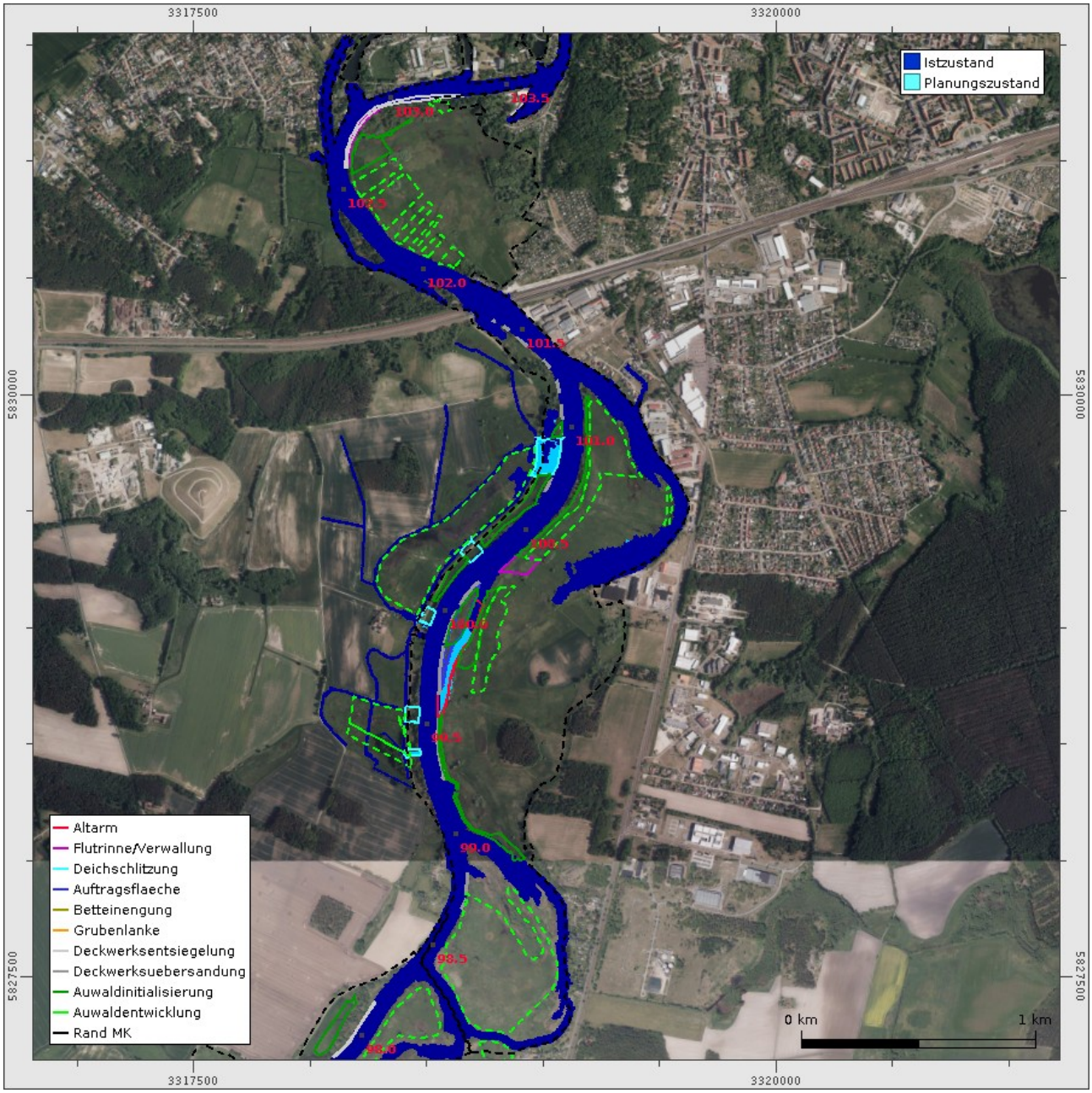

Abbildung 8: Überflutungsfläche WiMQ, MK 10

Überflutungsflächen in der SH Rathenow für IST und PLZ													
Ereignis		Einheit	NNQ	MNQ	SoMQ	MQ	WiMQ	MHQ	HQ2	HQ10	HQ50	HQ100	HHQ
SH Rathenow	Überflutete Fläche IST	m²	3.205.571	3.385.638	3.529.102	3.725.815	4.509.368	14.013.970	14.315.049	16.979.961	18.589.936	19.900.508	20.736.363
	Überflutete Fläche PLZ	m²	3.242.992	3.418.344	3.581.940	3.804.019	4.654.196	14.076.902	14.328.424	16.931.440	18.549.573	19.872.972	20.696.540
	Differenz PLZ – IST	m²	37.421	32.705	52.838	78.203	144.828	62.932	13.375	-48.521	-40.362	-27.536	-39.823
	Relative Änderung	%	**1,2**	**1,0**	**1,5**	**2,1**	**3,2**	**0,4**	**0,1**	**-0,3**	**-0,2**	**-0,1**	**-0,2**
	Relative Änderung PEP	%	**2,2**	**1,7**	**2,1**	**2,0**	**3,3**	**0,4**	**0,6**	**0,0**	**--**	**0,0**	**0,0**
MK 8	Überflutete Fläche IST	m²	986.218	1.024.596	1.064.200	1.106.157	1.358.581	4.405.018	4.593.813	5.379.753	5.800.702	5.963.739	6.195.697
	Überflutete Fläche PLZ	m²	997.075	1.030.232	1.068.041	1.117.612	1.391.573	4.409.167	4.588.450	5.359.629	5.794.502	5.960.646	6.180.416
	Differenz PLZ – IST	m²	10.856	5.636	3.841	11.455	32.992	4.149	-5.364	-20.124	-6.200	-3.092	-15.281
	Relative Änderung	%	**1,1**	**0,6**	**0,4**	**1,0**	**2,4**	**0,1**	**-0,1**	**-0,4**	**-0,1**	**-0,1**	**-0,2**
MK 9	Überflutete Fläche IST	m²	807.674	857.651	894.864	949.603	1.065.439	3.149.918	3.200.860	3.910.695	4.324.034	4.506.352	4.696.715
	Überflutete Fläche PLZ	m²	809.452	861.784	901.532	969.850	1.113.961	3.176.631	3.206.399	3.903.914	4.307.064	4.500.023	4.679.860
	Differenz PLZ – IST	m²	1.778	4.133	6.668	20.247	48.521	26.713	5.539	-6.781	-16.970	-6.328	-16.855
	Relative Änderung	%	**0,2**	**0,5**	**0,7**	**2,1**	**4,6**	**0,8**	**0,2**	**-0,2**	**-0,4**	**-0,1**	**-0,4**
MK 10	Überflutete Fläche IST	m²	807.947	856.588	893.687	940.420	1.168.108	2.863.186	2.811.036	3.490.017	4.147.768	5.043.886	5.265.738
	Überflutete Fläche PLZ	m²	822.699	870.683	907.493	962.537	1.184.897	2.885.758	2.817.480	3.475.162	4.132.518	5.025.831	5.258.572
	Differenz PLZ – IST	m²	14.752	14.095	13.805	22.117	16.789	22.572	6.444	-14.854	-15.250	-18.055	-7.167
	Relative Änderung	%	**1,8**	**1,6**	**1,5**	**2,4**	**1,4**	**0,8**	**0,2**	**-0,4**	**-0,4**	**-0,4**	**-0,1**
MK 11	Überflutete Fläche IST	m²	232.732	256.194	272.116	308.248	452.629	1.623.810	1.646.170	1.829.742	1.863.123	1.880.199	1.914.851
	Überflutete Fläche PLZ	m²	241.153	263.556	282.346	319.273	488.099	1.637.871	1.662.636	1.827.950	1.862.970	1.880.199	1.914.851
	Differenz PLZ – IST	m²	8.421	7.362	10.230	11.025	35.470	14.061	16.466	-1.792	-153	0	0
	Relative Änderung	%	**3,6**	**2,9**	**3,8**	**3,6**	**7,8**	**0,9**	**1,0**	**-0,1**	**0,0**	**0,0**	**0,0**
MK 12	Überflutete Fläche IST	m²	370.999	390.609	404.234	421.387	464.611	1.972.039	2.063.170	2.369.755	2.454.308	2.506.333	2.663.361
	Überflutete Fläche PLZ	m²	372.614	392.088	422.528	434.746	475.666	1.967.475	2.053.459	2.364.785	2.452.519	2.506.273	2.662.841
	Differenz PLZ – IST	m²	1.614	1.479	18.294	13.359	11.055	-4.564	-9.710	-4.970	-1.789	-60	-520
	Relative Änderung	%	**0,4**	**0,4**	**4,5**	**3,2**	**2,4**	**-0,2**	**-0,5**	**-0,2**	**-0,1**	**0,0**	**0,0**

Tabelle 4: Überflutungsflächen in der SH Rathenow für IST und PLZ

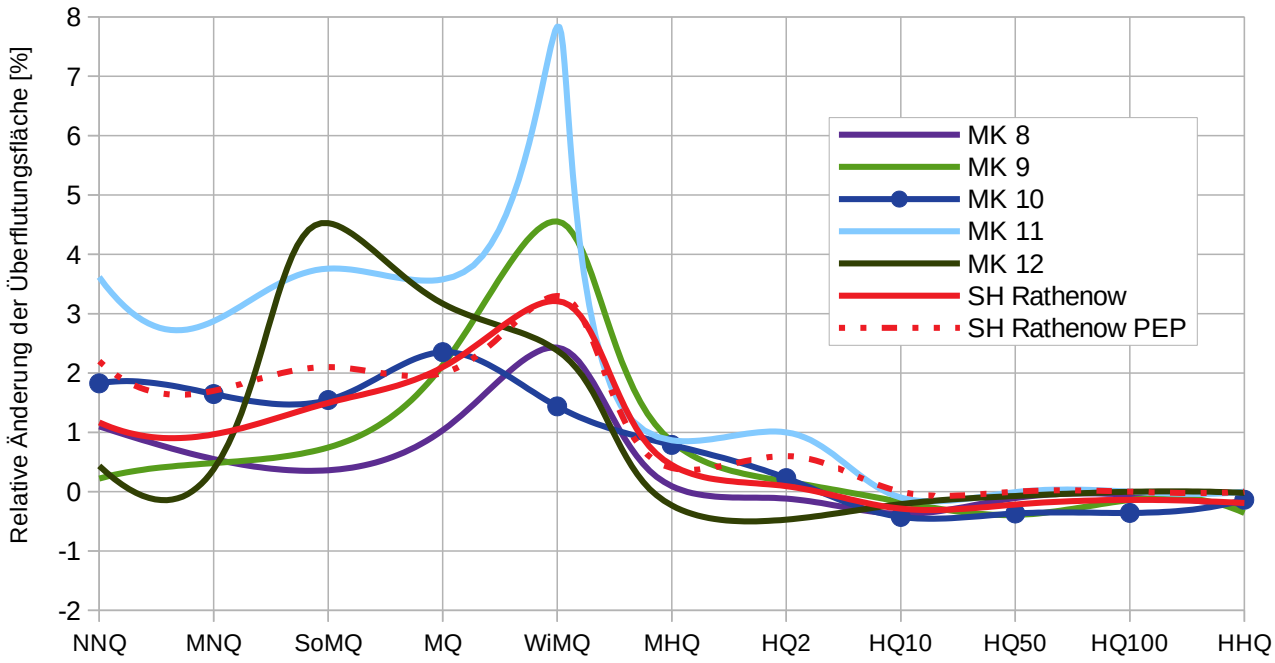

Abbildung 9: Relative Änderung der Überflutungsflächen in der SH Rathenow im PLZ

3.2. Fließgeschwindigkeiten

Die Fließgeschwindigkeiten und deren Veränderungen sind zum einen eine wichtige ökologische Zielgröße und zum anderen auch ein erster Indikator für Änderungen in der Gewässerbodenentwicklung bzw. dessen Stabilität. Die größten Differenzen der Fließgeschwindigkeit entstehen generell dort, wo sich maßnahmenbedingt der Fließquerschnitt relevant verändert (z. B. durch den Anschluss von Flutrinnen oder Altarmen).

3.2.1. Statistische Ereignisse von NNQ bis HHQ

In den Abbildungen 10 und 11 sind beispielhaft die Strömungsgeschwindigkeiten für das Ereignis HQ2 im PLZ und die Differenz zwischen PLZ und IST dargestellt. Ab SoMQ kommt es zu einer merklichen Durchströmung des Altarms und der Flutrinne bei einer leichten Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit in der Havel im Bereich der Maßnahmen. Die Abbildungen der Strömungsgeschwindigkeiten für PLZ sowie die Differenz von PLZ-IST sind im Anhang für alle Ereignisse dargestellt.

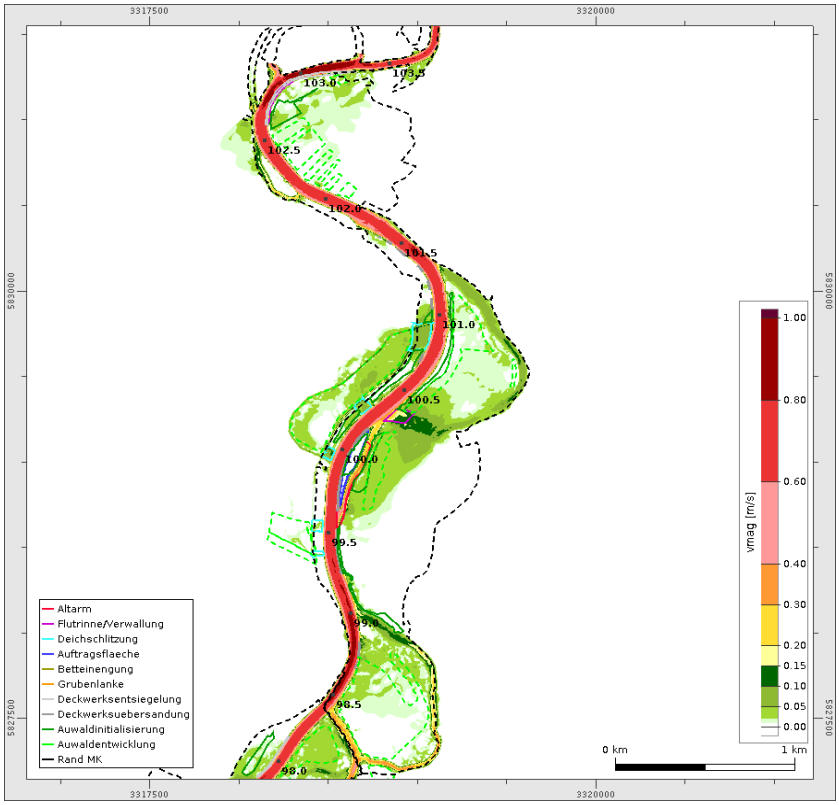

Abbildung 10: Strömungsgeschwindigkeit im PLZ, HQ2

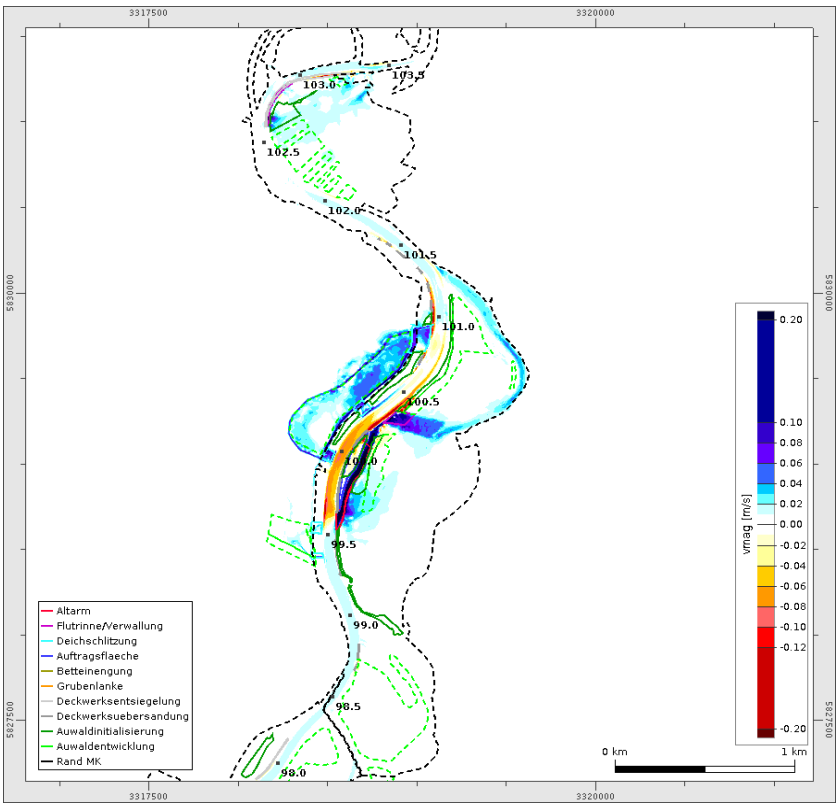

Abbildung 11: Differenz der Strömungsgeschwindigkeit (PLZ-IST), HQ2

3.2.2. Havelhochwasser 1984

Bei der Auswertung der Simulationen des Havelhochwassers von 1984 wurden die maximal auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten im IST und PLZ an jedem Berechnungsknoten bestimmt. Die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten für PLZ sind in der Abbildung 12 dargestellt. Die Differenzen der Strömungsgeschwindigkeiten PLZ-IST zeigt die Abbildung 13. Der Altarmanschluss führt entsprechend den Ergebnissen der stationären Abflüsse zu einer Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten in der Haupthavel und einer Zunahme im angeschlossenen Altarm und in der Flutrinne.

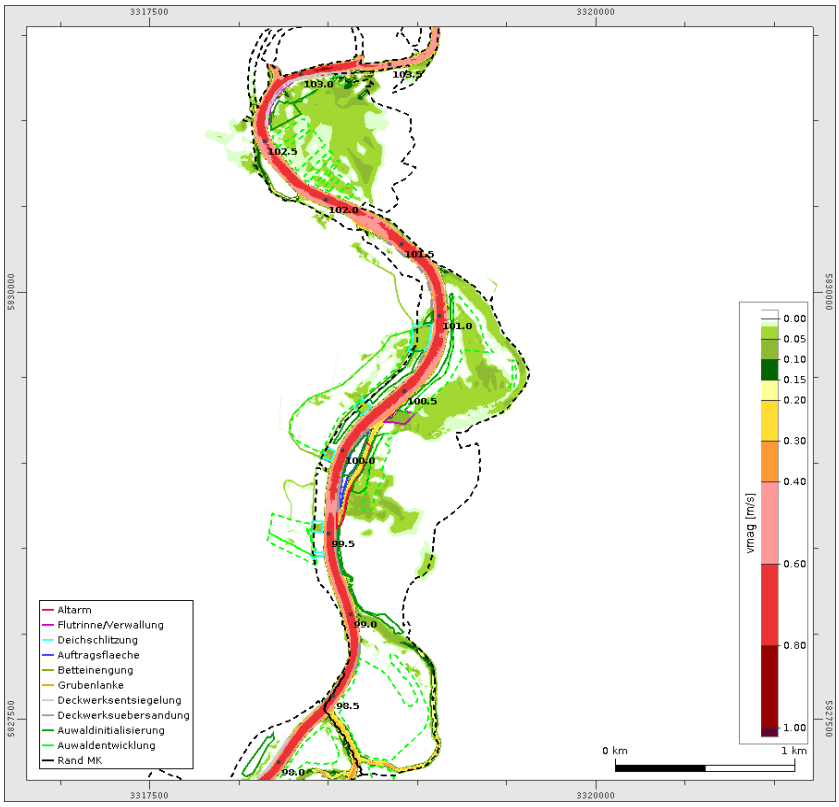

Abbildung 12: Maximale Strömungsgeschwindigkeit im PLZ, Hochwasserereignis 1984

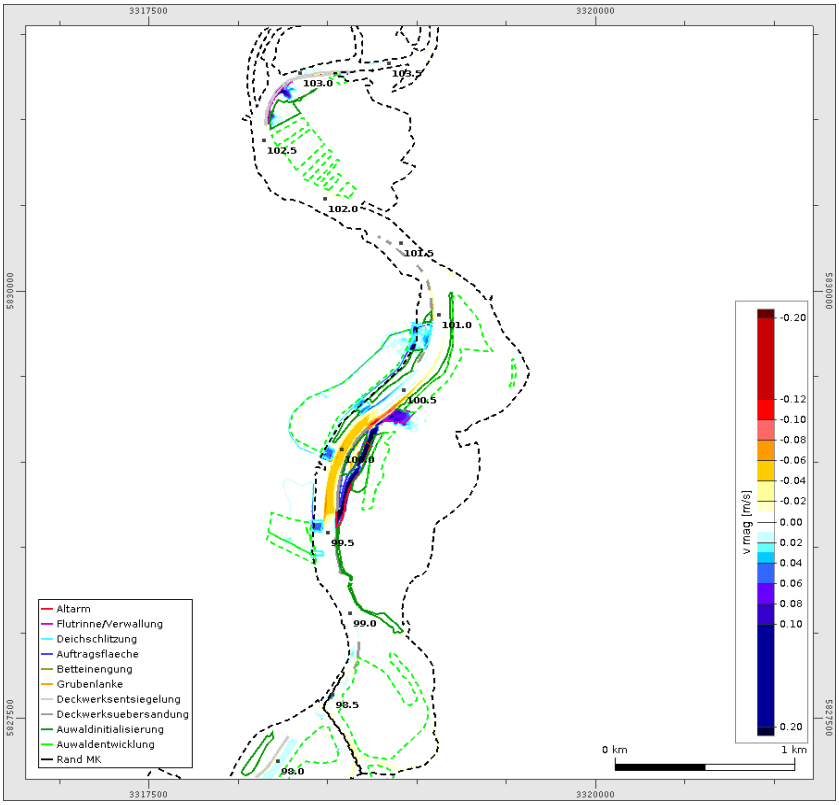

Abbildung 13: Differenz der max. Strömungsgeschwindigkeit (PLZ-IST), Hochwasserereignis 1984

3.3. Durchflüsse Altarm und Flutrinne

Die Abbildung 14 zeigt die Lage des Altarms und der Flutrinne im MK 10. In der Tabelle 5 sind die Durchflüsse bei den 11 stationären Ereignissen durch den Altarm und die Flutrinne zusammengestellt. Der Altarm wird ab MNQ leicht durchströmt. Bei MHQ fließen ca. 15 m³/s bzw. ca. 9 % des Havelabflusses durch den Altarm. Die Flutrinne wird ab MHQ mit ca. 3 % des Havelabflusses durchströmt.

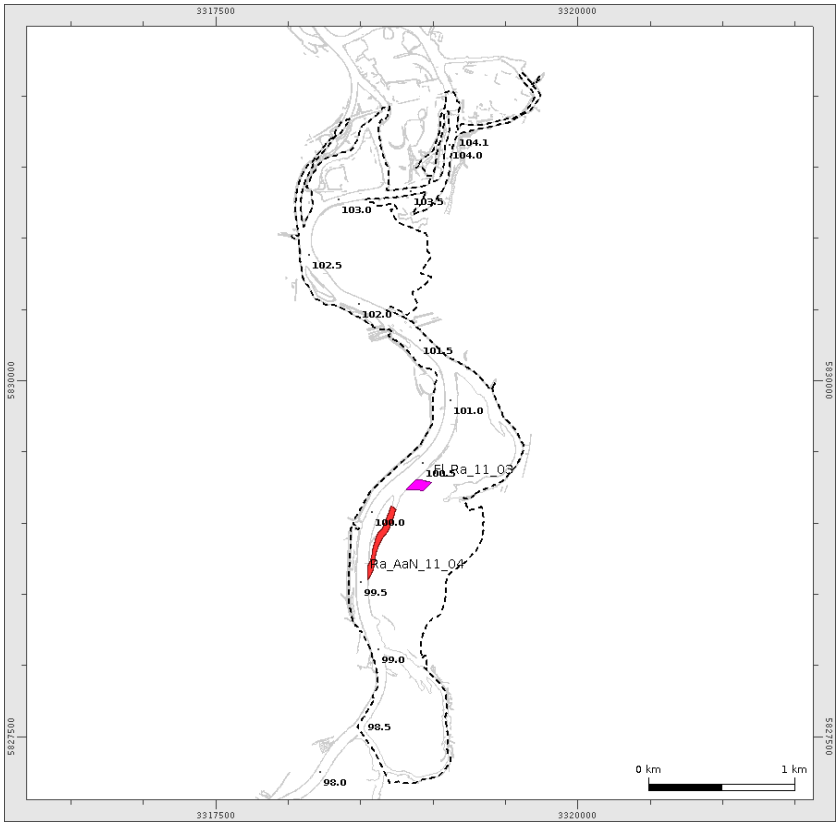

Abbildung 14: Lage des Altarms und der Flutrinne im MK 10

Durchfluss	Havel	MK 10 Ra AaN 11 04 a				MK 10 Fl Ra 11 03			
		IST		PLZ		IST		PLZ	
	m³/s	m³/s	%	m³/s	%	m³/s	%	m³/s	%
NNQ	3,0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0
MNQ	12,4	0,0	0	0,4	3	0,0	0	0,0	0
SoMQ	50,9	0,0	0	2,9	6	0,0	0	0,0	0
MQ	75,3	0,0	0	4,6	6	0,0	0	0,0	0
WiMQ	99,7	0,0	0	6,5	7	0,0	0	0,0	0
MHQ	158,5	0,0	0	15,0	9	1,0	1	4,4	3
HQ2	176,0	0,0	0	16,4	9	0,7	0	4,7	3
HQ10	214,0	3,9	2	23,2	11	3,8	2	6,5	3
HQ50	256,0	8,4	3	26,7	10	3,0	1	8,0	3
HQ100	273,0	9,0	3	27,1	10	3,8	1	8,7	3
HHQ	300,0	8,6	3	27,7	9	10,4	3	9,5	3

Tabelle 5: Durchflüsse durch Altarm und Flutrinne MK 10

3.4. Aktivierung der Flutrinnen

Durch den Anschluss von Altarmen, Erstellung von Flutrinnen und Wegnahme von Uferverwallungen besteht die Möglichkeit, dass landwirtschaftlich genutzte Flächen zukünftig auf Grund frühzeitiger Vernässung vermehrt von einer Nutzung ausgeschlossen werden müssen. Dieses ist insbesondere während der Nutzungsperiode – also zu Zeiten von Sommerstau – von Bedeutung. Aus diesem Grund wird hier untersucht, bei welchen Abflüssen die einzelnen Flutrinnen zu Sommerstauverhältnissen aktiviert werden bzw. ob zu diesen Zeitpunkten die angeschlossenen Gebiete bereits von Überflutung betroffen sind.

Zur Bestimmung des Abflusses, bei dem die Maßnahmen anspringen, musste eine schrittweise Annäherung realisiert werden. Dazu wird am Berechnungsmodell des PLZ eine quasi-stationäre Simulation mit kontinuierlich steigendem Zufluss durchgeführt, bis es zu einer Aktivierung der Flutrinnen kommt. Als Randbedingung am Ausstromrand wurde das Sommerstauziel an der Wehranlage Rathenow auf einen Wert von 2,45 m über OP Rathenow (24,52 m ü NHN) auf 26,97 m ü NHN gesetzt.

Die Flutrinne springt bei einem Durchfluss von 160 m³/s in der Havel an.

3.5. Bestimmung der Schubspannungen

Wie in Kapitel 2.3 beschrieben werden für die Beurteilung der Standsicherheit die 11 stationären Ereignisse und das Havelhochwasser von 1984 herangezogen. Für jedes dieser Ereignisse findet eine Bestimmung der maximal auftretenden Schubspannungen statt. Die Schubspannungen werden in Form von ESRI-ASCII-Grids dem Fachplaner übergeben. Im weiteren Verfahren kann dieser die vorhandenen Schubspannungen den jeweils für den Maßnahmenbereich maßgeblichen kritischen Schubspannungen gegenüberstellen, um erosionsgefährdete Bereiche zu detektieren und entsprechende Sicherungsmaßnahmen in die Planungen zu integrieren.

3.5.1. Statistische Ereignisse von NNQ bis HHQ

In den folgenden Abbildungen sind beispielhaft die Schubspannungen für das Ereignis HQ2 für den PLZ sowie die Differenzen aus PLZ-IST für MK 10 dargestellt. Dieses sind die maximalen Schubspannungen, die infolge der stationären Ereignisse auftreten. Im Altarm Ra AaN 11 04 liegt die Schubspannung bei bis zu 1,8 N/m² und die Abnahme in der Havel im Bereich des Altarms bei bis zu 0,3 N/m².

Die Abbildungen der Schubspannungen für PLZ sowie die Differenz von PLZ-IST sind im Anhang für alle Ereignisse dargestellt.

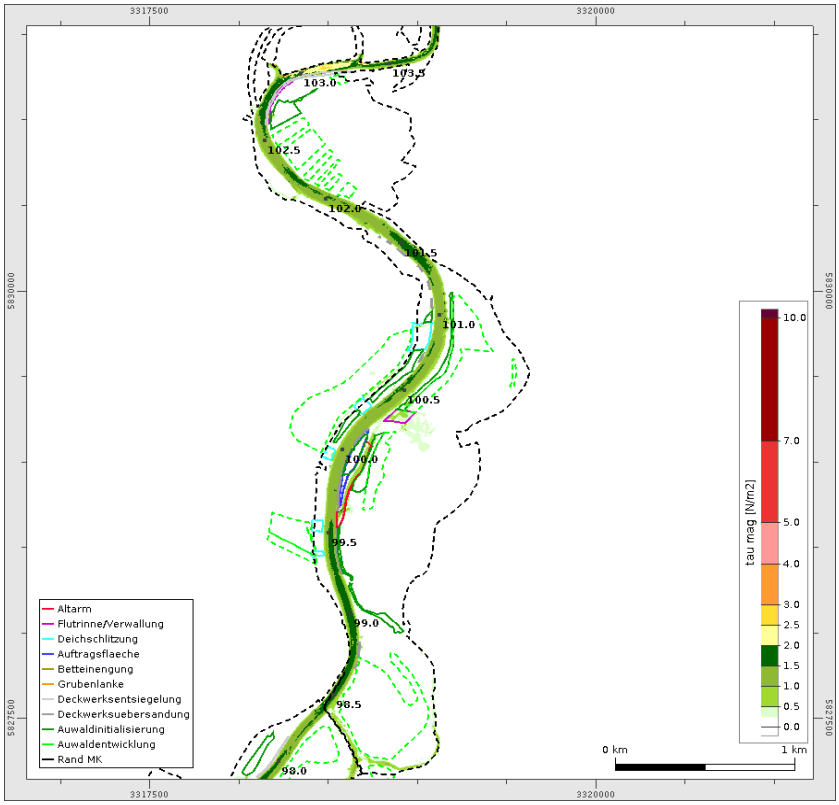

Abbildung 15: Schubspannung im PLZ, HQ2

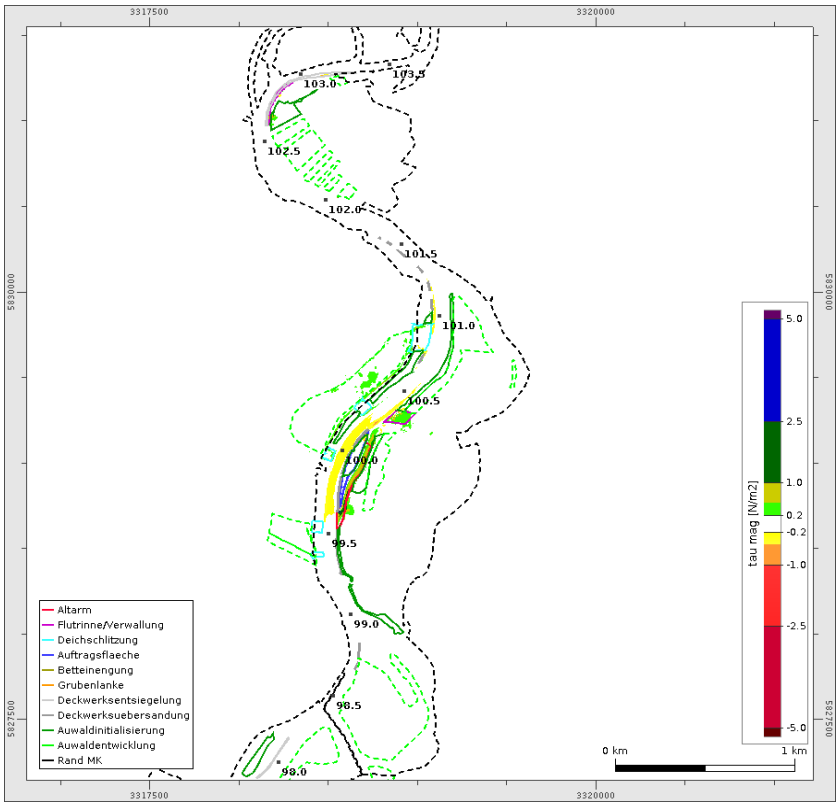

Abbildung 16: Differenz der Schubspannung (PLZ-IST), HQ2

3.5.2. Havelhochwasser 1984

Ausgehend von den Beobachtungen bei der Analyse der maximal auftretenden Strömungsgeschwindigkeiten ergibt sich ein ähnliches Bild bei der Analyse der maximal auftretenden Schubspannungen im Verlauf des Ereignisses „Havelhochwasser 1984“. Durch den Anschluss des Altarms und die Aktivierung der Flutrinne kommt es erwartungsgemäß in den Maßnahmenbereichen zu erhöhten Belastungen. Die Aufweitung des Fließquerschnittes führt in der Haupthavel im Bereich des Altarmanschlusses Ra AaN 11 04 zu einer detektierbaren Abnahme der Schubspannungen von bis zu 0,3 N/m².

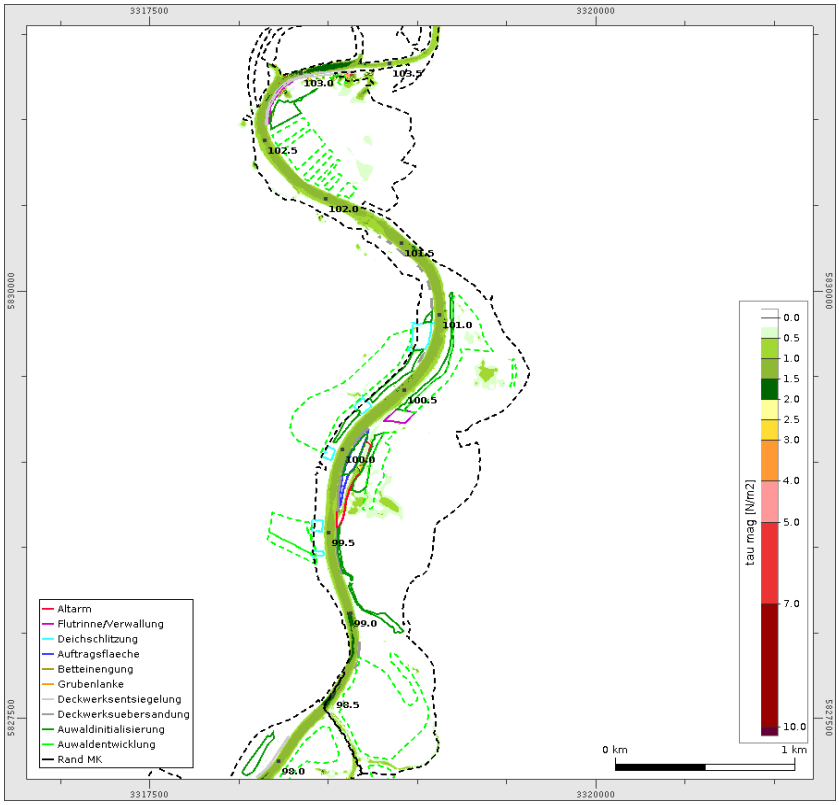

Abbildung 17: Maximale Schubspannung im PLZ, Hochwasserereignis 1984

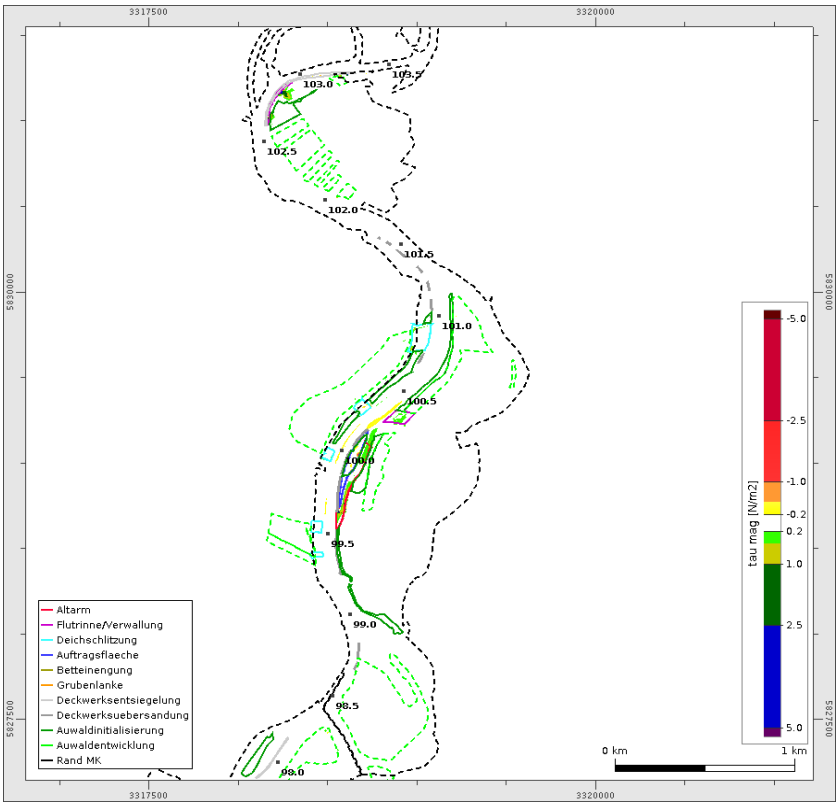

Abbildung 18: Differenz der max. Schubspannung (PLZ-IST), Hochwasserereignis 1984

4. Zusammenfassung

In diesem Bericht sind die hydraulischen Wirkungen der Maßnahmen des MK 10 unter Berücksichtigung der kumulativen Wirkung der Maßnahmen der MK 8, 9, 11, 12 und der flankierenden Maßnahme Altarmanschluss Grubenlanke hinsichtlich der Hochwasserneutralität und Niedrigwasserrobustheit dokumentiert. Es sind 11 stationäre Ereignisse und das instationäre Ereignis „Havelhochwasser 1984“ für die Systemzustände IST, PLZ, MEI und MEV berechnet und analysiert worden. Die Maßnahmen führen kumulativ zu keinen signifikanten Änderungen in der Hydrodynamik. Der durch den Altarmanschluss, die Flutrinne sowie die Deichschlitzungen lokal vergrößerte Fließquerschnitt führt in der Havel zu leichten Veränderungen des Wasserspiegels bei mittleren und hohen Abflüssen und einer Absenkung des Wasserspiegels am UP Bahnitz. Bei Hochwasserabflüssen ab HQ10 wirken nur noch die Deichschlitzungen, so dass es in der Stauhaltung Rathenow zu einer geringfügigen Abnahme des Wasserspiegels oberhalb der Deichschlitzungen und somit auch zu einer Abnahme der überfluteten Fläche kommt. Im Bereich des Altarmanschlusses und der Flutrinne ergeben sich infolge des verringerten Durchflusses durch die Haupthavel lokal verringerte Strömungsgeschwindigkeiten in der Haupthavel.

Somit ist die hydraulische Wirkung der Maßnahmen des MK 10 in Kombination mit den Wirkungen der flankierenden Maßnahme Altarmanschluss Grubenlanke sowie den Maßnahmen der MK 8, 9, 11, und 12 hochwasserneutral und niedrigwasserrobust.

5. Literaturverzeichnis

HAVELSTAUBEIRATSPROTOKOLL 2016.

PEP: Pflege- und Entwicklungsplan Gewässerrandstreifenprojekt „Untere Havelniederung zwischen Pritzerbe und Gnevsdorf“, Endbericht 2009, Arbeitsgemeinschaft IHU Geologie und Analytik GmbH, Institut biota GmbH, Ellmann und Schulze GbR, smile consult GmbH, isw Institut für Strukturpolitik und Wirtschaftsförderung gGmbH, im Auftrag von Naturschutzbund Deutschland (NABU) e. V. Berlin, Projektbüro „Untere Havelniederung“ in Havelaue/OT Parey, 2009.

SMILE CONSULT GMBH: Gewässerrandstreifenprojekt "Untere Havelniederung zwischen Pritzerbe und Gnevsdorf", Unterlage zur Genehmigungsplanung, Hydrodynamische Modellierung der SH Rathenow: Modellaufbau und -validierung, Stand Juni 2018.

6. Anlagen zum Bericht

Alle Anlagen liegen in digitaler Form (CD) diesem Bericht bei.