



Studie

Hydrologische Defizite ausgewählter Bundeswasser- straßen des Nebennetzes

Impressum

© 2022, NABU-Bundesverband

1. Auflage 08/2022

NABU (Naturschutzbund Deutschland) e. V.
Charitéstraße 3
10117 Berlin
Tel.: +49 (0)30.28 49 84-0
Fax: +49 (0)30.28 49 84-20 00
NABU@NABU.de
www.NABU.de

Text

NABU Institut für Fluss- und Auenökologie
Dr. Christiane Paul
Dr.-Ing. Rocco Buchta

Lektorat

Lektoratsbüro Berlin-Wilmersdorf
Dipl.-Biol. Thomas Pflug
www.lektoratsbüro-berlin.de

Gestaltung

Christine Kuchem
www.ck-grafik-design.de

Druck

Umweltdruck Berlin GmbH, gedruckt auf 100% Recyclingpapier

Bezug

Download unter
www.NABU.de/Studie-Hydrologische-Defizite

Bildnachweis

Alle Fotos © NABU Institut für Fluss- und Auenökologie

Dieses Projekt wurde gefördert durch das Umweltbundesamt und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. Die Mittelbereitstellung erfolgt auf Beschluss des Deutschen Bundestages.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit
und Verbraucherschutz

Umwelt
Bundesamt

Hydrologische Defizite ausgewählter Bundeswasserstraßen des Nebennetzes

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
Symbolverzeichnis	7
1. Anlass und Zielstellung	8
2. Untersuchungsumfang	10
3. Methodik	12
3.1. Grundsätzliche Herangehensweise	12
3.2. Definition der Zielparameter	12
3.3. Ermittlung der Zielparameter	15
3.4. Bewertung	18
4. Fallstudien	21
4.1. Die Aller von Ahlden bis zur Mündung in die Weser	21
4.1.1. Charakteristik	21
4.1.2. Bestimmung des Referenzzeitraumes	21
4.1.3. Verfügbare Daten	22
4.1.4. Veränderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte	25
4.1.5. Veränderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung	26
4.1.6. Veränderung des Ausuferungsverhaltens	26
4.1.7. Ergebnisse	28
4.1.8. Verbesserungsmöglichkeiten	29
4.2. Die Havel von Brandenburg bis Bahnitz	31
4.2.1. Charakteristik	31
4.2.2. Bestimmung des Referenzzeitraumes	31
4.2.3. Verfügbare Daten	32
4.2.4. Veränderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte	39
4.2.5. Veränderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung	39
4.2.6. Veränderung des Ausuferungsverhaltens	40
4.2.7. Ergebnisse	42
4.2.8. Verbesserungsmöglichkeiten	43
4.3. Die Weser von Hameln Wehrbergen bis Porta	45
4.3.1. Charakteristik	45
4.3.2. Bestimmung des Referenzzeitraumes	46
4.3.3. Verfügbare Daten	46
4.3.4. Veränderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte	50
4.3.5. Veränderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung	51
4.3.6. Veränderung des Ausuferungsverhaltens	52
4.3.7. Ergebnisse	54
4.3.8. Verbesserungsmöglichkeiten	55
4.4. Die Spree von Große Tränke bis Fürstenwalde	57
4.4.1. Charakteristik	57
4.4.2. Bestimmung des Referenzzeitraumes	58
4.4.3. Verfügbare Daten	59
4.4.4. Veränderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte	66
4.4.5. Veränderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung	67
4.4.6. Veränderung des Ausuferungsverhaltens	67
4.4.7. Ergebnisse	69
4.4.8. Verbesserungsmöglichkeiten	70
5. Fazit	71
Literaturverzeichnis	72

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der untersuchten Gewässerabschnitte.....	11
Abbildung 2: Veranschaulichung der Einzelparameter des Hauptparameters „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“.....	13
Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung einer Wasserstand-Abfluss-Beziehung und der ihr zugrunde liegenden W/Q Wertepaare.....	14
Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung einer Dauerlinie des Wasserstandes zusammen mit dem bordvollen Wasserstand der niedrigen Aue.....	15
Abbildung 5: Herangehensweise zur Ermittlung der mittleren Hauptwerte des Wasserstandes und deren Amplituden aus Zeitreihen des Wasserstandes für einen Zeitraum.....	16
Abbildung 6: Herangehensweise zur Ermittlung der Zielparameter ΔMNW , ΔMW und ΔMHW für den Hauptparameter „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“ aus gemittelten Hauptwerten des Wasserstandes des Soll- und Ist-Zustandes.....	16
Abbildung 7: Herangehensweise zur Ermittlung der Zielparameter $\Delta MNW-MW$, $\Delta MW-MHW$ und $\Delta MNW-MHW$ für den Hauptparameter „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“ aus Amplituden gemittelter Hauptwerte des Soll- und Ist-Zustandes.....	16
Abbildung 8: Herangehensweise zur Ermittlung der Zielparameter für den Hauptparameter „Wasserstand-Abfluss-Charakteristik“ mittels vorhandener Wertepaare (links) bzw. bei Verwendung einer Dauerlinie oder $Q(t)$ einer anderen Zeitreihe (rechts).....	17
Abbildung 9: Herangehensweise zur Ermittlung der Zielparameter für den Hauptparameter „Ausuferungsverhalten“ aus Zeitreihen des Wasserstandes und einer Geländehöhe für die niedrige Aue.....	17
Abbildung 10: Veranschaulichung der Ermittlung der Differenzen der Einzelparameter für den Hauptparameter „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“.....	18
Abbildung 11: Veranschaulichung der Ermittlung der Differenz des Einzelparameters für den Hauptparameter „Wasserstand-Abfluss-Charakteristik“.....	19
Abbildung 12: Veranschaulichung der Ermittlung der Differenz des Einzelparameters für den Hauptparameter „Ausuferungsverhalten“.....	19
Abbildung 13: Übersichtskarte des untersuchten Abschnittes der Aller und ihrer Aue von Ahlden bis zur Mündung in die Weser.....	21
Abbildung 14: Zeitreihe des Wasserstandes am Pegel Westen von 1853 bis 2012.....	22
Abbildung 15: Zeitreihe des Abflusses am Pegel Westen von 1853 bis 2012.....	22
Abbildung 16: Änderung der Jahresmittel des MNW vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MW vom Langzeitmittel (Mitte), Änderung der Jahresmittel des MHW vom Langzeitmittel (unten).....	23
Abbildung 17: Änderung der Jahresmittel des MNQ vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MQ vom Langzeitmittel (Mitte), Änderung der Jahresmittel des MHQ vom Langzeitmittel (unten).....	24
Abbildung 18: Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte des Wasserstandes am Pegel Westen.....	25
Abbildung 19: Änderung der Amplituden der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte am Pegel Westen.....	25
Abbildung 20: Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Aller am Pegel Westen in der Zeit von 1853 bis 1872.....	26
Abbildung 21: Aktuelle Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Aller am Pegel Westen in der Zeit von 1993 bis 2012.....	26
Abbildung 22: Veranschaulichung der Ermittlung des Ausuferungsbeginns für den Untersuchungsabschnitt der Unteraller beim Pegel Westen.....	27
Abbildung 23: Dauerlinien des Wasserstandes für die Aller am Pegel Westen in der Zeit von 1853 bis 1872 und 1993 bis 2012 sowie die ermittelte Höhe der niedrigen Aue.....	27
Abbildung 24: Bewertung der Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1853 bis 1872 zu 1993 bis 2012 am Pegel Westen.....	28
Abbildung 25: Änderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Aller am Pegel Westen vom Referenzzeitraum (1853 – 1872) bis heute (1993 – 2012).....	28
Abbildung 26: Bewertung des aktuellen Ausuferungsverhaltens für den untersuchten Abschnitt der Aller verglichen mit dem naturnahen Ausuferungsverhalten im Referenzzeitraum (1853 – 1872).....	29
Abbildung 27: Übersichtskarte des untersuchten Abschnittes der Unteren Havel.....	31
Abbildung 28: Reihe des Wasserstandes am Pegel Brandenburg UP von 1812 bis 2020.....	33

Abbildung 29: Zeitreihe des Abflusses am Pegel Ketzin von 1936 bis 2020.	33
Abbildung 30: Änderung der Jahresmittel des MNW vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MW vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHW vom Langzeitmittel (unten).	34
Abbildung 31: Änderung der Jahresmittel des MNQ vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MQ vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHQ vom Langzeitmittel (unten).	35
Abbildung 32: Abweichung des MW vom gleitenden Mittelwert für den Referenzzeitraum von 1812 bis 1831 (oben), Abweichung des MQ vom gleitenden Mittelwert für den aktuellen Zeitraum von 1991 bis 2010 (unten).	36
Abbildung 33: Jahresganglinie (oben), Monatsganglinie (Mitte) und Dauerlinie (unten) der Tagesmittelwerte des Wasserstandes für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP im Referenzzeitraum.	37
Abbildung 34: Jahresganglinie (oben), Monatsganglinie (Mitte) und Dauerlinie (unten) der Tagesmittelwerte des Abflusses für die Untere Havel am Pegel Ketzin im aktuellen Zeitraum.	38
Abbildung 35: Dauerlinien des Wasserstandes und des Abflusses für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP.	38
Abbildung 36: Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte des Wasserstandes am Pegel Brandenburg UP.	39
Abbildung 37: Änderung der Amplituden der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte am Pegel Brandenburg UP.	39
Abbildung 38: Synthetische Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP in der Zeit von 1812 bis 1831 aus den Dauerlinien des historischen Wasserstandes und des aktuellen Abflusses.	40
Abbildung 39: Aktuelle Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP in der Zeit von 1991 bis 2010; SD = Standardabweichung.	40
Abbildung 40: Veranschaulichung der Ermittlung des Ausuferungsbeginns für den Untersuchungsabschnitt der Unteren Havel beim Pegel Brandenburg UP.	41
Abbildung 41: Dauerlinien des Wasserstandes für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP in der Zeit von 1812 bis 1831 und 1991 bis 2010 sowie die ermittelte Höhe der niedrigen Aue.	41
Abbildung 42: Bewertung der Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1812 bis 1831 zu 1991 bis 2010 am Pegel Brandenburg UP.	42
Abbildung 43: Änderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP vom Referenzzeitraum (1812 – 1831) bis heute (1991 – 2010).	42
Abbildung 44: Bewertung des aktuellen Ausuferungsverhaltens des betrachteten Abschnittes der Unteren Havel verglichen mit dem naturnahen Ausuferungsverhalten im Referenzzeitraum (1812 – 1831).	43
Abbildung 45: Übersichtskarte des untersuchten Abschnittes der Oberweser.	45
Abbildung 46: Zeitreihe des Wasserstandes am Pegel Vlotho von 1821 bis 2020.	47
Abbildung 47: Zeitreihe des Abflusses am Pegel Vlotho von 1821 bis 2020.	47
Abbildung 48: Änderung der Jahresmittel des MNW vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MW vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHW vom Langzeitmittel (unten).	48
Abbildung 49: Änderung der Jahresmittel des MNQ vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MQ vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHQ vom Langzeitmittel (unten).	49
Abbildung 50: Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte des Wasserstandes am Pegel Vlotho.	50
Abbildung 51: Änderung der Amplituden der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte am Pegel Vlotho.	50
Abbildung 52: Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Oberweser am Pegel Vlotho in der Zeit von 1821 bis 1840.	51
Abbildung 53: Aktuelle Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Oberweser am Pegel Vlotho in der Zeit von 2007 bis 2016; SD = Standardabweichung.	51
Abbildung 54: Veranschaulichung der Ermittlung des Ausuferungsbeginns für den Untersuchungsabschnitt der Oberweser am Pegel Vlotho.	53
Abbildung 55: Dauerlinien des Wasserstandes für die Weser am Pegel Vlotho in der Zeit von 1821 bis 1840 und 2007 bis 2016 sowie die ermittelte Höhe der niedrigen Aue.	53
Abbildung 56: Bewertung der Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1821 bis 1840 zu 2007 bis 2016 am Pegel Vlotho.	54
Abbildung 57: Änderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Oberweser am Pegel Vlotho vom Referenzzeitraum (1821 – 1840) bis heute (2007 – 2016).	54
Abbildung 58: Bewertung des aktuellen Ausuferungsverhaltens des betrachteten Abschnittes der Oberweser verglichen mit dem naturnahen Ausuferungsverhalten im Referenzzeitraumes (1821 – 1840).	55
Abbildung 59: Übersichtskarte des untersuchten Abschnittes der Fürstenwalder Spree.	57

Abbildung 60: Zeitreihen der Tagesmittelwerte des Wasserstandes am Pegel Fürstenwalde UP von 1817 bis 1838 und von 1910 bis 2020.	59
Abbildung 61: Zeitreihen der Tagesmittelwerte des Abflusses für den Pegel Große Tränke Wehr UP (oben), Wernsdorf OP (Mitte) und Fürstenwalde UP (unten, Summe aus Abflüssen oben und Mitte) von 1959 bis 2020.	60
Abbildung 62: Änderung der Jahresmittel des MNW vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MW vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHW vom Langzeitmittel (unten).	61
Abbildung 63: Änderung der Jahresmittel des MNQ vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MQ vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHQ vom Langzeitmittel (unten).	62
Abbildung 64: Abweichung des MW vom gleitenden Mittelwert für den Referenzzeitraum von 1819 bis 1838 (oben); Abweichung des MQ vom gleitenden Mittelwert für den aktuellen Zeitraum von 2001 bis 2020 (unten).	63
Abbildung 65: Jahreganglinien (oben), Monatsganglinien (Mitte), und Dauerlinie (unten) der Tagesmittelwerte des Wasserstandes für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP im Referenzzeitraum.	64
Abbildung 66: Jahreganglinien (oben), Monatsganglinien (Mitte) und Dauerlinie (unten) der Tagesmittelwerte des Abflusses für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP im aktuellen Zeitraum.	65
Abbildung 67: Dauerlinien des Wasserstandes und des Abflusses für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP. ...	65
Abbildung 68: Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte des Wasserstandes am Pegel Fürstenwalde UP.	66
Abbildung 69: Änderung der Amplituden der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte am Pegel Fürstenwalde UP.	66
Abbildung 70: Synthetische Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP in der Zeit von 1819 bis 1838 aus den Dauerlinien des historischen Wasserstandes und des aktuellen Abflusses.	67
Abbildung 71: Aktuelle Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP in der Zeit von 2001 bis 2020; SD = Standardabweichung.	67
Abbildung 72: Veranschaulichung der Ermittlung des Ausuferungsbeginns für den Untersuchungsabschnitt der Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP.	68
Abbildung 73: Dauerlinien des Wasserstandes für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP in der Zeit von 1819 bis 1838 und 2001 bis 2020 sowie die ermittelte Höhe der niedrigen Aue.	68
Abbildung 74: Bewertung der Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1819 bis 1838 zu 2001 bis 2020 am Pegel Fürstenwalde UP.	69
Abbildung 75: Änderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP vom Referenzzeitraum (1819 – 1838) bis heute (2001 – 2020).	69
Abbildung 76: Bewertung des aktuellen Ausuferungsverhaltens des betrachteten Abschnittes der Spree verglichen mit dem naturnahen Ausuferungsverhalten im Referenzzeitraum (1819 – 1839).	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der im Rahmen der Studie untersuchten Gewässerabschnitte	10
Tabelle 2: Zuordnung der Einzelparameter des Hauptparameters „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“ zur räumlichen Systemkomponente	13
Tabelle 3: Zuordnung des Einzelparameters vom Hauptparameter „Wasserstand-Abfluss-Charakteristik“ zur räumlichen Systemkomponente	14
Tabelle 4: Zuordnung des Einzelparameters vom Hauptparameter „Ausuferungsverhalten“ zur räumlichen Systemkomponente	15
Tabelle 5: Bewertungsschema für Abweichungen der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von der historischen Amplitude und das Ausuferungsverhalten	18
Tabelle 6: Vergleich der gemittelten wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1853 – 1872 mit 1993 – 2012 am Pegel Westen	28
Tabelle 7: Vergleich der gemittelten wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1812 – 1831 mit 1991 – 2010 am Pegel Brandenburg UP	42
Tabelle 8: Vergleich der gemittelten wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1821 – 1840 mit 2007 – 2016 am Pegel Vlotho	54
Tabelle 9: Vergleich der gemittelten wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1819 – 1838 mit 2001 – 2020 am Pegel Fürstenwalde UP	69

Abkürzungsverzeichnis

BBD	Blaues Band Deutschland
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BRK	Bezirksregierung Köln
BWaStr	Bundeswasserstraße
DGM	Digitales Geländemodell
EG	Europäische Gemeinschaft
GDWS	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LfU	Landesamt für Umwelt
LGB	Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg
LGLN	Landesamt für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen
LUA BB	Landesumweltamt Brandenburg
MU	Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz
m ü. NHN	eter über Normalhöhennull
m ü. NN	Meter über Normalnull
NABU	Naturschutzbund Deutschland e. V.
OP	Oberpegel
PNP	Pegelnullpunkt
UP	Unterpegel
WMS	Web Map Service
W-Q-Beziehung	Wasserstand-Abfluss-Beziehung
WSA	Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt
WSV	Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

Symbolverzeichnis

Lateinische Symbole

Symbol	Einheit	Bezeichnung
HW	[m]	Hochwasserstand (Maximalwert des Wasserstandes in einem Bezugszeitraum)
HW ₁	[m]	Höchster Wasserstand eines Abflussjahres
MHW	[m]	Mittelwert der maximalen Messwerte des Wasserstandes im Bezugszeitraum
MNW	[m]	Mittelwert der minimalen Messwerte des Wasserstandes im Bezugszeitraum
MW	[m]	Mittlerer Wasserstand (arithmetisches Mittel einer Zeitreihe)
MW ₁	[m]	Mittlerer Wasserstand eines Abflussjahres
NW	[m]	Niedrigwasserstand (Minimalwert des Wasserstandes in einem Bezugszeitraum)
NW ₁	[m]	Niedrigster Wasserstand eines Abflussjahres
Q	[m ³ /s]	Abfluss
Q(t)	[m ³ /s]	Abfluss, Zeitreihe
t	[s]	Zeit
W	[m]	Wasserstand
W _b	[m]	Wasserstand, bezogen auf den bordvollen Abfluss
W _{IST}	[m]	Wasserstand im aktuellen Zeitraum (nach der Gewässerregulierung)
W(Q)	[m]	Wasserstand-Abfluss-Beziehung, W = f(Q)
W _{SOLL}	[m]	Wasserstand im Referenzzeitraum (vor der Gewässerregulierung)
W(t)	[m]	Wasserstand, Zeitreihe

Koordinaten

x	[m]	Raumkoordinate, Länge in x-Richtung (kartesisches Koordinatensystem)
y	[m]	Raumkoordinate, Länge in y-Richtung (kartesisches Koordinatensystem)
z	[m]	Raumkoordinate, Länge in z-Richtung (kartesisches Koordinatensystem)

Griechische Symbole

Symbol	Einheit	Bezeichnung
Δ	[-]	Differenz

1. Anlass und Zielstellung

Der Weg für eine ökologische Gewässerentwicklung ist durch die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) und das Bundesprogramm „Blaues Band Deutschland“ (BBD) geebnet. Das BBD verfolgt hierbei die Ziele der Wiedervernetzung von Fluss, Ufer und Aue, den Erhalt und die Entwicklung wasser- und auengebundener Arten sowie die Etablierung eines Biotopverbundes entlang der Bundeswasserstraßen. Näheres dazu lässt sich in der Broschüre zum Bundesprogramm „Blaues Band Deutschland – Eine Zukunftsperspektive für die Wasserstraßen“ (BMVI & BMU, 2018) oder in den „Fachlichen Grundlagen zum Bundesprogramm“ (AG Fachliche Grundlagen BBD, 2016) nachlesen.

In der Studie „Gewässerökologische Defizite und Potenziale ausgewählter Bundeswasserstraßen des Nebennetzes“ (NABU, 2020) wurden bereits ökologische Verbesserungspotenziale für 13 untersuchte Gewässerabschnitte aufgezeigt. Allerdings wurde zur Untersuchung der Hydrologie nur vereinfachend der Parameter Überflutungshäufigkeit betrachtet. Es konnte als Defizit ermittelt werden, dass die Aue an 4 der 13 untersuchten Gewässerabschnitte im Schnitt nicht mehr in relevantem Umfang überflutet wird. Rund 51 % der untersuchten morphologischen Auen könnten jedoch nach Umnutzung und Deichrückverlegung mit dem Ziel wiederhergestellt werden, mehr rezente Aue als Überflutungsraum zu schaffen (NABU, 2020).



Anknüpfend an die o. g. Studie sollen nun vertiefte hydrologische Untersuchungen an ausgewählten Bundeswasserstraßen und ihren Auen vorgenommen werden. Der NABU (Naturschutzbund Deutschland) e. V. möchte mit der vorliegenden Studie eine Methodik zur Bewertung der hydrologischen Situation vorstellen. An vier ausgewählten Bundeswasserstraßen des Nebennetzes mit hinreichender Datensituation sollen außerdem beispielhaft hydrologische Defizite identifiziert und Möglichkeiten der Reduzierung beschrieben werden.

Mit Hilfe des Leitfadens sollen potenzielle Projektträger eine erste Bewertung des hydrologischen Zustandes eines Gewässers vornehmen und geeignete Maßnahmen ableiten können.



2. Untersuchungsumfang

Die grundlegende Auswahl der zu untersuchenden Gewässerabschnitte erfolgte nach den in NABU (2020) genannten Kriterien. Von den natürlichen Binnengewässern wurden lediglich die Bundeswasserstraßen des Nebennetzes betrachtet, da sie ein erheblich größeres Potenzial für ökologische Verbesserungen aufweisen. Die weitere Auswahl der zu untersuchenden Flüsse richtete sich nach dem Vorhandensein einer hinreichenden Datengrundlage. Diese ist von großer Bedeutung, da die angewandte Methodik ausschließlich auf der Auswertung vorhandener Daten basiert.

Das entscheidende Auswahlkriterium für die zu untersuchenden Gewässerabschnitte war das Vorhandensein von Pegel­daten für den unverbauten naturnahen Gewässerzustand. Darüber hinaus sollten die Abschnitte weitestgehend frei fließend sein – mindestens im unverbauten Zustand. Im Anschluss an eine Recherche und Vorauswahl nach den genannten Kriterien verblieben vier der 13 Flüsse aus der Studie des NABU (2020) zur weiteren Analyse: die Unteraller in Niedersachsen, die Untere Havel und die Fürstenwalder Spree in Brandenburg sowie die Oberweser, welche Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen durchfließt (Tabelle 1 und Abbildung 1).

Tabelle 1 fasst die nach den oben genannten Auswahlkriterien ermittelten und im Rahmen der Fallstudien untersuchten Gewässerabschnitte zusammen. Die Kilometerangaben sind dem Bundeswasserstraßen-WMS der WSV (WSV, 2021a) entnommen.

Abbildung 1 zeigt zur Übersicht die Lage der untersuchten Gewässerabschnitte. Untersucht wurden nur Wasserstraßen, welche nach Einstufung gemäß Bundesverkehrswegeplan 2030 (BMVI, 2016) dem Nebennetz angehören.

Tabelle 1: Übersicht der im Rahmen der Studie untersuchten Gewässerabschnitte

Gewässername	von km	bis km	Lagebeschreibung	Länge als Bundeswasserstraße in km
Aller (Unteraller)	58,7	117,2	Ahlden bis Mündung in die Weser	58,5
Havel (Untere Havel ohne Silokanal)	56,0	81,8	Brandenburg UP bis Bahnitz OP	27,7
Weser (Oberweser)	139,7	198,4	Hameln Wehrbergen bis Porta	58,7
Spree (Fürstenwalder Spree)	69,0	74,7	Große Tränke bis Fürstenwalde UP	5,7



Abbildung 1: Übersicht der untersuchten Gewässerabschnitte. Datengrundlagen: Verwaltungsgebiete Deutschland – VG2500: © GeoBasis-DE / BKG 2019, dl-de/by-2-0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0) (www.bkg.bund.de); Bundeswasserstraßen – VerkNet-BWaStr: © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de); Digitales Geländemodell Rasterweite 200 m - DGM200: © GeoBasis-DE / BKG 2019, dl-de/by-2-0 (www.govdata.de/dl-de/by-2-0) (www.bkg.bund.de)

3. Methodik

3.1. Grundsätzliche Herangehensweise

Die hydromorphologische Qualitätskomponente „Wasserhaushalt“ gemäß der EG-Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) wird nach LAWA (2021) für Oberflächengewässer ausschließlich mittels des Zielparameters „Abfluss und Abflussdynamik“ bewertet. In der Studie des NABU (2020) wird dieser Parameter durch den Haupt- und Einzelparameter „Überflutungshäufigkeit“ repräsentiert – damit wird aber nur ein Teil des Wasserhaushaltes bewertet. Insbesondere

die Abflussdynamik und die Entwicklung der Wasserstände fehlen. Innerhalb dieser Studie sollen deshalb drei Hauptparameter mit ihren zugehörigen Einzelparametern vorgestellt werden, mit denen Flüsse bezüglich der Qualitätskomponente „Wasserhaushalt“ umfassender bewertet werden können. Nachfolgend werden die Zielparameter zunächst definiert (Kapitel 3.2), dann folgen Wege zur Ermittlung (Kapitel 3.3) und Hinweise zur Bewertung (Kapitel 3.4).

3.2. Definition der Zielparameter

Der Zielparameter „Abfluss und Abflussdynamik“ der Qualitätskomponente „Wasserhaushalt“ nach LAWA (2021) kann mit folgenden Hauptparametern definiert werden:

- Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes,
- Wasserstand-Abfluss-Charakteristik und
- Ausuferungsverhalten.

Die Einordnung der Hauptparameter in das Fluss-Aue-System und die für die Bewertung erforderlichen Einzelparameter sowie deren Zustandsgrößen werden nachfolgend dargestellt.

Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes

Die Hauptwerte des Wasserstandes als Eingangsgrößen zur Ermittlung der Einzelparameter charakterisieren für eine mehrjährige Zeitreihe die mittleren Verhältnisse des Wasserstandes bei Niedrigwasser (MNW), bei Mittelwasser (MW) und bei Hochwasser (MHW) für den jeweiligen Beobachtungszeitraum (siehe Abbildung 2).

Die Charakteristik der Wasserstände wird außerdem durch die Eingangsgrößen „mittlere Amplitude des Niedrigwassers“ (MNW-MW), „mittlere Amplitude des Hochwassers“ (MW-MHW) und „gesamte mittlere Schwankungsbreite“ (MNW-MHW) repräsentiert (siehe Abbildung 2).

Einzelparameter sind zum einen die Differenzen zwischen den jeweiligen gemittelten Hauptwerten des Wasserstandes des Soll- und Ist-Zustandes. Ihre Namen, Abkürzungen und Definitionen sind wie folgt:

- Differenz des mittleren Niedrigwasserstandes (ΔMNW) = Differenz des mittleren Niedrigwasserstandes eines jeden Bezugszeitraumes zwischen dem Soll- und Ist-Zustand

- Differenz des mittleren Wasserstandes (ΔMW) = Differenz des mittleren Wasserstandes eines jeden Betrachtungszeitraumes zwischen dem Soll- und Ist-Zustand
- Differenz des mittleren Hochwasserstandes (ΔMHW) = Differenz des mittleren Hochwasserstandes eines jeden Bezugszeitraumes zwischen dem Soll- und Ist-Zustand

Die Aussagefähigkeit der Einzelparameter für das Fluss-Aue-System ist dabei räumlich begrenzt. ΔMNW betrifft das Flussbett, ΔMW den Übergangsbereich von aquatisch zu terrestrisch und ΔMHW die Aue (siehe Tabelle 2).

Weitere Einzelparameter sind die Differenzen zwischen den Amplituden der gemittelten Hauptwerte von Soll- und Ist-Zustand, welche nachfolgend näher ausgeführt und definiert werden:

- Differenz der mittleren Amplitude des Niedrigwassers ($\Delta MNW-MW$) = Differenz der mittleren Amplitude des Niedrigwassers eines jeden Bezugszeitraumes zwischen dem Soll- und Ist-Zustand
- Differenz der mittleren Amplitude des Hochwassers ($\Delta MW-MHW$) = Differenz der mittleren Amplitude des Hochwassers eines jeden Bezugszeitraumes zwischen dem Soll- und Ist-Zustand
- Differenz der gesamten mittleren Schwankungsbreite der Hauptwerte ($\Delta MNW-MHW$) = Differenz der gesamten mittleren Schwankungsbreite der Hauptwerte eines jeden Bezugszeitraumes zwischen dem Soll- und Ist-Zustand

Ihre Aussagefähigkeit für das Fluss-Aue-System ergibt sich dementsprechend folgendermaßen: $\Delta MNW-MW$ betrifft den Bereich vom Gewässerbett bis zum Übergangsbereich, $\Delta MW-MHW$ den Bereich vom Übergang bis zur Aue und $\Delta MNW-MHW$ den gesamten Bereich vom Gewässerbett bis zur Aue (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Zuordnung der Einzelparameter des Hauptparameters „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“ zur räumlichen Systemkomponente

Systemkomponente	Gewässerbett	Übergang	Aue
Einzelparameter	ΔMNW	ΔMW	ΔMHW
	$\Delta MNW-MW$		$\Delta MW-MHW$
	$\Delta MNW-MHW$		

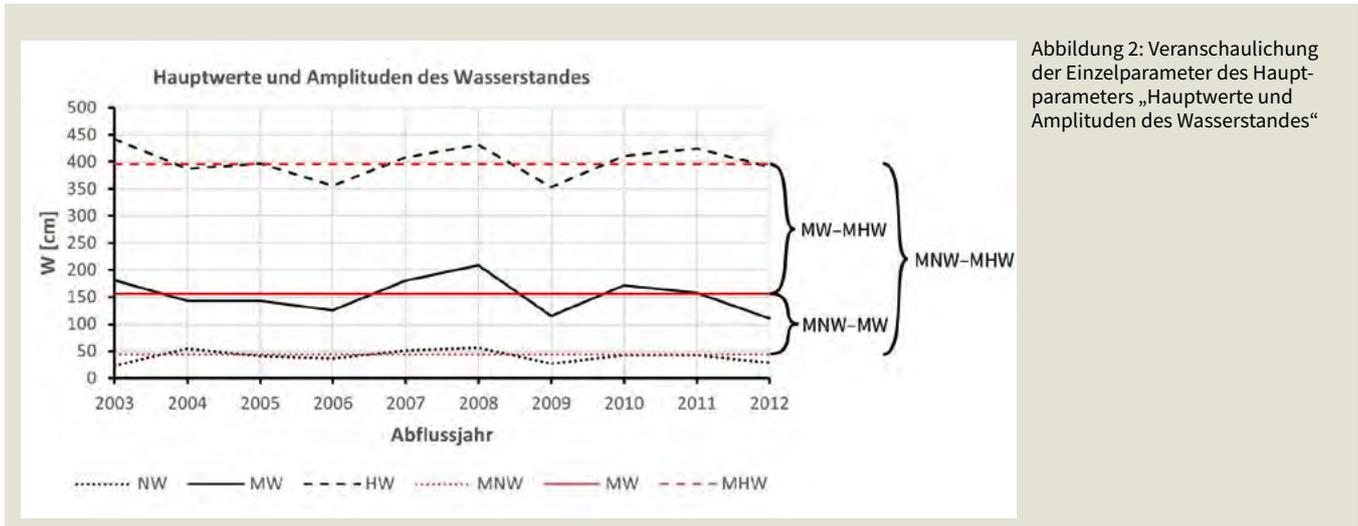


Abbildung 2: Veranschaulichung der Einzelparameter des Hauptparameters „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“

Die zur Ermittlung der Einzelparameter erforderlichen Daten für die Bundeswasserstraßen sind oft für lange Zeiträume vorhanden – i. d. R. auch in aufbereiteter Form (als Hauptwerte für vorgegebene Perioden). Dies gilt vor allem auch für den Referenzzustand, für den die Datenbeschaffung in anderen Fällen oft problematisch ist. Wegen dieser guten Datenlage sind die Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes ein wichtiger Hauptparameter für die Bewertung des Wasserhaushaltes. Da über ihn jedoch keine Aussagen zum Abflussverhalten möglich sind, ist er für die alleinige Beurteilung des Wasserhaushaltes nicht hinreichend.

Wasserstand-Abfluss-Charakteristik

Der Einzelparameter Wasserstand-Abfluss-Beziehung $W = f(Q)$ stellt die Wasserstände (W) als Funktion des Abflusses (Q) für eine Zeitreihe dar. Somit ist durch ihn die Beziehung des Wasserstandes in Abhängigkeit vom Abfluss darstellbar (siehe Abbildung 3). Zudem liefert er die Informationen zum Wasserhaushalt nicht nur für wenige Werte des Abflussverhaltens, sondern für den gesamten Verlauf vom Niedrigwasser bis zum Hochwasser. Räumlich gesehen besitzt dieser Einzelparameter demnach eine Aussagefähigkeit für das gesamte Fluss-Aue-System – vom niedrigsten bis zum höchsten in der Zeitreihe aufgetretenen Wasserstand

– und gibt außerdem Auskunft über den gesamten Wasserhaushalt vom Gewässerbett bis zur Aue (siehe Tabelle 3).

Der Name, die Abkürzung sowie Definition des Einzelparameters im Detail lauten wie folgt:

- Wasserstand-Abfluss-Beziehung ($W = f(Q)$) = Abhängigkeit des Wasserstandes vom Abfluss für einen Betrachtungszeitraum mit unveränderten hydrologischen Bedingungen

Nähere Informationen zu Wasserstand-Abfluss-Beziehungen finden sich u. a. in Morgenschweis (2018, S. 416), Malcherek (2019, S. 48) und Wittenberg (2011, S. 25).

Der große Vorteil der Wasserstand-Abfluss-Beziehung ist, dass sie den wichtigen Zusammenhang zwischen Abflussverhalten und Wasserstand darstellt. Nachteilig ist, dass zur Ermittlung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung die Zeitreihen des Abflusses und des Wasserstandes erforderlich sind, erstere jedoch für Zeiträume des unverbauten Zustandes an Bundeswasserstraßen oft nicht vorhanden sind. Aber auch Zeitreihen des Wasserstandes für den unverbauten Zustand sind oft schwer zu beschaffen, da sie noch nicht digitalisiert wurden oder ebenfalls nicht vorhanden sind. Dies macht die Erstellung von Wasserstand-Abfluss-Beziehungen für Referenzzeiträume oftmals schwierig.

Tabelle 3: Zuordnung des Einzelparameters vom Hauptparameter „Wasserstand-Abfluss-Charakteristik“ zur räumlichen Systemkomponente

Systemkomponente	Gewässerbett	Übergang	Aue
Einzelparameter	W = f(Q)		

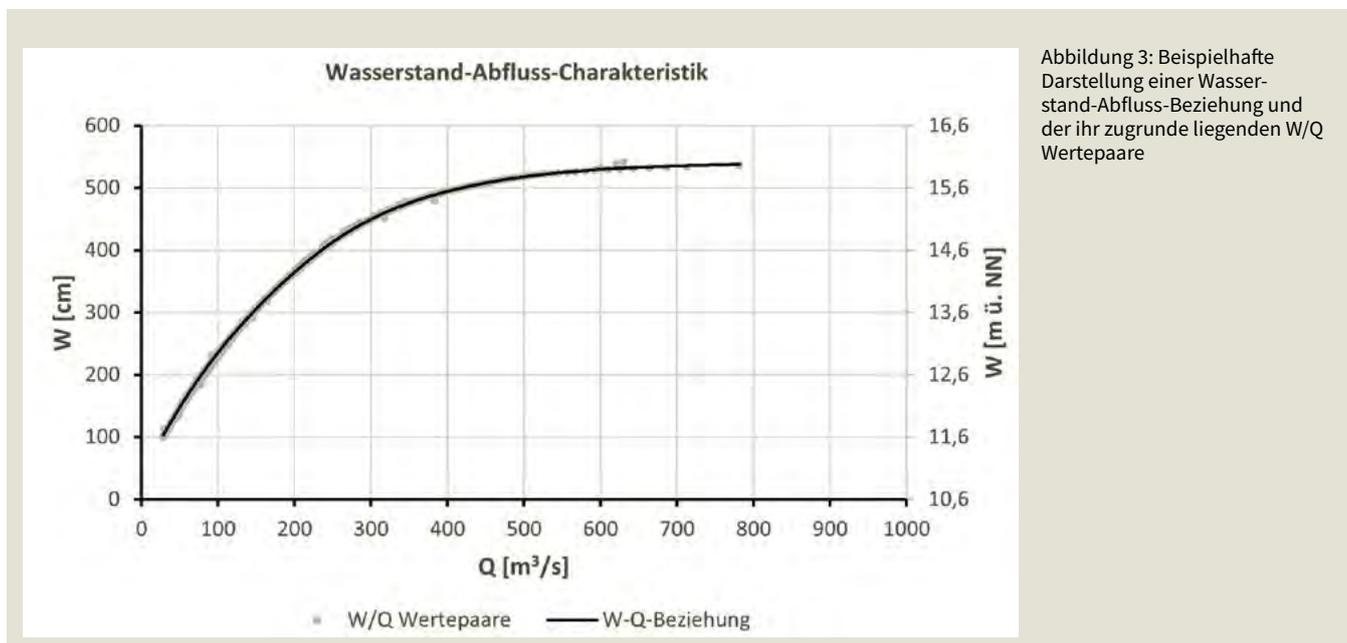


Abbildung 3: Beispielhafte Darstellung einer Wasserstand-Abfluss-Beziehung und der ihr zugrunde liegenden W/Q Wertepaare

Ausuferungsverhalten

Das Ausuferungsverhalten wird durch die Häufigkeit und räumliche Ausdehnung von Überflutungen repräsentiert. Es stellt dar, wie lange die Aue nennenswert am Abflussgeschehen teilnimmt und demzufolge Stoffaustauschprozesse stattfinden können.

Die Herausforderung bei der Bestimmung des Ausuferungsverhaltens ist, dass es keinen wasserwirtschaftlichen Hauptwert gibt, der eindeutig der mittleren Überflutungshäufigkeit zugeordnet werden kann. Deswegen erfolgte die Auswahl des Einzelparameters „Dauerlinie des Wasserstandes (Dauerlinie W) oberhalb des bordvollen Wasserstandes (W_b)“. Dieser liefert die erforderliche Aussage für das Ausuferungsverhalten, nämlich die Anzahl der Tage im Jahr, an denen die Wasserstände höher liegen als die Geländeoberkante der tiefen Aue (siehe Abbildung 4).

Die Dauerlinie gibt hierbei Auskunft über alle in der Zeitreihe auftretenden Wasserstände – vom niedrigsten bis zum höchsten – und erlaubt räumlich gesehen demnach Aussagen vom Gewässerbett bis zur Aue. Der bordvolle Wasserstand (W_b) kennzeichnet dagegen die Grenze zwischen Gewässerbett und Aue. Die Aussagefähigkeit des Einzelparameters für das Fluss-Aue-System ist somit räumlich begrenzt: Die Wasserstände der Dauerlinie (Dauerlinie W), welche größer als der bordvolle Wasserstand (W_b) sind, betreffen die Aue (siehe Tabelle 4).

Die Namen, Abkürzungen und Definitionen der Komponenten des Einzelparameters lauten im Detail wie folgt:

- Dauerlinie des Wasserstandes (Dauerlinie W) = Darstellung der Werte einer Zeitreihe von Wasserständen in der Reihenfolge ihrer Größe als kumulierte Häufigkeitskurve (Def. nach Müller (1999, S. 64); nähere Erläuterungen in Morgenschweis (2018, S. 595 ff.)),
- Bordvoller Wasserstand (W_b) = Wasserstand, bezogen auf den bordvollen Abfluss bei dessen Überschreitung es zur Ausuferung kommt (Patt, 2016, S. 315).

Zur Ermittlung der Dauerlinie des Wasserstandes sind Zeitreihen $W(t)$ oder mindestens Stützstellen der Dauerlinie erforderlich, wie sie z. B. im Elbstromwerk (Königliche Elbstrombauverwaltung, 1898) zu finden sind. Zur Bestimmung des Ausuferungswasserstandes werden Geländehöhen benötigt. Allerdings sind an Bundeswasserstraßen Geländehöhen für Zeiträume des unverbauten Zustandes nur selten vorhanden, daher muss hilfsweise aus aktuellen Geländehöhen die maßgebende historische Geländeoberkante abgeleitet werden, wobei jedoch zu beachten ist, dass in den meisten Flussauen begradigter und eingedeichter Flüsse anthropogene Auflandungen stattgefunden haben. Daher sind in diesem Fall Bereiche zu suchen, in denen diese Effekte möglichst gering waren, wie z. B. in ehemaligen Auenbereichen, welche frühzeitig ausgedeicht wurden, oder in flussfernen historischen Rinnenstrukturen.

Tabelle 4: Zuordnung des Einzelparameters vom Hauptparameter „Ausuferungsverhalten“ zur räumlichen Systemkomponente

Systemkomponente	Gewässerbett	Übergang	Aue
Einzelparameter			Dauerlinie $W > W_b$

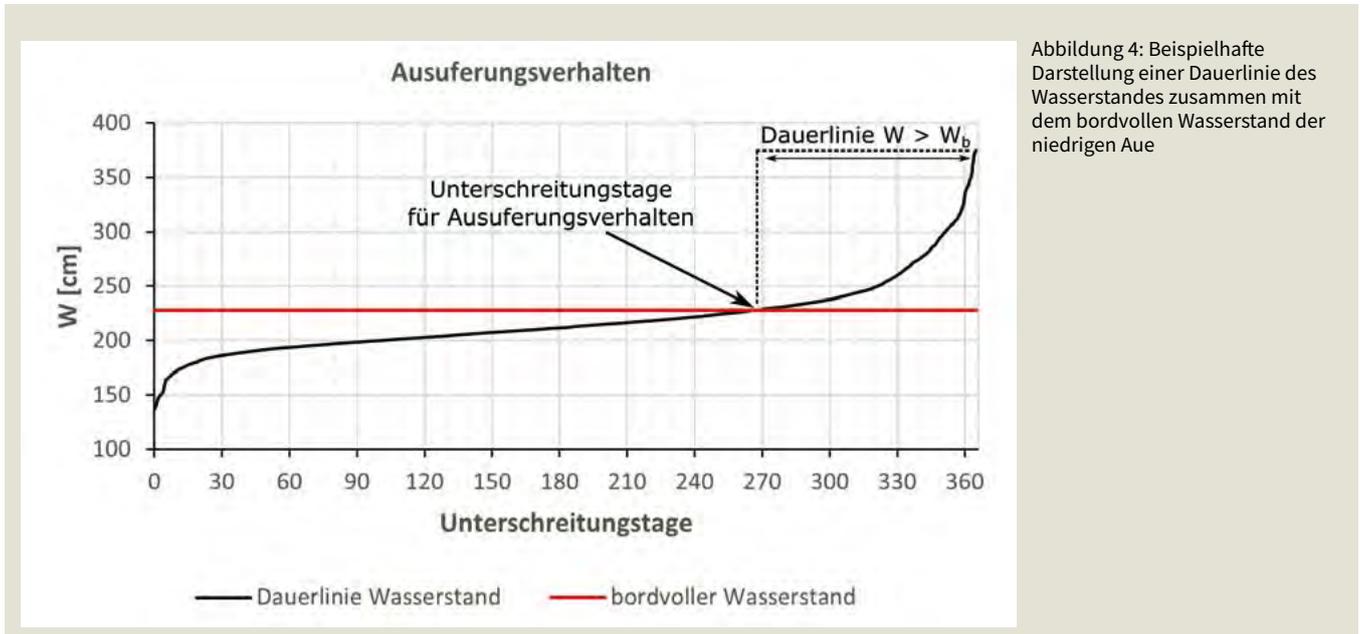


Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung einer Dauerlinie des Wasserstandes zusammen mit dem bordvollen Wasserstand der niedrigen Aue

3.3. Ermittlung der Zielparameter

Zur Ermittlung der Zielparameter werden als Eingangsgrößen Zeitreihen des Wasserstandes $W(t)$, des Abflusses $Q(t)$ und die Höhen der niedrigen Aue für die betrachteten Zeiträume benötigt. Die zur Analyse des jeweiligen Hauptparameters benötigten Einzelparameter werden dann i. d. R. aus aggregierten Eingangsgrößen abgeleitet – können aber auch direkt vorliegen und in dem Fall unmittelbar weiterverwendet werden. Nachfolgend werden ausgewählte Verfahren beispielhaft vorgestellt.

Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes

Die Eingangsgrößen sind Zeitreihen des Wasserstandes $W(t)$ für den Zeitraum im Referenzzustand (Soll) und den aktuellen Zeitraum (Ist). Es werden der niedrigste, höchste und mittlere Wasserstand eines jeden Abflussjahres ermittelt (NW_1 , MW_1 und HW_1) und anschließend die jeweiligen Mittelwerte für den Gesamtzeitraum (MNW, MW und MHW) berechnet. Anschließend erfolgt die Ermittlung der Amplituden durch Subtraktion der mittleren Hauptwerte, wobei immer der kleinere Wert vom größeren subtrahiert wird, um negative Zahlen zu vermeiden. Abbildung 5 zeigt das Vorgehen für eine Zeitreihe, wobei für den Soll- und den Ist-Zustand analog zu verfahren ist. Wenn $W(t)$ für den Referenzzustand nicht vorliegt, können die Hauptwerte oftmals immerhin noch der Literatur entnommen werden.

In diesem Fall ist zu berücksichtigen, ob die Hauptwerte für den Referenzzeitraum für Kalender- oder Abflussjahre vorliegen.

Die Differenz zwischen den gemittelten Hauptwerten für den Soll- und den Ist-Zustand ergibt schließlich die Zielparameter ΔMNW , ΔMW und ΔMHW (siehe Abbildung 6).

Durch Bildung der Differenzen zwischen den Amplituden der gemittelten Hauptwerte für den Soll- und Ist-Zustand ergeben sich schlussendlich die Zielparameter $\Delta MNW - MW$, $\Delta MW - MHW$ und $\Delta MNW - MHW$ (siehe Abbildung 7).

Wasserstand-Abfluss-Charakteristik

Die Eingangsgrößen sind Zeitreihen des Wasserstandes $W(t)$ und des Abflusses $Q(t)$ für den Zeitraum im Referenzzustand (Soll) und den aktuellen Zeitraum (Ist).

Zunächst werden Wertepaare der Tagesmittelwerte oder Tageswerte für $Q(x)$ und $W(y)$ als Punktwolke in einem Diagramm aufgetragen – Ausreißer, etwa durch Eisversatz, sollten dabei möglichst gefunden und entfernt werden. $W = f(Q)$ kann nun mittels einer geeigneten Regressionsfunktion gefunden werden (Abbildung 8, links).

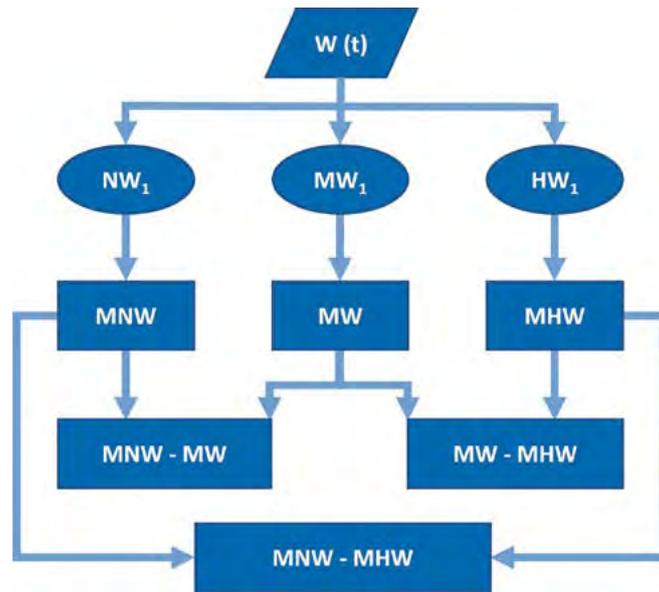


Abbildung 5: Herangehensweise zur Ermittlung der mittleren Hauptwerte des Wasserstandes und deren Amplituden aus Zeitreihen des Wasserstandes für einen Zeitraum

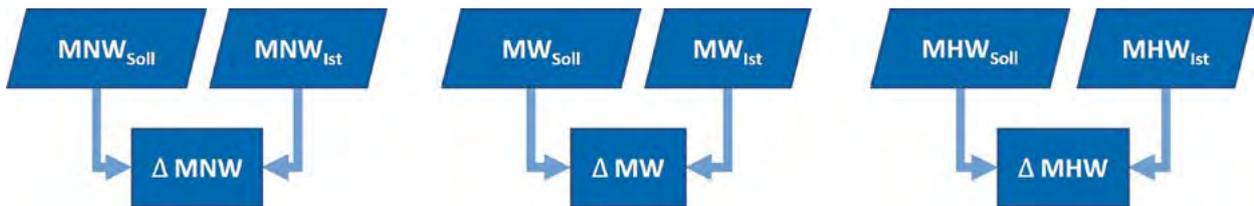


Abbildung 6: Herangehensweise zur Ermittlung der Zielparameter ΔMNW , ΔMW und ΔMHW für den Hauptparameter „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“ aus gemittelten Hauptwerten des Wasserstandes des Soll- und Ist-Zustandes

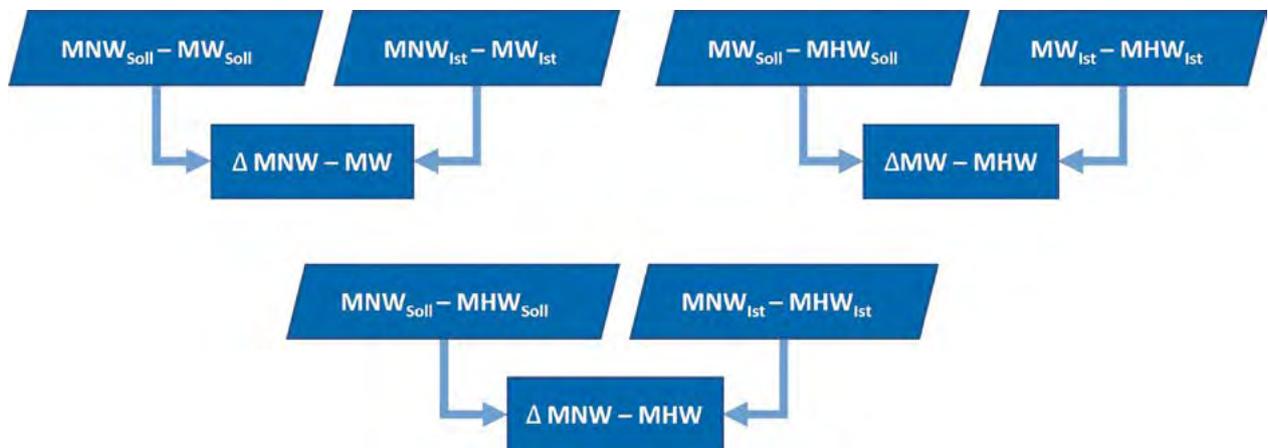


Abbildung 7: Herangehensweise zur Ermittlung der Zielparameter $\Delta MNW - MW$, $\Delta MW - MHW$ und $\Delta MNW - MHW$ für den Hauptparameter „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“ aus Amplituden gemittelter Hauptwerte des Soll- und Ist-Zustandes

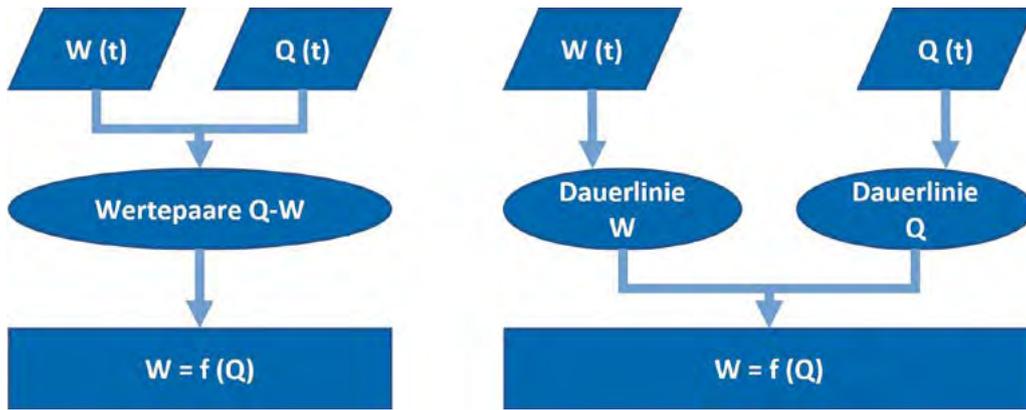


Abbildung 8: Herangehensweise zur Ermittlung der Zielparameter für den Hauptparameter „Wasserstand-Abfluss-Charakteristik“ mittels vorhandener Wertepaare (links) bzw. bei Verwendung einer Dauerlinie oder $Q(t)$ einer anderen Zeitreihe (rechts)

Sofern die Wasserstand-Abfluss-Beziehung in Form einer Schlüsselkurve oder Abflusstabelle vorliegt, können diese Daten auch direkt verwendet werden. Quelle hierfür können gewässerkundliche Abhandlungen der BfG sein, siehe z. B. Faist, Recknagel & Vietinghoff (2020). Ähnliches gilt, wenn Wertepaare für Wasserstand (W) und Abfluss (Q) aus historischen Einzelmessungen vorliegen. In diesem Fall ist immerhin die Erstellung einer Wasserstand-Abfluss-Beziehung für einen kürzeren Zeitraum innerhalb des Referenzzeitraums möglich. Ersatzweise sind auch Dauerlinien nutzbar, indem diese über ihre Unterschreitungstage miteinander verknüpft werden. Die so ermittelten Q - W -Wertepaare werden in einem Diagramm aufgetragen und die Funktion der synthetischen Wasserstand-Abfluss-Beziehung $W = f(Q)$ wie oben mittels geeigneter Regressionsfunktion gefunden (Abbildung 8, rechts).

Sollten auch Dauerlinien des Abflusses für den Referenzzeitraum nicht zur Verfügung stehen, kann eine aktuelle Zeitreihe mit hinreichender Ähnlichkeit in der Charakteristik verwendet werden. Bei diesem Vorgehen wird nachgewiesen oder angenommen, dass die verwendete Dauerlinie des Abflusses der Abflussdauerlinie des Referenzzeitraumes hinreichend ähnlich ist (Beispiel für Nachweisverfahren in Kapitel 4.2.3).

Ausuferungsverhalten

Die Eingangsgrößen sind Zeitreihen des Wasserstandes $W(t)$ und Geländehöhen $z(x,y,t)$ für den Zeitraum im Referenzzustand (Soll) und den aktuellen Zeitraum (Ist). Nach Ermittlung der Dauerlinie des Wasserstandes aus $W(t)$ und des bordvollen Wasserstandes W_b in der niedrigen Aue können beide Funktionen in einem Diagramm dargestellt werden. Aus dieser Darstellung können im Anschluss die Ausuferungsdauer und auch die Dauer der Überflutungshöhen in der niedrigen Aue gefunden werden (siehe Abbildung 4 und Abbildung 9).

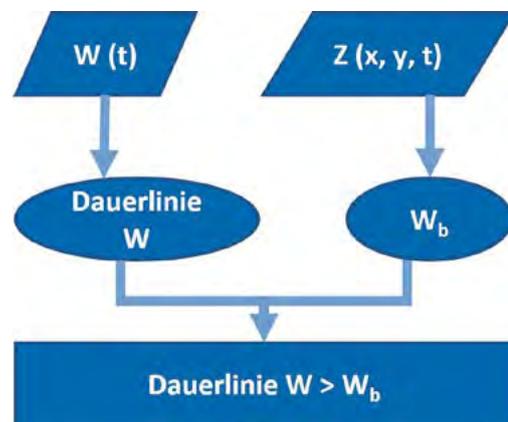


Abbildung 9: Herangehensweise zur Ermittlung der Zielparameter für den Hauptparameter „Ausuferungsverhalten“ aus Zeitreihen des Wasserstandes und einer Geländehöhe für die niedrige Aue

Sollten keine Geländehöhen für den Referenzzeitraum gefunden werden, kann man aktuelle Geländehöhen nutzen. Allerdings ist hier die i. d. R. vorhandene anthropogene Auflandung der Aue zu berücksichtigen.

Zudem ist es möglich, jederzeit in den Ermittlungsprozess einzusteigen, wenn z. B. die Dauerlinie direkt verfügbar ist bzw. Stützpunkte der Dauerlinie bekannt sind oder die Geländehöhe für den Ausuferungswasserstand vorliegen.

Weitere Möglichkeiten

Neben den hier beispielhaft aufgezeigten Wegen der Ermittlung existieren weitere Möglichkeiten. So können bei hinreichender Kenntnis der Geometrie und Rauheit des Gerinnes und der Aue die erforderlichen Zielparameter ebenso über Modellierungen ermittelt werden. Fehlen Daten jedoch vollständig und sind Modellierungen nicht möglich, kann der Referenzzustand hilfsweise aus der Literatur abgeleitet werden, wie z. B. aus Koenzen (2005). Dies ist aber lediglich im Ausnahmefall zu empfehlen, da die Angaben in der Literatur nur grobe Richtwerte darstellen.

3.4. Bewertung

Die Einzelparameter werden für das Leitbild (Soll) – in der Regel der Zeitraum vor dem Ausbau – und den aktuellen Zeitraum (Ist) bestimmt und gegenübergestellt. Die Differenz zwischen Soll und Ist stellt das Defizit dar, welches quantitativ oder qualitativ bewertet werden kann.

Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes

Bezüglich des Hauptparameters „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“ können die Differenzen der Einzelparameter direkt dargestellt werden (siehe Abbildung 10).

erteilt werden, wenn die gemittelten Hauptwerte des Wasserstandes erhöht oder unverändert sind (Ergebnis ist gleich null oder positiv). Eine geringe Absenkung der Hauptwerte um bis zu 10 % wird als „mäßiger Zustand“ gewertet und eine Absenkung von mehr als 10 % gilt als „schlechter Zustand“ (siehe Tabelle 5).

Die Veränderung der Amplituden müsste ebenfalls in einer vergleichbaren Art und Weise bewertet werden, worauf jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit in dieser Studie verzichtet wurde.

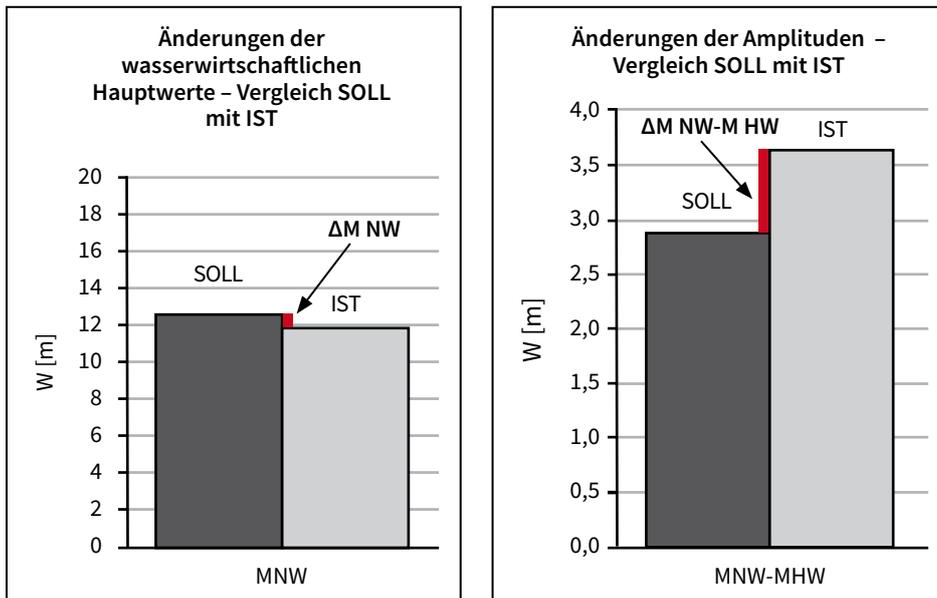


Abbildung 10: Veranschaulichung der Ermittlung der Differenzen der Einzelparameter für den Hauptparameter „Hauptwerte und Amplituden des Wasserstandes“

Die Bezugsbasis für das Bewertungssystem ist die Amplitude zwischen dem mittleren Hochwasser und dem mittleren Niedrigwasser (MNW–MHW) des Referenzzeitraumes. Es wird unterstellt, dass der Wasserhaushalt in dieser Zeit noch als annähernd naturnah anzusehen ist. Des Weiteren wird ein Bewertungsschema für die nachfolgende Gegenüberstellung des Ist mit der Bezugsbasis des Soll festgelegt. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine Erhöhung der Wasserstände eher positiv und eine Abnahme der Wasserstände eher negativ zu werten ist.

Anschließend wird für die wasserwirtschaftlichen Hauptwerte (MNW, MW, MHW) die Differenz zwischen Ist und Soll gebildet und die Abweichung von der Bezugsbasis in Prozent errechnet. Die Bewertung „guter Zustand“ kann

Wasserstand-Abfluss-Charakteristik

Bei dem Hauptparameter „Wasserstand-Abfluss-Charakteristik“ ist die Umwandlung des Ergebnisses in qualitative Bewertungsparameter schwierig. Stattdessen ist die Änderung des Verlaufes der gesamten Funktion für die Bewertung von Interesse und daher eine quantitative Bewertung entsprechend zielführender.

Für natürliche Flüsse mit breiter Aue, wie sie vor allen Dingen für die Norddeutsche Tiefebene prägend sind, verläuft die Wasserstand-Abfluss-Beziehung flach (siehe Abbildung 11) – selbst große Abflussänderungen haben meist nur kleine Änderungen des Wasserstandes zur Folge, da es aufgrund der relativ geringen hydraulischen Leistungsfähigkeit

Tabelle 5: Bewertungsschema für Abweichungen der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von der historischen Amplitude und das Ausuferungsverhalten

guter Zustand	mäßiger Zustand	schlechter Zustand	
Abweichung ≥ 0 %	Abweichung ≤ 10 %	Abweichung ≥ 10 %	Keine Bewertung

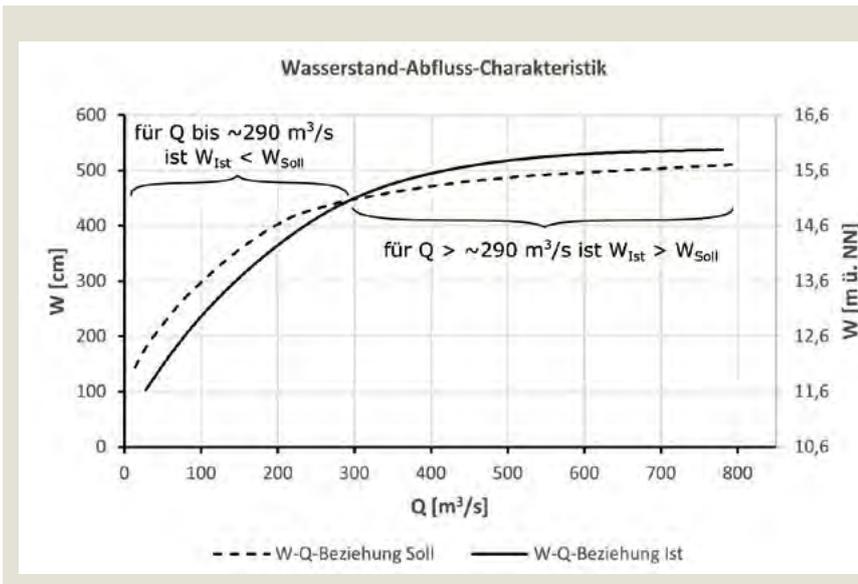


Abbildung 11: Veranschaulichung der Ermittlung der Differenz des Einzelparameters für den Hauptparameter „Wasserstand-Abfluss-Charakteristik“

natürlicher Flussbetten schnell zum Ausuferern kommt und sich das ausufernde Wasser dann in einer breiten Aue gut verteilen kann.

Ausgebaute Flüsse weisen i. d. R. eine höhere hydraulische Leistungsfähigkeit auf, wodurch es erst bei höheren Durchflüssen zur Ausuferung kommt. Eindeichungen hingegen bewirken darüber hinaus eine deutliche Erhöhung der Hochwasserstände. Insgesamt wird dadurch die Amplitude der Wasserstände vergrößert, was sich in einer steileren Wasserstand-Abfluss-Beziehung widerspiegelt (siehe Abbildung 11). Des Weiteren ist bei ausgebauten Flüssen zu berücksichtigen, dass im Fall des Vorhandenseins von Stauhaltungen das Niedrigwasser hochgestaut wird, und da im Zuge des Ausbaus meist auch der Querschnitt aufgeweitet wurde, treten die kleineren, für die Aue wichtigen, Hochwasser nicht mehr auf.

Ausuferungsverhalten

Bei dem Hauptparameter „Ausuferungsverhalten“ zeigt sich die Entwicklung in der Änderung der Unterschreitungstage bzw. Überschreitungstage des Schnittpunktes der Dauerlinie W mit W_b (siehe Abbildung 12).

Unter der Annahme, dass das Ausuferungsverhalten im Referenzzeitraum noch naturnah ist, wird die Überschreitungsdauer ($W > W_b$) des Soll in Tagen gleich 100 % gesetzt. Dadurch erhält man die Soll-Ereignisdauer. Die Differenz zwischen der Soll- und der Ist-Ereignisdauer wird ermittelt und unter Zuhilfenahme des Bewertungsschemas (Tabelle 5) qualitativ bewertet.

Aus den Defiziten im Wasserhaushalt allein können allerdings oft keine eindeutigen Schlussfolgerungen bezüglich der Ursachen und möglicher Entwicklungsstrategien gezogen werden. Hierzu sind weitere Qualitätskomponenten in die Bewertung mit einzubeziehen; siehe z. B. Buchta (2019).

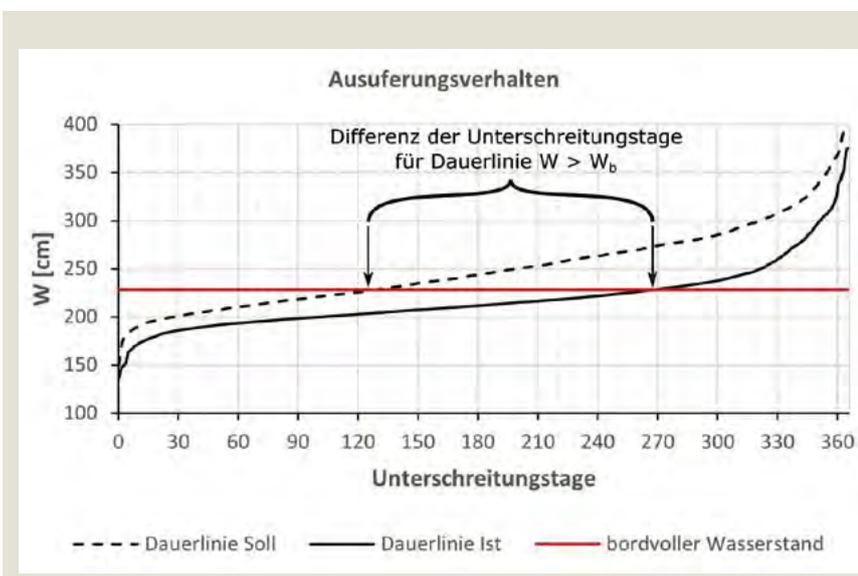


Abbildung 12: Veranschaulichung der Ermittlung der Differenz des Einzelparameters für den Hauptparameter „Ausuferungsverhalten“



Allerschleife bei Bosse mit zahlreichen Buhnen



Abgeschnittenes Auengewässer der Unteraller bei Verden



Intensive Landnutzung in der Aue der Unteraller bei Westen

4. Fallstudien

4.1. Die Aller von Ahlden bis zur Mündung in die Weser

4.1.1. Charakteristik

Die Aller ist ein rechtsseitiger Nebenfluss der Weser und gleichzeitig auch ihr wasserreichster Nebenfluss. Sie verläuft im norddeutschen Tiefland innerhalb des Breslau-Magdeburg-Bremer-Urstromtales und verfügt weitgehend über eine breite Flussniederung. Das mittlere Auengefälle ist mit etwa 0,3 ‰ gering (Koenzen, 2005). Nach der Typologie der Fluss- und Stromauen von Deutschland (Koenzen, 2005) gehört die Aller zu den gefällearmen sand-kiesgeprägten Flussauen des Flach- und Hügellandes mit Winterhochwassern.

Der untersuchte Abschnitt der Aller reicht von km 58,7 (Pegel Ahlden) bis km 117,2 (Einmündung in die Weser) und ist knapp 59 km lang (Abbildung 13). Durch den Zufluss der Leine bei Hademstorf weist die Aller ab diesem Punkt eine größere Durchflussmenge auf als stromauf. Zudem verfügt sie ab hier über eine deutlich breitere Aue und weist ein ge-

ringeres Gefälle auf. Das Wasserspiegelgefälle der Unteraller zwischen Ahlden und Eitze beträgt 19 cm/km.

4.1.2. Bestimmung des Referenzzeitraumes

Der sogenannte Papen-Atlas (1848) zeigt keine nennenswerten Vorkommen von Buhnen in der Aller. Erst Karten der Preußischen Landesaufnahmen (1912) von 1899 bis 1901 belegen das Vorhandensein zahlreicher Buhnen im Verlauf der gesamten Aller. Die für die Beurteilung der Hydrologie maßgebliche Regulierung der Aller begann ca. 1908 mit dem Bau der vier Staustufen zwischen Celle und der Leineeinmündung. Im Jahre 1918 wurde sie dann als Bundeswasserstraße freigegeben. Demnach können die Abflussjahre 1853 bis 1872 als historische Referenz für die Untersuchung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung herangezogen werden, da diese zu diesem Zeitpunkt noch als weitgehend unbeeinflusst angesehen werden können.

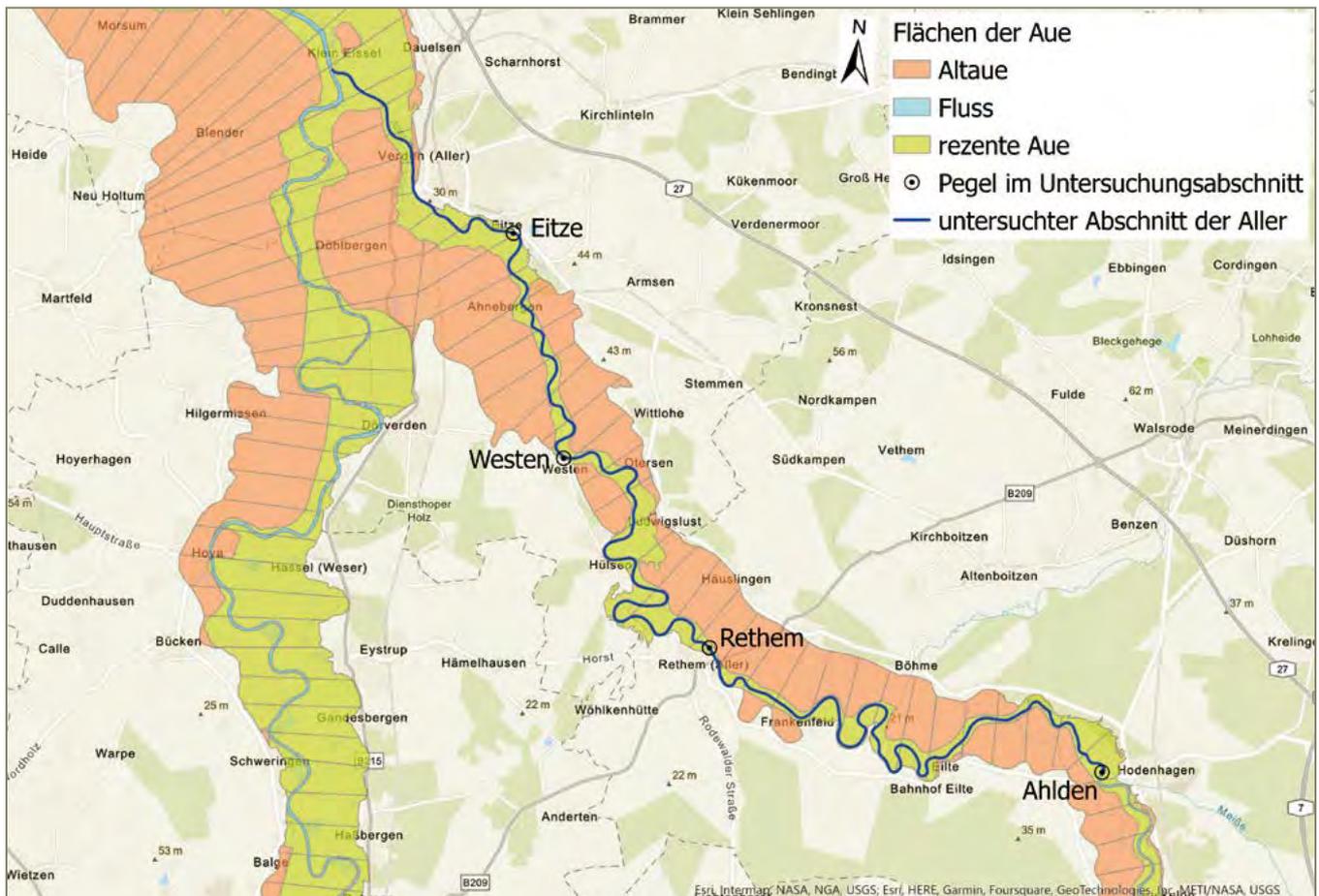


Abbildung 13: Übersichtskarte des untersuchten Abschnittes der Aller und ihrer Aue von Ahlden bis zur Mündung in die Weser. Datengrundlagen: Bundeswasserstraßen – VerkNet-BWaStr: © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert; Auensegmente – Bundesamt für Naturschutz (2009) unter Verwendung von Geobasisdaten © Geobasis-DE/BKG 2009

4.1.3. Verfügbare Daten

Pegeldaten

Die von der BfG (2021a) bereitgestellten Tageswerte des Wasserstandes und des Abflusses liegen für folgende Zeiträume vor:

Pegel Ahlden	W: 1987–2018 (32 Jahre)	Q: 1986–2018 (33 Jahre)
Pegel Rethem	W: 1951–2018 (68 Jahre)	Q: 1941–2018 (78 Jahre)
Pegel Westen	W: 1853–2012 (160 Jahre)	Q: 1853–2012 (160 Jahre)
Pegel Eitze	W: 1986–2018 (33 Jahre)	Q: 1986–2018 (33 Jahre)

Der Pegel Westen wird zwar heute nicht mehr aktiv betrieben, weist aber die längste Zeitreihe auf (siehe auch Abbildung 14 und Abbildung 15). Vergleicht man die Amplituden der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte des Wasserstandes

und des Abflusses der vier Pegel, kann man feststellen, dass diese sehr ähnlich sind. Demnach kann der Pegel Westen als Referenz stellvertretend für den gesamten Untersuchungsabschnitt gewählt werden.

Er ist somit der einzige Pegel, der verwendbare Daten für den historischen unverbauten Zustand der Aller liefert. Die Abflussjahre von 1853 bis 1872 (20-Jahresreihe) des Pegels Westen dienen im Folgenden als Referenz für den gesamten Abschnitt zur Beurteilung des Gewässerzustandes vor dem maßgeblichen Ausbau. Für die Analyse des aktuellen Gewässerzustandes werden die Abflussjahre von 1993 bis 2012 – ebenfalls eine 20-Jahresreihe – herangezogen. Der Pegelnullpunkt des Pegels Westen beträgt für die gesamte Zeitreihe 10,599 m ü. NN (BfG, 2021a).

Die Zeitreihe der Wasserstände (Abbildung 14) zeigt bereits deutlich, wie diese seit Mitte des 19. Jahrhunderts bis heute eine fallende Tendenz aufweisen. Ebenso lässt Abbildung 15 Veränderungen der Abflussverhältnisse für diesen Zeitraum erkennen. Die Amplituden des Durchflusses verringern sich von Mitte des 19. Jahrhunderts bis heute deutlich.

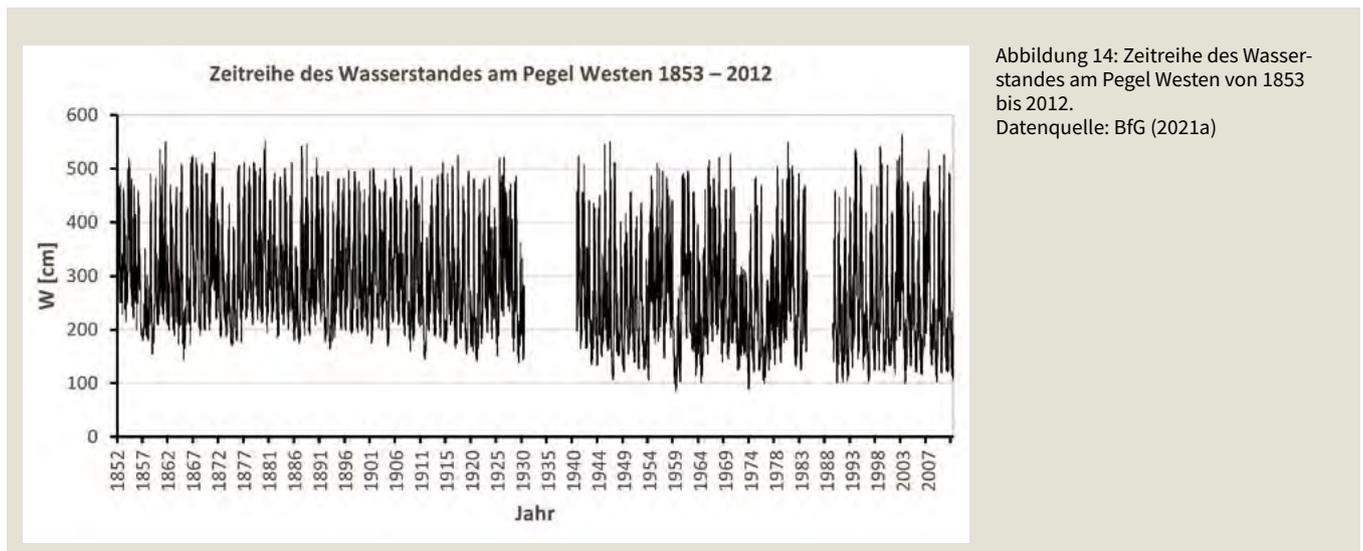


Abbildung 14: Zeitreihe des Wasserstandes am Pegel Westen von 1853 bis 2012.
Datenquelle: BfG (2021a)

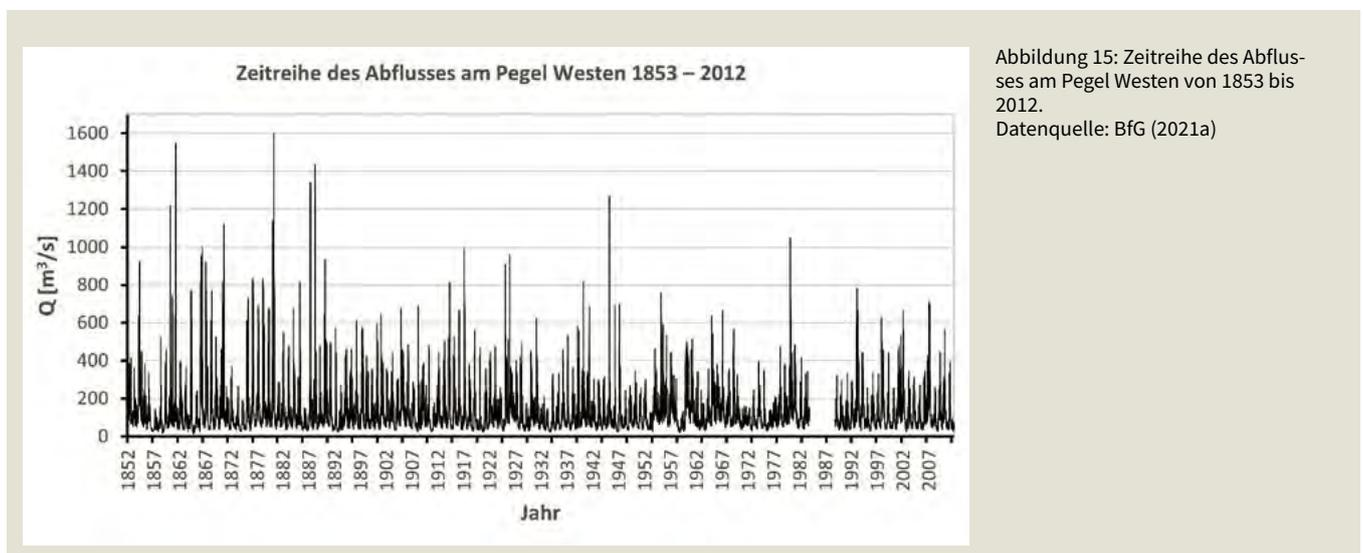


Abbildung 15: Zeitreihe des Abflusses am Pegel Westen von 1853 bis 2012.
Datenquelle: BfG (2021a)

Abweichungsanalyse der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte im Gesamtzeitraum

Für eine höhere Auflösung und damit bessere Aussagefähigkeit wird die Entwicklung der Wasserstände und Abflüsse für jeden der drei wasserwirtschaftlichen Hauptwerte mittels einer Abweichungsanalyse einzeln betrachtet (Abbildung 16 und Abbildung 17).

Es zeigt sich folgendes Bild bei den Wasserständen (Abbildung 16): MNW und MW kennzeichnen ein sehr ähnliches Verhalten, sie sind innerhalb des letzten Jahrhunderts stark gefallen. Die Ursachen dürften in einer Eintiefung der Gewässersohle als Folge des Gewässerausbaus zu suchen sein. MHW ist dagegen im Mittel unverändert geblieben.

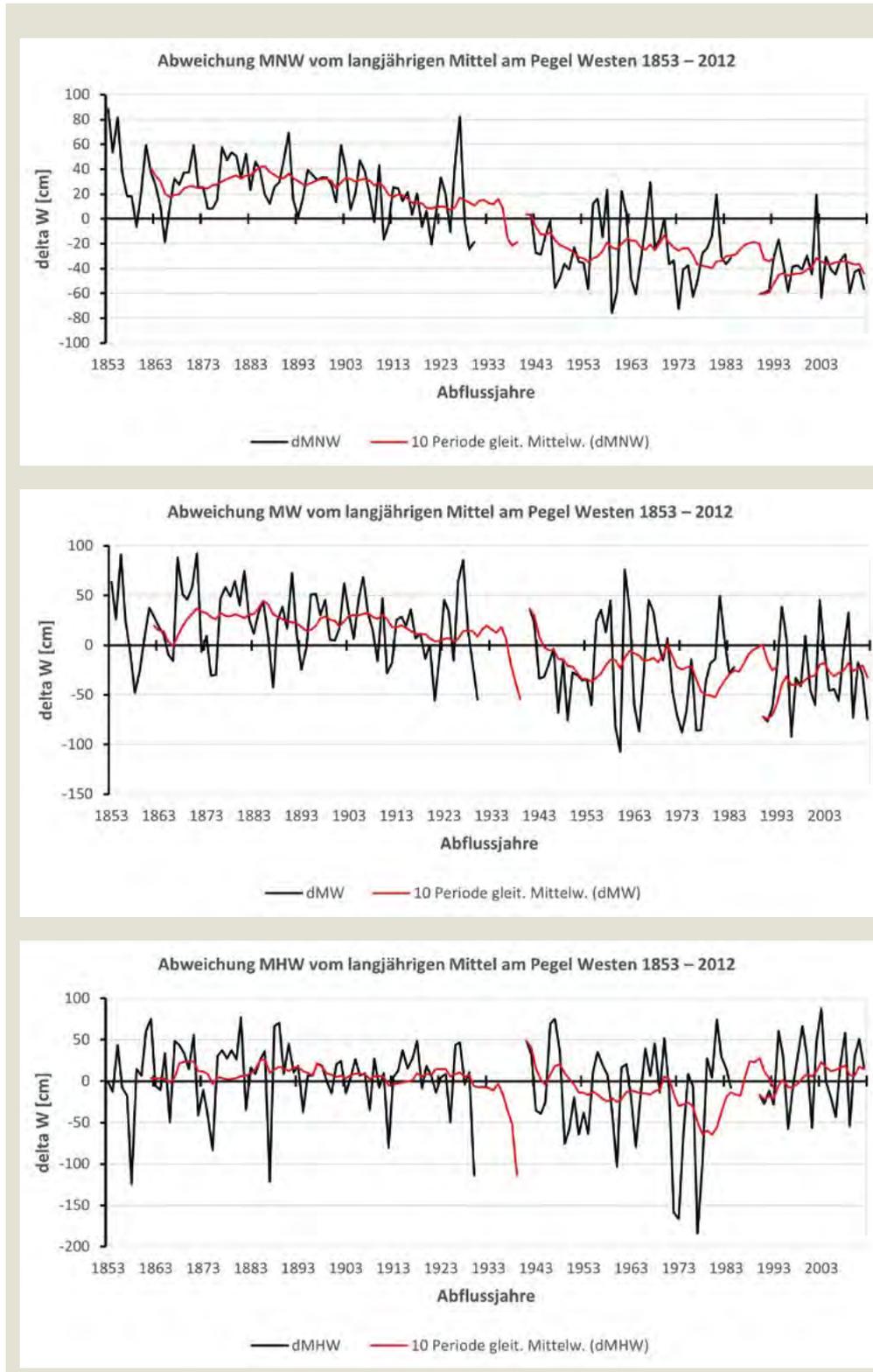


Abbildung 16: Änderung der Jahresmittel des MNW vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MW vom Langzeitmittel (Mitte), Änderung der Jahresmittel des MHW vom Langzeitmittel (unten). Datenquelle: BfG (2021a)

Für die Änderung der Abflüsse zeigt sich folgendes Bild (Abbildung 17): MNQ ist im Mittel für die betrachtete Zeitreihe unverändert. MQ weist einen leicht fallenden Trend auf, wohingegen der abnehmende Trend für MHQ deutlich erkennbar ist. Zudem haben die Schwankungen des MHQ sehr stark abgenommen. Eine Ursache hierfür stellen wohl die hochwasserregulierenden Maßnahmen an der Aller und in ihrem Einzugsgebiet dar.

Topografische Grundlagendaten

Der untersuchte Abschnitt der Unteraller fließt durch das Bundesland Niedersachsen. Ein digitales Geländemodell mit einer Rasterweite von 5 m für den Bereich der Aller steht dem NABU IFA zur Verfügung (NABU, 2018) – es wurde auf Nachfrage kostenfrei durch das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz zur Verfügung gestellt.

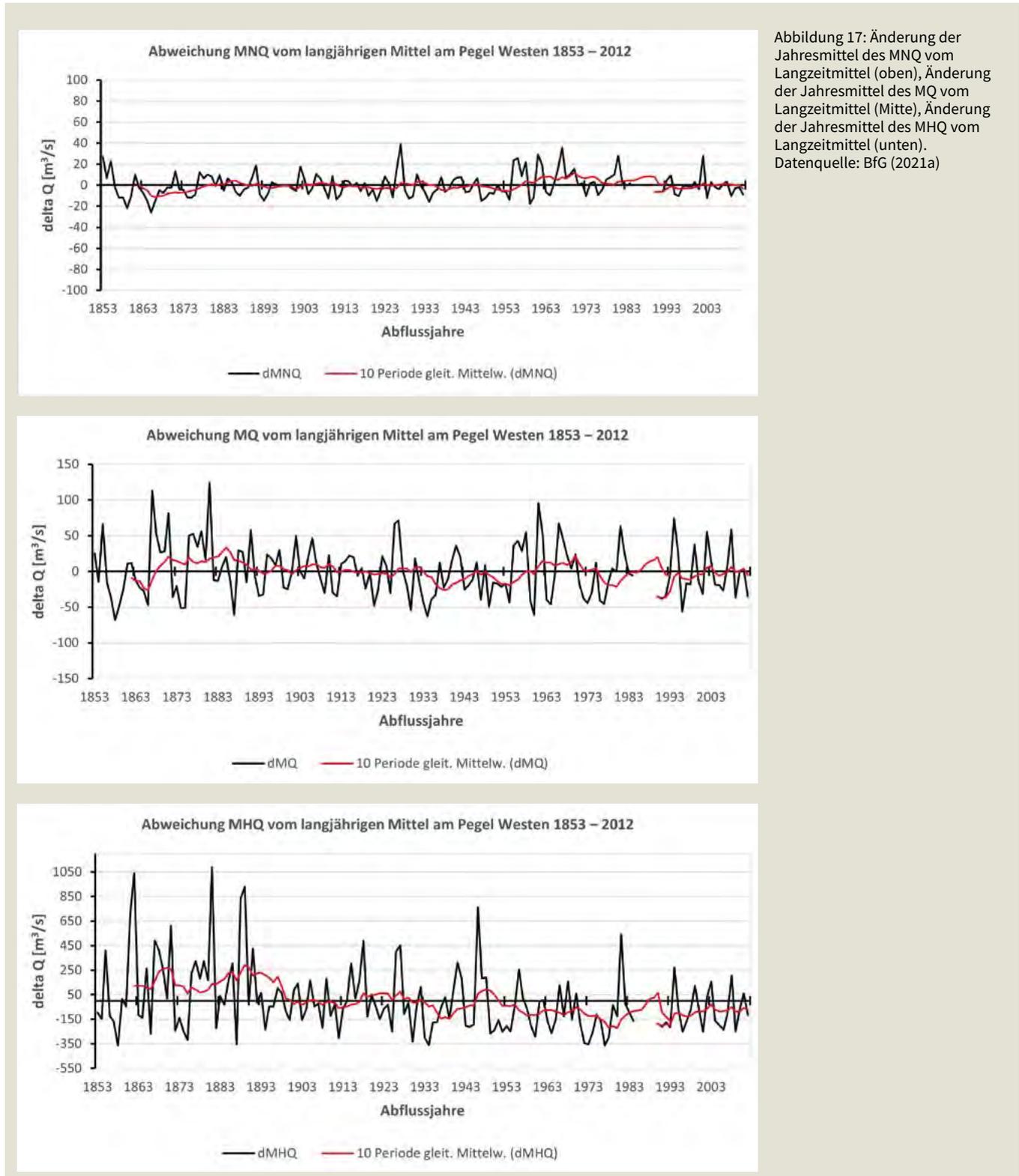


Abbildung 17: Änderung der Jahresmittel des MNQ vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MQ vom Langzeitmittel (Mitte), Änderung der Jahresmittel des MHQ vom Langzeitmittel (unten).
Datenquelle: BfG (2021a)

4.1.4. Veränderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wasserstände vom historischen Betrachtungszeitraum zum aktuellen Zeitraum maßgeblich abgenommen haben (Abbildung 18). In den rund 120 Jahren ist MNW um 71 cm und MW um 53 cm gesunken. Lediglich MHW ist leicht gestiegen (um 5 cm). Ein Grund für die sinkenden Wasserstände ist sehr wahrscheinlich die Sohleintiefung der Unteraller.

Der Vergleich der Amplituden zeigt, dass die Schwankungen zwischen den Wasserständen größer werden (Abbildung 19). Besonders deutlich wird das beim Vergleich des MNW mit dem MHW – hier hat die Amplitude um 76 cm zugenommen – die Zunahme der Amplitude von MW-MHW beträgt immerhin 58 cm. Diese Veränderungen deuten u. a. auf ein gestörtes Ausuferungsverhalten hin.

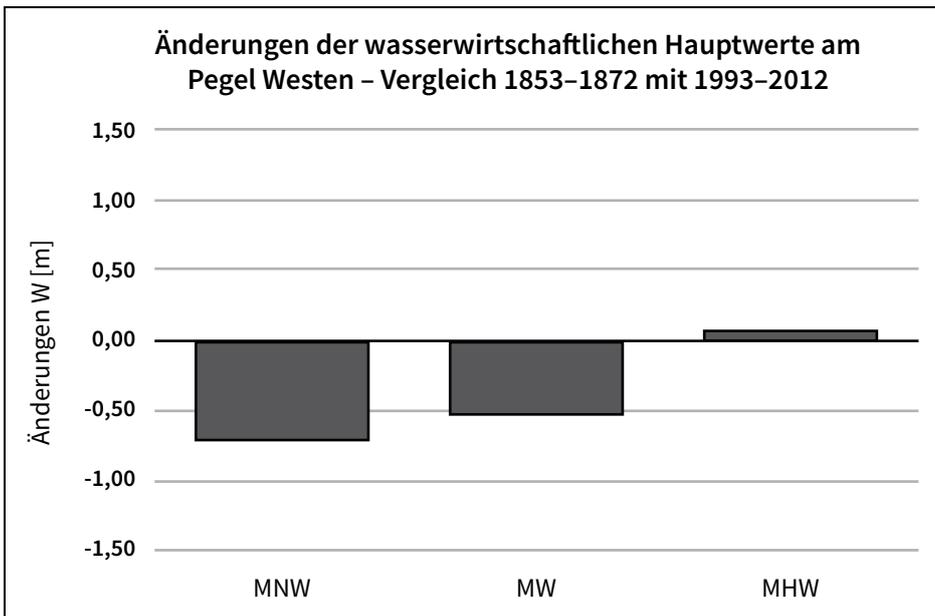


Abbildung 18: Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte des Wasserstandes am Pegel Westen. Datenquelle: BfG (2021a)

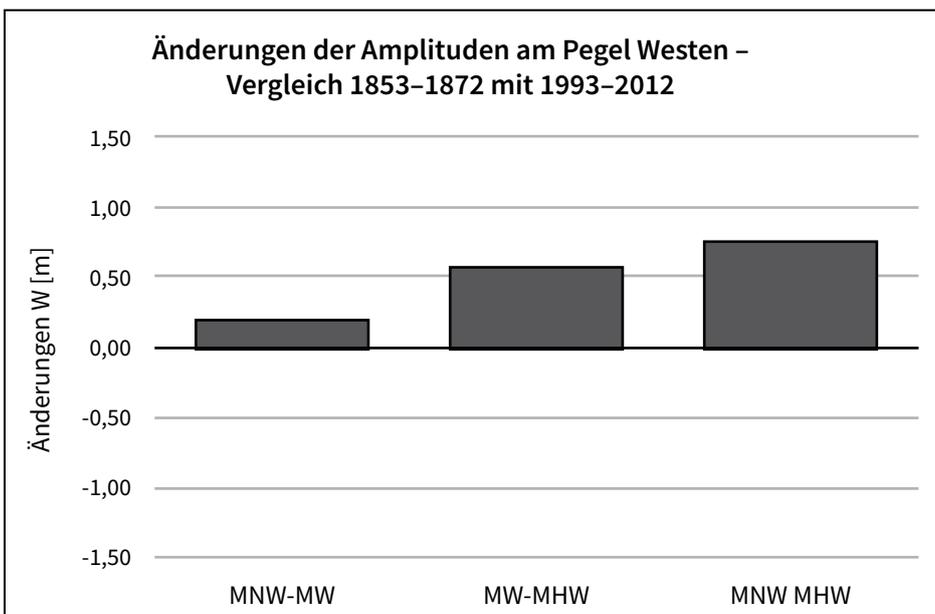


Abbildung 19: Änderung der Amplituden der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte am Pegel Westen. Datenquelle: BfG (2021a)

4.1.5. Veränderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung

Abbildung 20 zeigt die Datenpaare des Wasserstandes und des Abflusses, die Hauptwerte für den Referenzzeitraum sowie die gefundene Wasserstand-Abfluss-Beziehung des Soll-Zustandes.

Abbildung 21 zeigt eine vergleichbare Darstellung für den Ist-Zustand. Es fällt auf, dass die aktuelle Wasserstand-Abfluss-Beziehung steiler verläuft und Durchflussmengen über 800 m³/s nicht mehr erreicht werden.

4.1.6. Veränderung des Ausuferungsverhaltens

Mithilfe eines digitalen Geländemodells – alternativ andere adäquate Geodaten – und der Lage des Wasserspiegels kann die Wasserspiegelhöhe am Pegel modelliert werden, bei der die niedrige Aue zu überfluten beginnt. Diese entspricht dem Zielparameter „bordvoller Wasserstand W_b in der niedrigen Aue“. Dazu wird zwischen den Pegeln im Untersuchungsabschnitt, ausgehend vom Wasserstand bei MHQ, die Wasserfläche konstruiert und diese dann mit der Geländehöhe verschnitten, dabei ist das Raster der Wasserfläche vom digitalen Geländemodell zu subtrahieren, um dann, durch schrittweises Absenken des Wasserspiegels, die Bereiche mit Überflutungsbeginn zu identifizieren. Bei diesen Modellierungen ist die gesamte Aue, einschließlich

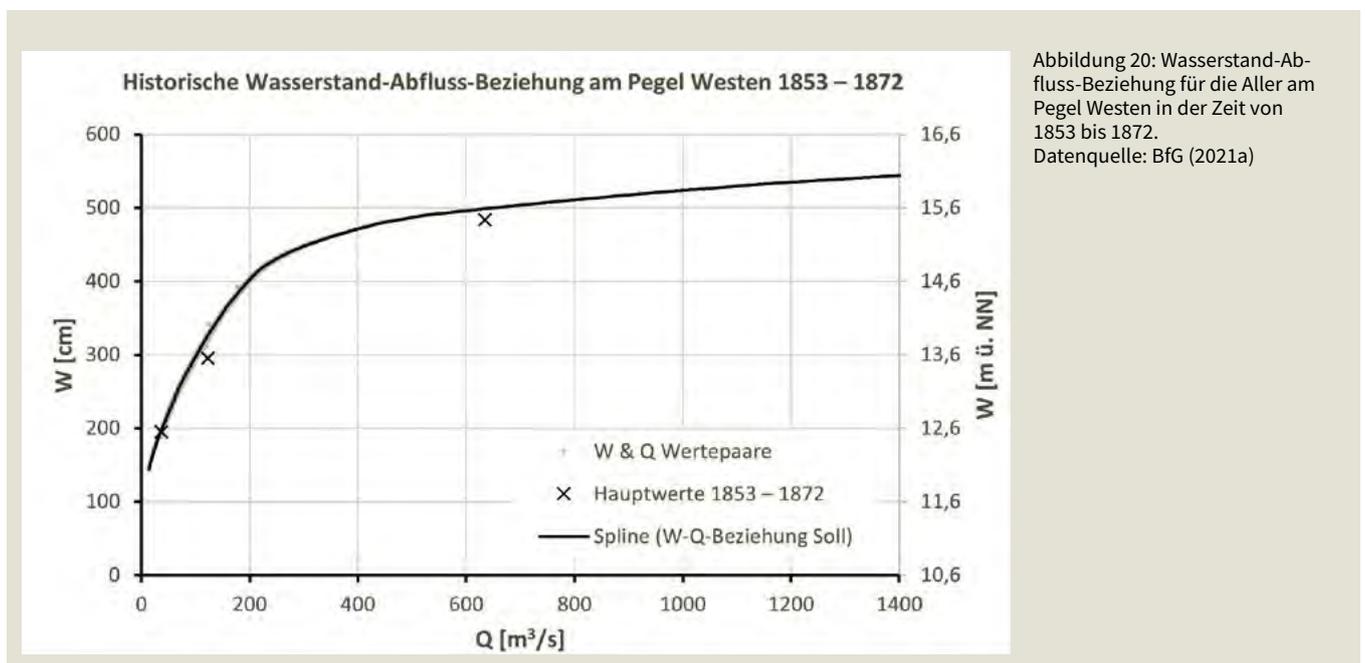


Abbildung 20: Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Aller am Pegel Westen in der Zeit von 1853 bis 1872. Datenquelle: BfG (2021a)

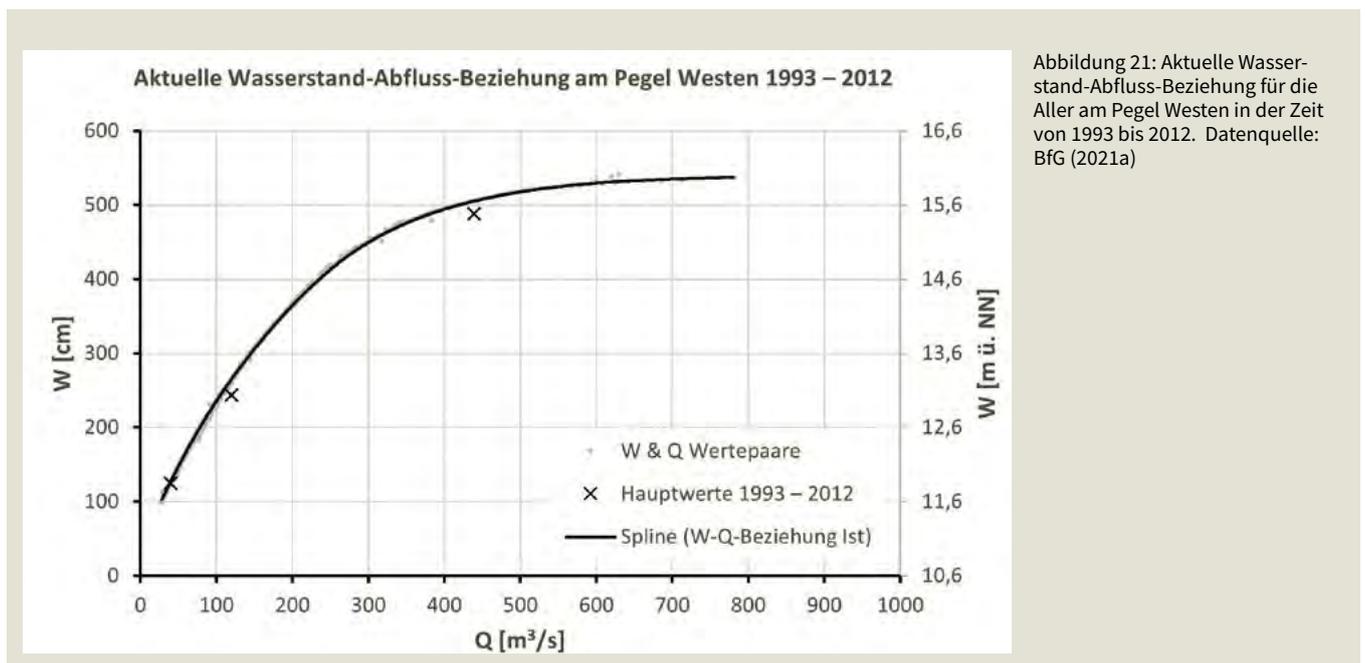


Abbildung 21: Aktuelle Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Aller am Pegel Westen in der Zeit von 1993 bis 2012. Datenquelle: BfG (2021a)

der Altaue, zu berücksichtigen. Für den Raum um den Pegel Westen zeigen sich die ersten Vernässungen ab einer Höhe von 14,2 m ü. NN (Abbildung 22).

Im Bereich des Pegels Westen kann man der Dauerlinie für den Zeitraum von 1993 bis 2012 in Abbildung 23 entnehmen, dass der Ausuferungswasserstand von $W = 14,20$ m ü. NN für die tiefen Rinnen der Aue an etwa 55 Tagen im Jahr

überschritten wird, denn die Linie für die Auenhöhe schneidet die Dauerlinie des Wasserstandes für den Ist-Zustand bei 310 Unterschreitungstagen. Für den Referenzzeitraum von 1853 bis 1872 ergeben sich mit dieser Methode 282 Überschreitungstage, was einer Ausuferungsdauer von 83 Tagen im Jahr entspricht. Damit weicht das Ausuferungsverhalten der Aller heute stark vom natürlichen Ausuferungsverhalten ab.

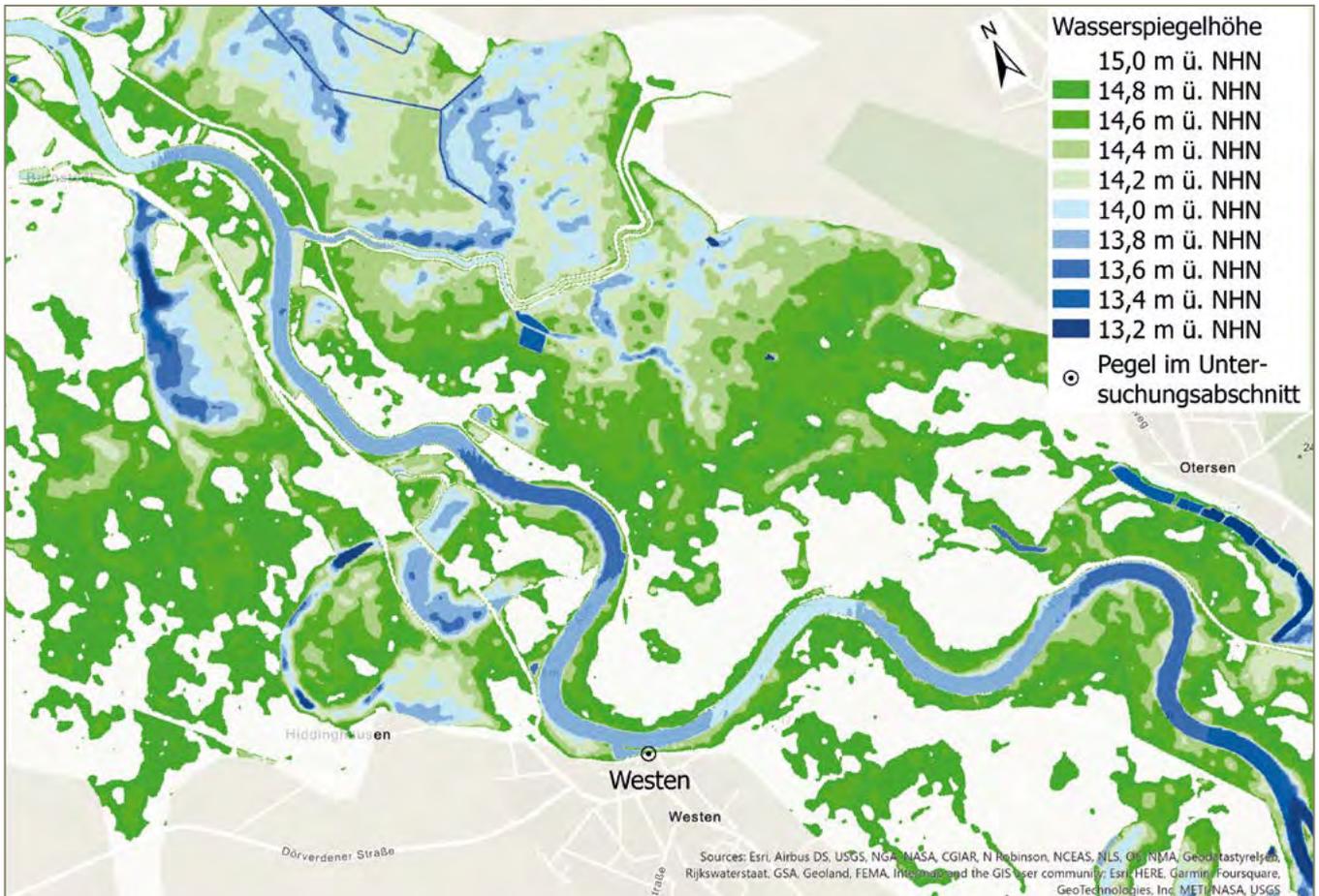


Abbildung 22: Veranschaulichung der Ermittlung des Ausuferungsbeginns für den Untersuchungsabschnitt der Unteraller beim Pegel Westen. Datengrundlagen: MU Niedersachsen (2017); BfG (2021a)

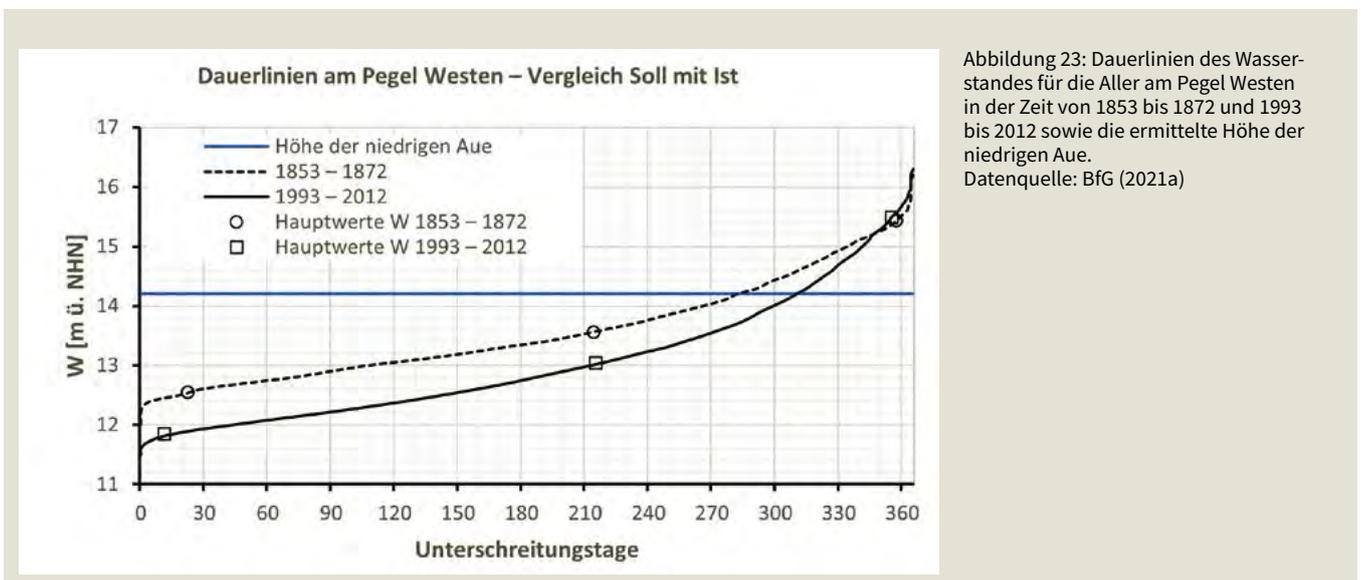


Abbildung 23: Dauerlinien des Wasserstandes für die Aller am Pegel Westen in der Zeit von 1853 bis 1872 und 1993 bis 2012 sowie die ermittelte Höhe der niedrigen Aue. Datenquelle: BfG (2021a)

Man weiß zwar, dass es im gesamten Allertal zwischen Leineeinmündung und Einmündung der Aller in die Weser großflächige Geländeaufhöhungen von mindestens 70 cm (bis zu 1,20 m) im letzten Jahrhundert gegeben hat (Kersting, 1979). Allerdings lassen die Geodaten vermuten, dass es, wie üblich bei anthropogen verursachten Geländeaufhöhungen, vornehmlich zu Aufhöhungen entlang des Flussufers kam. Demnach sind die tiefen Rinnen, für welche der Ausuferungsbeginn bestimmt wurde, wahrscheinlich nicht maßgeblich von den Aufhöhungen betroffen und die innerhalb dieser Untersuchung gemachte Annahme bezüglich des Referenzzustandes ist somit zulässig.

4.1.7. Ergebnisse

Bewertung der Hydrologie

Bezugsbasis für das Bewertungssystem ist die Amplitude zwischen dem mittleren Hochwasser und dem mittleren Niedrigwasser der Referenzperiode von 1853 bis 1872, da wir unterstellen, dass der Wasserhaushalt in dieser Zeit noch als annähernd naturnah anzusehen war. Anschließend wurde für die wasserwirtschaftlichen Hauptwerte die Differenz zwischen dem historischen und dem aktuellen Zeitraum gebildet und die Abweichung von der Bezugsbasis in Prozent errechnet. Tabelle 6 und Abbildung 24 fassen die Ergebnisse der Berechnungen zusammen.

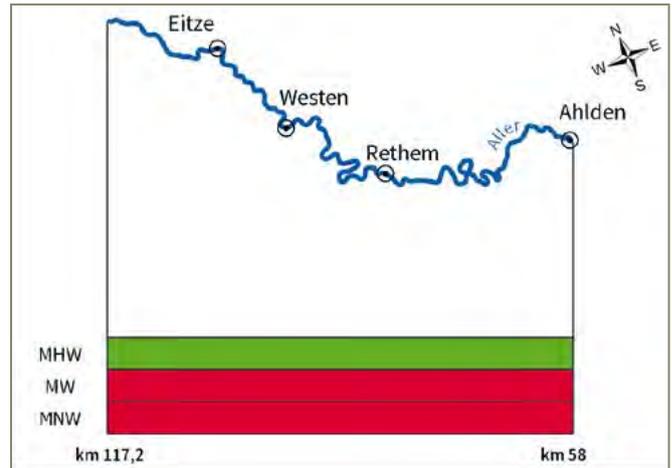


Abbildung 24: Bewertung der Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1853 bis 1872 zu 1993 bis 2012 am Pegel Westen. Datengrundlage: Bundeswasserstraßen – VerkNet-BWaStr: © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Aller bezüglich ihrer hydrologischen Verhältnisse in einem schlechten Zustand befindet, was MNW und MW betrifft. Lediglich MHW hat in den letzten 120 Jahren keine solch gravierenden Veränderungen erfahren, weshalb der Zustand hier als „gut“ bewertet werden kann (Bewertungsschema siehe Tabelle 5).

Tabelle 6: Vergleich der gemittelten wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1853 – 1872 mit 1993 – 2012 am Pegel Westen

Pegel	MNW-MHW 1853 – 1872	MNW aktuell - MNW historisch		MW aktuell - MW historisch		MHW aktuell - MHW historisch	
	[m]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]
Westen	2,88	-0,71	-25	-0,53	-18	0,05	2

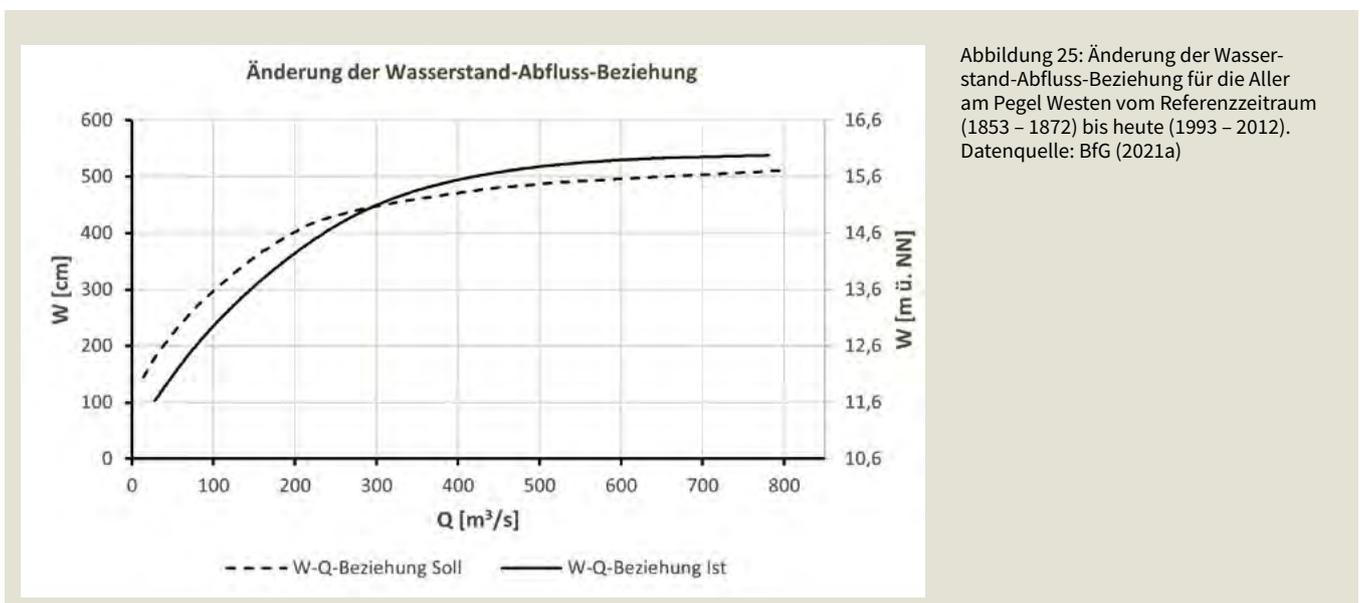


Abbildung 25: Änderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Aller am Pegel Westen vom Referenzzeitraum (1853 – 1872) bis heute (1993 – 2012). Datenquelle: BfG (2021a)

Bewertung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung

Abbildung 25 kann man entnehmen, wie sich die Wasserstand-Abfluss-Beziehung vom Referenzzeitraum bis zum Ist-Zustand verändert hat. Es wird deutlich, dass die beiden Beziehungen gegenläufige Trends aufzeigen und die Wasserstand-Abfluss-Beziehung für den Ist-Zustand steiler verläuft. Für den historischen Referenzzeitraum treten für Abflüsse bis ca. 300 m³/s höhere Wasserstände auf als im aktuellen Zeitraum. Für Abflüsse größer 300 m³/s treten niedrigere Wasserstände auf als im aktuellen Zeitraum. Dies verdeutlicht, dass das Gerinne heute hydraulisch leistungsfähiger ist als damals und die Aue heute kleiner ist als Mitte des 19. Jahrhunderts.

Bewertung des Ausuferungsverhaltens

Unter der Annahme, dass sich die Aller im Referenzzeitraum in einem annähernd natürlichen Zustand befunden hat und die regional typische Ausuferungsdauer beim Pegel Westen 83 Tage betrug, wird diese Ausuferungsdauer gleich 100 % gesetzt. Demnach entsprechen die 55 Tage für den Ist-Zustand nur noch 66 % der natürlichen Ausuferungsdauer. Daraus ergibt sich für den Ist-Zustand ein Defizit von 34 %, weswegen das aktuelle Ausuferungsverhalten gemäß dem genutzten Bewertungsschema (Kapitel 3.4; Tabelle 5) als in einem „schlechten Zustand“ befindlich eingestuft werden muss (Abbildung 26).

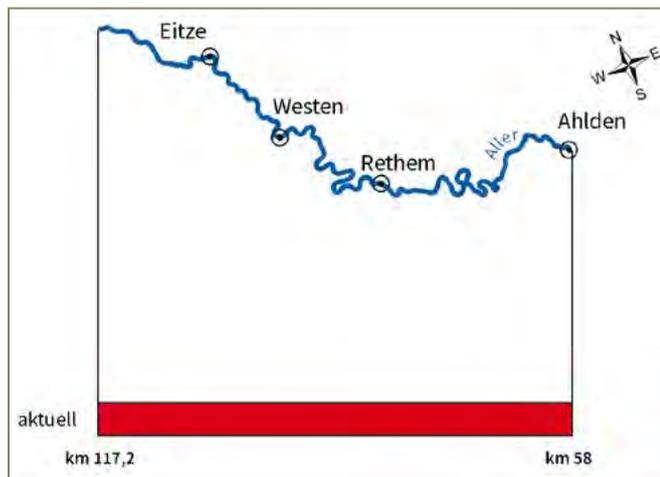


Abbildung 26: Bewertung des aktuellen Ausuferungsverhaltens für den untersuchten Abschnitt der Aller verglichen mit dem naturnahen Ausuferungsverhalten im Referenzzeitraum (1853 – 1872).
Datengrundlage: Bundeswasserstraßen – VerkNet-BWaStr: © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert

4.1.8. Verbesserungsmöglichkeiten

Defizite mit einer besonderen Wirkung auf den Wasserhaushalt haben in der Aller ihre Hauptursachen in den Stromreglungsmaßnahmen, einer Verminderung der Sedimentzufuhr und der Abtrennung großer Teile der Aue. Die unmittelbaren Folgen sind Sohlenerosion, die Verringerung der Sohlenrauheit und Vorlandaufhöhungen.

Das repräsentiert sich bezüglich des Wasserhaushaltes durch zu niedrige Wasserstände bei Abflüssen unterhalb 300 m³/s und einer Erhöhung darüber bei gleichzeitiger Erhöhung der Amplituden, einer Verringerung der Ausuferungsdauer um mehr als ein Drittel und einer zunehmenden Abkopplung der niedrigen rezenten Aue.

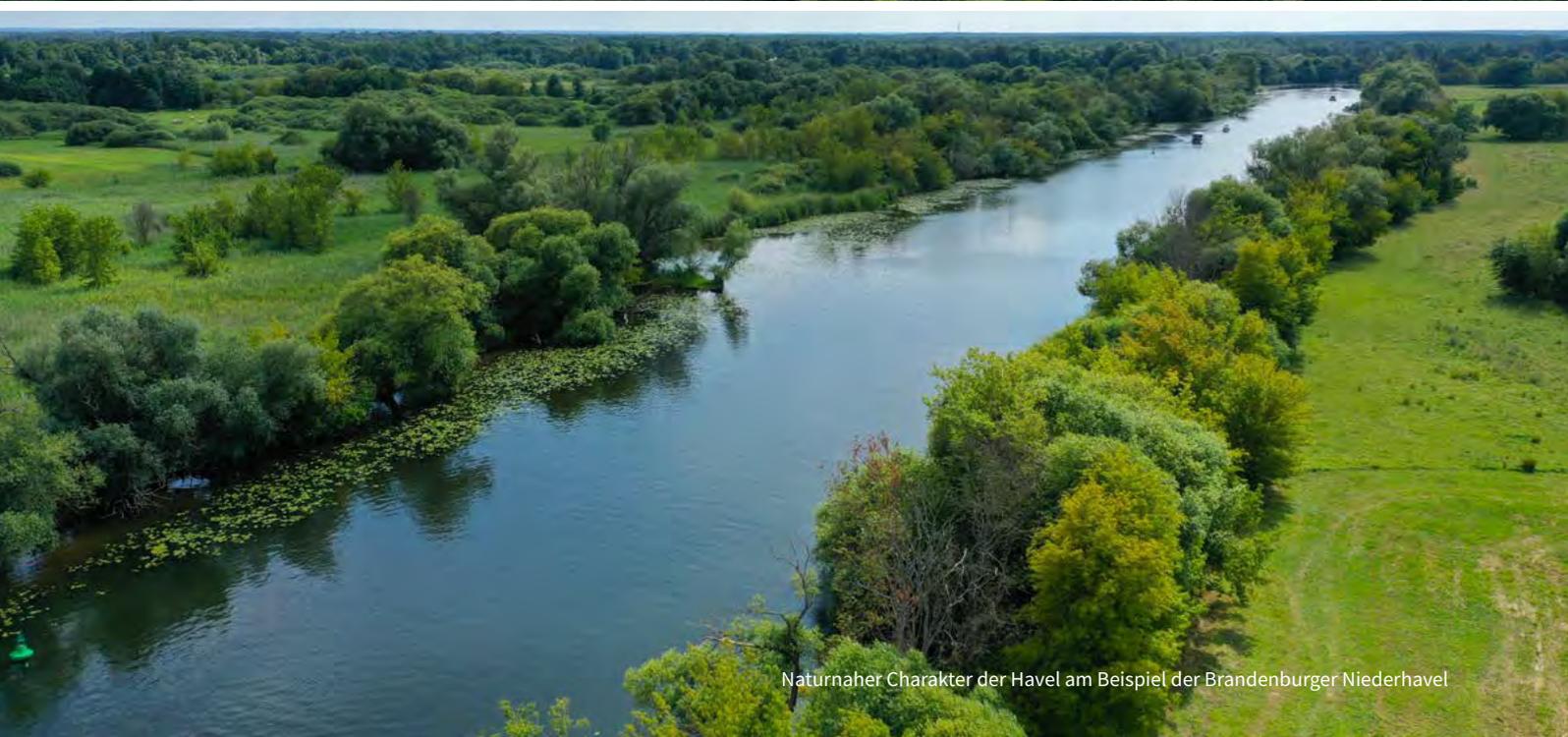
Als Vorschläge für eine Entwicklungsstrategie der Unteralter sind vorrangig ein Stopp und die Umkehr des Trends der Sohlenerosion sowie eine Erhöhung der Bettraugigkeit bei Verbesserung der Sedimentzufuhr und die Wiederherstellung der Verbindung zur niedrigen Aue und ihren Gewässern anzuführen.

Wesentliche Restriktionen wie die Fahrrinnenparameter der Bundeswasserstraße, der Siedlungshochwasserschutz und etablierte Nutzungsansprüche schränken den Handlungsrahmen für konkrete Maßnahmen ein.

Geeignete Maßnahmenoptionen sind eine Verringerung der Uferfixierung und die Etablierung naturnaher Bettstrukturen mit sohlenaufhöhender Wirkung bei gleichzeitiger Erhöhung der Sohlenrauheit außerhalb der Fahrrinne. Des Weiteren sind ein Anschluss der niedrigen rezenten Aue sowie der dort liegenden Nebenrinnen und Altwässer und die Rückführung geeigneter Teile der niedrigen Altaue als Optionen zu nennen.



Übergang zu seeartigem Charakter der Havel bei Pritzerbe



Naturnaher Charakter der Havel am Beispiel der Brandenburger Niederhavel



Silokanal in Brandenburg an der Havel

Brandenburger und der Unteren Havel zwischen Brandenburg und dem Plauer See wurde 1877/78 und 1887 durchgeführt. 1881 bis 1883 erfolgte der Bau der Vorstadtschleuse in der Stadt Brandenburg. Die zweite Regulierung der Unteren Havel von Plau bis Mündung mit Regulierungswerken und Baggerungen folgte dann in den Jahren 1882 bis 1890 (Verwaltung der Märkischen Wasserstraßen in Potsdam, 1903). Zwischen 1906 und 1914 erfolgten weitere Ausbaumaßnahmen wie die Vergrößerung des Fließquerschnittes, Begradigungen, Ufersicherungen und ab 1911 der Bau von drei zusätzlichen Staustufen in Grütz, Garz und Bahnitz (Uhlemann, 1987).

Der betrachtete Abschnitt der Unteren Havel kann also im Zeitraum vor 1832 als naturnah angesehen werden, sieht man von den Mühlenstauen in Brandenburg und Rathenow ab. Daher wird ein entsprechender Zeitraum vor 1832 herangezogen, um den Referenzzustand des Flussabschnittes hinsichtlich der Hydrologie herzuleiten.

4.2.3. Verfügbare Daten

Pegeldaten

Tageswerte des Wasserstandes und des Abflusses für die Pegelmessstellen Brandenburg UP, Tieckow und Bahnitz OP im Untersuchungsabschnitt liegen für folgende Zeiträume vor:

Brandenburg UP	W: 1812–2020 (209 Jahre)	Q: 1937–2020 (84 Jahre)
Tieckow	W: 2002–2020 (19 Jahre)	Q: 1995–2020 (26 Jahre)
Bahnitz OP	W: 1991–2020 (30 Jahre)	Q: ---

Die Pegeldaten stammen, mit Ausnahme der Tageswerte des Wasserstandes für Brandenburg UP, aus einer Anfrage bei der BfG (2021a). Die Zeitreihe des Wasserstandes für Brandenburg UP wurde von 1812 bis 1850 mit Daten aus Akten des Ministeriums der öffentlichen Arbeiten (1850) sowie von 1851 bis 2012 mit Daten der BfG (2012) ergänzt. Der Pegel Brandenburg UP ist repräsentativ für den Untersuchungsabschnitt und wird als Referenzpegel ausgewählt, da es



Das Wehr Bahnitz

der einzige Pegel ist, für den auch historische Pegel­daten verfügbar sind. Die vorhandenen Daten des Wasserstandes reichen zurück bis 1812 (Abbildung 28).

Der dazugehörige Abfluss wird stromauf am Pegel Ketzin gemessen und deckt einen Zeitraum von 85 Jahren ab (Abbildung 29).

Im Folgenden gelten die Abflussjahre von 1812 bis 1831 (20-Jahresreihe) stellvertretend für den gesamten untersuchten Abschnitt der Unteren Havel als Referenz für den historischen unverbauten Zustand des Flusses und die Abflussjahre von 1991 bis 2010 (20-Jahresreihe) werden für die Beurteilung des aktuellen hydrologischen Zustandes herangezogen. Die historische und die aktuelle Wasserstand-Ab-

fluss-Beziehung werden anhand der Daten von Brandenburg UP untersucht. Der gewässerkundlichen Veröffentlichung der Verwaltung der Märkischen Wasserstraßen in Potsdam (1903) ist der Pegelnullpunkt (PNP) für den Referenzzeitraum mit 27,657 m ü. NN zu entnehmen, allerdings liegen die Daten des Wasserstandes bis 2011 umgerechnet auf den aktuellen PNP von 27,12 m ü. NN vor, welcher ab dem 01.11.2007 gültig ist (WSV, 2021b).

In der Zeitreihe des Wasserstandes wird die Wirkung der mittelwasserregulierenden Maßnahmen schon sehr deutlich und man erkennt die abnehmenden Schwankungen des Wasserstandes sowie die Anhebung der Niedrigwasserstände. Allgemein werden die Amplituden der Wasserstände kleiner.

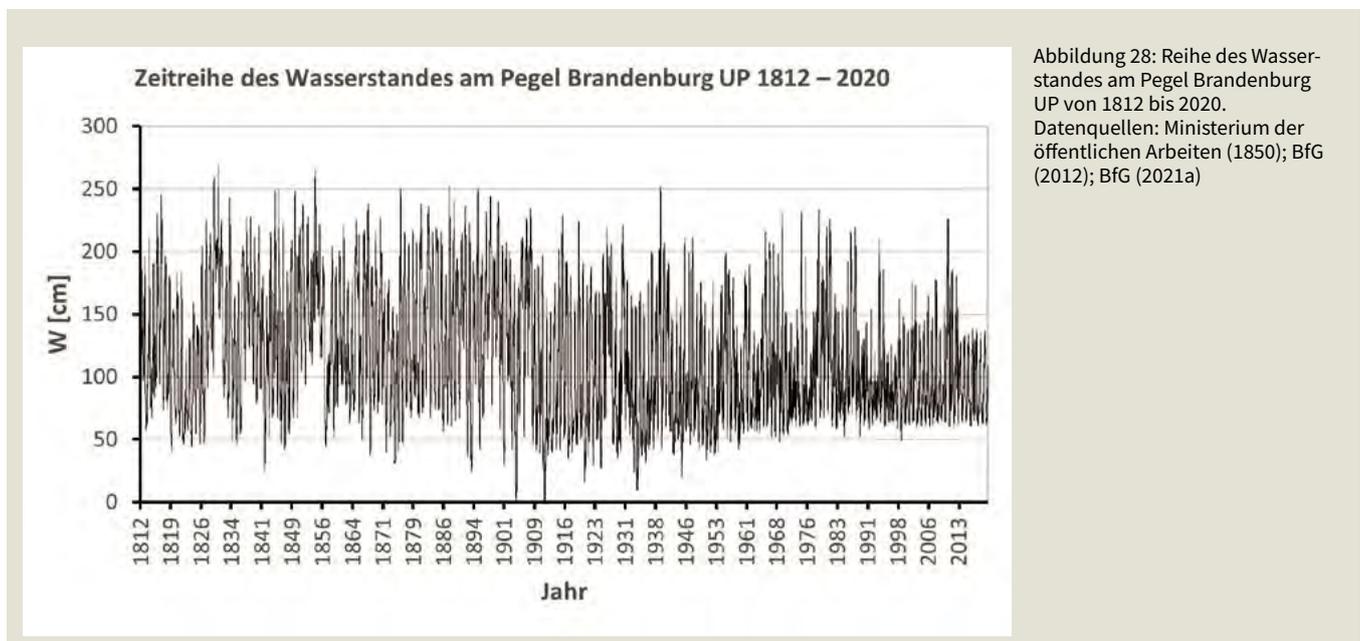


Abbildung 28: Reihe des Wasserstandes am Pegel Brandenburg UP von 1812 bis 2020. Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850); BfG (2012); BfG (2021a)

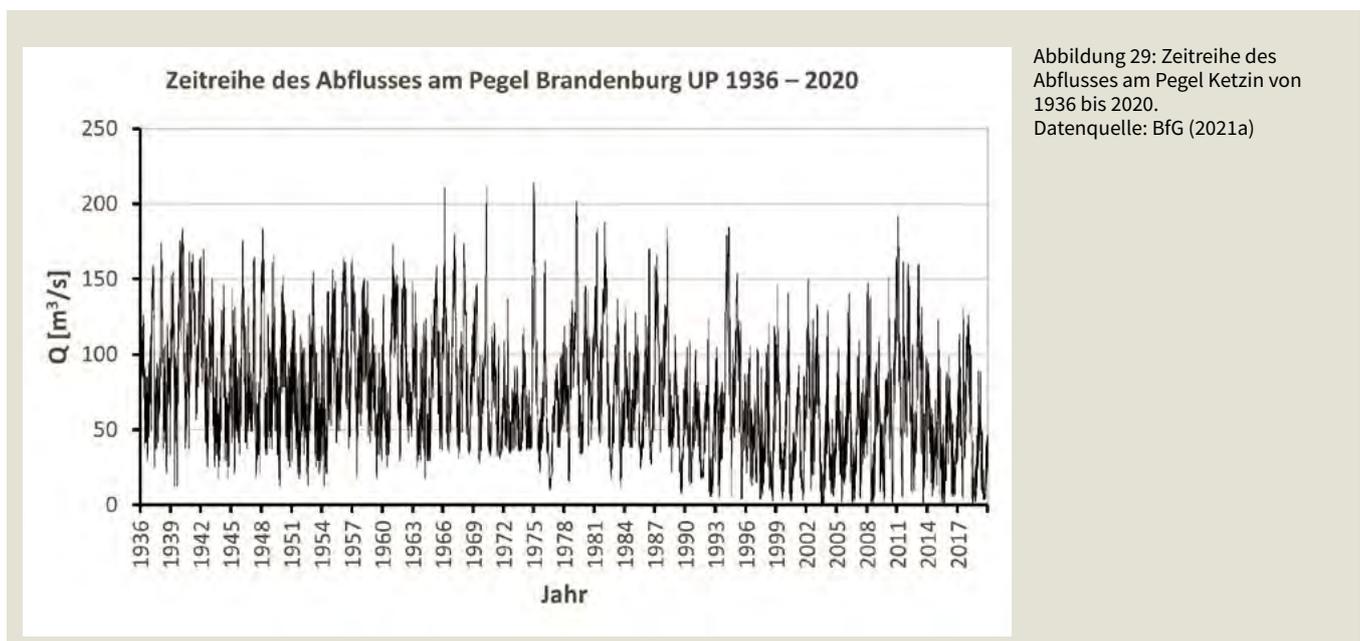


Abbildung 29: Zeitreihe des Abflusses am Pegel Ketzin von 1936 bis 2020. Datenquelle: BfG (2021a)

Abweichungsanalyse der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte im Gesamtzeitraum

Betrachtet man zusätzlich die Änderung des jeweiligen Jahresmittels vom Langzeitmittel, erkennt man die Aufhöhung des MNW ab etwa Mitte des 20. Jahrhunderts (Abbildung 30 oben). MW und MHW am Pegel Brandenburg UP sind dagegen mit dem Bau des Silokanals ab 1910 gesunken (Abbildung 30 Mitte und unten).

Bei den Abflüssen in Abbildung 29 wird ersichtlich, dass diese sich etwa ab den 1990er-Jahren auf einem deutlich niedrigeren Niveau einpegeln. Betrachtet man auch hier die Hauptwerte mittels einer Abweichungsanalyse einzeln, ist dieser Trend für alle Hauptwerte deutlich erkennbar (Abbildung 31). Für MNQ ist der fallende Trend jedoch am stärksten ausgeprägt. Ursächlich für den Abfall der Niedrigwassermengen ab den 1990er-Jahren, um ca. 25 m³/s, ist der Rückgang der Stümpfungswassermengen aus dem Braunkohletegabbau (BMVBS, 2012).

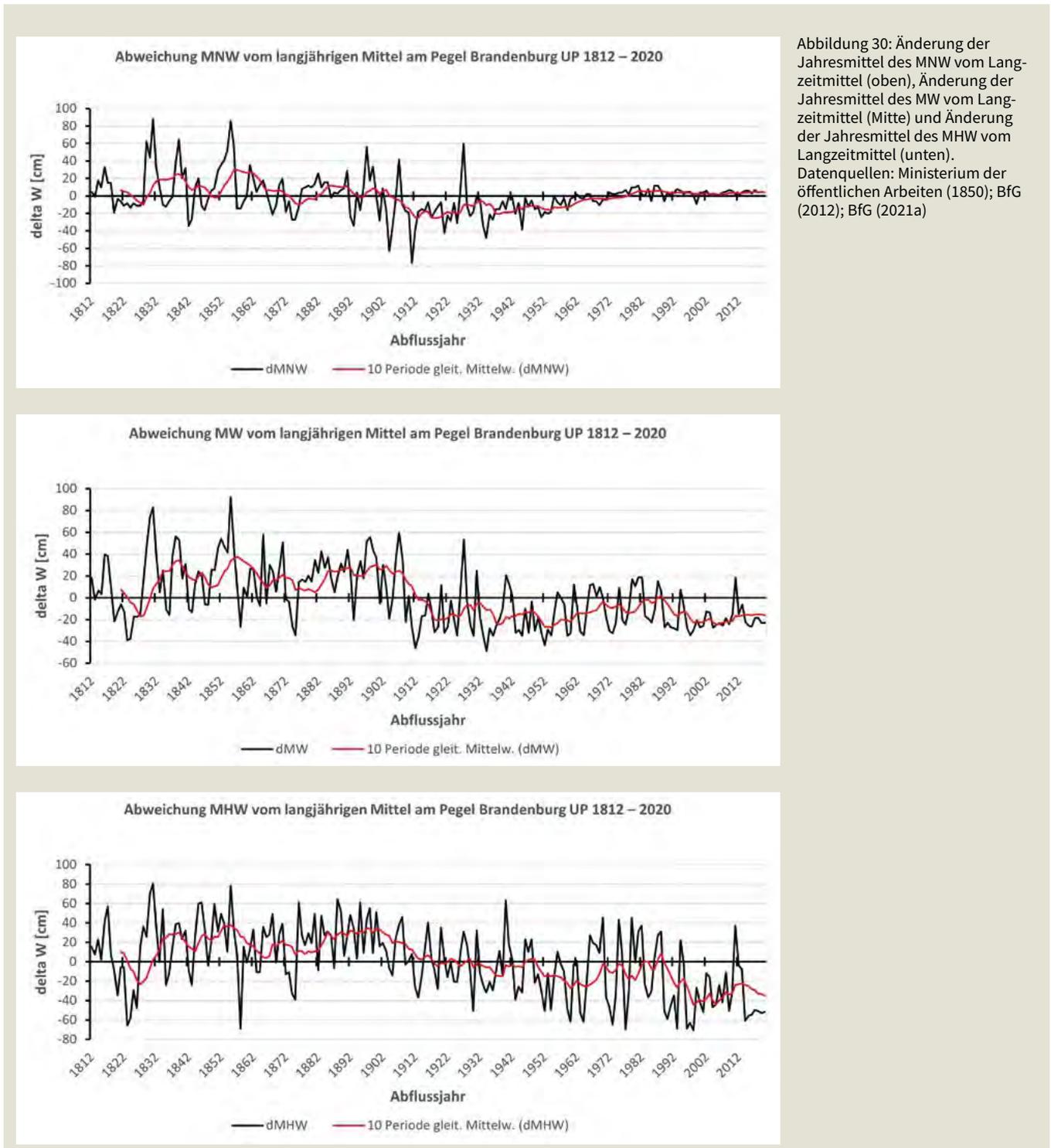


Abbildung 30: Änderung der Jahresmittel des MNW vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MW vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHW vom Langzeitmittel (unten). Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850); BfG (2012); BfG (2021a)

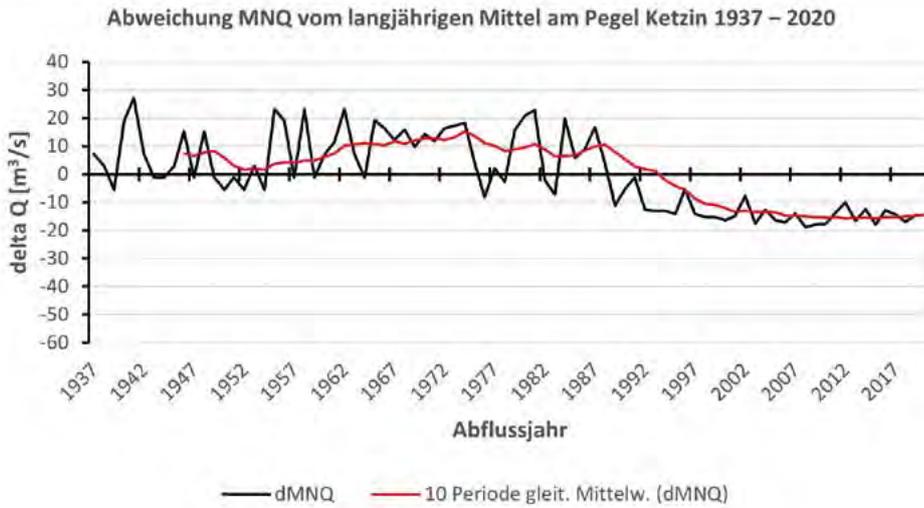
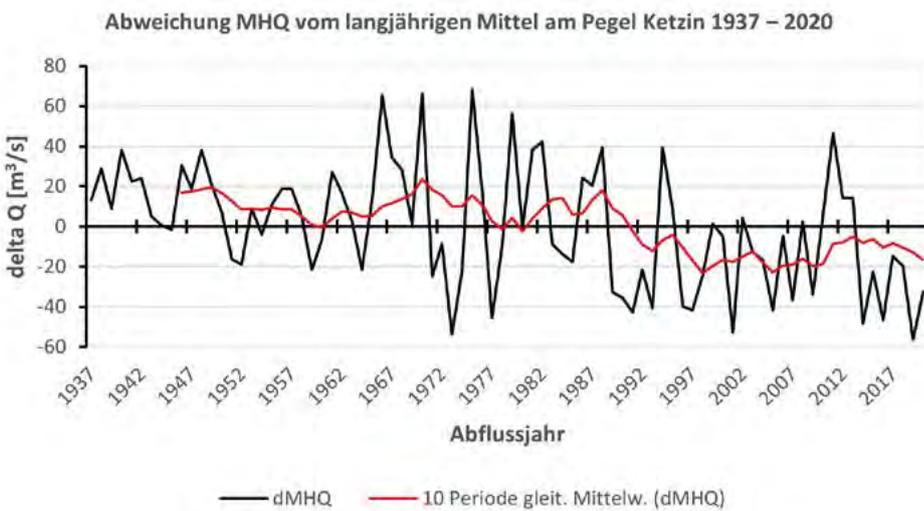
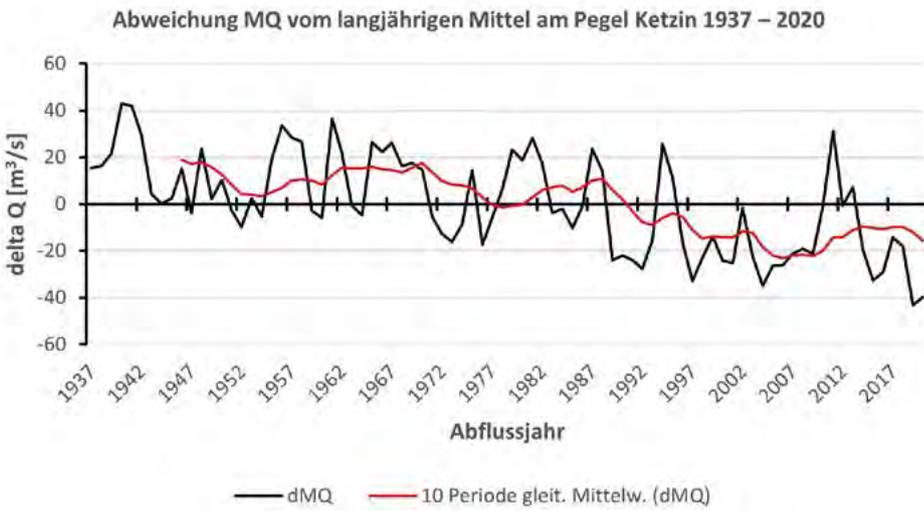


Abbildung 31: Änderung der Jahresmittel des MNQ vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MQ vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHQ vom Langzeitmittel (unten). Datenquellen: BfG (2021a)



Plausibilisierung der Verwendbarkeit historischer Wasserstände zusammen mit aktuellen Abflüssen

Wie Abbildung 32 zu entnehmen ist, sind die Daten der beiden gewählten Beobachtungszeiträume (Referenz und aktuell) vergleichbar, da der Trend beider Perioden jeweils gleichbleibend ist. Somit können die Daten für die Bildung der historischen Wasserstand-Abfluss-Beziehung verwendet werden. Zudem ist zu prüfen, inwieweit die historischen mit den heutigen Abflüssen vergleichbar sind. Da jedoch wie eingangs erwähnt keine historischen Abflussdaten für den Pegel Ketzin vorliegen, werden stellvertretend Aufzeichnungen der Abflüsse für die Untere Havel bei Rathenow betrachtet, welche proportional auch für den Unterpegel Brandenburg ihre Gültigkeit besitzen. Gemäß der „Denkschrift zur Verbesserung der Vorflut- und Schifffahrtsverhältnisse in der Havel unterhalb Rathenow“ von 1929 beträgt MQ im Zeitraum von 1871 bis 1900 für Rathenow $77 \text{ m}^3/\text{s}$ (Der Reichsverkehrsminister, 1929). Für den aktuellen Zeitraum von 1991 bis 2020 beträgt MQ rund $75 \text{ m}^3/\text{s}$. Es kann also davon ausgegangen werden, dass sich MQ im langjährigen Mittel heute wieder auf das Niveau vor der Beeinflussung durch den Lausitzer Bergbau eingestellt hat. Damit sind die historischen mit den aktuellen Abflüssen ebenso vergleichbar.

Mittels Abbildung 33 und Abbildung 34 kann man zusätzlich die Jahres- und Monatsganglinien sowie die Dauerlinien des Wasserstandes und des Abflusses für den Referenzzeitraum und den aktuellen Zeitraum miteinander vergleichen. Dabei offenbart sich ein annähernd ähnlicher Verlauf der Monatsganglinien und ein sehr ähnlicher Charakter der Dauerlinien.

Stellt man die historische Dauerlinie des Wasserstandes der aktuellen Dauerlinie des Abflusses gegenüber, wird der ähnliche Verlauf verdeutlicht (Abbildung 35). Zudem wird durch die Abbildung der jeweiligen Hauptwerte eine gute Übereinstimmung von MW und MQ ersichtlich.

Topografische Grundlegendaten

Der betrachtete Abschnitt der Unteren Havel liegt vollständig im Bundesland Brandenburg. Das im Rahmen dieser Studie genutzte, digitale Geländemodell mit einer Rasterweite von 2 m für das Untersuchungsgebiet wurde durch die Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg zur Verfügung gestellt (LGB, 2013).

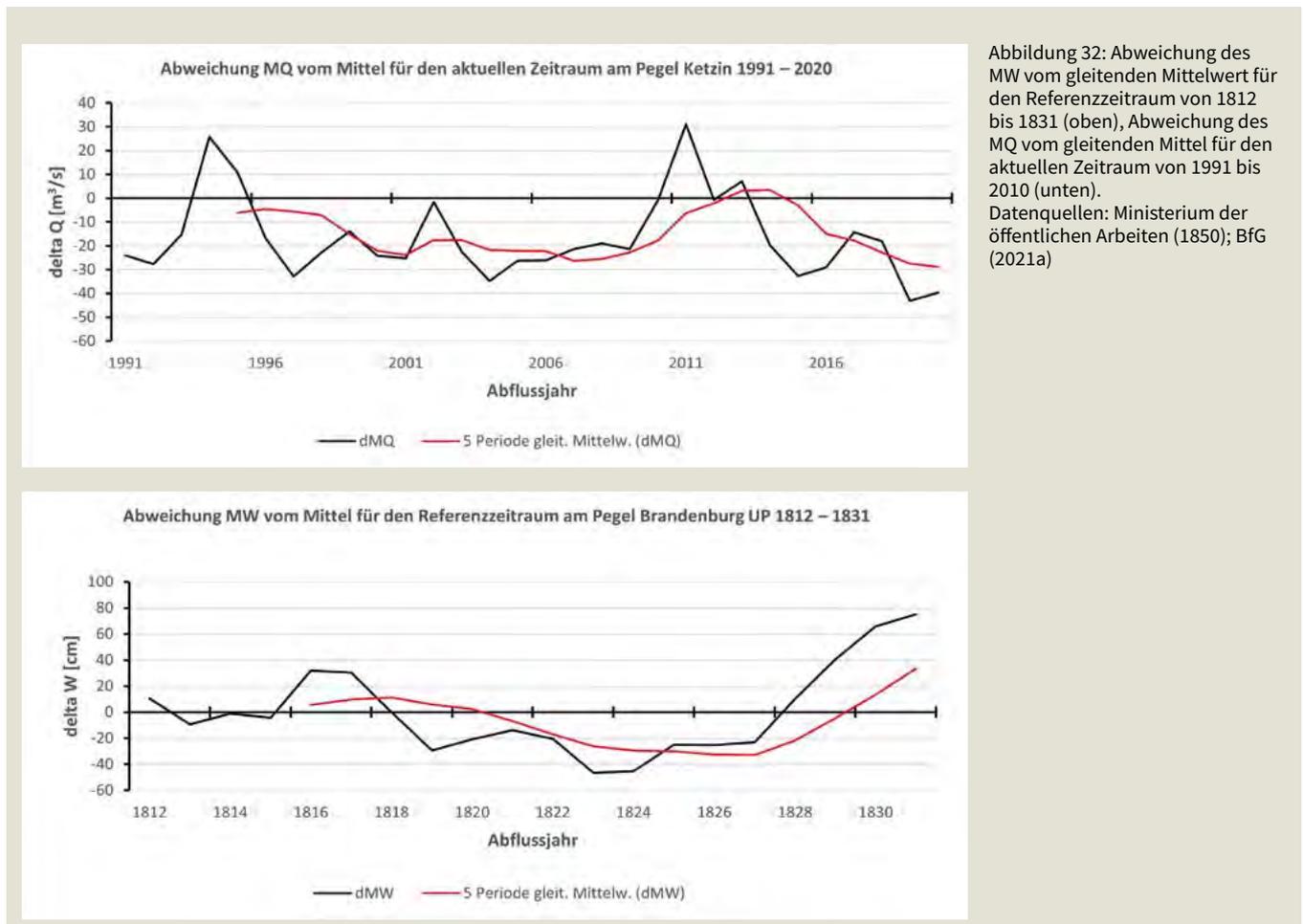


Abbildung 32: Abweichung des MW vom gleitenden Mittelwert für den Referenzzeitraum von 1812 bis 1831 (oben), Abweichung des MQ vom gleitenden Mittel für den aktuellen Zeitraum von 1991 bis 2010 (unten). Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850); BfG (2021a)

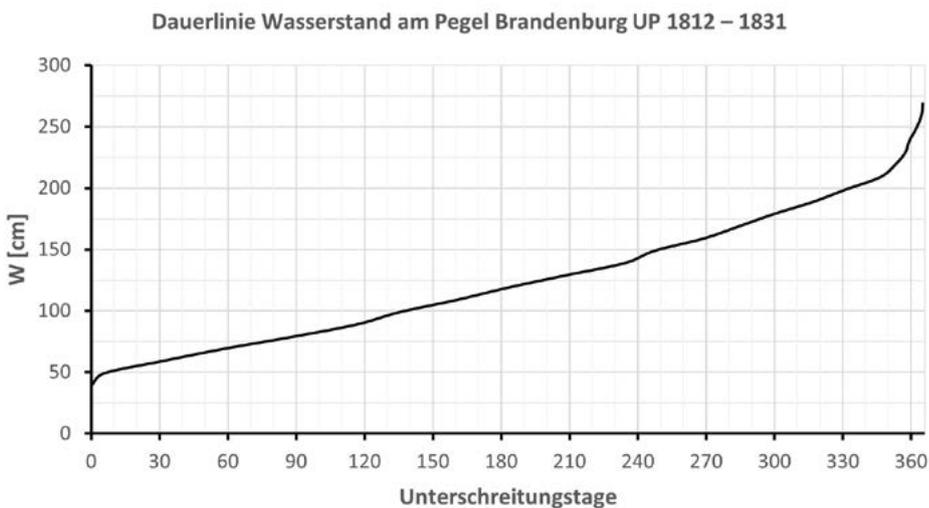
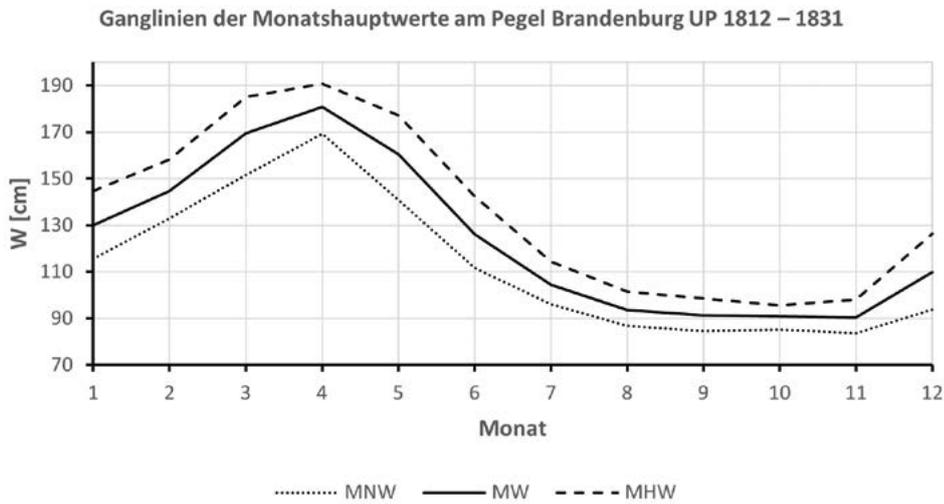
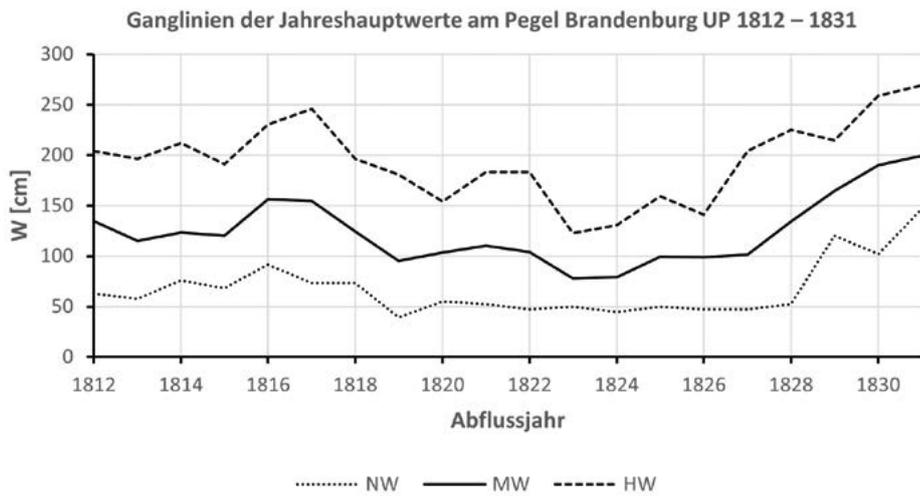


Abbildung 33: Jahresganglinie (oben), Monatsganglinie (Mitte) und Dauerlinie (unten) der Tagesmittelwerte des Wasserstandes für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP im Referenzzeitraum.
Datenquelle: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850)

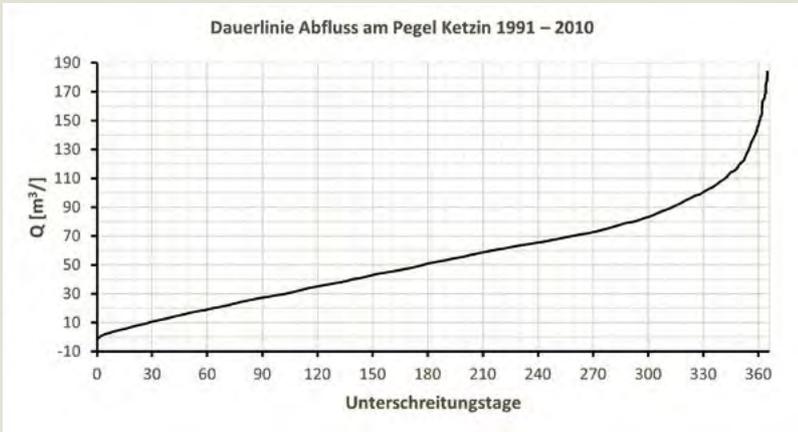
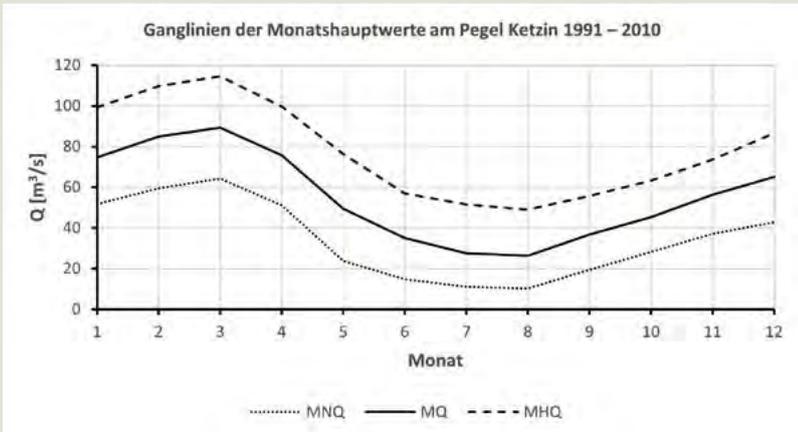
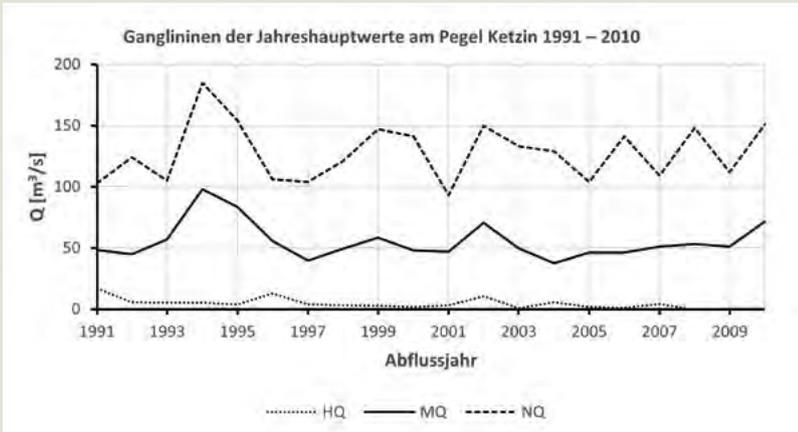


Abbildung 34: Jahresganglinie (oben), Monatsganglinie (Mitte) und Dauerlinie (unten) der Tagesmittelwerte des Abflusses für die Untere Havel am Pegel Ketzin im aktuellen Zeitraum. Datenquelle: BfG (2021a)

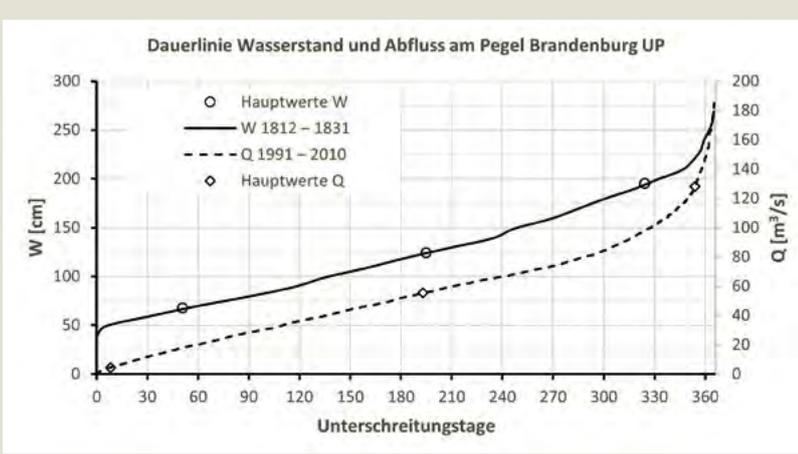


Abbildung 35: Dauerlinien des Wasserstandes und des Abflusses für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP. Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850); BfG (2012)

4.2.4. Veränderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte

Die Änderung der Hauptwerte des Wasserstandes (Abbildung 36) zeigt, dass alle Wasserstände vom historischen bis zum aktuellen Betrachtungszeitraum gesunken sind. MNW ist um 6 cm, MW um 30 cm und MHW um 43 cm gesunken.

Der Vergleich der Amplituden der Wasserstände (Abbildung 37) zeigt außerdem, dass die Schwankungsbreite zwischen den Wasserständen abgenommen hat.

4.2.5. Veränderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung

Die für den Referenzpegel Brandenburg UP zugrunde liegenden Abflussdaten werden am stromauf gelegenen Pegel Ketzin gemessen. Da jedoch für den Referenzzeitraum keine Abflussdaten vorliegen, werden die Dauerlinien historischer Wasserstände und aktueller Abflüsse für die Ermittlung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung herangezogen und eine synthetische Wasserstand-Abfluss-Beziehung gebildet (siehe Methodik zur Ermittlung der Zielparameter in Kapitel 3.3). Die Plausibilisierung für dieses Vorgehen erfolgte in Kapitel 4.2.3.

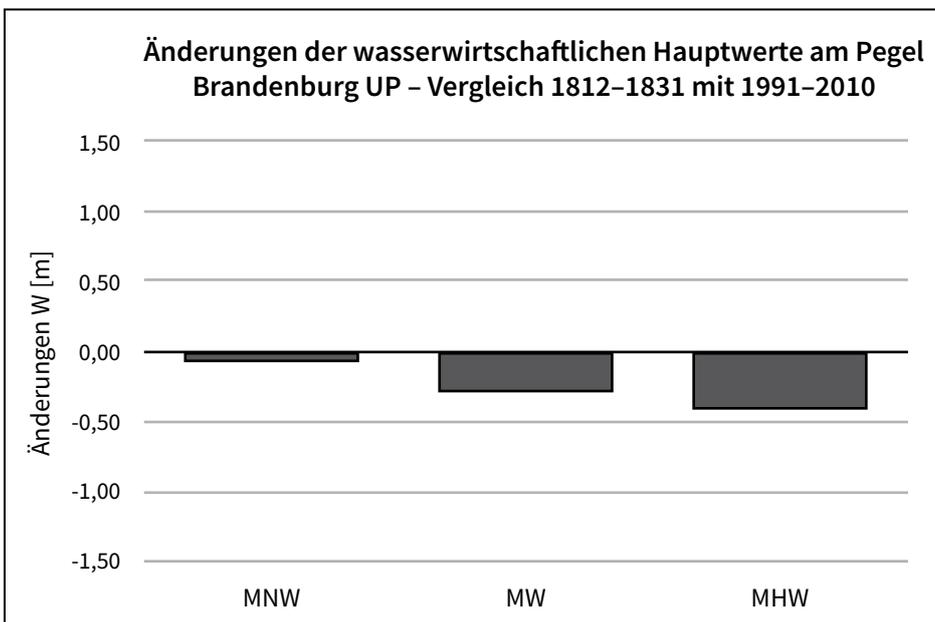


Abbildung 36: Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte des Wasserstandes am Pegel Brandenburg UP. Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850); BfG (2012)

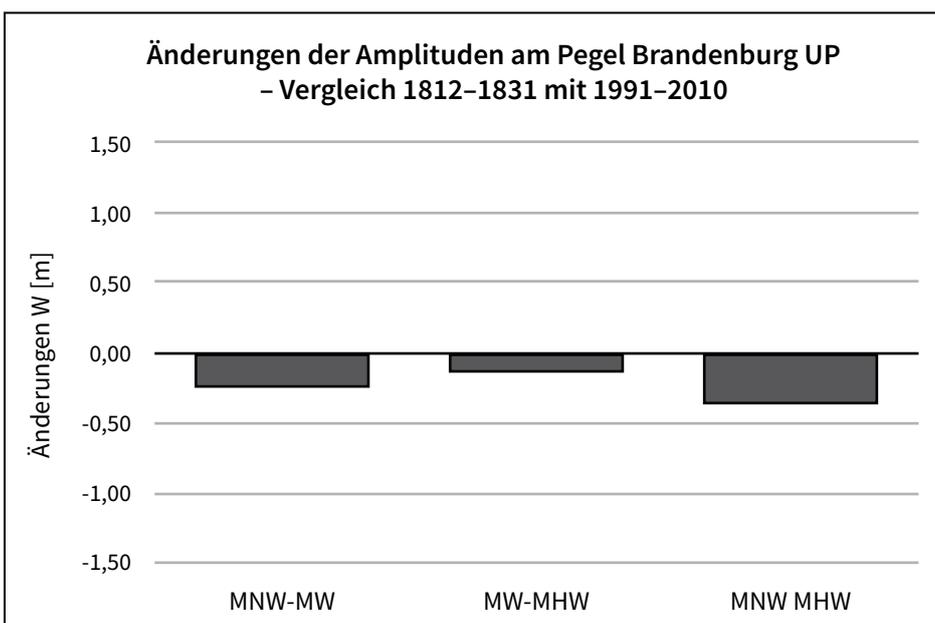


Abbildung 37: Änderung der Amplituden der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte am Pegel Brandenburg UP. Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850); BfG (2012)

Abbildung 38 zeigt das Ergebnis der Synthese beider Dauerlinien. Die so ermittelte historische Wasserstand-Abfluss-Beziehung (Poly.-Dauerlinie) wird zusammen mit den Hauptwerten für die jeweilige Periode gezeigt.

Da die untersuchte Flussstrecke eine Stauhaltung ist, kann die aktuelle Wasserstand-Abfluss-Beziehung nicht direkt über die Bildung einer Regression ermittelt werden. Daher wurden die Wertepaare von W und Q in Klassen (alle 10 m³/s) eingeteilt und je Klasse der Mittelwert sowie der kleinste und der größte Wert (Minimum, Maximum) bestimmt (Abbildung 39). Die Schwankungsbreite des Wasserstandes ist für kleine und große Abflüsse am geringsten und bei mittleren Abflüssen am größten.

4.2.6. Veränderung des Ausuferungsverhaltens

Der betrachtete Abschnitt der Unteren Havel enthält, wie eingangs bereits erwähnt, eine Seenkette und hat ein sehr geringes Fließgefälle, auch im naturnahen Zustand. Der Berechnung liegt der Fließweg der Unteren Havel über die Brandenburger Niederhavel zugrunde (historischer Zustand vor Bau des Silokanals). Diese historische Strecke ist rund 1,9 km länger als die heutige Hauptstrecke über den Silokanal.

Ausgehend von der Wasserspiegellage bei MHQ wurde zwischen den Pegeln eine Wasserfläche aufgespannt, welche die Altaue einschließt. Die konstruierte Wasserfläche für den Untersuchungsabschnitt der Unteren Havel wurde mit dem digitalen Geländemodell verschnitten. Durch schrittweises Absenken des Wasserspiegels wurden die Bereiche, in denen die Ausuferung beginnt, identifiziert (Abbildung

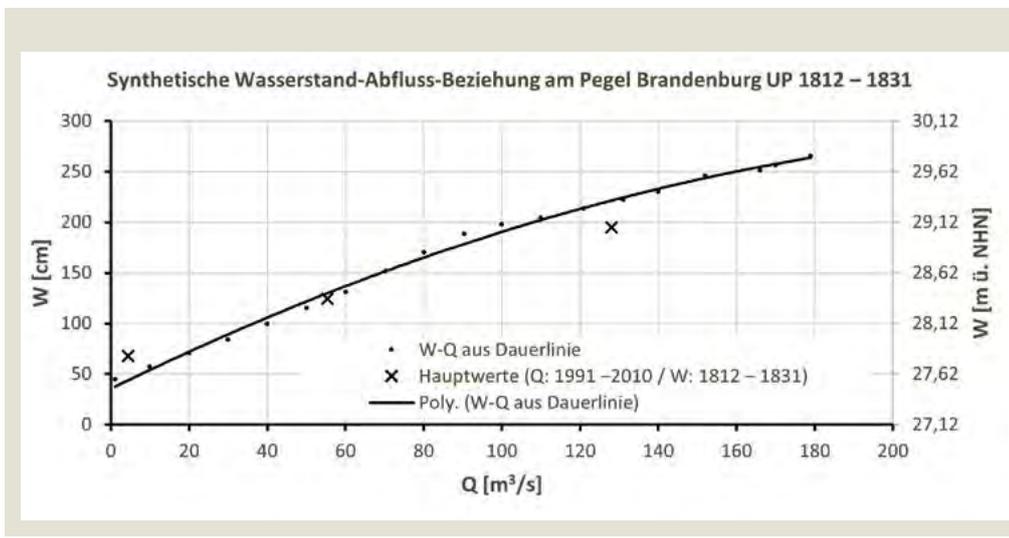


Abbildung 38: Synthetische Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP in der Zeit von 1812 bis 1831 aus den Dauerlinien des historischen Wasserstandes und des aktuellen Abflusses. Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850); BfG (2012)

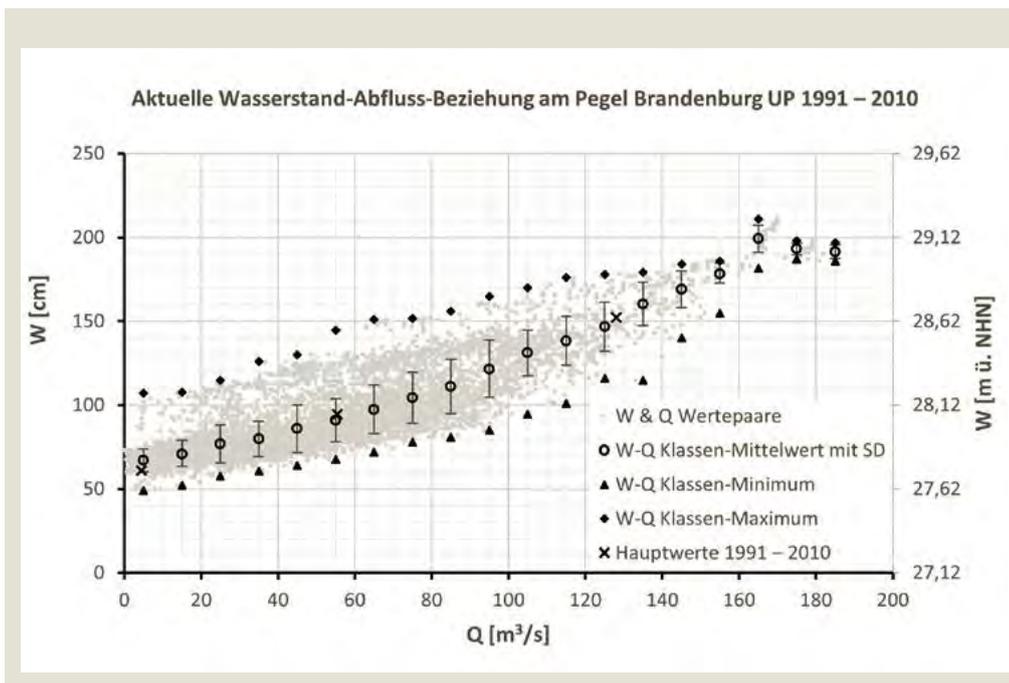


Abbildung 39: Aktuelle Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP in der Zeit von 1991 bis 2010; SD = Standardabweichung. Datenquelle: BfG (2012)

40). Bei einer Höhe von 28,20 m ü. NHN zeigen sich im Modell die ersten Vernässungen im Raum der Neuendorfer Havel.

Im Bereich des Pegels Brandenburg UP kann man der Dauerlinie für den Zeitraum von 1991 bis 2010 entnehmen, dass der über Modellierungen ermittelte Ausuferungswas-

serstand von $W = 28,20$ m ü. NHN für die tiefen Rinnen der Aue an etwa 90 Tagen im Jahr überschritten wird (Abbildung 41). Im Referenzzeitraum von 1812 bis 1831 waren es dagegen 204 Überschreitungstage im Jahr. Damit weicht das Ausuferungsverhalten der Unteren Havel heute stark vom natürlichen Ausuferungsverhalten ab. Die Anzahl der Tage mit Ausuferung hat sich mehr als halbiert.

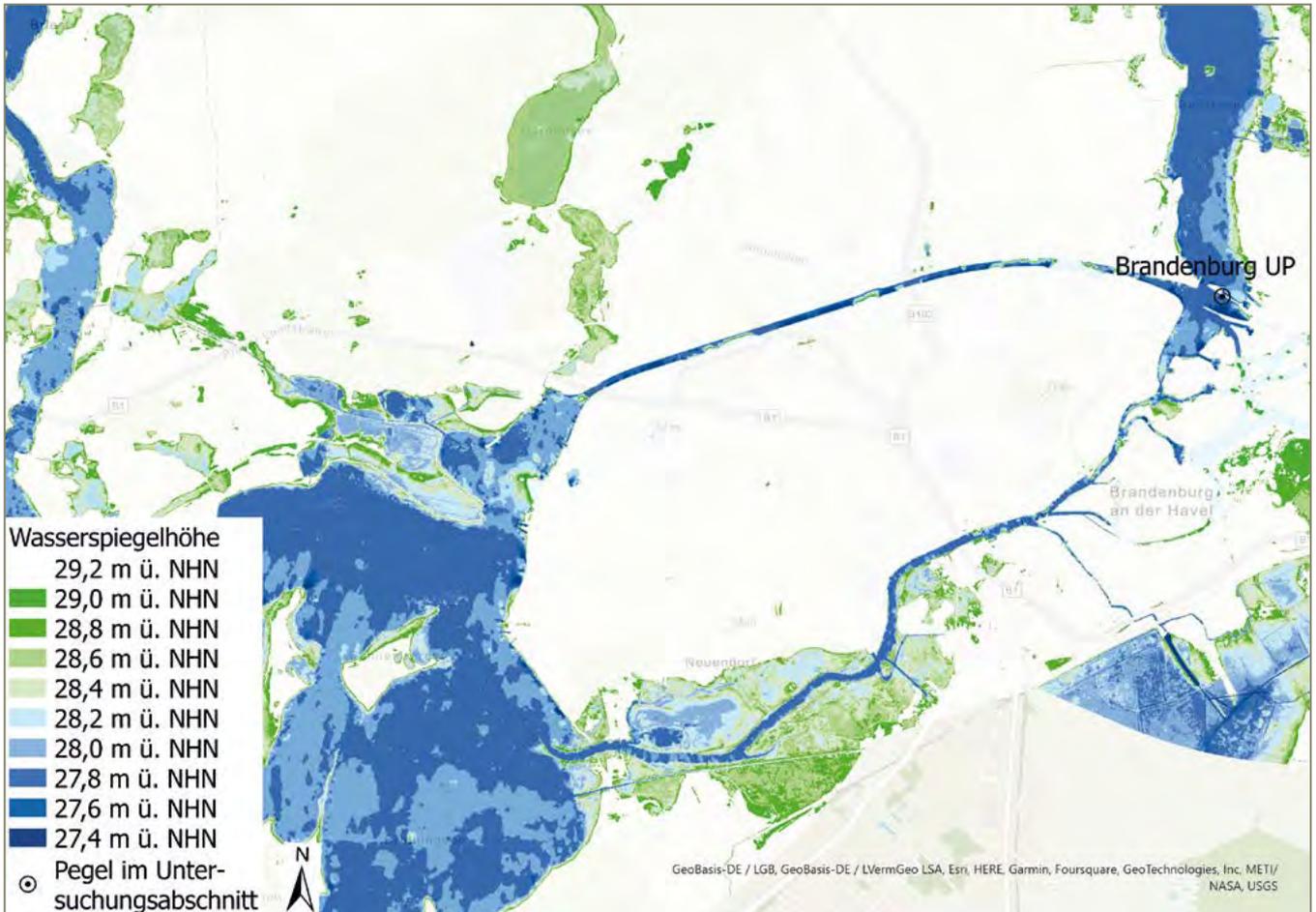


Abbildung 40: Veranschaulichung der Ermittlung des Ausuferungsbeginns für den Untersuchungsabschnitt der Unteren Havel beim Pegel Brandenburg UP. Datengrundlagen: LGB (2013); BfG (2021a)

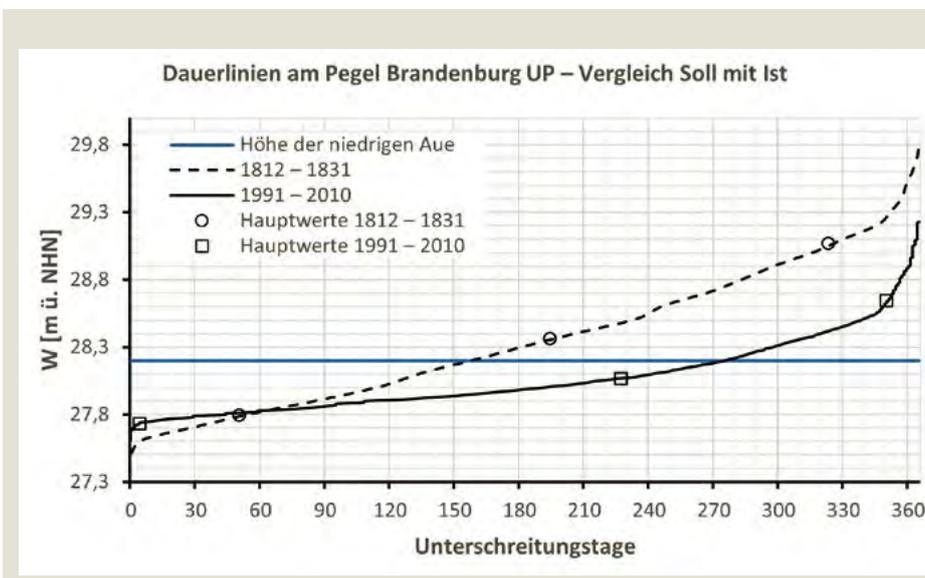


Abbildung 41: Dauerlinien des Wasserstandes für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP in der Zeit von 1812 bis 1831 und 1991 bis 2010 sowie die ermittelte Höhe der niedrigen Aue. Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850); BfG (2012)

4.2.7. Ergebnisse

Bewertung der Hydrologie

Der betrachtete Abschnitt der Unteren Havel befindet sich bezüglich seiner hydrologischen Verhältnisse insgesamt in einem mäßigen bis schlechten Zustand (siehe Tabelle 7). Die Wasserstände des mittleren Niedrigwassers sind um 5 % gesunken, was nach vorgestelltem Bewertungsschema (Kapitel 3.4; Tabelle 5) einem mäßigen Zustand entspricht. MW und MHW dagegen sind um 23 % bzw. 34 % gesunken, weshalb der aktuelle Zustand als „schlecht“ einzustufen ist.

Abbildung 42 stellt den betrachteten Streckenabschnitt der Unteren Havel zusammenfassend mit der Bewertung der hydrologischen Verhältnisse dar.

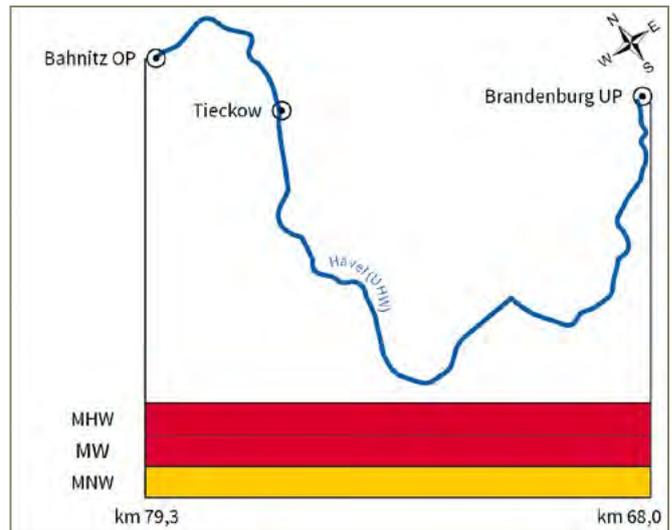


Abbildung 42: Bewertung der Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1812 bis 1831 zu 1991 bis 2010 am Pegel Brandenburg UP. Datengrundlage: Bundeswasserstraßen – VerKNet-BWaStr; © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert

Tabelle 7: Vergleich der gemittelten wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1812 – 1831 mit 1991 – 2010 am Pegel Brandenburg UP

Pegel	MNW-MHW	MNW aktuell - MNW historisch		MW aktuell - MW historisch		MHW aktuell - MHW historisch	
	[m]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]
Brandenburg UP	1,27	-0,06	-5	-0,30	-23	0,43	-34

Bewertung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung

Die Gegenüberstellung der synthetischen Wasserstand-Abfluss-Beziehung für den historischen Zeitraum mit der Wasserstand-Abfluss-Beziehung für den aktuellen Zeitraum verdeutlicht die Veränderungen der Wasserstände und Abflussverhältnisse. Die beiden Beziehungen weisen gegen-

läufige Trends auf (siehe Abbildung 43). Für Abflüsse bis etwa 25 m³/s traten im Referenzzeitraum im Mittel niedrigere Wasserstände auf, als dies aktuell zu beobachten ist. Für Abflüsse über 25 m³/s kehrt sich der Trend um und bei jeweils gleichem Abfluss werden heute im Mittel niedrigere Wasserstände gemessen als im Referenzzeitraum.

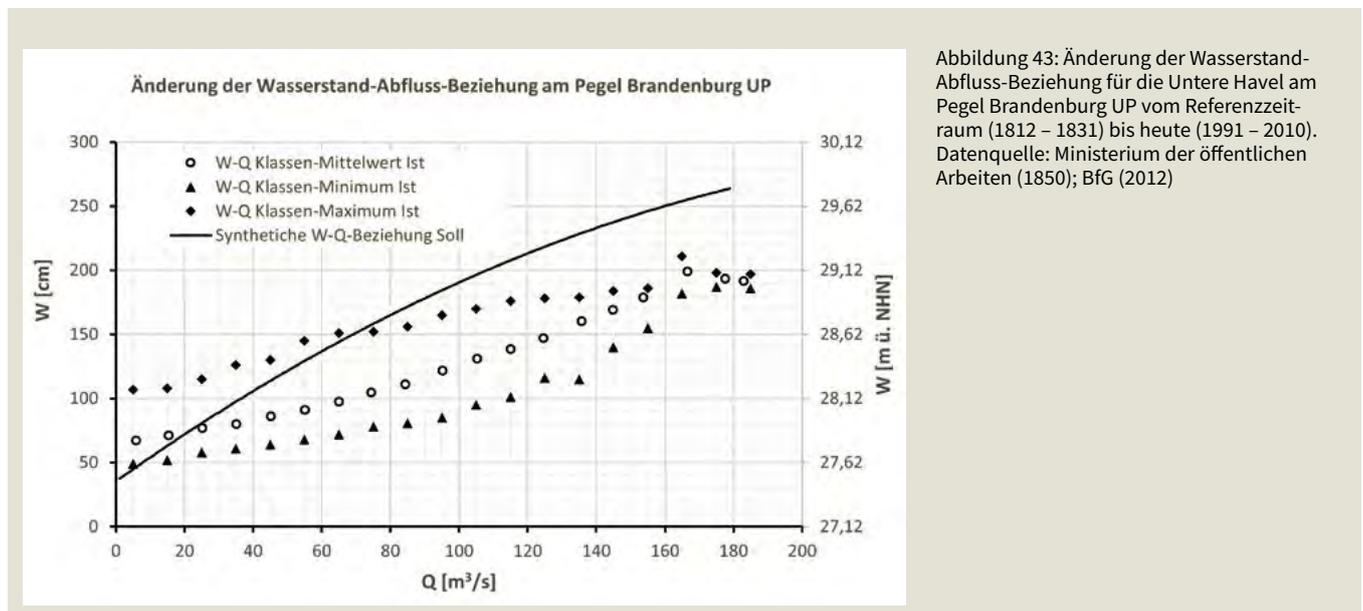


Abbildung 43: Änderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Untere Havel am Pegel Brandenburg UP vom Referenzzeitraum (1812 – 1831) bis heute (1991 – 2010). Datenquelle: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850); BfG (2012)

Bewertung des Ausuferungsverhaltens

Da das Ausuferungsverhalten der Unteren Havel im Referenzzeitraum noch naturnah war, wird die Überschreitungsdauer von 204 Tagen im Jahr gleich 100 % gesetzt und somit das Soll festgelegt. Im aktuellen Zeitraum wird der bordvolle Wasserstand in der niedrigen Aue nur noch an 90 Tagen im Jahr überschritten. Dies entspricht 44 % der Soll-Ereignisdauer. Demnach beträgt die Abweichung des Ist vom Soll 56 %. Das Ausuferungsverhalten ist, nach dem Bewertungsschema von Tabelle 5, mit „schlechter Zustand“ zu bewerten (Abbildung 44).

Dieses Ergebnis verdeutlicht, wie stark sich das Ausuferungsverhalten der Unteren Havel in den letzten knapp zwei Jahrhunderten durch anthropogene Eingriffe, wie Laufbegradigungen und Profilaufweitung, verändert hat. Aufgrund des geringen Auenreliefs der Havel haben erhöhte Abflüsse ursprünglich frühzeitig zu langanhaltenden Überflutungen in der Aue geführt, welche zudem langsam fließend bis stagnierend waren (LUA BB, 1995).

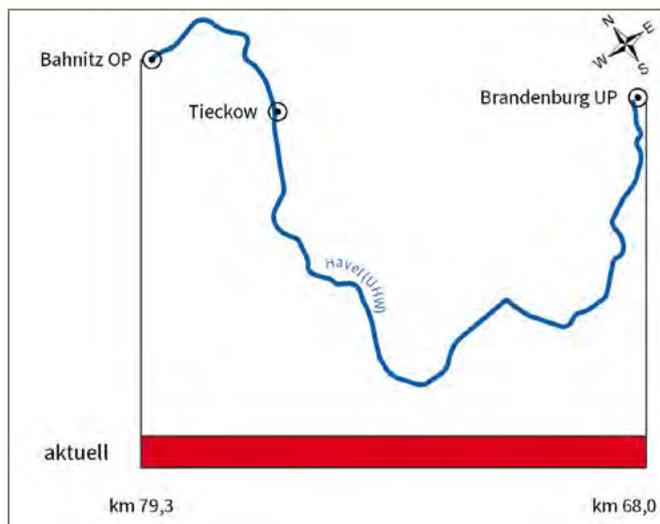


Abbildung 44: Bewertung des aktuellen Ausuferungsverhaltens des betrachteten Abschnittes der Unteren Havel verglichen mit dem naturnahen Ausuferungsverhalten im Referenzzeitraum (1812 - 1831). Datengrundlage: Bundeswasserstraßen - VerkNet-BWaStr: © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert

4.2.8. Verbesserungsmöglichkeiten

Hauptursache für die Defizite im Wasserhaushalt der Unteren Havel sind Profilaufweitungen, Begradigungen und die Kanalisierung des Gewässerbettes, aber auch die Stauhaltung und die abschnittsweise Wasserausleitung. Die unmittelbaren Folgen sind eine Erhöhung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Gewässerbettes, eine hydraulische Abtrennung von Auengewässern sowie die Entkopplung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung.

Im Wasserhaushalt liegen die Defizite in einer Erhöhung der Wasserstände bei Abflüssen unterhalb 25 m³/s und einer Absenkung darüber bei gleichzeitiger Verminderung der Amplituden, einer Verringerung der Ausuferungsdauer um mehr als die Hälfte und einer Abkopplung der niedrigen rezenten Aue.

Vorschläge für eine Entwicklungsstrategie sind die weitestmögliche Rückführung der Profilaufweitung, eine Erhöhung der Bettraugigkeit und eine Verbesserung der Verbindung zur niedrigen Aue und ihren Gewässern. Nach Möglichkeit sollte auch eine stärkere Anpassung des Stauregimes an die natürliche Wasserstand-Abfluss-Beziehung angestrebt werden.

Wesentliche Restriktionen sind die Fahrrinnenparameter der Bundeswasserstraße, der Siedlungshochwasserschutz und die etablierten Nutzungsansprüche. Sie schränken den Handlungsrahmen insbesondere im Stadtgebiet von Brandenburg ein.

Wichtige Maßnahmenoptionen sind die Verringerung der Uferfixierungen und die Etablierung naturnaher Bettstrukturen mit sohlauhöhender Wirkung in den Fließstrecken bei gleichzeitiger Erhöhung der Sohlenrauheit außerhalb der Fahrrinne. Hinzu kommen der Rückbau von Uferverwallungen und der Anschluss von Flutrinnen, Nebengerinnen sowie Altwässern. Zusätzlich stellen eine Rückführung von geeigneten Teilen der niedrigen Altaue sowie eine Dynamisierung der Stauhaltung Möglichkeiten zur Verbesserung dar.



Oberes Wehr Hameln und Schleuse Hameln



Buhnen und intensive Landnutzung in der Aue der Oberweser bei Wehrbergen



Die Oberweser bei Porta Westfalica mit dem Wiehengebirge rechts

4.3. Die Weser von Hameln Wehrbergen bis Porta

4.3.1. Charakteristik

Die Oberweser ist ein großer Fluss des Deckgebirges. Vom Flusssauentyp her entspricht sie der gefällearmen kies-schottergeprägten Flusssau des Deckgebirges mit Winterhochwassern (Koenzen, 2005). Die Aue nimmt lediglich die am tiefsten gelegenen Bereiche des Talbodens ein und das Talbodengefälle der Oberweser beträgt etwa 0,4 ‰. Das Abflussregime ist von Regen dominiert – im Sommer treten jedoch geringe Wasserstandsschwankungen auf und es können längere Niedrigwasserphasen auftreten (Koenzen, 2005). Die Ausuferungsdauer im naturnahen Zustand beträgt in Abhängigkeit vom Feinrelief und der lokalen Höhenlage im Mittel zwischen 5 und 180 Tagen im Jahr (Koenzen, 2005). Heute wird die Aue wesentlich seltener überflutet (BMU & BfN, 2021). In Abbildung 45 wird die unterschiedlich ausgeprägte Auenbreite des betrachteten Flussabschnittes, welche durch die angrenzenden Höhenlagen bestimmt wird, deutlich.

Der gewählte Untersuchungsabschnitt erstreckt sich von km 139,7 (Pegel Hameln Wehrbergen) bis 198,4 (Pegel Porta) und ist damit knapp 60 km lang (Abbildung 45). Der Gewässerabschnitt befindet sich zwischen den Wehranlagen Oberes und Unteres Wehr Hameln und der Wehranlage Petershagen. Das Wasserspiegelgefälle zwischen Hameln Wehrbergen und Porta beträgt 35 cm/km bei MQ bzw. 36 cm/km bei MHQ.

Die Wasserstände der Oberweser werden heute durch Tal-sperrenbewirtschaftung im Wesereinzugsgebiet beeinflusst. Bei Niedrigwasser in den Sommermonaten erhält die Oberweser Zuschusswasser aus der Edertalsperre (betrieben seit 1912) und der Dimeltalsperre (betrieben seit 1924). Hochwasserereignisse werden im Sinne des Hochwasserschutzes abgemildert.

Die Fließgewässerstruktur der Oberweser ist laut dem Wasserkörpersteckbrief der BfG (BfG, 2021b) als erheblich verändert einzustufen.

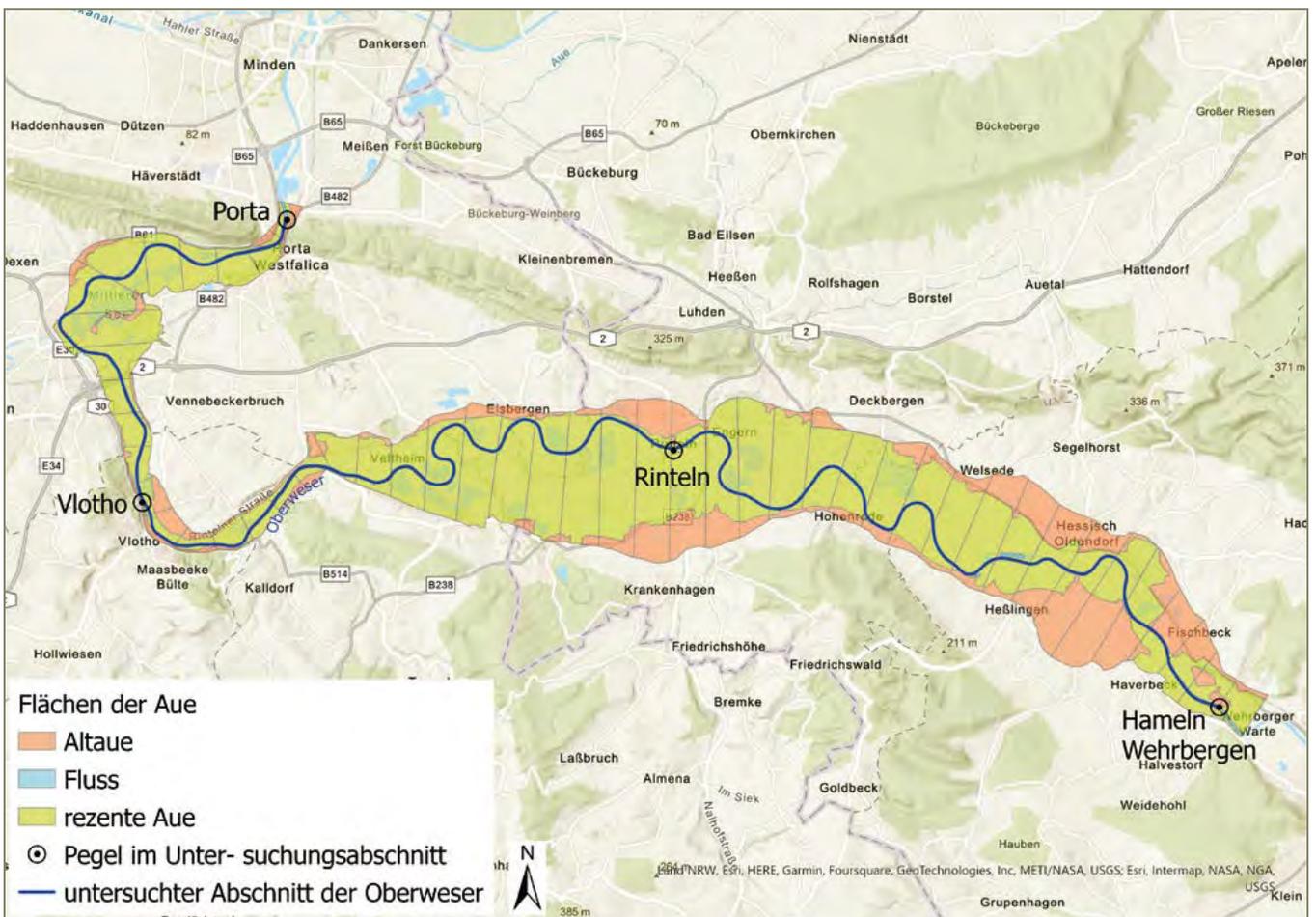


Abbildung 45: Übersichtskarte des untersuchten Abschnittes der Oberweser.

Datengrundlagen: Bundeswasserstraßen – VerkNet-BWaStr: © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert; Auensegmente – Bundesamt für Naturschutz (2009) unter Verwendung von Geobasisdaten © Geobasis-DE/BKG 2009

4.3.2. Bestimmung des Referenzzeitraumes

Der Ausbau der Weser wurde nach Plänen von 1916 realisiert und hatte die Verbesserung der Schifffahrtsverhältnisse zum Ziel (Muttray & Visarius, 1916). Im Zusammenhang mit diesem Ausbauprojekt sind über 3.000 Buhnen sowie eine große Anzahl an Deckwerken (u. a. mit Steinschüttungen) und Leitwerken entstanden (WSA Weser, 2021a; Buschmann, 1988). Zudem wurde die Flusssohle auf Mittelwasser ausgebaggert (Buschmann, 1988) – wohingegen bei Über-tiefen in der Flusssohle Grundswellen eingebaut wurden (WSA Weser, 2021a).

Vor diesem großräumigen Ausbau existierten mindestens seit 1850 vereinzelt erste Buhnen rund um Porta Westfalica, was Karten der „Preußische Uraufnahme“ von 1836 bis 1850 belegen (Geobasis NRW, 2021a).

Karten der „Preußische Neuaufnahme“ von 1891 bis 1912 zeigen weitere vereinzelt Buhnen in der Oberweser (Geobasis NRW, 2021b).

Wie jedoch oben bereits erwähnt ist der Großteil der Buhnen Anfang der 1930er-Jahre im Zuge des großräumigen Ausbaus der Weser entstanden (WSV, 2021c). Die Wehranlage Hameln, bestehend aus Oberem und Unterem Wehr Hameln, wurde im Jahr 1889 erbaut.

Demnach kann der betrachtete Abschnitt der Oberweser im Zeitraum vor 1850 als naturnah angesehen werden, weswegen die 20-Jahresreihe von 1821 bis 1840 als Referenzzeit-raum ausgewählt wird.

4.3.3. Verfügbare Daten

Pegeldaten

Die von der BfG (2021a) bereitgestellten Tageswerte des Wasserstandes und des Abflusses der vier Pegel im Untersuchungsabschnitt liegen für folgende Zeiträume vor, wobei für Vlotho die Daten vom WSA Weser (2021b) genutzt werden, da sie eine größere Zeitspanne abdecken:

Hameln Wehrbergen	W: 1974 – 2018 (45 Jahre)	Q: 1941 – 2018 (78 Jahre)
Rinteln	W: 1902 – 2018 (117 Jahre)	Q: 1974 – 2018 (45 Jahre)
Vlotho	W: 1821 – 2020 (200 Jahre)	Q: 1821 – 2020 (200 Jahre)
Porta	W: 1938 – 2018 (81 Jahre)	Q: 1936 – 2018 (83 Jahre)



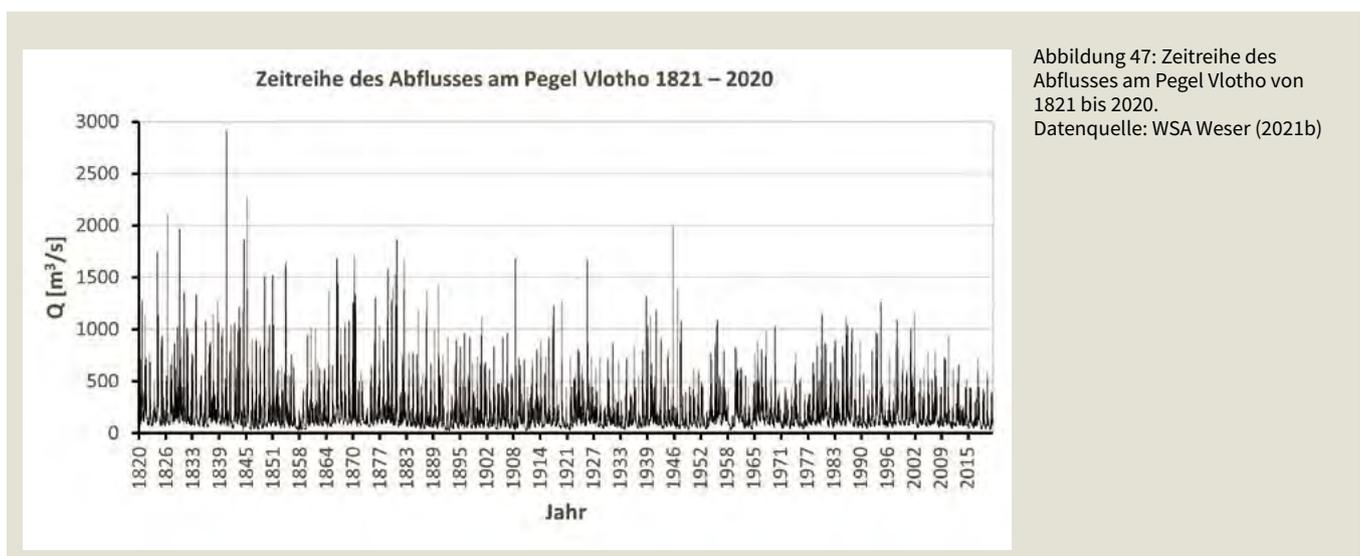
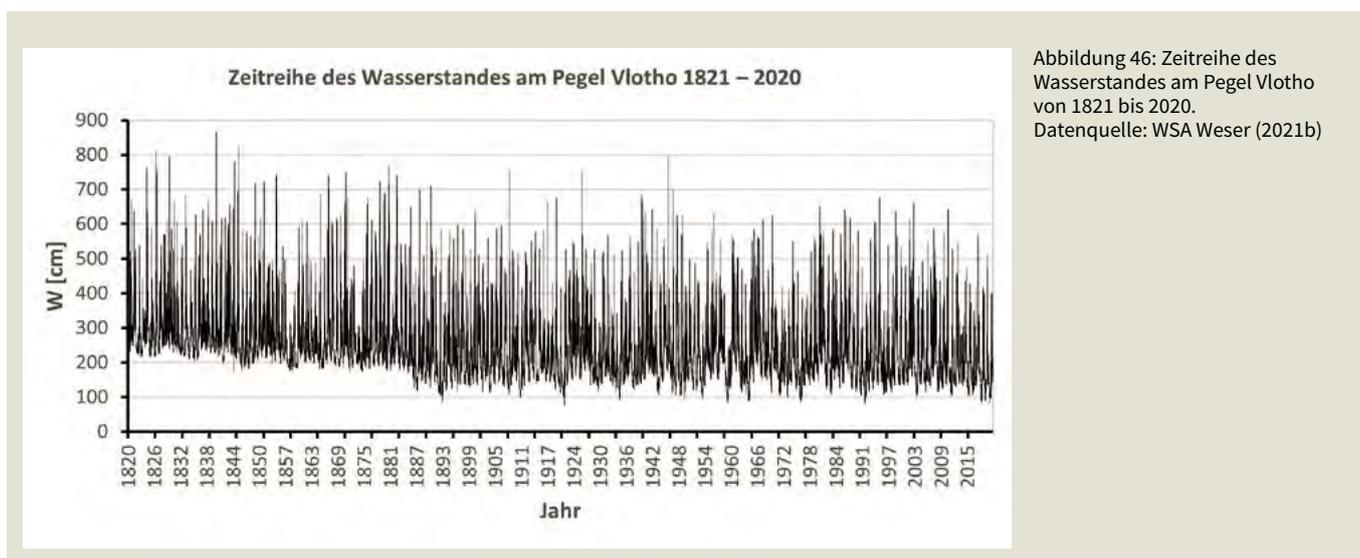
Der Pegel Vlotho ist repräsentativ für den Untersuchungsabschnitt und wird als Referenzpegel ausgewählt, da nur für diesen Pegel auch Daten des historischen unverbauten Zustandes vorliegen (Abbildung 46 und Abbildung 47).

Eine 20-Jahresreihe von Wasserstands- und Abflussdaten des Pegels Vlotho für die Jahre von 1821 bis 1840 wird für die Betrachtung des Referenzzustandes herangezogen, also derjenige Zustand des Gewässers, in dem es noch als naturnah und unverbaut angesehen werden konnte. Für die Analyse des aktuellen Gewässerzustandes wird eine 10-Jahresreihe der Wasserstände und Abflüsse für den Zeitraum von 2007 bis 2016 verwendet. Die vergleichende Untersuchung der historischen und aktuellen Wasserstand-Abfluss-Beziehung

erfolgt demnach anhand der Daten des Pegels Vlotho. Der Pegelnullpunkt für Vlotho beträgt für die gesamte Zeitreihe 41,66 m ü. NN.

Betrachtet man die Zeitreihe des Wasserstandes, wird ersichtlich, dass dieser seit ca. 1845 leicht sinkt und sich ab den 1890er-Jahren auf niedrigerem Niveau einpendelt.

Betrachtet man hingegen die Zeitreihe des Abflusses, fällt auf, dass die Amplituden sich im Mittel kontinuierlich verringern. Grund hierfür dürfte die Hochwasserentlastung durch die Talsperren im Weser-Einzugsgebiet (Edertalsperre und Dimeltalsperre) sein.



Abweichungsanalyse der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte im Gesamtzeitraum

Für eine höhere Auflösung und damit bessere Aussagefähigkeit wird die Entwicklung der Wasserstände und Abflüsse für jeden der drei wasserwirtschaftlichen Hauptwerte mittels einer Abweichungsanalyse einzeln betrachtet (Abbildung 48 und Abbildung 49).

Es zeigt sich folgendes Bild für die Wasserstände (siehe Abbildung 48):

NW weist von Beginn der Zeitreihe 1821 bis ca. 1891 einen stetig fallenden Trend auf. Nachfolgend bis heute pendelt sich NW auf einem gleichbleibend niedrigen Niveau ein. Durch Zuschusswasser aus den Talsperren im Einzugsgebiet bei Trockenheit wird der Trend zusätzlich stabilisiert.

MW weist von Beginn der Zeitreihe 1821 bis ca. 1865 einen stetig fallenden Trend auf. Von 1865 bis 1885 stagniert MW im Mittel. Erst nachfolgend ereignete sich ein starkes Absinken und Einpendeln von MW auf niedrigerem Niveau.

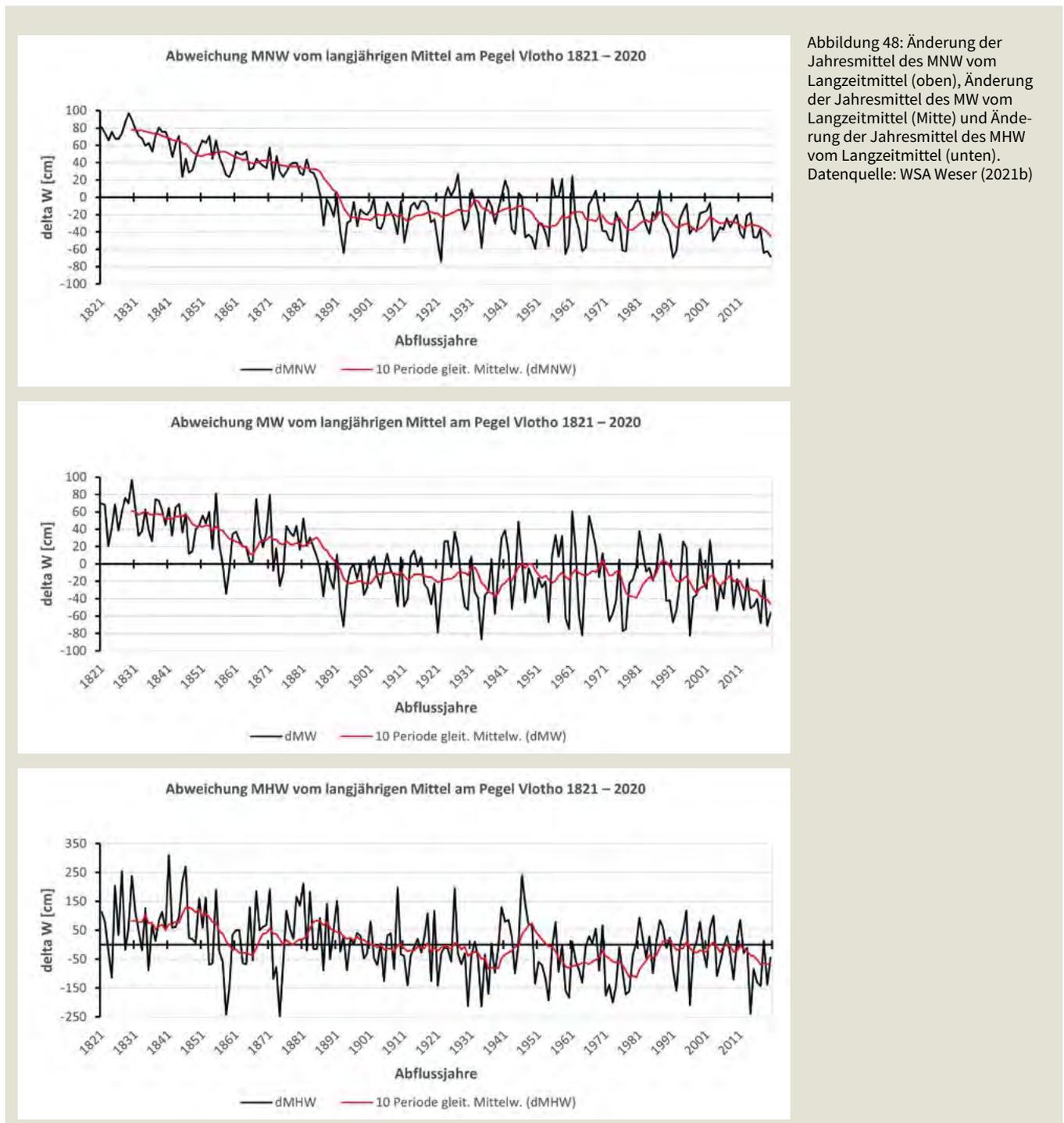


Abbildung 48: Änderung der Jahresmittel des MNW vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MW vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHW vom Langzeitmittel (unten).
Datenquelle: WSA Weser (2021b)

HW weist einen abnehmenden Trend bei jedoch recht großen Schwankungen der Wasserstandsamplitude auf.

Betrachtet man die Wasserstandsänderungen in ihrer Gesamtheit, zeichnet sich ein fallender Trend ab ca. Mitte bis Ende des 19. Jahrhunderts ab. Die Ursache hierfür dürfte in der Eintiefung der Gewässersohle infolge des Gewässerausbaus zu suchen sein.

Für die Änderung der Abflüsse zeigt sich folgendes Bild (Abbildung 49):

Für das 19. Jahrhundert schwankt MNQ um einen Mittelwert herum – es zeichnet sich kein gerichteter Trend ab. Ab ca. 1890 nehmen die Schwankungen um den Mittelwert herum ab und MNQ stabilisiert sich auf einem etwas höheren Niveau. Ursächlich für die Stabilisierung des Wasserstandes dürfte die Einleitung von Zuschusswasser aus den Talsperren des Einzugsgebietes sein.

MQ schwankt um einen Mittelwert bei leicht fallender Tendenz, wohingegen MHQ einen deutlich abnehmenden Trend aufweist. Zusätzlich verringern sich die Schwankungen des MHQ, was auf die Hochwasserregulierung durch Talsperren im Einzugsgebiet zurückzuführen ist.

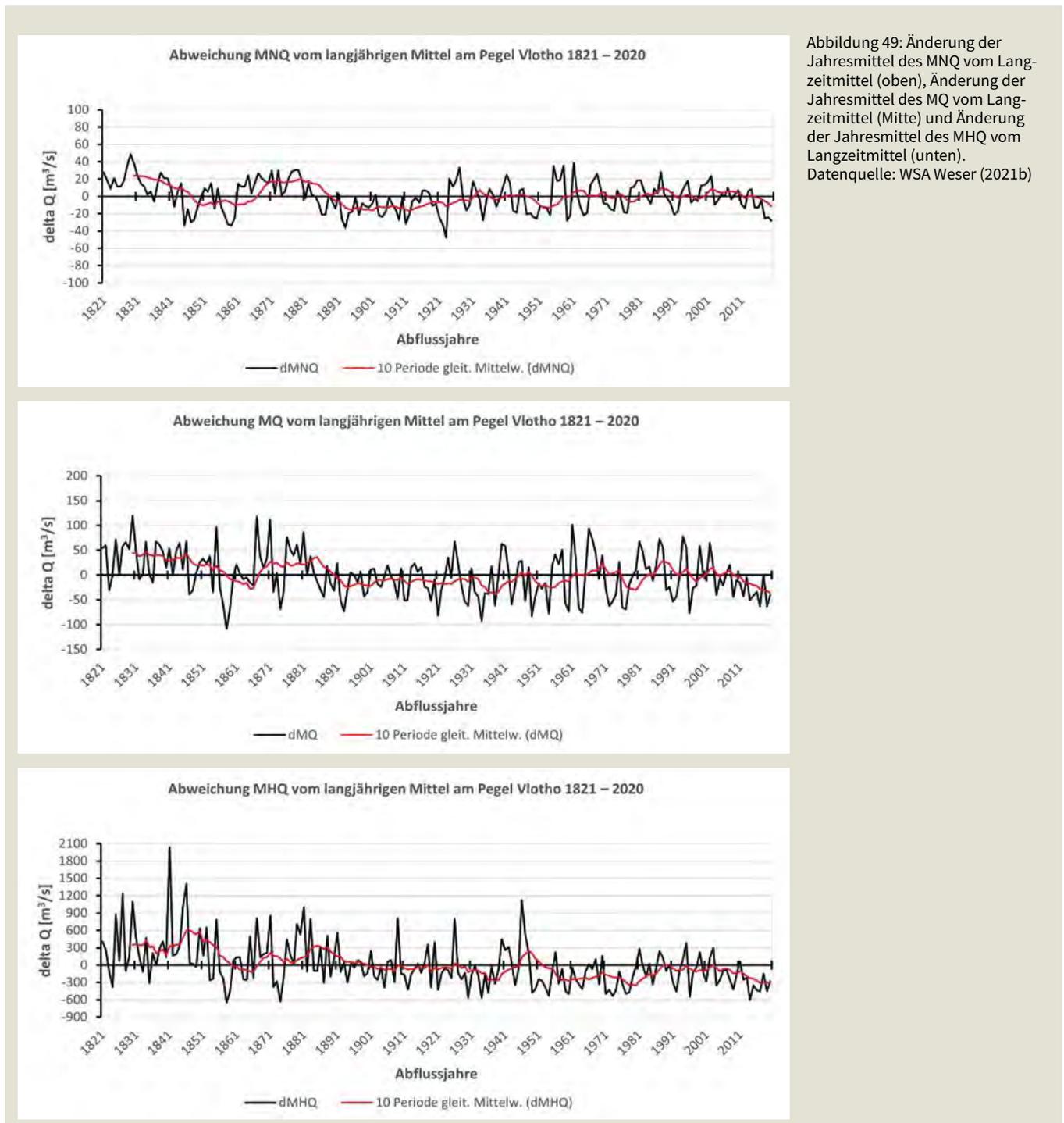


Abbildung 49: Änderung der Jahresmittel des MNQ vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MQ vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHQ vom Langzeitmittel (unten).
Datenquelle: WSA Weser (2021b)

Topografische Grundlagendaten

Der betrachtete Abschnitt der Oberweser durchfließt zwei Bundesländer: Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen. Für Nordrhein-Westfalen sind die Geländemodelle als Punktwolken im XYZ-Textformat frei zugänglich (BRK, 2021). Aus ihnen wurde ein digitales Geländemodell mit einer Rasterweite von 1 m erstellt. Für den Bereich der Oberweser in Niedersachsen wurde ein digitales Geländemodell des Wasserlaufs mit einer Rasterweite von ebenfalls 1 m durch die BfG (2021c) zur Verfügung gestellt.

4.3.4. Veränderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte

Die Wasserstände sind vom historischen zum aktuellen Betrachtungszeitraum stark gesunken (Abbildung 50). MNW hat sich um 1,06 m, MW um 0,87 m und MHW um 1,18 m verringert. Die Ursache ist in einer Sohleintiefung durch verstärkte Erosion zu suchen.

Für die Änderung der Amplituden ergibt sich ein differenziertes Bild (Abbildung 51). Die Schwankungen der Wasserstände MNW zu MW hat um 19 cm zugenommen. Die

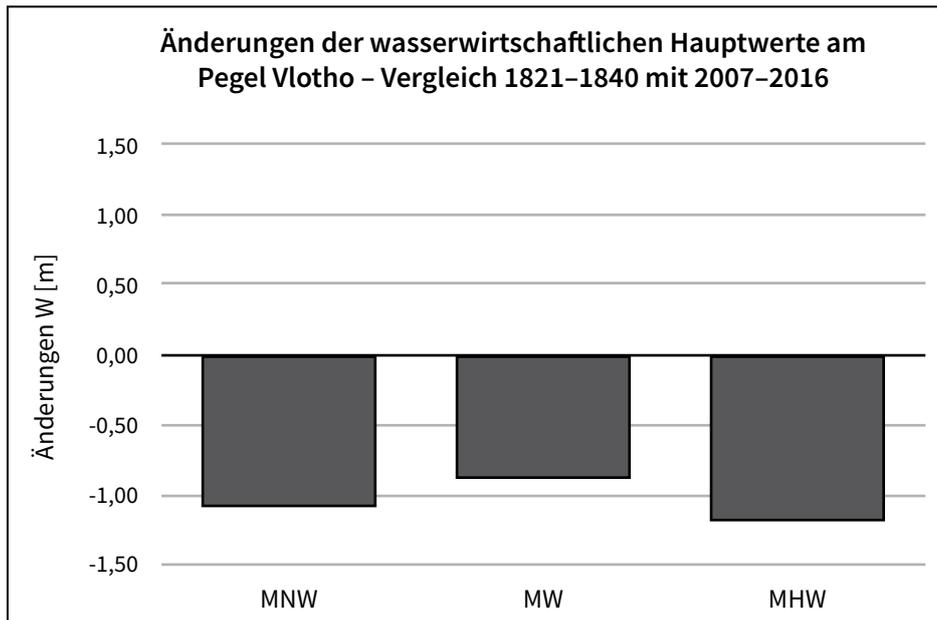


Abbildung 50: Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte des Wasserstandes am Pegel Vlotho. Datenquelle: WSA Weser (2021b)

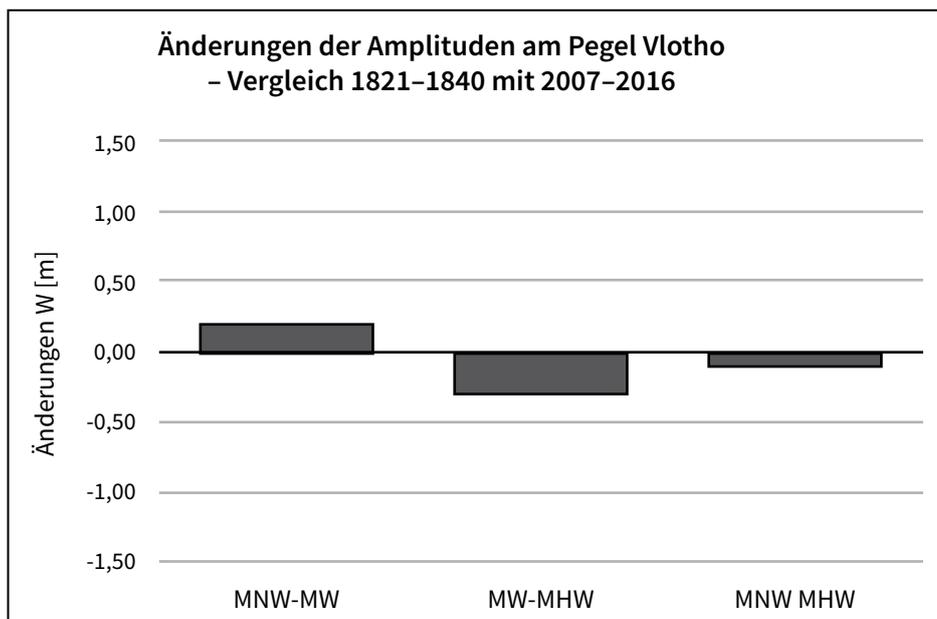


Abbildung 51: Änderung der Amplituden der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte am Pegel Vlotho. Datenquelle: WSA Weser (2021b)

Schwankungen der Wasserstände MW zu MHW und MNW zu MHW haben dagegen abgenommen (-31 cm und -12 cm). Die Niedrigwasseranhebung und der Hochwasserschutz mittels Talsperrenbewirtschaftung sind hierbei als maßgebliche Ursachen zu nennen.

4.3.5. Veränderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung

Abbildung 52 enthält die gefundene Wasserstand-Abfluss-Beziehung für den Referenzzeitraum. Zusätzlich sind auch die Datenpaare des Wasserstandes und des Abflusses sowie die Hauptwerte für die Periode eingetragen.

Abbildung 53 zeigt eine vergleichbare Darstellung für den aktuellen Zeitraum. Unter Berücksichtigung des Vorhandenseins einer Stauhaltung erfolgte die Darstellung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung jedoch nicht als polynomi-sche Regression, sondern in Klassen des Wasserstandes (1 Klasse je 100 m³/s). Je Klasse ist der Mittelwert des Wasserstandes sowie der jeweils kleinste und größte Wasserstand angezeigt (Minimum und Maximum). Die Fehlerindikatoren kennzeichnen die Standardabweichung der Mittelwerte. Zusätzlich sind ebenfalls die Datenpaare des Wasserstandes und des Abflusses eingezeichnet. Aufgrund der Hochwasserregulierung durch Talsperren können für den aktuellen Zeitraum keine Abflüsse > 1.000 m³/s mehr beobachtet werden.

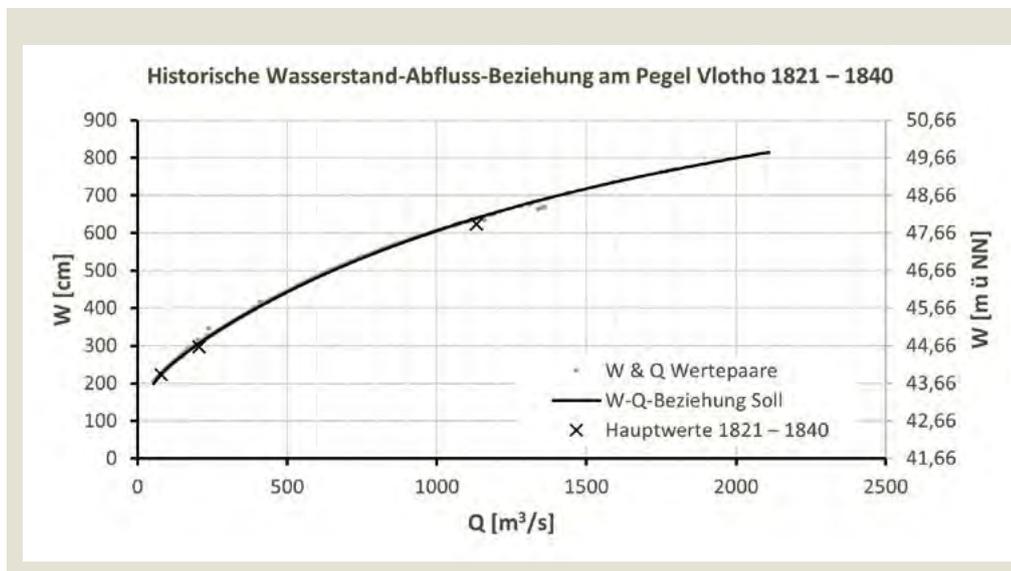


Abbildung 52: Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Oberweser am Pegel Vlotho in der Zeit von 1821 bis 1840. Datenquelle: WSA Weser (2021b)

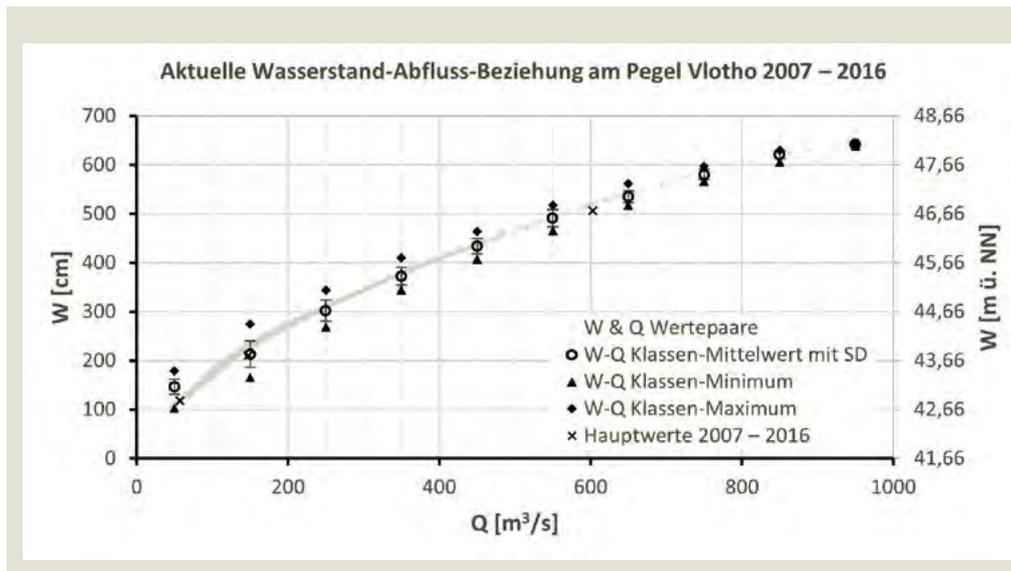


Abbildung 53: Aktuelle Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Oberweser am Pegel Vlotho in der Zeit von 2007 bis 2016; SD = Standardabweichung. Datenquelle: WSA Weser (2021b)

4.3.6. Veränderung des Ausuferungsverhaltens

Ausgangsbasis für die Modellierungen ist die Wasserspiegellhöhe bei MHQ am Pegel Vlotho. Die zwischen den Pegeln aufgespannte Wasserfläche wird mit dem digitalen Geländemodell für die Weser verschnitten. Schrittweises Absenken der Wasserfläche und wiederholtes Verschneiden mit dem Geländemodell ergaben eine beginnende Vernässung der niedrigen Aue bei einem Wasserstand von $W = 46,35$ m ü. NN (Abbildung 54).

Betrachtet man nachfolgend die Schnittpunkte der Wasserstandsauerlinien mit diesem Ausuferungswasserstand, dann ergeben sich für den Referenzzustand am Pegel Vlotho 348 Unterschreitungstage bzw. eine Ausuferungsdauer von 17 Tagen (Abbildung 55). Aus der aktuellen Dauerlinie ergeben sich am Pegel Vlotho 358 Unterschreitungstage bzw. eine Ausuferungsdauer von sieben Tagen. Damit weicht das heutige Ausuferungsverhalten vom natürlichen ab. Die Tage mit Ausuferung haben sich mehr als halbiert.

Laut dem Auenzustandsbericht von 2021 ist die gesamte Aue der Oberweser von einer starken Reduzierung der Überflutungsdauer betroffen (BMU & BfN, 2021). Die Autoren führen hierfür zusammenfassend die hohe hydraulische Leistung des Flusses an. Zudem prägen ausgedehnte Abgrabungsgewässer in der Aue und die landwirtschaftliche Nutzung durch Ackerbau die ursprünglichen Überschwemmungsflächen der Oberweser heute stark (BMU & BfN, 2021). Bereits der NABU (2020) hat für den Ist-Zustand der Oberweser eine Überflutungshäufigkeit von null Tagen ermittelt – damit weicht dieser nach Koenzen (2005) vollständig vom natürlichen Zustand mit einer Überflutungshäufigkeit von etwa 180 Tagen im Jahr ab. Allerdings ist die Überflutungshäufigkeit von 180 Tagen auch nur ein Orientierungswert, welcher gerade für einen Fluss mit stark heterogenen Geländehöhen in der Aue nicht überall gleichermaßen zutreffen kann. Einige Kilometer stromauf und stromab von Vlotho ist die Aue sehr schmal und wird nördlich vom Weserbergland und südlich vom Lipper Bergland begrenzt. Demnach verfügte dieser Bereich der Oberweser vermutlich schon im Referenzzustand über sehr begrenzte Möglichkeiten zur Ausuferung. Dass sich die Ausuferungsdauer aktuell so gering darstellt, ist mit Blick auf die erfolgte starke Eintiefung der Gewässersohle plausibel.



Nach Beendigung des Kiesabbaus rekultivierte Auenlandschaft in einer Weserschleife bei Rinteln

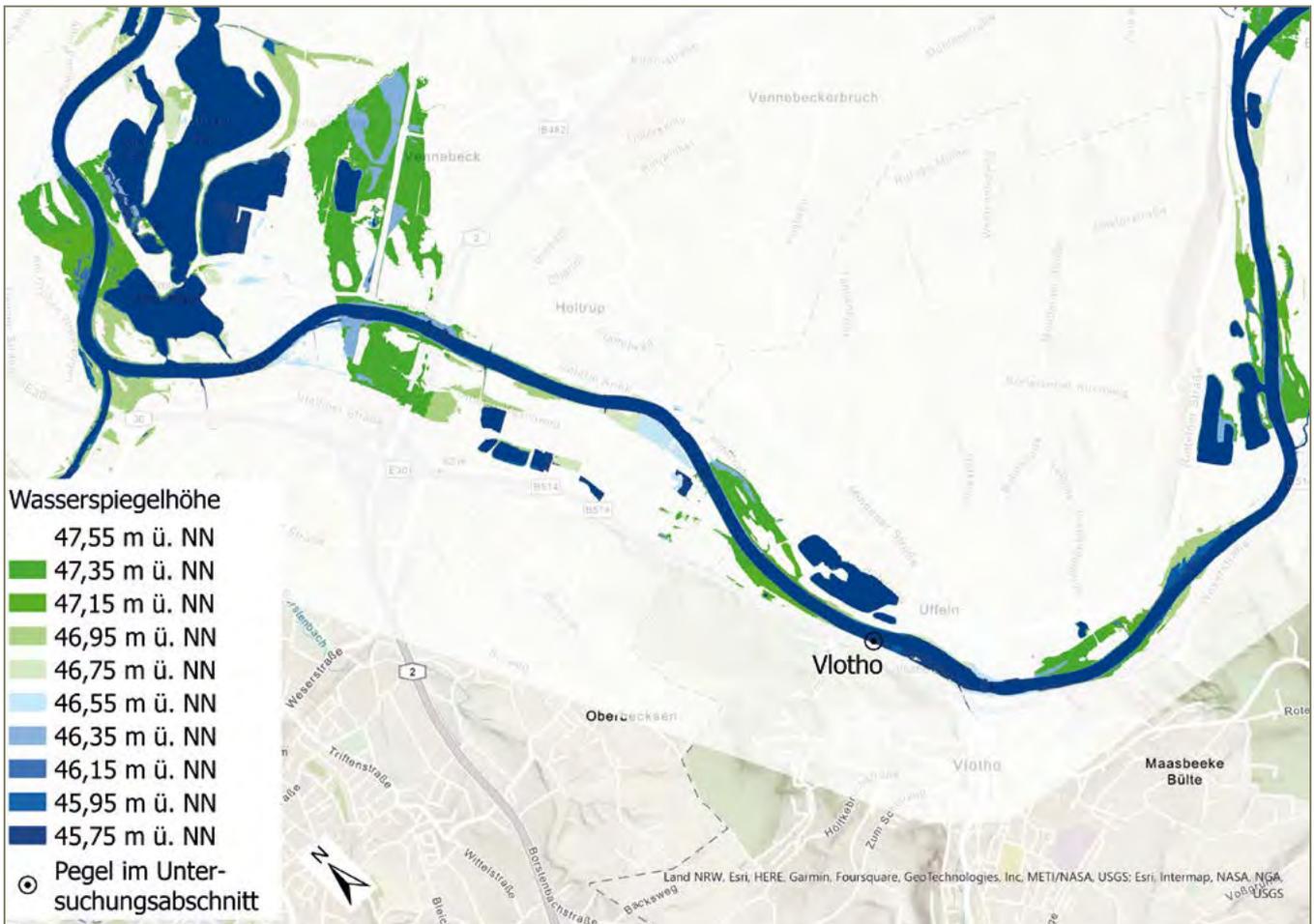


Abbildung 54: Veranschaulichung der Ermittlung des Ausuferungsbeginns für den Untersuchungsabschnitt der Oberweser am Pegel Vlotho. Datengrundlagen: BfG (2021a); Digitales Geländemodell © GeoBasis NRW/BRK 2021, dl-zero-de/2.0

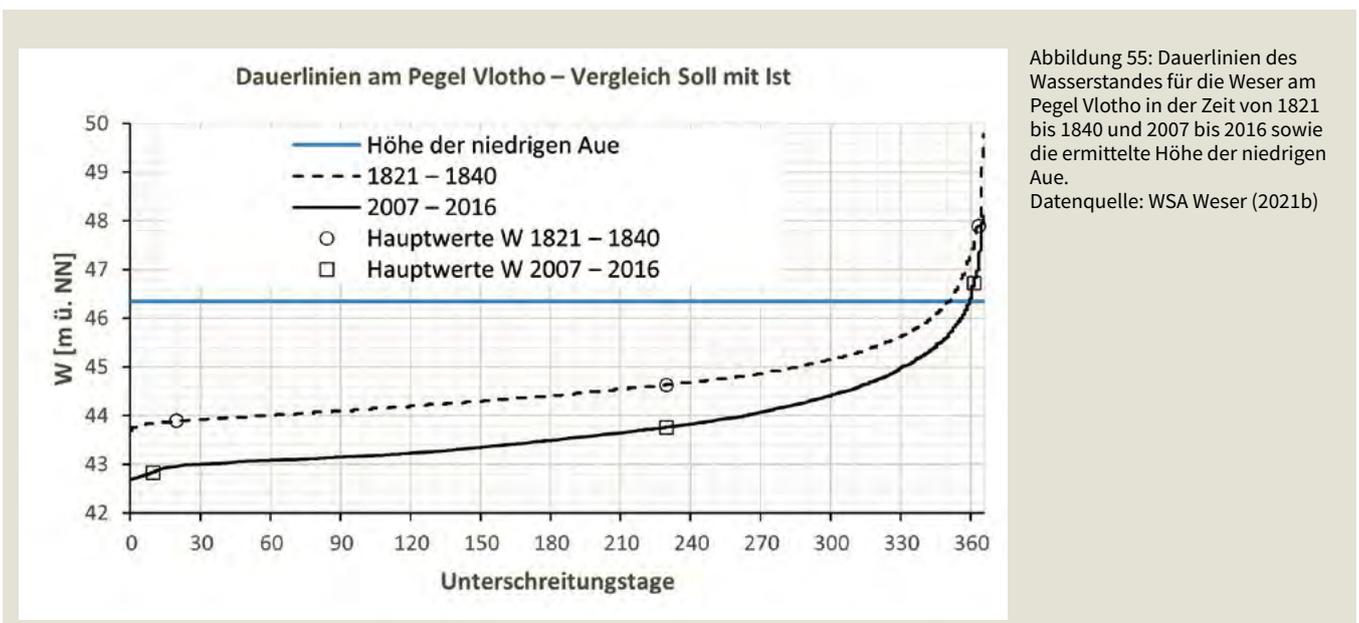


Abbildung 55: Dauerlinien des Wasserstandes für die Weser am Pegel Vlotho in der Zeit von 1821 bis 1840 und 2007 bis 2016 sowie die ermittelte Höhe der niedrigen Aue. Datenquelle: WSA Weser (2021b)

4.3.7. Ergebnisse

Bewertung der Hydrologie

Der betrachtete Abschnitt der Oberweser befindet sich bezüglich seiner hydrologischen Verhältnisse, dem Bewertungsschema (Kapitel 3.4; Tabelle 5) entsprechend, in einem schlechten Zustand (siehe Tabelle 8). Dieses Ergebnis ergibt sich aus dem Vergleich der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte für den Referenzzustand und dem aktuellen Zustand. Demnach ist MNW um 26 %, MW um 22 % und MHW um 29 % gesunken. Abbildung 56 stellt den untersuchten Flussabschnitt, für welchen diese Bewertung der hydrologischen Verhältnisse zutrifft, dar.

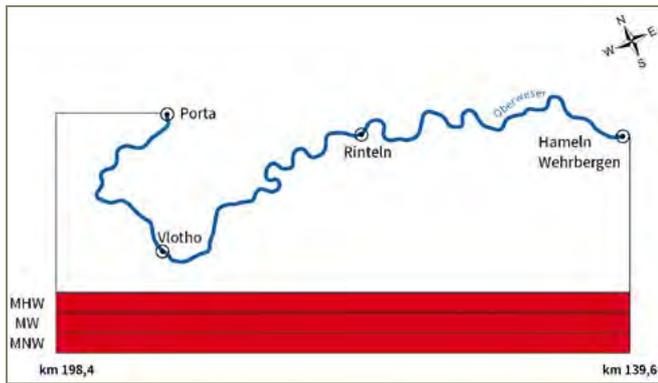


Abbildung 56: Bewertung der Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1821 bis 1840 zu 2007 bis 2016 am Pegel Vlotho. Datengrundlage: Bundeswasserstraßen – VerkNet-BWaStr: © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert

Bewertung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung

Abbildung 57 zeigt die Gegenüberstellung der Wasserstand-Abfluss-Beziehungen für den Referenz- und den Ist-Zustand. Es fällt auf, dass die Beziehungen gegenläufige Trends aufweisen – die Wasserstand-Abfluss-Beziehung für den Ist-Zustand verläuft steiler. Die Divergenz tritt bei Abflüssen von ca. 400 m³/s auf. Bei Abflüssen zwischen 0 und 400 m³/s traten im Referenzzeitraum höhere Wasserstände auf als heute, wohingegen bei Abflüssen >400 m³/s im Referenzzeitraum niedrigere Wasserstände auftraten als heute. Dieses Verhalten gibt Hinweise auf eine erfolgte Sohleintiefung und eine verminderte Retentionsfähigkeit der Aue.

Bewertung des Ausuferungsverhaltens

Unter der Annahme, dass sich die Oberweser im Referenzzeitraum in einem naturnahen Zustand befunden hat und die regional typische Ausuferungsdauer beim Pegel Vlotho im Mittel 17 Tage betrug, wird diese Ausuferungsdauer gleich 100 % gesetzt. Demnach entsprechen die sieben Tage für den aktuellen Zustand nur noch 41 % der natürlichen Ausuferungsdauer. Daraus ergibt sich ein Defizit von 59 %. Das aktuelle Ausuferungsverhalten wird, gemäß dem Bewertungsschema von Tabelle 5, mit „schlechter Zustand“ bewertet. Abbildung 58 stellt grafisch dar, für welchen Abschnitt der Oberweser diese Bewertung gültig ist.

Tabelle 8: Vergleich der gemittelten wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1821 – 1840 mit 2007 – 2016 am Pegel Vlotho

Pegel	MNW-MHW 1821 – 1840	MNW aktuell - MNW historisch	MW aktuell - MW historisch	MHW aktuell - MHW historisch			
	[m]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]
Vlotho	4,00	-1,06	-26	-0,87	-22	-1,17	-29

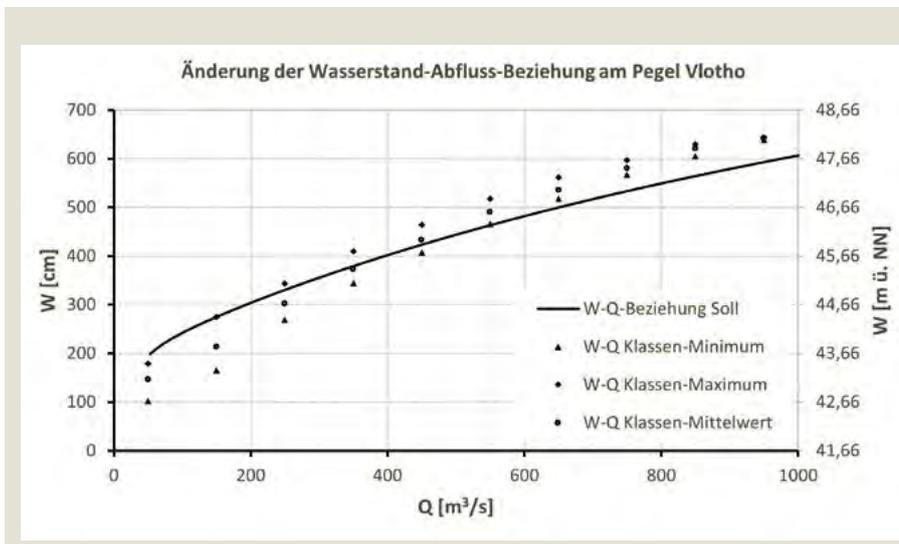


Abbildung 57: Änderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Oberweser am Pegel Vlotho vom Referenzzeitraum (1821 – 1840) bis heute (2007 – 2016). Datenquelle: WSA Weser (2021b)

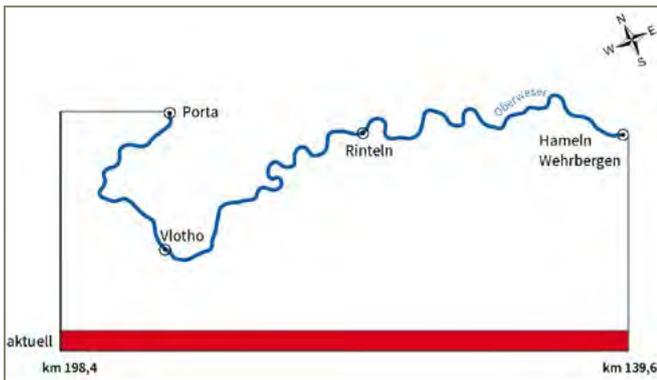


Abbildung 58: Bewertung des aktuellen Ausuferungsverhaltens des betrachteten Abschnittes der Oberweser verglichen mit dem naturnahen Ausuferungsverhalten im Referenzzeitraum (1821 – 1840). Datengrundlage: Bundeswasserstraßen – VerkNet-BWaStr; © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert

4.3.8. Verbesserungsmöglichkeiten

Hauptsächlich für die Defizite im Wasserhaushalt der Oberweser verantwortlich sind die Stromregelungsmaßnahmen, die Verminderung der Sedimentzufuhr, Stauhaltung, Talsperrenbewirtschaftung im Einzugsgebiet und die Abtrennung von Teilen der Aue. Die unmittelbaren Folgen zeigen sich in Sohleneintiefung, verminderter Abflussdynamik, verringerter Sohlenrauheit und der Abtrennung von Auengewässern sowie einer Entkopplung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung.

Im Wasserhaushalt der Oberweser repräsentieren sich die Defizite durch die Erhöhung der Wasserstände bei Abflüssen unterhalb $400 \text{ m}^3/\text{s}$ und einer Absenkung darüber bei gleichzeitiger Verminderung der Amplituden oberhalb des MNW, einer Verringerung der Ausuferungsdauer um deutlich mehr als die Hälfte und einer Abkopplung der niedrigen rezenten Aue.

Bezüglich einer Entwicklungsstrategie für die Oberweser lässt sich vorrangig der Stopp und die Umkehr des Trends der Sohlenerosion sowie eine Erhöhung der Betrauigkeit bei Verbesserung der Sedimentzufuhr sowie die Wiederherstellung der Verbindung zur niedrigen Aue und ihren Gewässern vorschlagen. Zusätzlich empfiehlt sich eine Verbesserung der Abflussdynamik.

Insbesondere die Fahrrinnenparameter der Bundeswasserstraße, der Siedlungshochwasserschutz und die etablierten Nutzungsansprüche schränken den Handlungsrahmen auch an der Oberweser erheblich ein.

Dennoch lassen sich eine Zahl an Maßnahmenoptionen wie die Verringerung der Uferfixierungen und die Etablierung naturnaher Bettstrukturen mit sohlenaufhöhender Wirkung bei gleichzeitiger Erhöhung der Sohlenrauheit außerhalb der Fahrrinne benennen. Des Weiteren ist der Anschluss der niedrigen rezenten Aue sowie der dort liegenden Nebenrinnen und Altwässer realisierbar. Ebenso zielführend ist die Rückführung von geeigneten Teilen der niedrigen Altaue, die Dynamisierung der Abflusssteuerung in den Talsperren und eine Dynamisierung der Stauhaltung.



Ausgebaute, kanalisierte Fürstenwalder Spree zwischen Fürstenwalde und Wehr Große Tränke



Das Wehr Große Tränke im Abzweig zur Müggelspree



Schleuse Fürstenwalde

4.4. Die Spree von Große Tränke bis Fürstenwalde

4.4.1. Charakteristik

Die Fürstenwalder Spree ist ein Abschnitt der unteren Spree zwischen dem Abzweig des Oder-Spree-Kanals bei der Kersdorfer Schleuse und der ehemaligen Schleuse Große Tränke. Sie verläuft hier im Berliner Urstromtal als Teilstrecke der Spree-Oder-Wasserstraße (SOW), welche als Bundeswasserstraße ausgewiesen ist. Der gewählte Untersuchungsabschnitt erstreckt sich von km 69,0 (Große Tränke) bis 74,7 (Pegel Fürstenwalde UP) und ist damit 5,7 km lang (Abbildung 59). Die Fließgeschwindigkeit für diesen Abschnitt ist sehr gering und in den Sommermonaten bisweilen sogar stagnierend. Das Wasserspiegelgefälle des Abschnittes beträgt 0,3 cm/km bei MQ bzw. 1,2 cm/km bei MHQ.

Gemäß Typisierung nach Koenzen (2005) gehört die Fürstenwalder Spree zum Flusstyp der gefällearmen, teilmineralisch-organisch geprägten Flussaue des Flach- und Hügellandes mit Winterhochwassern. Aufgrund des Basissubstrates ist die hydrologische Charakteristik und das Abflussregime eher ausgeglichen im Vergleich zu sand-

oder sand-kiesgeprägten Auen (Koenzen, 2005). Demzufolge ist die Abflussamplitude gering bis mittel ausgeprägt und im Winter treten langanhaltende Überflutungen auf. In den Sommermonaten weist der Abflussgang eine deutlich geringere Schwankungsbreite auf und es können längere Niedrigwasserphasen mit kurzen, konvektiv bedingten Sommerhochwassern auftreten.

Infolge der Braunkohletagebaue in der Lausitz sind die natürlichen Abflussverhältnisse sowie der gesamte Wasserhaushalt samt Grundwasserspiegel stark beeinflusst. Durch den Bau gewässernaher Hochwasserschutzanlagen sind zudem mehr als 90 % der Überschwemmungsflächen an der oberen Spree verloren gegangen (BMU & BfN, 2021). Aus Abbildung 59 wird ersichtlich, dass auch im Stadtgebiet Fürstenwalde kein nennenswerter Flächenanteil der rezenten Aue mehr vorhanden ist.

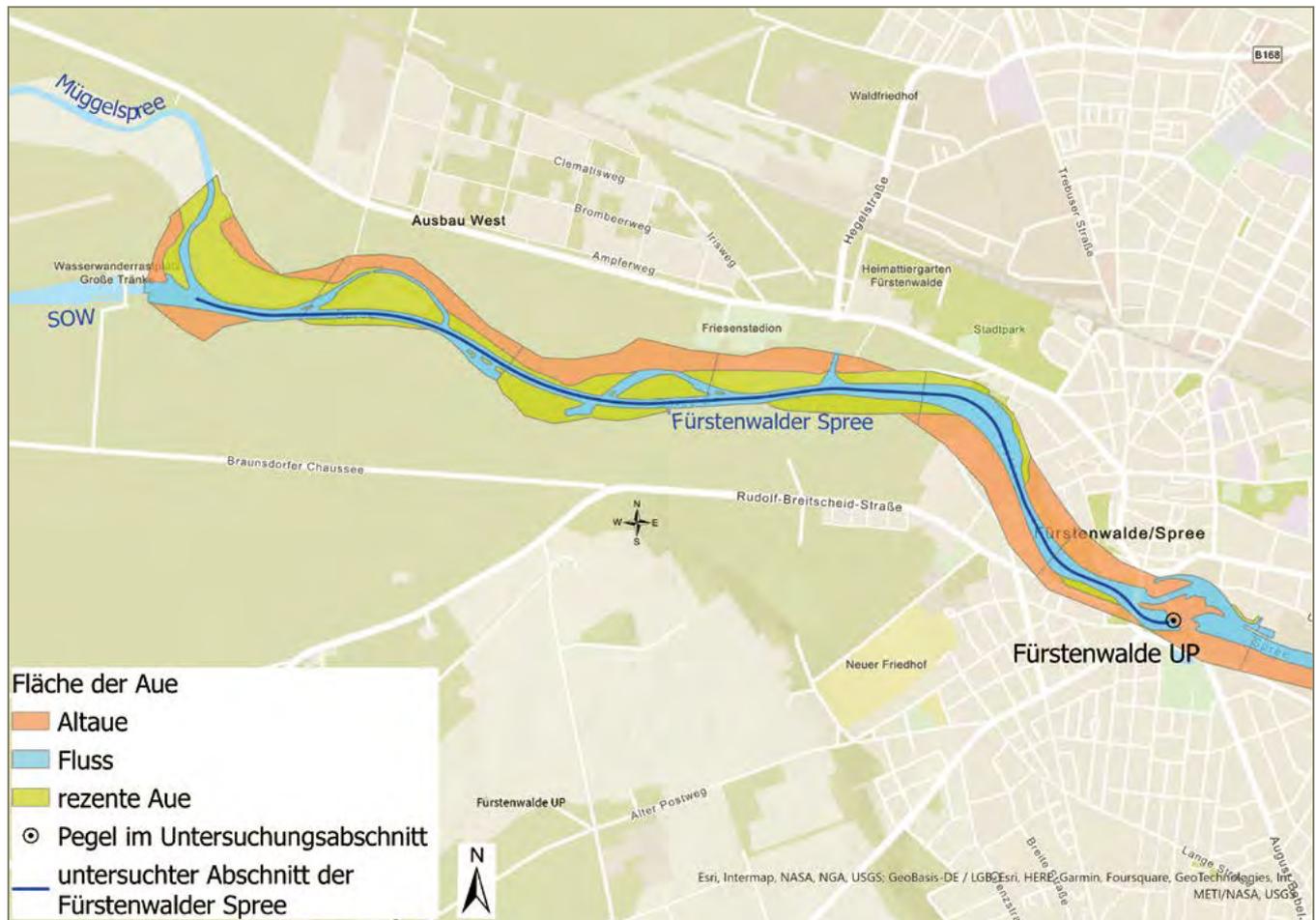


Abbildung 59: Übersichtskarte des untersuchten Abschnittes der Fürstenwalder Spree.

Datengrundlage: Bundeswasserstraßen – VerkNet-BWaStr: © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert; Auensegmente – Bundesamt für Naturschutz (2009) unter Verwendung von Geobasisdaten © Geobasis-DE/BKG 2009

4.4.2. Bestimmung des Referenzzeitraumes

Mindestens seit dem 13. Jahrhundert ist ein Mühlenstau in der Stadt Fürstenwalde vorhanden ((WSA Berlin (Hrsg.), 2014)), auch wenn Freiarchen zur Umfahrung existierten (Bütow, 2015). 1588 wurde der Mühlenstau durch eine Stauschleuse ersetzt, welche wiederum in den Jahren 1738 und 1833 durch zwei Schleusenneubauten ersetzt wurde ((WSA Berlin (Hrsg.), 2014)).

In den Jahren von 1882 bis 1892 erfolgte schließlich die Kanalisierung der Unterspree (Köhler, Gelbrecht, & Pusch, 2002). Hierbei wurde von 1882 bis 1885 die Spree in Berlin mittels Begrädigung und Befestigung der Ufer als Schifffahrtsweg ausgebaut. Anschließend erfolgte von 1887 bis 1891 der Bau des Oder-Spree-Kanals, um die Bedingungen für die Schifffahrt zu verbessern und insbesondere die Passage größerer Schiffe zu erlauben. Der westliche und der östliche Teilabschnitt des Oder-Spree-Kanals werden über die Fürstenwalder Spree miteinander verbunden. Hierzu

wurde der Spreeabschnitt kanalisiert und ausgebaut, wozu Profilverbreiterungen, Sohlvertiefungen und Laufverkürzungen durch Durchstiche vorgenommen wurden (Mohr, 1890).

Im Zuge dessen wurde 1890 das Wehr Große Tränke im Abzweig zur Müggelspree gebaut, um den Wasserstand in der Fürstenwalder Spree bzw. im Oder-Spree-Kanal zu halten (Mohr, 1890). Vor dem Bau des Wehres war die Spree im Untersuchungsabschnitt frei fließend.

Der betrachtete Abschnitt kann demzufolge im Zeitraum vor 1882 als naturnah angesehen werden. Die ältesten für diese Studie vorliegenden Wasserstandsdaten stammen aus dem Archiv des WSA Spree-Havel. Sie sind für den naturnahen und weitestgehend unverbauten Zustand repräsentativ und reichen bis zum Jahr 1817 zurück. Die Abflussjahre von 1819 bis 1838 wurden für die Betrachtung des Referenzzustandes ausgewählt, da die Jahre 1817 und 1818 zu viele Datenlücken enthalten.



Vom Fluss abgeschnittener stark verlandeter und verkrauteter Altarm der Fürstenwalder Spree

4.4.3. Verfügbare Daten

Pegeldaten

Die Tageswerte des Wasserstandes und des Abflusses liegen für folgende Pegel und Zeiträume vor:

Fürstenwalde UP	W: 1817 – 1838 (22 Jahre) und 1910 – 2020 (111 Jahre)
Große Tränke Wehr UP	Q: 1959 – 2020 (62 Jahre)
Wernsdorf OP	Q: 1959 – 2020 (62 Jahre)

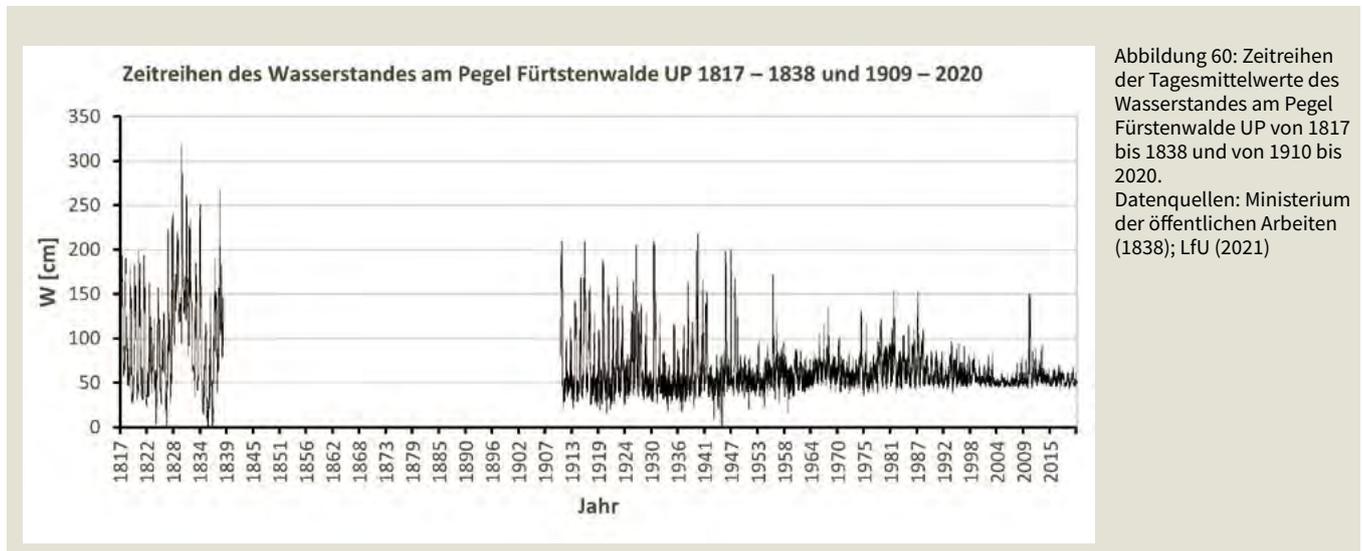
Im Untersuchungsabschnitt der Fürstenwalder Spree liegt der Pegel Fürstenwalde UP. Mit den Wasserstandstabellen vom Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1838) stehen Pegeldaten von 1817 bis 1838 zur Verfügung. Die Wasserstandsdaten für den Zeitraum von 1910 bis 2020 wurden durch das LfU (2021) auf Anfrage bereitgestellt (Abbildung 60). Für den Abfluss am Pegel Fürstenwalde UP sind keine Daten verfügbar. Daher wird der Abfluss für den Pegel Fürstenwalde UP aus den Abflüssen der stromab gelegenen Pegel Wernsdorf OP (im westlichen Abschnitt des Oder-Spree-Kanals bei Schmöckwitz) und Große Tränke Wehr UP (im Abzweig Müggelspree vom Oder-Spree-Kanal) durch Aufsummieren der Werte ermittelt (Abbildung 61). Die Abflussdaten wurden von der BfG (2021a) zur Verfügung gestellt.

Den Ausführungen aus Verwaltung der Märkischen Wasserstraßen (1903) lässt sich der Pegelnullpunkt (PNP) des Pegels Fürstenwalde UP mit 36,37 m ü. NN entnehmen, welcher bis 30.11.1935 galt. In einer Handakte des WSA Spree-Havel (2021c) sind zudem alle nachfolgenden Änderungen des Pegelnullpunktes dokumentiert:

PNP Fürstenwalde UP 01.12.19 35 – 07.10.2008	36,39 m ü. NN
PNP Fürstenwalde UP 08.10.2008 – 25.03.2018	36,38 m ü. NHN
PNP Fürstenwalde UP ab 26.03.2018	36,37 m ü. NHN

Der Unterpegel Fürstenwalde wird als Referenzpegel für den gesamten Untersuchungsabschnitt verwendet. Für alle nachfolgenden Analysen werden die 20-Jahresreihe von 1819 bis 1838 – für den naturnahen unverbauten Referenzzustand – und die 20-Jahresreihe von 2001 bis 2020 – für den aktuellen Zustand – genutzt.

Den Zeitreihen des Wasserstandes (Abbildung 60) ist zu entnehmen, dass die Amplituden bis heute stark abnehmen. Im Vergleich zum Anfang des 19. Jahrhunderts sind die Wasserstände Anfang des 20. Jahrhunderts im Mittel deutlich niedriger.



Die Zeitreihe des Abflusses (Abbildung 61 unten) hingegen offenbart nur geringfügige Verringerungen der Amplituden im 21. Jahrhundert. Etwa ab den 1990er-Jahren nimmt die Schwankungsbreite der Amplituden deutlich ab – die Werte stabilisieren sich um einen Mittelwert und es fällt eine zunehmende Vergleichmäßigung des Abflusses auf.

Abweichungsanalyse der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte im Gesamtzeitraum

In Abbildung 62 sind die Änderungen der Hauptwerte des Wasserstandes veranschaulicht.

Der MNW vom Anfang des 19. Jahrhunderts hat sich gegenüber dem MNW vom Anfang des 20. Jahrhunderts im Mittel verringert. Ab Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgte dann ein

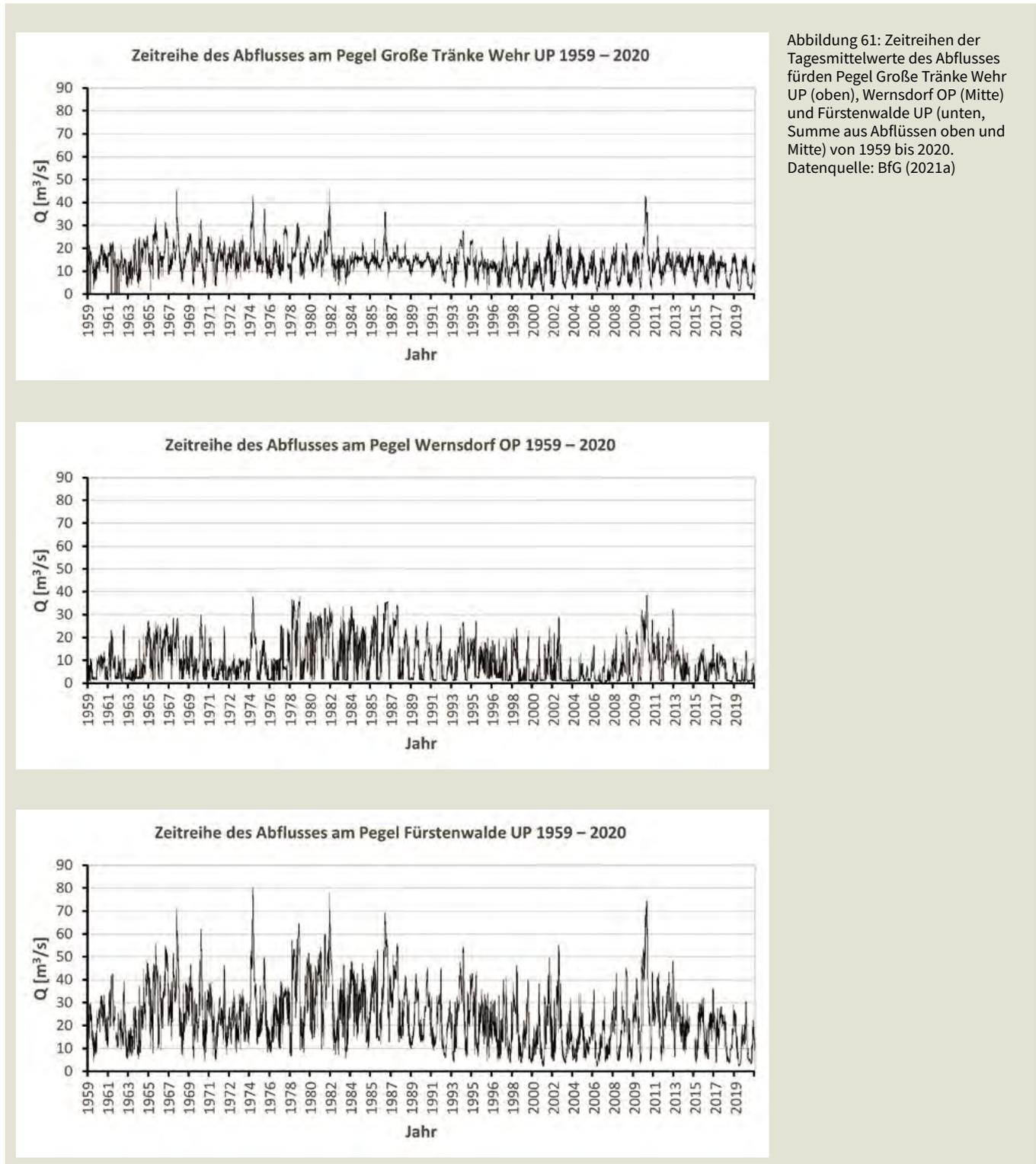


Abbildung 61: Zeitreihen der Tagesmittelwerte des Abflusses für den Pegel Große Tränke Wehr UP (oben), Wernsdorf OP (Mitte) und Fürstenwalde UP (unten, Summe aus Abflüssen oben und Mitte) von 1959 bis 2020. Datenquelle: BfG (2021a)

Anstieg des MNW und ein Einpendeln auf höherem Niveau. Die Anhebung und folgende Stabilisierung des MNW hat in der Stauhaltung, zur Aufrechterhaltung der Schiffbarkeit des Kanals, ihre Ursache.

Der MHW ist am Anfang des 19. Jahrhunderts im Mittel noch geringer als Anfang des 20. Jahrhunderts. Im Laufe des 20. Jahrhunderts erfolgen dann eine deutliche Verringerung des MHW wie auch der Amplituden. Die Retention durch künstliche Speichergewässer (Talsperren) stromauf kann als ein Grund dafür genannt werden (Köhler, Gelbrecht, & Pusch, 2002).

Der MW schwankt um einen Mittelwert – ab ca. 1990 ist jedoch eine Verminderung des MW zu beobachten. Ursächlich hierfür ist die Verringerung der Einleitung von Sumpfungswässern.

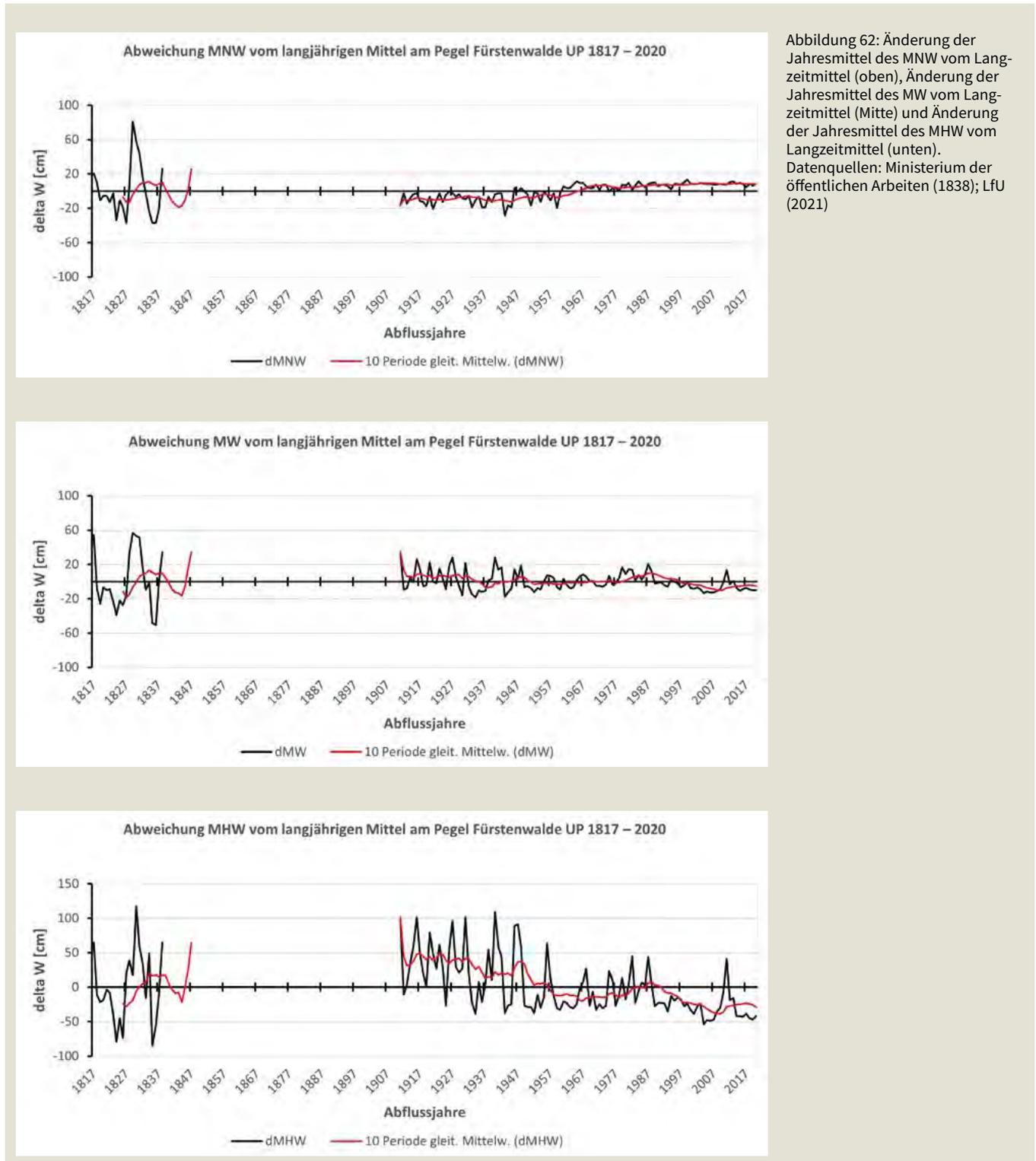


Abbildung 62: Änderung der Jahresmittel des MNW vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MW vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHW vom Langzeitmittel (unten). Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1838); LfU (2021)

Die Änderungen der Abflusshauptwerte werden in Abbildung 63 dargestellt.

Für MNQ und MQ ist bis ca. 1990 ein Schwanken um den Mittelwert und anschließend eine Absenkung mit erneutem Pendeln um einen Mittelwert auf niedrigerem Niveau zu beobachten. Eine Aufhöhung des MNQ und MQ bis etwa 1990 ist dem Bergbaueinfluss geschuldet. Durch die Verringerung

der Sumpfungswässer, nach weitestgehender Beendigung des Braunkohletagebaus in der Lausitz, sanken die Abflussmengen (BMVBS, 2012). Die stabilisierende Wirkung auf den Abfluss durch den Neuendorfer See und den Schwielochsee sowie der Einfluss der wasserwirtschaftlichen Maßnahmen in der oberen Spree bewirken einen relativ gleichmäßigen Verlauf des MNQ (Köhler, Gelbrecht, & Pusch, 2002). Der MQ weist stärkere Schwankungen auf.

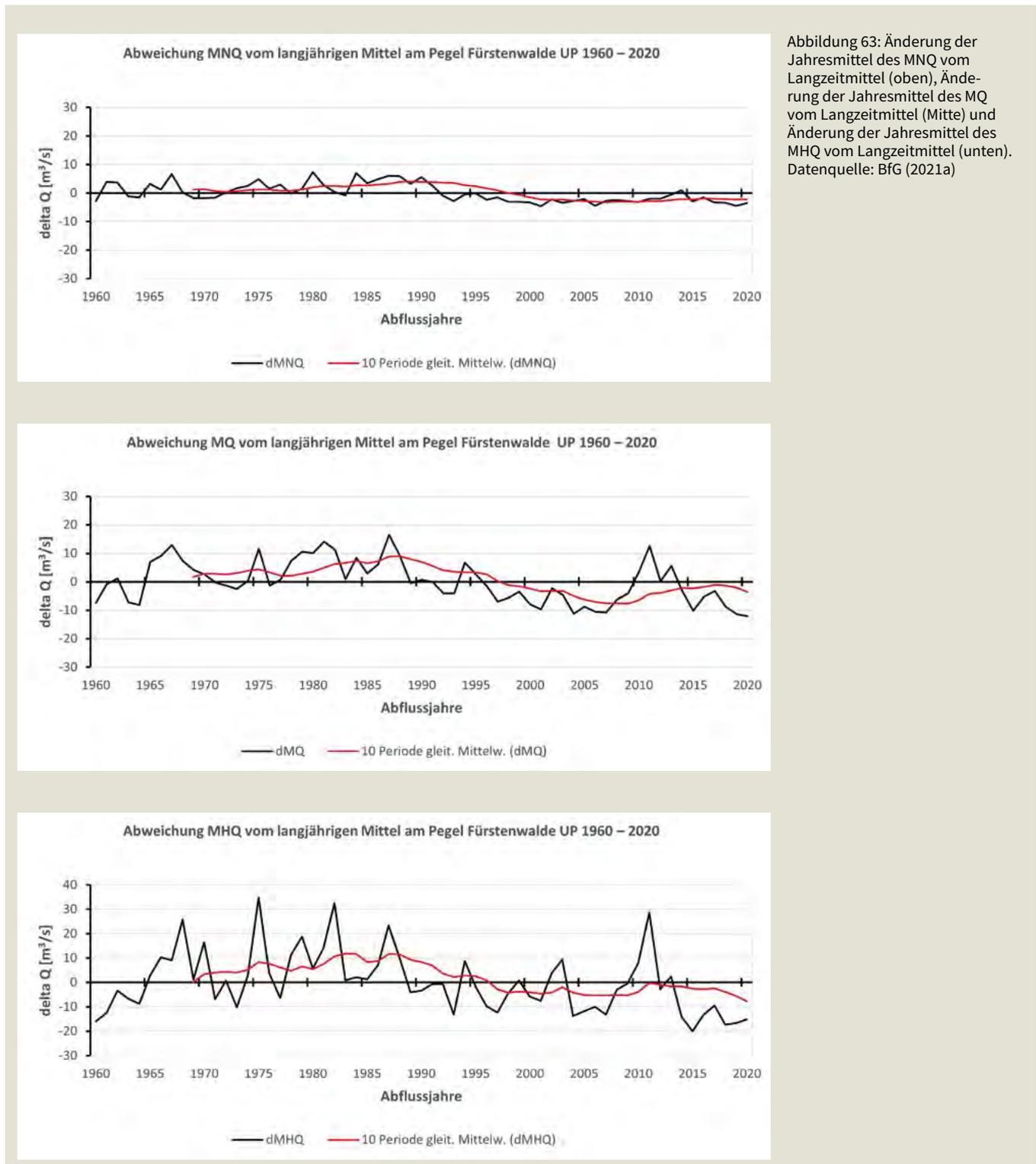
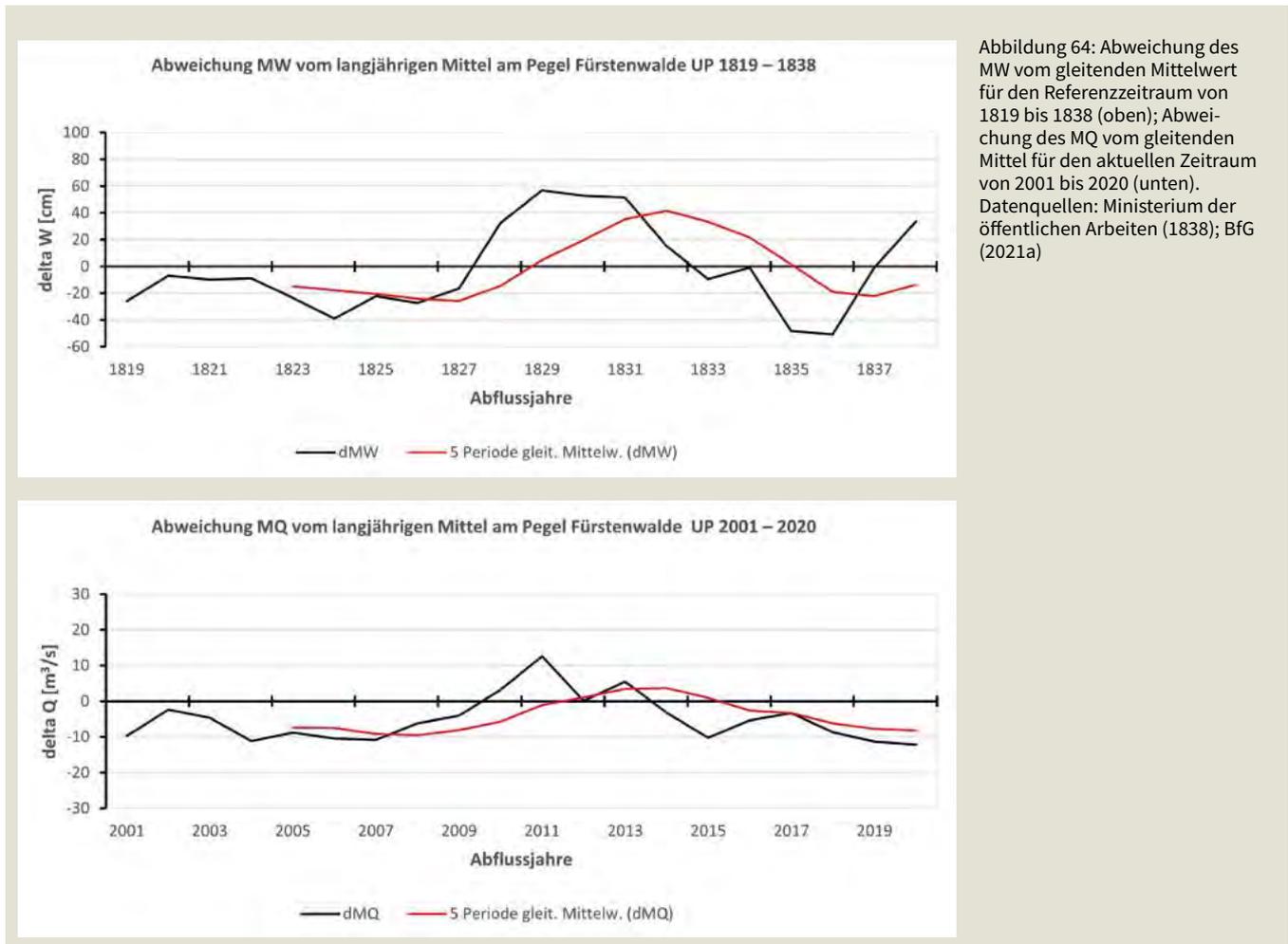


Abbildung 63: Änderung der Jahresmittel des MNQ vom Langzeitmittel (oben), Änderung der Jahresmittel des MQ vom Langzeitmittel (Mitte) und Änderung der Jahresmittel des MHQ vom Langzeitmittel (unten). Datenquelle: BfG (2021a)

Der MHQ zeigt einen abnehmenden Trend vom Ende des 20. bis zum 21. Jahrhundert, wobei die Aufhöhung und Absenkung des Abflusses ebenfalls mit den Grubenwasser-einleitungen bzw. deren Wegfall korreliert. Zudem ist eine Abnahme der Amplituden von Hochwasserabflüssen durch die Speicher in der oberen Spree zu erkennen.

Plausibilisierung der Verwendbarkeit historischer Wasserstände zusammen mit aktuellen Abflüssen

In der Gegenüberstellung der beiden Beobachtungszeiträume zeigt sich ein ähnlicher Trend für MW und MQ (Abbildung 64). Somit können die Wasserstandsdaten des Referenzzeitraumes zusammen mit den aktuellen Daten zum Abfluss genutzt werden.



Durch Spundwände befestigte Ufer an der Fürstenwalder Spree

Zur weiteren Prüfung der Verwendbarkeit werden die Jahres- und Monatsganglinien sowie die Dauerlinien des Wasserstandes und des Abflusses für den Referenzzeitraum und den aktuellen Zeitraum verglichen (Abbildung 65 und Abbildung 66).

Die Jahresganglinien weisen eine hinreichende Ähnlichkeit auf. Die Monatsganglinien weisen zwar Unterschiede in ihrer Charakteristik für den Sommer und den Herbst auf, zeigen aber dennoch in großen Bereichen eine gute Überein-

stimmung des Verhaltens. Ebenso besitzen die Dauerlinien einen ähnlichen Charakter.

Eine detailliertere Prüfung der Verwendbarkeit der Dauerlinien des Wasserstandes und des Abflusses für die Bildung der synthetischen Wasserstand-Abfluss-Beziehung, inklusive der jeweiligen Hauptwerte von Wasserstand und Abfluss, offenbart eine hinreichend gute Übereinstimmung der Dauerlinien von MW und MQ (siehe Abbildung 67).

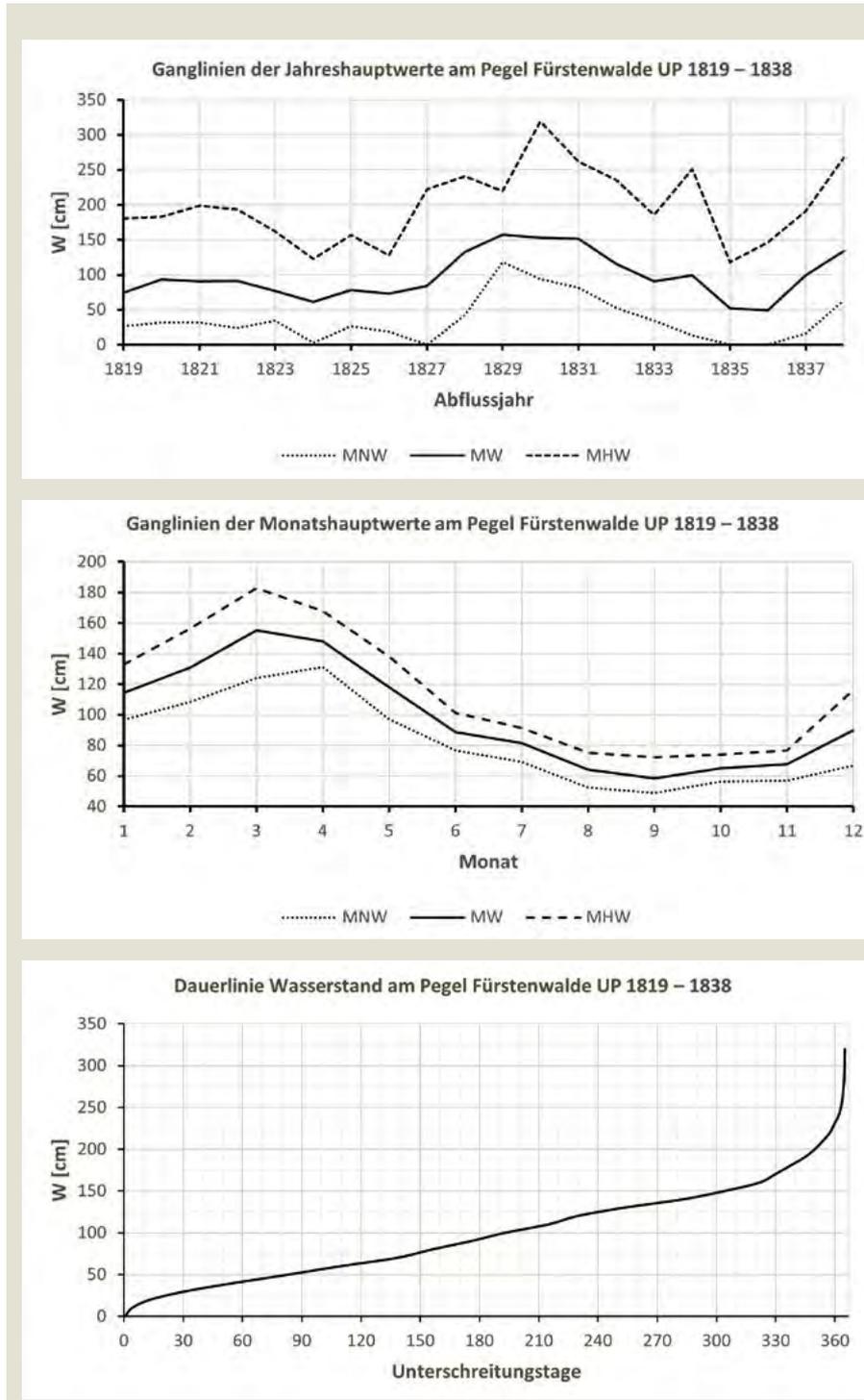


Abbildung 65: Jahresganglinien (oben), Monatsganglinien (Mitte), und Dauerlinie (unten) der Tagesmittelwerte des Wasserstandes für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP im Referenzzeitraum. Datenquelle: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1838)

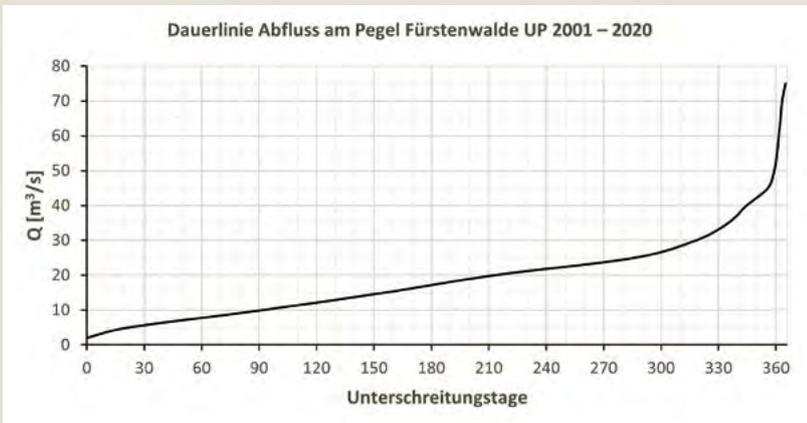
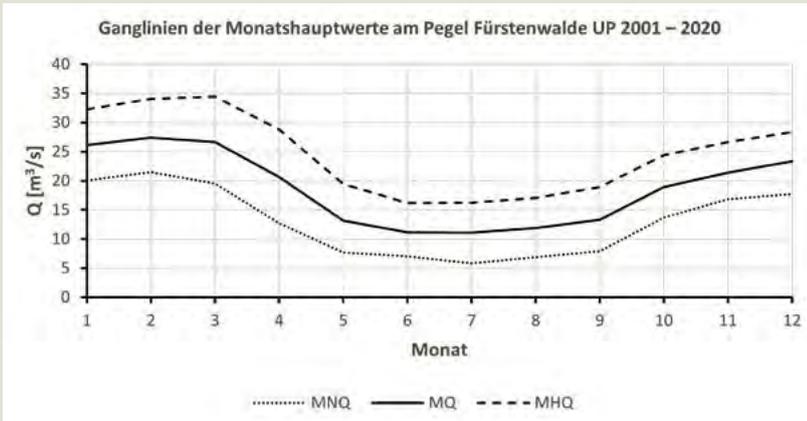
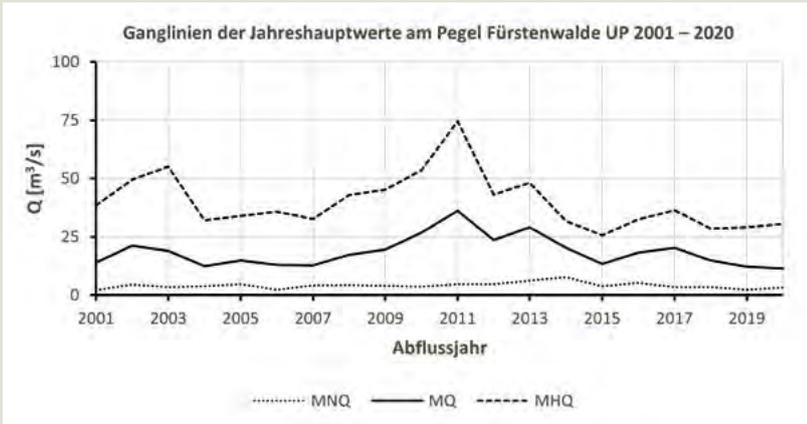


Abbildung 66: Jahresganglinien (oben), Monatsganglinien (Mitte) und Dauerlinie (unten) der Tagesmittelwerte des Abflusses für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP im aktuellen Zeitraum.
Datenquelle: BfG (2021a)

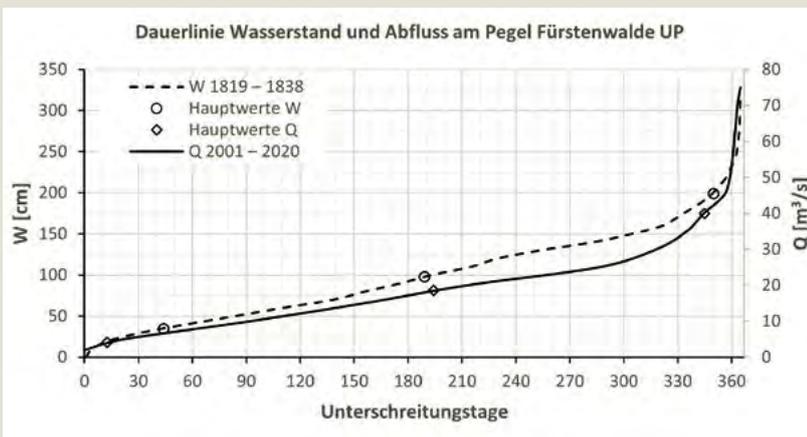


Abbildung 67: Dauerlinien des Wasserstandes und des Abflusses für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP.
Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1838); BfG (2021a)

Topografische Grundlagendaten

Der betrachtete Abschnitt der Fürstenwalder Spree liegt vollständig im Bundesland Brandenburg.

Die Dateien für die Erstellung eines digitalen Geländemodells sind auf den Internetseiten der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg frei zugänglich (LGB, 2021). Aus den Geländemodellen als Punktwolken im XYZ-Format wurde ein digitales Geländemodell mit einer Rasterweite von 1 m für das Gebiet um den Gewässerabschnitt generiert.

4.4.4. Veränderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte

Der Vergleich der Wasserstände vom historischen zum aktuellen Betrachtungszeitraum zeigt, dass der MNW mit einer Zunahme um 11 cm leicht angehoben wurde (Abbildung 68). Die Ursache hierfür ist in der Wasserstandsregulierung durch Wehre zur Niedrigwasseranhebung für den Oder-Spree-Kanal zu suchen.

Der MW dagegen ist um 42 cm gesunken. Einem generellen Abfall der mittleren Wasserstände liegt der Ausbau und die Erweiterung des Flussquerschnittes beim Bau des Oder-Spree-Kanals zugrunde (Köhler, Gelbrecht, & Pusch, 2002).

Der MHW ist sogar stark gesunken, und zwar um 1,22 m. Ursächlich hierfür ist ebenfalls die Querschnittsaufweitung, aber auch die Retention durch Speicher in der oberen Spree.

Für die Änderung der Amplituden ergibt sich ein einheitlicheres Bild (Abbildung 69). Die Schwankungsbreite der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte hat von der Periode 1819 – 1838 zur Periode 2001 – 2020 beträchtlich abgenommen. Die Amplituden der Wasserstände MNW zu MW haben um 0,52 m, die der Wasserstände MW zu MHW um 0,80 m und die der Wasserstände MNW zu MHW um 1,33 m abgenommen. Ursächlich für die Abnahme der Amplituden sind sowohl die Talsperrenbewirtschaftung in der oberen Spree seit ca. den 1960er-Jahren zur Niedrigwasseranhebung und für den Hochwasserschutz (Köhler, Gelbrecht, & Pusch, 2002) als auch die Wasserstandsregulierung durch Wehre stromab von Fürstenwalde.

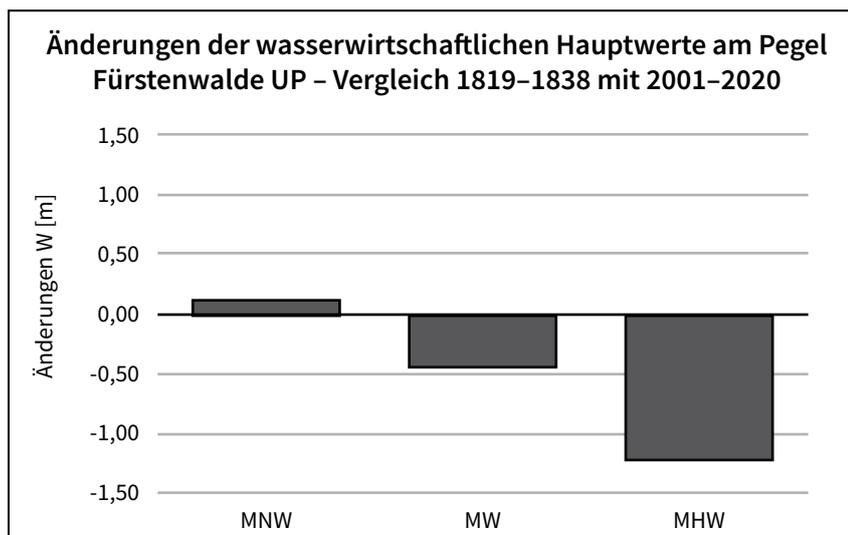


Abbildung 68: Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte des Wasserstandes am Pegel Fürstenwalde UP. Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1838); LfU (2021)

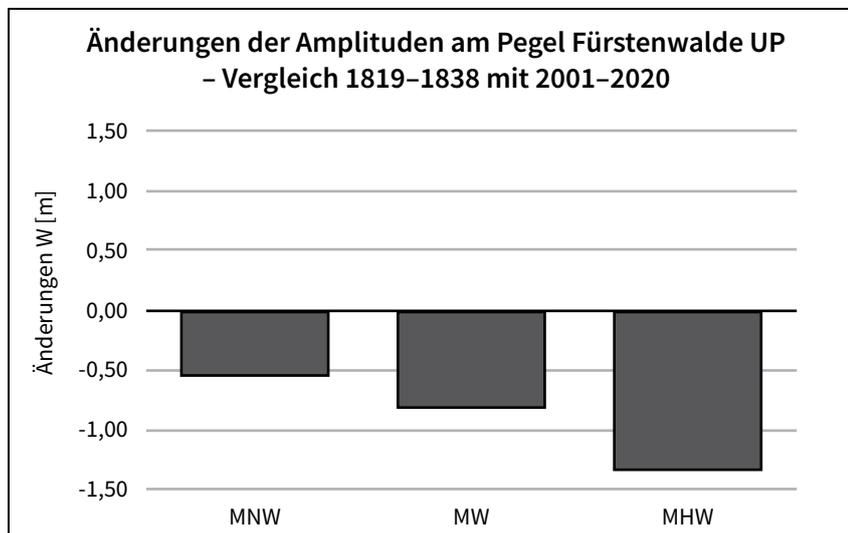


Abbildung 69: Änderung der Amplituden der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte am Pegel Fürstenwalde UP. Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1838); LfU (2021)

4.4.5. Veränderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung

Für den Referenzzeitraum liegen ausschließlich Daten des Wasserstandes, jedoch keine Abflussdaten vor. Für den aktuellen Zeitraum sind dagegen sowohl Wasserstand- als auch Abflussdaten verfügbar, weswegen die Methode der Erstellung einer synthetischen Wasserstand-Abfluss-Beziehung für den Referenzzeitraum angewendet wird. Eine Plausibilisierung der Verwendbarkeit von hydrologischen Daten verschiedener Perioden erfolgte in Kapitel 4.4.3.

Abbildung 70 zeigt die ermittelte Wasserstand-Abfluss-Beziehung für den Referenzzeitraum als Ergebnis der Synthese aus der historischen Wasserstandsdauerlinie und der aktuellen Abflussdauerlinie. Ebenfalls dargestellt sind die wasserwirtschaftlichen Hauptwerte für die jeweilige Periode.

In Abbildung 71 ist die Wasserstand-Abfluss-Beziehung für den aktuellen Zeitraum am Pegel Fürstenwalde UP in Form von Klassen des Wasserstandes (1 Klasse je 5 m³/s) dargestellt. Je Abflussklasse ist der Mittelwert des Wasserstandes sowie der jeweils kleinste und größte Wasserstand (Minimum und Maximum) angezeigt – zusätzlich kennzeichnen die Fehlerindikatoren die Standardabweichung der Mittelwerte. Die hellgrauen Punkte stellen die Datenpaare des aktuellen Wasserstandes und Abflusses dar. Kreuze markieren die wasserwirtschaftlichen Hauptwerte für den Zeitraum.

4.4.6. Veränderung des Ausuferungsverhaltens

Eine Besonderheit des Havel- und Spreegebietes ist die sehr niedrige Lage des Talbodens. Die Spreetäler befinden sich durchschnittlich nicht höher als 0,3 m über MW, z. T. sogar erheblich niedriger (Verwaltung der Märkischen Wasserstraßen in Potsdam, 1903).

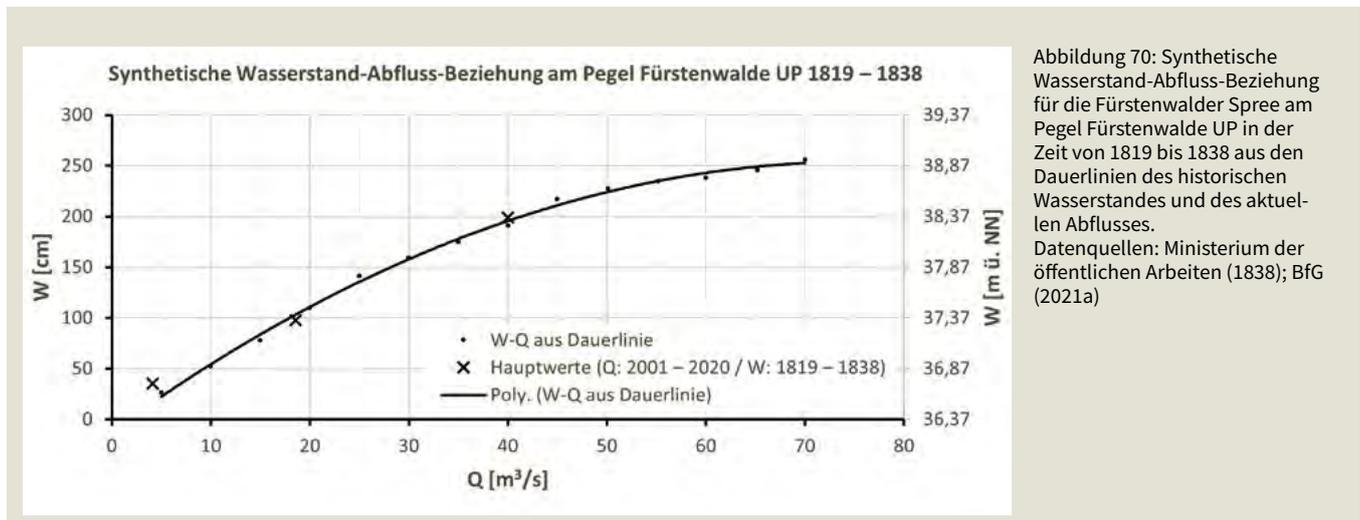


Abbildung 70: Synthetische Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP in der Zeit von 1819 bis 1838 aus den Dauerlinien des historischen Wasserstandes und des aktuellen Abflusses. Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1838); BfG (2021a)

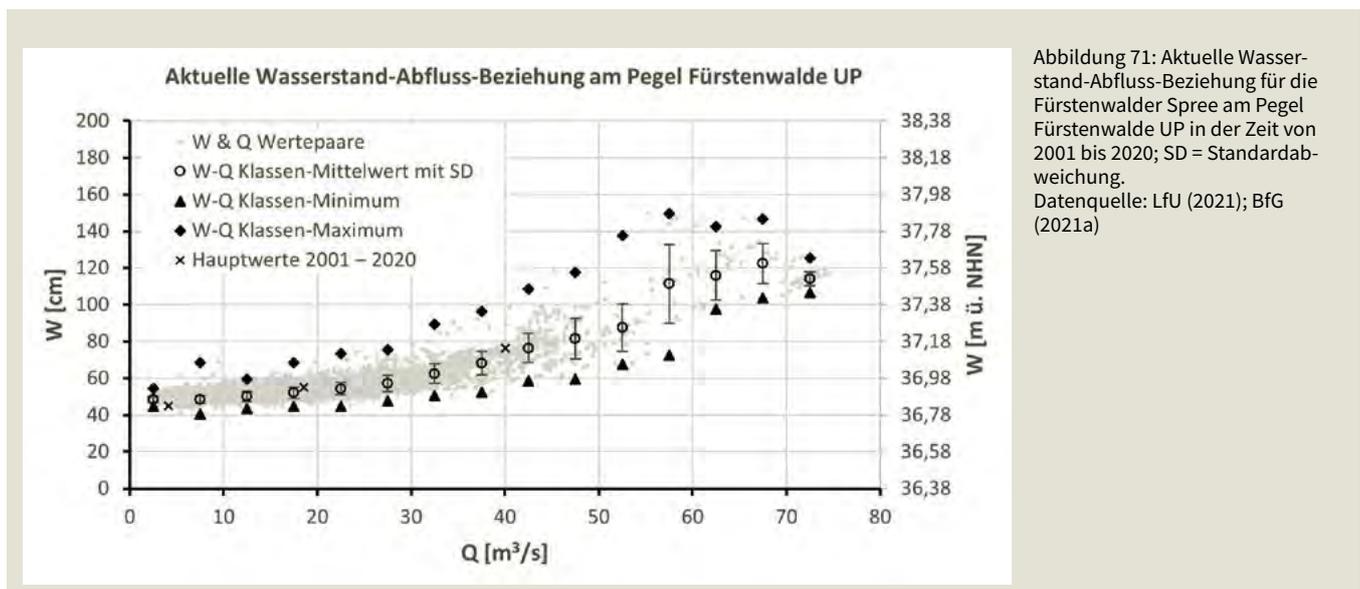


Abbildung 71: Aktuelle Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP in der Zeit von 2001 bis 2020; SD = Standardabweichung. Datenquelle: LfU (2021); BfG (2021a)

Ausgehend von der Wasserspiegelhöhe bei MHQ wurde die Wasserfläche für den Untersuchungsabschnitt aufgespannt. Anschließend erfolgte die Verschneidung der Wasserfläche mit dem digitalen Geländemodell. Verschiedene Modellierungen mit schrittweise abgesenkter Wasserfläche zeigen eine Vernässung der niedrigen Aue für den untersuchten Abschnitt ab etwa einem Wasserstand von $W = 37,4$ m ü. NHN (Abbildung 72).

Betrachtet man die Schnittpunkte der Wasserstandsdauerlinien mit dem ermittelten Ausuferungswasserstand, ergeben sich für den Referenzzustand am Pegel Fürstenwalde UP 199 Unterschreitungstage bzw. eine Ausuferungsdauer von 166 Tagen (Abbildung 73). Aus der aktuellen Dauerlinie ergeben sich am Pegel Fürstenwalde UP 361 Unterschreitungstage bzw. eine Ausuferungsdauer von vier Tagen. Das aktuell zu beobachtende Ausuferungsverhalten weicht demnach

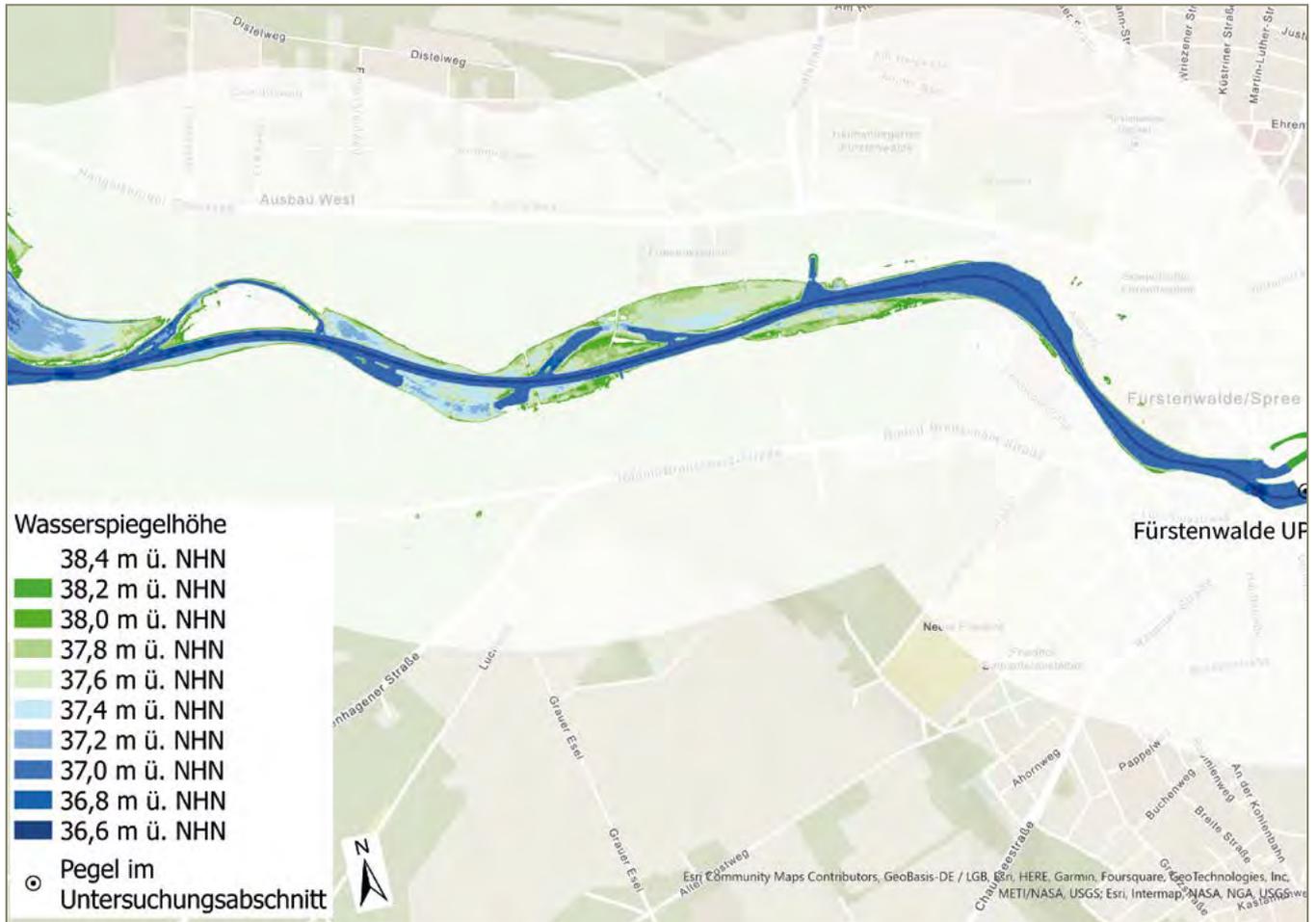


Abbildung 72: Veranschaulichung der Ermittlung des Ausuferungsbeginns für den Untersuchungsabschnitt der Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP. Datengrundlagen: LfU (2021); Digitales Geländemodell © GeoBasis-DE/LGB 2021, dl-de/by-2-0

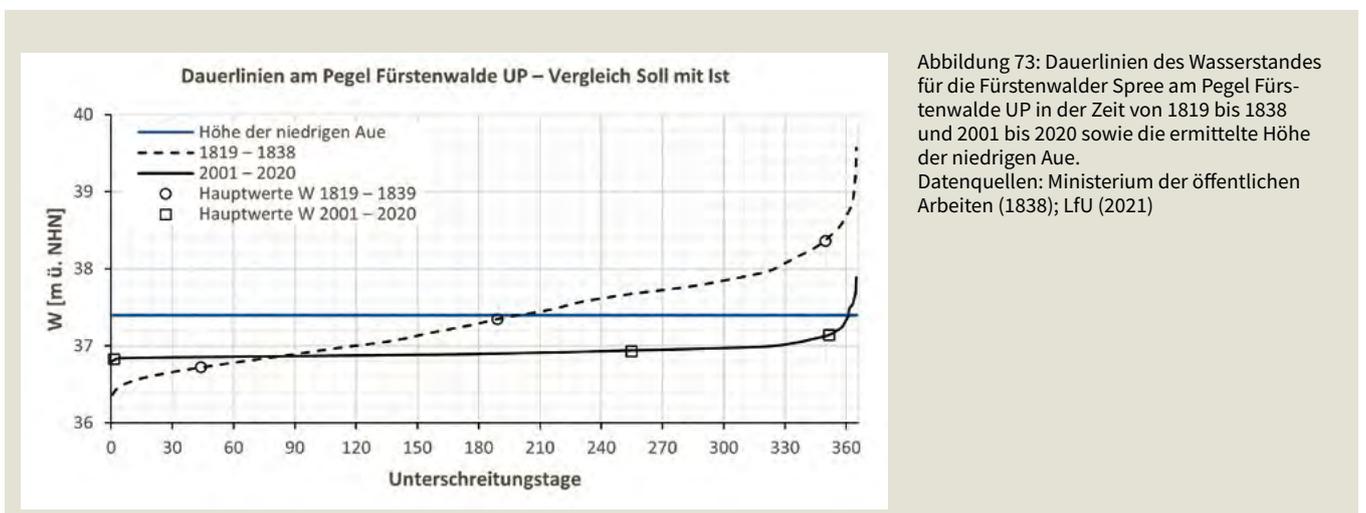


Abbildung 73: Dauerlinien des Wasserstandes für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP in der Zeit von 1819 bis 1838 und 2001 bis 2020 sowie die ermittelte Höhe der niedrigen Aue. Datenquellen: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1838); LfU (2021)

stark vom natürlichen ab. Zudem ist der flache Verlauf der Dauerlinie des Wasserstandes für den Ist-Zustand auffällig, welcher erkennen lässt, dass die natürliche Schwankungsbreite der Wasserstände aktuell nicht mehr gegeben ist.

4.4.7. Ergebnisse

Bewertung der Hydrologie

Vergleicht man den Referenzzustand mit dem aktuellen Zustand, dann lässt sich feststellen, dass der Unterschungsabschnitt der Fürstenwalder Spree heute bezüglich der Hydrologie überwiegend in einem schlechten Zustand ist (Tabelle 9). Lediglich der Anstieg des MNW um 7 % entspricht dem „gutem Zustand“. Der MW und MHW dagegen sind um 26 % bzw. um 74 % gesunken, was nach dem Bewertungsschema mit dem „schlechtem Zustand“ (Kapitel 3.4; Tabelle 5) bewertet wird. Zusammenfassend stellt Abbildung 74 den untersuchten Flussabschnitt mit der zutreffenden Bewertung der hydrologischen Verhältnisse dar.

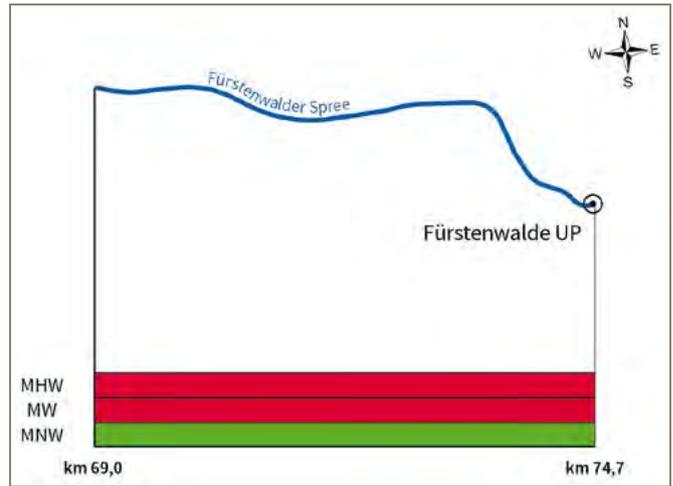


Abbildung 74: Bewertung der Änderung der wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1819 bis 1838 zu 2001 bis 2020 am Pegel Fürstenwalde UP. Datengrundlage: Bundeswasserstraßen - VerkNet-BWaStr; © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert

Tabelle 9: Vergleich der gemittelten wasserwirtschaftlichen Hauptwerte von 1819 – 1838 mit 2001 – 2020 am Pegel Fürstenwalde UP

Pegel	MNW-MHW 1819 – 1838	MNW aktuell - MNW historisch		MW aktuell - MW historisch		MHW aktuell - MHW historisch	
	[m]	[m]	[%]	[m]	[%]	[m]	[%]
Fürstenwalde UP	1,64	-0,11	7	-0,42	-26	-1,22	-74

Bewertung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung

In Abbildung 75 sind die Wasserstand-Abfluss-Beziehungen für den Referenz- und den Ist-Zustand gegenübergestellt. Die Beziehungen weisen divergierende Trends auf. Für Abflüsse von 0 bis etwa 9 m³/s traten im Referenzzeitraum niedrigere Wasserstände auf als im aktuellen Zeitraum.

Andersherum waren bei Abflüssen >9 m³/s im Referenzzeitraum höhere Wasserstände zu beobachten als aktuell. Ursache für die stark veränderte Wasserstand-Abfluss-Beziehung des Ist-Zustandes sind das durch die Kanalisierung vergrößerte Querprofil der Fürstenwalder Spree und die Ausleitungen durch den Bau des Oder-Spree-Kanals.

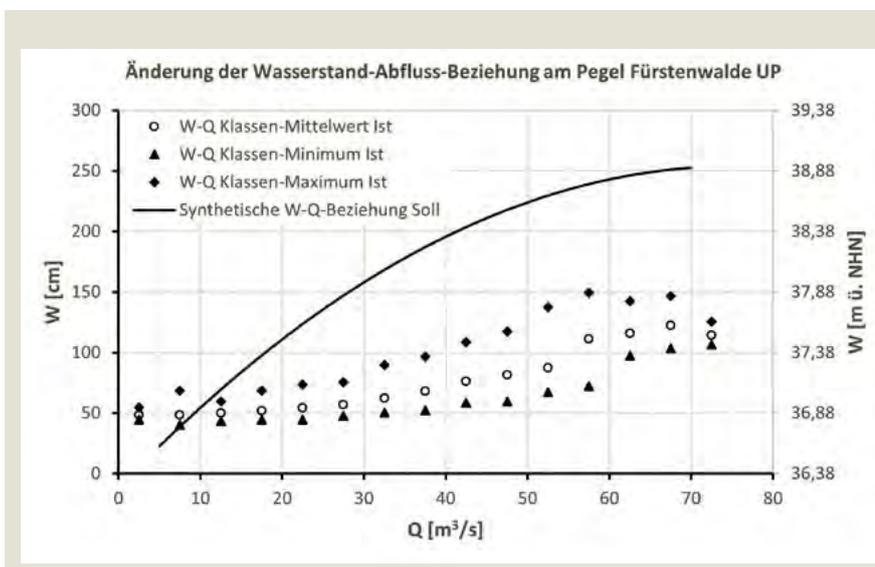


Abbildung 75: Änderung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung für die Fürstenwalder Spree am Pegel Fürstenwalde UP vom Referenzzeitraum (1819 – 1838) bis heute (2001 – 2020). Datenquelle: Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1838); LfU (2021); BfG (2021a)

Bewertung des Ausuferungsverhalten

Unter der Annahme, dass sich die Fürstenwalder Spree im Referenzzeitraum in einem naturnahen Zustand befunden hat und die regional typische Ausuferungsdauer beim Pegel Fürstenwalde UP 166 Tage betrug, wird diese Ausuferungsdauer gleich 100 % gesetzt. Folglich entsprechen vier Tage im Jahr für den aktuellen Zustand nur noch 2 % der natürlichen Ausuferungsdauer. Demnach beträgt das Defizit 98 %, woraus erkennbar wird, dass nahezu kein natürliches Ausuferungsverhalten mehr gegeben ist. Gemäß dem Bewertungsschema (Tabelle 5) muss das aktuelle Ausuferungsverhalten mit „schlechter Zustand“ bewertet werden. Abbildung 76 stellt zusammenfassend den untersuchten Flussabschnitt mit der zutreffenden Bewertung für das Ausuferungsverhalten dar.

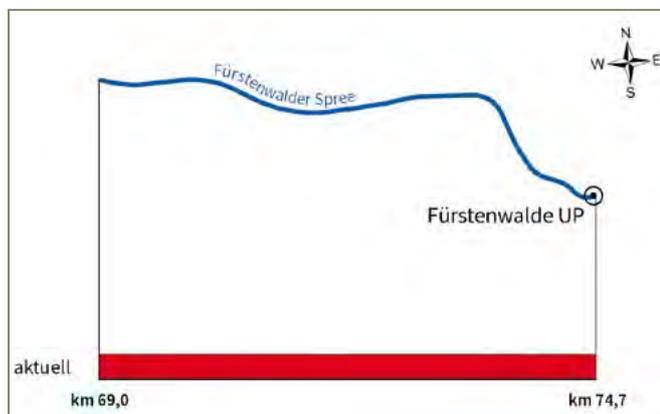


Abbildung 76: Bewertung des aktuellen Ausuferungsverhaltens des betrachteten Abschnittes der Spree verglichen mit dem naturnahen Ausuferungsverhalten im Referenzzeitraum (1819 - 1839).
Datengrundlage: Bundeswasserstraßen - VerkNet-BWaStr: © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2019 (www.gdws.wsv.bund.de), verändert

4.4.8. Verbesserungsmöglichkeiten

Defizite mit besonderer Wirkung auf den Wasserhaushalt haben in der Fürstenwalder Spree ihre Hauptursachen in Profilaufweitungen, Begradigungen sowie Kanalisierung des Gewässerbettes, aber auch in der Stauhaltung sowie der bergbaulichen Beeinflussung und der Talsperrenbewirtschaftung im Einzugsgebiet. Darüber hinaus sind große Teile der Aue eingedeicht. Als unmittelbare Folgen sind eine erhebliche Erhöhung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Gewässerbettes sowie eine hydraulische Abtrennung von Teilen der niedrigen Aue und deren Auengewässer nebst Entkopplung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung zu verzeichnen.

Im Wasserhaushalt verdeutlichen sich die Defizite durch eine Erhöhung der Wasserstände bei Abflüssen unterhalb $9 \text{ m}^3/\text{s}$ und einer Absenkung darüber bei gleichzeitiger Verminderung der Amplituden, einer Verringerung der

Ausuferungsdauer um weit über 90 % und einer Abkoppelung der niedrigen rezenten Aue.

Im Sinne einer Entwicklungsstrategie hin zu einem naturnäheren Gewässer sind vorrangig die weitestmögliche Rückführung der Profilaufweitungen und die Erhöhung der Bettraugigkeit sowie eine Verbesserung der Verbindung zur niedrigen Aue und ihren Gewässern anzustreben. Des Weiteren wären eine stärkere Anpassung des Stauregimes an die natürliche Wasserstand-Abfluss-Beziehung sowie eine Verbesserung der Abflusssdynamik zielführend.

Auch für die Fürstenwalder Spree stellen die Fahrrinnenparameter der Bundeswasserstraße, der Siedlungshochwasserschutz und die etablierten Nutzungsansprüche wesentliche Restriktionen dar.

Als Maßnahmenoptionen für eine Verbesserung der hydrologischen Verhältnisse sind die Verringerung der Uferfixierungen und die Etablierung naturnaher Bettstrukturen mit sohlaufrhöhender Wirkung bei gleichzeitiger Erhöhung der Sohlenrauheit außerhalb der Fahrrinne zu nennen. Ebenso ist der Rückbau von Uferverwallungen und der Anschluss von Flutrinnen, Nebengerinnen und Altwässern eine Möglichkeit. Die Rückführung von geeigneten Teilen der niedrigen Altaue sowie die Dynamisierung der Stauhaltung und der Abflussteuerung im Einzugsgebiet sind überdies zielführende Optionen.

5. Fazit

Der vorliegende Leitfaden stellt Methoden zur Bewertung der Hydrologie und des Ausuferungsverhaltens für einen ausgewählten frei fließenden Gewässerabschnitt mit weitgehend homogenem Charakter vor. Potenzielle Projektträger sollen befähigt werden, den Soll- und Ist-Zustand des ausgewählten Gewässerabschnittes selbstständig aus vorhandenen Daten herzuleiten, zu bewerten und Defizite sowie Verbesserungsmöglichkeiten zu erkennen.

Dieses Wissen soll motivieren, weitere Flussrenaturierungsprojekte in ganz Deutschland auf den Weg zu bringen, indem es dabei unterstützt, die aktuelle Situation eines Gewässers in Hinblick auf hydrologische Bewertungsparameter beurteilen zu können. Eine fundierte Herleitung und Begründung von geeigneten Renaturierungsmaßnahmen zur Verbesserung des Ist-Zustandes eines Gewässerabschnittes soll zukünftigen Projektträgern die Antragstellung erleichtern und ihre Aussichten auf Bewilligung des Antrages erhöhen.

Die Fallstudien zeigen, dass deutschlandweit ein sehr hoher Bedarf für Flussrenaturierungen besteht, wobei jedoch eine vollständige Rückführung zum Soll-Zustand in den meisten Fällen nicht realisierbar sein wird, solange die Restriktionen im Gebiet fortbestehen und nicht ausräumbar sind. Vor allem die Nutzung der Wasserstraßen für die Schifffahrt, der Erhalt der Ausbaustände (Uferbefestigungen, Stauhaltungen etc.) und eine oft intensive Landnutzung in der Aue sind maßgebliche limitierende Faktoren. Nichtsdestotrotz werden mit den Fallstudien im vorliegenden Leitfaden eine Reihe von Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt, welche häufig indiziert sind und den Gewässerabschnitt zumindest in einen naturnahen Zustand zurückführen. Diese Verbesserungsmöglichkeiten sind für Flüsse mit ähnlicher Ausgangssituation im Rahmen der örtlichen Gegebenheiten übertragbar und stellen somit ein Grundgerüst an Handlungsmöglichkeiten für den zukünftigen Projektträger dar.



Naturnahes Ausuferungsverhalten der Unteren Havel bei Vehlgest

Literaturverzeichnis

- AG Fachliche Grundlagen BBD (2016). Fachliche Grundlagen zum Bundesprogramm „Blaues Band Deutschland“. Von <https://www.blaues-band.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/Fachstudie.pdf> abgerufen.
- BfG (2012). Pegel­daten zu Pegeln an der Unteren Havel. E-Mail Stand Mai 2012. Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), bereitgestellt durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG).
- BfG (2021a). Ausgewählte Pegel­daten zu Bundeswasserstraßen des Nebennetzes. Daten auf Anfrage via E-Mail erhalten von: Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), bereitgestellt durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG).
- BfG (2021b). Wasserblick – Wasserkörpersteckbriefe. Abgerufen am 07. 09 2021 vom Geoport­al der BfG (<https://geoportal.bafg.de/ggina-portal/>); <https://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/WKSB/index.html?lang=de>.
- BfG (2021c). DGM-W der Weser von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, Stand 2013. Auf Anfrage via E-Mail am 18.08.2021 zur Verfügung gestellt durch: Bundesanstalt für Gewässerkunde Referat M4 „Geodatenzentrum, WasserBLiCk, GRDC“.
- BMU & BfN (2021). Auenzustandsbericht 2021 – Flussauen in Deutschland. Berlin/Bonn. doi:doi:10.19217/brs211.
- BMVBS (2012). Tagungsband KLIWAS Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, 2. Statuskonferenz am 25. und 26. Oktober 2011. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- BMVI (Hrsg.) (2016). Bundesverkehrswegeplan 2030. Berlin. Abgerufen am 22. 02 2022 von <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/bundesverkehrswegeplan-2030-gesamtplan.html>.
- BMVI & BMU (Hrsg.) (2018). Bundesprogramm „Blaues Band Deutschland“ – Eine Zukunftsperspektive für die Wasserstraßen. Bonn. Abgerufen am Jan. 2021 von <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/WS/blaus-band-broschuere-bundesprogramm.html>.
- BRK (2021). Digitales Geländemodell für NRW. Abgerufen am 11. 08 2021 von https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/hoehenmodelle/digitale_gelaendemodelle/gelaendemodell/index.html.
- Buchta, R. (2019). Entwicklung eines Ziel- und Bewertungssystems zur Schaffung nachhaltiger naturnaher Strukturen in großen sandgeprägten Flüssen des norddeutschen Tieflandes. Stuttgart: Eigenverlag des Instituts für Wasser- und Umweltsystemmodellierung der Universität Stuttgart.
- Buschmann, M. (1988). Der natürliche Fluß und seine Veränderung durch den Menschen dargestellt am Beispiel der Oberweser. Egge-Weser, S. 20-31.
- Bütow, S. (2015). Straßen im Fluss – Schifffahrt, Flussnutzung und der lange Wandel der Verkehrsinfrastruktur in der Mark Brandenburg und der Niederlausitz vom 13. bis zum 16. Jahrhundert (1. Auflage Ausg.). Berlin: Lukas Verlag.
- Der Reichsverkehrsminister (1929). Denkschrift betreffend die Verbesserung der Vorflut- und Schifffahrtsverhältnisse in der Havel unterhalb Rathenow. Elbe-Wasserstraßenbeirat – Verbesserung der unteren Havel, Nr. 46; Berlin, den 30.03.1929.
- Faist, H., Recknagel, T. & Vietinghoff, D. (2020). Historische Abflussdaten für die Elbe – Ableitung von Tagesabflüssen am Pegel Magdeburg-Strombrücke im Zeitraum von 1727 bis 1890. In Mitteilungen, Nr. 34. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde.
- Geobasis NRW (2021a). 1836 – 1850: Preußische Kartenaufnahme 1 : 25 000; Uraufnahme. Bezirksregierung Köln 2021, Historische Topographische Karten, https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/topographische_karten/historisch/1836/index.html. Abgerufen am 07. 09 2021 von WMS-Service: http://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_uraufnahme.
- Geobasis NRW (2021b). 1891 – 1912: Preußische Kartenaufnahme 1 : 25 000; Neuaufnahme. Bezirksregierung Köln 2021, Historische Topographische Karten, https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/geobasis/topographische_karten/historisch/1891/index.html. Abgerufen am 07. 09 2021 von WMS-Service: http://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_neuaufnahme.
- Kersting, W. (1979). Die ausgleichenden Maßnahmen des Umweltschutzes bei der Hochwasserregelung der Aller. Celle: Schweiger & Pick Verlag.
- Koenzen, U. (2005). Fluss- und Stromauen in Deutschland – Typologie und Leitbilder. Angewandte Landschaftsökologie 65. Bonn - Bad Godesberg.
- Köhler, J., Gelbrecht, J. & Pusch, M. (2002). Die Spree – Zustand, Probleme, Entwicklungsmöglichkeiten (1. Ausg.). Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Königliche Elbstrombauverwaltung (Hrsg.) (1898). Der Elbstrom, sein Stromgebiet und seine wichtigsten Nebenflüsse. Berlin: Verlag von Dietrich Reimer (Ernst Vohsen).
- LAWA (2021). Rahmenkonzeption (RaKon) zur Aufstellung von Monitoringprogrammen und zur Bewertung des Zustands von Oberflächengewässern. Stand: 06.08.2021.
- Lfu (2021). Pegel­daten für den Pegel Fürstenwalde/Spree. Daten auf Anfrage via E-Mail erhalten von: Landesamt für Umwelt

- Brandenburg, Abteilung Wasserwirtschaft 2 (Flussgebietsmanagement), Referat W25 – Gewässer- und Anlagenunterhaltung Süd.
- LGB (2013). Digitales Geländemodell der Havel (Rasterweite 2 m). Am 29. Juli 2013 auf Anfrage bereit gestellt durch: Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg.
- LGB (2021). Digitales Geländemodell – Einzelkacheln landesweit mit 1m Gitterweite im XYZ-Format. Abgerufen am 30.07.2021 von <https://data.geobasis-bb.de/geobasis/daten/dgm/xyz/>.
- LUA BB (1995). Die Havel – Naturwissenschaftliche Grundlagen und ausgewählte Untersuchungsergebnisse. Studien und Tagungsberichte, Band 8. Potsdam.
- Malcherek, A. (2019). Fließgewässer – Hydraulik, Hydrologie, Morphologie und Wasserbau. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1838). Akten betreffend Wasserstandstabellen für den Pegel zu Fürstenwalde (Schleuse), Abteilung III. Tabellen 1817 – 1838. Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Spree-Havel.
- Ministerium der öffentlichen Arbeiten (1850). Akten betreffend Wasserstandstabellen für den Pegel zu Brandenburg. Abteilung III, Tabellen 1811 – 1850. Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Brandenburg.
- Mohr (1890). Der Oder-Spree-Kanal und seine Bauten. (Ministerium der öffentlichen Aufgaben, Hrsg.) Zeitschrift für Bauwesen (Ausgabe 40), S. 431-468, Sp. 369-392. Von <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:109-1-13632878> abgerufen.
- Morgenschweis, G. (2018). Hydrometrie – Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen (2. Ausg.). Berlin: Springer Vieweg.
- MU Niedersachsen (2017). Digitales Geländemodell der Aller (Rasterweite 5 m). Bereitgestellt durch: Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz.
- Müller, T. (1999). Wörterbuch und Lexikon der Hydrogeologie. Berlin Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-642-58514-2.
- Muttray, W. & Visarius, F. K. (1916). Denkschrift über den erweiterten Ausbau der Weser von Münden (Hann.) bis zur Landesgrenze mit Bremen und der Aller von km 94,3 bis zur Mündung km 117,1: Aufgestellt: Hannover, den 30. Dezember 1916. Hannover.
- NABU (2018). Gewässerökologische Defizitanalyse für die Aller zwischen Celle und ihrer Mündung in die Weser.
- NABU (Hrsg.) (2020). Gewässerökologische Defizite und Potenziale ausgewählter Bundeswasserstraßen des Nebennetzes. Berlin.
- Papen-Atlas (1848). Topographischer Atlas des Königreichs Hannover und des Herzogtums Braunschweig von A. Papen. Maßstab 1:100.000, Stand 1836 bis 1839, Staatsbibliothek zu Berlin. Reproduktion im Maßstab 1:75.000 herausgegeben von Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN), Hannover 2010. Von https://www.lgln.niedersachsen.de/startseite/geodaten_karten/historische_karten/papen_atlas/topographischer-atlas-von-august-papen-141215.html abgerufen.
- Patt, H. (Hrsg.) (2016). Fließgewässer- und Auenentwicklung – Grundlagen und Erfahrungen (2. Ausg.). Berlin Heidelberg: Springer Vieweg.
- Preußische Landesaufnahme (1912). Die Preußischen Messtischblätter. Maßstab 1:25.000, Stand 1897 bis 1899. reproduziert und neu herausgegeben vom Niedersächsischen Landesverwaltungsamt Landesvermessung 1994.
- Uhlemann, H.-J. (1987). Berlin und die Märkischen Wasserstraßen. Berlin: Transpress VEB Verlag für Verkehrswesen.
- Verwaltung der Märkischen Wasserstraßen in Potsdam (1898). Abwässerungen der Niederungen an der unteren Havel. Denkschrift vom 31.05.1898. Brandenburgisches Landeshauptarchiv, Potsdam.
- Verwaltung der Märkischen Wasserstraßen in Potsdam (1903). Beiträge zur Gewässerkunde der Märkischen Wasserstraßen (Gebiet der Havel und Spree). Berlin 1905: Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn.
- Wittenberg, H. (2011). Praktische Hydrologie – Grundlagen und Übungen. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- WSA Berlin (Hrsg.) (2014). Schleuse Fürstenwalde/Spree – Spree-Oder-Wasserstraße km 74,75. Berlin: Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes.
- WSA Spree-Havel (2021c). Zusammenstellung Pegelnullpunkte WSA Berlin. Handakte der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung Spree-Havel.
- WSA Weser (2021a). Wasserstraßen – Weser. Abgerufen am 16. 09 2021 von <https://www.wsa-weser.wsv.de/webcode/2606708>.
- WSA Weser (2021b). Ausgewählte historische Pegeldata zu Pegeln der Oberweser. Daten auf Anfrage via E-Mail erhalten von: Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), bereitgestellt durch das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Weser.
- WSV (2021a). Bundeswasserstraßen (BWaStr) der WSV [WMS]. © Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (www.gdws.wsv.bund.de). Abgerufen am 05. 08 2021 von <https://atlas.wsv.bund.de/bwastr/wms?>.
- WSV (2021b). Pegelonline – Gewässerkundliches Informationssystem der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Abgerufen am 29. 06 2021 von <https://www.wasserstaende.de/gast/start>.
- WSV (Hrsg.) (2021c). Wasserstraßendatenbank (WADABA). Verfügbar unter: WSV-Kartendienste und BwaStr-Routing. Abgerufen am 13. 12 2021 von <https://atlas.wsv.bund.de/clients/desktop/>.



Die naturnahe Brandenburger Niederhavel mit ihren unbefestigten Ufern, Totholz und Schwimmblattpflanzen

NABU vor Ort

NABU-Bundesverband

Charitéstraße 3
10117 Berlin
Tel. 030.28 49 84-0
Fax 030.28 49 84-20 00
NABU@NABU.de
www.NABU.de

NABU-Institut für Fluss- und Auenökologie

Ferdinand-Lassalle-Straße 10
14712 Rathenow
Tel. 033 85.5 20 00-17
Fax 033 85.5 20 00-87
Rocco.Buchta@NABU.de

NABU Baden-Württemberg

Tübinger Straße 15
70178 Stuttgart
Tel. 07 11.9 66 72-0
Fax 07 11.9 66 72-33
NABU@NABU-BW.de
www.NABU-BW.de

NABU-Partner Bayern – Landesbund für Vogelschutz (LBV)

Eisvogelweg 1
91161 Hilpoltstein
Tel. 0 91 74.47 75-0
Fax 0 91 74.47 75-75
Infoservice@LBV.de
www.LBV.de

NABU Berlin

Wollankstraße 4
13187 Berlin
Tel. 030.9 86 41 07 oder 9 86 08 37-0
Fax 030.9 86 70 51
LvBerlin@NABU-Berlin.de
www.NABU-Berlin.de

NABU Brandenburg

Lindenstraße 34
14467 Potsdam
Tel. 03 31.2 01 55-70
Fax 03 31.2 01 55-77
Info@NABU-Brandenburg.de
www.NABU-Brandenburg.de

NABU Bremen

Vahrer Feldweg 185
28309 Bremen
Tel. 04 21.3 39 87 72
Fax 04 21.33 65 99 12
Info@NABU-Bremen.de
www.NABU-Bremen.de

NABU Hamburg

Klaus-Groth-Straße 21
20535 Hamburg
Tel. 040.69 70 89-0
Fax 040.69 70 89-19
Info@NABU-Hamburg.de
www.NABU-Hamburg.de

NABU Hessen

Friedenstraße 26
35578 Wetzlar
Tel. 0 64 41.6 79 04-0
Fax 0 64 41.6 79 04-29
Info@NABU-Hessen.de
www.NABU-Hessen.de

NABU Mecklenburg-Vorpommern

Wismarsche Straße 146
19053 Schwerin
Tel. 03 85.59 38 98-0
Fax 03 85.59 38 98-29
LGS@NABU-MV.de
www.NABU-MV.de

NABU Niedersachsen

Alleestraße 36
30167 Hannover
Tel. 05 11.91 10 5-0
Fax 05 11.91 10 5-40
Info@NABU-Niedersachsen.de
www.NABU-Niedersachsen.de

NABU Nordrhein-Westfalen

Völklinger Straße 7-9
40219 Düsseldorf
Tel. 02 11.15 92 51-0
Fax 02 11.15 92 51-15
Info@NABU-NRW.de
www.NABU-NRW.de

NABU Rheinland-Pfalz

Frauenlobstraße 15-19
55118 Mainz
Tel. 0 61 31.1 40 39-0
Fax 0 61 31.1 40 39-28
Kontakt@NABU-RLP.de
www.NABU-RLP.de

NABU Saarland

Antoniusstraße 18
66822 Lebach
Tel. 0 68 81.93 61 9-0
Fax 0 68 81.93 61 9-11
LGS@NABU-Saar.de
www.NABU-Saar.de

NABU Sachsen

Löbauer Straße 68
04347 Leipzig
Tel. 03 41.33 74 15-0
Fax 03 41.33 74 15-13
Landesverband@NABU-Sachsen.de
www.NABU-Sachsen.de

NABU Sachsen-Anhalt

Schleiufer 18a
39104 Magdeburg
Tel. 03 91.5 61 93-50
Fax 03 91.5 61 93-49
Mail@NABU-LSA.de
www.NABU-LSA.de

NABU Schleswig-Holstein

Färberstraße 51
24534 Neumünster
Tel. 0 43 21.5 37 34
Fax 0 43 21.59 81
Info@NABU-SH.de
www.NABU-SH.de

NABU Thüringen

Leutra 15
07751 Jena
Tel. 0 36 41.60 57 04
Fax 0 36 41.21 54 11
LGS@NABU-Thueringen.de
www.NABU-Thueringen.de



Mit der Vorstellung einer Methodik zur Bewertung der hydrologischen Situation von Fließgewässern möchte der NABU potenziellen Projektträgern von Flussrenaturierungsvorhaben praktische Handreichungen für eine erste Einschätzung geben.

Der NABU engagiert sich seit 1899 für Mensch und Natur. Mit mehr als 875.000 Mitgliedern und Fördernden ist der NABU der mitgliederstärkste Umweltverband in Deutschland.