

Nachweis der Wasserverfügbarkeit für die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit im Land Brandenburg

im Auftrag des
Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg
(August 2013)

Teil I

Nachweis der Wasserverfügbarkeit für die prioritären
Vorranggewässer „Untere Havel“ und „Untere Spree“



biota – Institut für ökologische Forschung und Planung GmbH

Geschäftsführer:	Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl Dr. rer. nat. Volker Thiele	Sitz:	18246 Bützow, Nebelring 15
USt.-Id.-Nr. (VAT-Number):	DE 164789073	Telefon:	038461 / 9167-0
Steuernummer (FA Güstrow):	086 / 106 / 02690	Telefax:	038461 / 9167-50 oder -55
Bankverbindungen:	Konto 114422900 Commerzbank AG (13040000) Konto 779 750 Volks- und Raiffeisenbank Güstrow e.G. (14061308)	E-Mail:	postmaster@institut-biota.de www.institut-biota.de
		Internet:	
		Handelsregister:	Amtsgericht Rostock HRB 5562

Auftragnehmer & Bearbeitung:

Dr. rer.nat. Tim G. Hoffmann
M.Sc. Sebastian Sedlmeir

biota – Institut für ökologische Forschung
und Planung GmbH

Nebelring 15
18246 Bützow

Telefon: 038461/9167-34
Telefax: 038461/9167-55

email: postmaster@institut-biota.de
Internet: www.institut-biota.de

Dr. Bernd Pfützner
M.Sc. Anne Schumann

Büro für Angewandte Hydrologie,
(BAH)

Köberlesteig 6
13156 Berlin

Telefon: (030) 499 137 02
e-Mail: bah@bah-berlin.de
Internet: www.bah-berlin.de

Auftraggeber:

Christiane Koll
(Ansprechpartner und Koordination)

Landesamt für Umwelt, Gesundheit und
Verbraucherschutz Brandenburg

Seeburger Chaussee 2
14476 Potsdam, OT Groß Glienicke

Telefon: 033201/442-293

Telefax: 033201/442-662

email:

christiane.koll@LUGV.Brandenburg.de
Internet: <http://www.brandenburg.de/LUGV>

Vertragliche Grundlage:

Bützow, den 01.10.2012

Dr. rer. nat. Dr. agr. Dietmar Mehl
- Geschäftsführer -

Abkürzungsverzeichnis	5
1 Anlass und Aufgabenstellung	7
2 Vorgehensweise und Grundlegendaten.....	8
2.1 Definition der verwendeten Abflussbegriffe.....	10
2.2 Prioritäre Vorranggewässer im Land Brandenburg.....	11
2.3 Querbauwerke.....	13
2.3.1 Wehre	13
2.3.2 Schleusen	14
3 Ermittlung des verfügbaren Wasserdargebots	16
3.1 Grundlagen.....	16
3.1.1 Modellgrundlagen	16
3.1.2 Datengrundlagen.....	18
3.1.3 Randbedingungen und Bewirtschaftung.....	24
3.1.4 Nutzungsdaten	29
3.2 Methodik	33
3.3 Ergebnisse	35
3.3.1 Auswertung der elf prioritären Standorte.....	35
3.3.2 Zukünftige Entwicklung	64
3.3.3 Unsicherheitsbetrachtung	67
3.3.4 Ergebnisübergabe für alle Vorranggewässer.....	68
3.4 Abflussaufteilung.....	71
4 Ermittlung des Wasserbedarfs	75
4.1 Festlegen der relevanten Fischaufstiegsanlagentypen.....	75
4.2 Ermittlung der erforderlichen Bemessungswerte.....	76
4.2.1 Fischregionen.....	76
4.2.2 Dimensionierungszielarten.....	78
4.3 Hydraulische Bemessung	79
4.3.1 Technische Anlagentypen	80

4.3.2 Naturnahe Anlagentypen	81
4.3.3 Sonderbauweisen.....	83
4.4 Ergebnis der hydraulischen Bemessung	85
4.5 Ermittlung der Leitströmung	89
4.6 Ermittlung des maßgeblichen standort- bzw. anlagenabhängigen Mindestabflusses zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$	90
5 Defizitanalyse.....	92
5.1 Untere Havel.....	93
5.2 Untere Spree	97
6 Fazit	99
7 Ausblick.....	104
8 Literaturverzeichnis.....	105
9 Anhang	107

Abkürzungsverzeichnis

FAA	Fischaufstiegsanlage
MQ	mittlerer Abfluss, arithmetisches Mittel der Abflüsse im Zeitraum T (z.B. 1 Monat, 1 Jahr, m Jahre, etc.), [m ³ /s]
MQ [*]	mit ArcEGMO simulierter mittlerer Abfluss mit Berücksichtigung der Wassernutzung entsprechend der bestehenden Wasserrechte, arithmetisches Mittel der Abflüsse im Zeitraum T (z.B. 1 Monat, 1 Jahr, m Jahr, etc.), [m ³ /s]
p _D	spezifische Leistungsdichte der Energiedissipation in FAA / Turbulenzgrad, [W/m ³]
Q ₃₀	Abfluss eines Gewässers, der an 30 Tagen im Jahr unterschritten wird, [m ³ /s]
Q ₃₀ [*]	mit ArcEGMO simulierter Abfluss mit Berücksichtigung der Wassernutzung entsprechend der bestehenden Wasserrechte, der an 30 Tagen im Jahr unterschritten wird, [m ³ /s]
Q ₃₃₀	Abfluss eines Gewässers, der an 330 Tagen im Jahr unterschritten wird, [m ³ /s]
Q ₃₃₀ [*]	mit ArcEGMO simulierter Abfluss mit Berücksichtigung der Wassernutzung entsprechend der bestehenden Wasserrechte, der an 330 Tagen im Jahr unterschritten wird, [m ³ /s]
Q _{FAA}	Mindestabfluss über eine Fischaufstiegsanlage bei Anwendung der Mindestgeometrien, [m ³ /s]
Q _{FAA,doppelt}	doppelter Mindestabfluss über eine Fischaufstiegsanlage bei Anwendung der Mindestgeometrien, [m ³ /s]
Q _{Haupt}	am Hauptfließarm eines Querbauwerkstandortes auftretender aufgeteilter Hauptabfluss nach pauschalisierter Abflussaufteilung, [m ³ /s]
Q _{Leit}	Leitströmung: Mindestabfluss, der benötigt wird, um für Fische eine gute Auffindbarkeit des Anlageneinstiegs zu gewährleisten, [m ³ /s]
Q _{min,Durchgängigkeit}	maßgeblicher standort- bzw. anlagenabhängiger Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit; ermittelt aus dem Vergleich von Q _{FAA} und Q _{Leit} [m ³ /s]
Q _{min,Durchgängigkeit,Gesamt}	an einem Querbauwerkstandort auftretender maßgeblicher standort- bzw. anlagenabhängiger Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit als Gesamtabfluss am jeweiligen Querbauwerksstandort, [m ³ /s]
Q _S	Schleusenabfluss oder Schleusungswassermenge, [m ³ /s]
V _{m,E}	Mittlere Fließgeschwindigkeit in der Engstelle (Schlitz, etc.) einer FAA, [m/s]

$V_{\max}$	maximal zulässige Fließgeschwindigkeit im Wanderkorridor einer FAA; hydraulischer Grenzwert bei der Bemessung von FAA; leitet sich aus den Fischregionen ab, [m/s]
WBALMO	Wasserbilanzmodell der DHI-WASY
$W_{\min}$	Mindestwassertiefe im Wanderkorridor einer FAA; hydraulischer Grenzwert bei der Bemessung von FAA, leitet sich vom größten Fisch der Fischregion ab, [m]
$W_{\min, \text{Eng}}$	Mindestwassertiefe in der Engstelle (Schlitz, etc.) einer FAA; hydraulischer Grenzwert bei der Bemessung von FAA, leitet sich vom größten Fisch der Fischregion ab, [m]
Δh	Wasserspiegeldifferenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Becken bei beckenartigen FAA, [m]
$\Delta h_{\min}$	minimale Wasserspiegeldifferenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Becken bei beckenartigen FAA; entspricht einer für den Fischeaufstieg ökologisch günstigen und ohne Einschränkung überwindbaren Wasserspiegeldifferenz, [m]
$\Delta h_{\max}$	maximale Wasserspiegeldifferenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Becken bei beckenartigen FAA; entspricht einer für den Fischeaufstieg ökologisch ungünstigen und ggf. nur mit Einschränkung überwindbaren Wasserspiegeldifferenz, [m]

1 Anlass und Aufgabenstellung

Gemäß WRRL-Maßnahmenplänen der FGE Elbe und FGE Oder sind in den regionalen und überregionalen Vorranggewässern des Landes Brandenburg prioritär Maßnahmen zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit umzusetzen. Ein wichtiger Aspekt bei der Bemessung von Fischaufstiegsanlagen ist die Wasserverfügbarkeit. Insbesondere im Spree-/Havelsystem mit seinem begrenzten Dargebot und hohen Nutzungsanforderungen besteht die Notwendigkeit, vor umfangreichen technisch und finanziell aufwendigen Baumaßnahmen auch die Wasserverfügbarkeit für diese Anlagen nachzuweisen.

Hierzu sollen alle überregionalen und regionalen Vorranggewässer im Land Brandenburg untersucht werden. In Teil I liegt der Fokus allerdings nur auf den prioritären Vorranggewässern untere Havel und untere Spree ab Fürstenwalde und deren Querbauwerksstandorte. Auf der Basis des vorliegenden Durchgängigkeitskonzeptes für das Land Brandenburg (ZAHN et al. 2012) und anhand der einschlägigen Regelwerke (DWA-Merkblatt M 509) ist für die jeweils vorgegebene Leitfischart der mindestens notwendige Wasserbedarf (maßgeblicher standort- bzw. anlagenabhängiger Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit, im Folgenden als $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ bezeichnet) zu ermitteln.

In einem parallel laufenden Schritt soll das in den überregionalen und regionalen Vorranggewässern im Land Brandenburg (mit Fokus auf den als prioritär eingestuften Vorranggewässern untere Havel und untere Spree ab Fürstenwalde) vorhandene Wasserdargebot ermittelt werden. Dazu werden die Durchflussdauerlinien für alle Vorranggewässer ermittelt. Diese enthalten das Q_{30}^* bzw. Q_{330}^* und erlauben die Ableitung der zugeordneten Unterschreitungs- bzw. Überschreitungstage für jeden Durchfluss (Wasserbedarf).

Anschließend soll eine Defizitanalyse Aufschluss über die Realisierbarkeit der Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit für die im Durchgängigkeitskonzept angegebenen Leitfischarten an den Querbauwerksstandorten der überregionalen und regionalen Vorranggewässer im Land Brandenburg (mit Fokus auf den als prioritär eingestuften Vorranggewässern untere Havel und untere Spree ab Fürstenwalde) aufgrund der Wasserverfügbarkeit geben.

Die zentrale Fragestellung dieser Studie ist, für die Bauwerksstandorte der überregionalen und regionalen Vorranggewässer im Land Brandenburg (in diesem Teilbericht I mit Fokus auf die prioritären Vorranggewässer) festzustellen, ob für die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit das tatsächliche Wasserdargebot ausreicht oder Defizite im Wasserdargebot vorherrschen. Diese Defizite sollen in dieser Studie ermittelt werden.

Mit der vorliegenden Untersuchung soll ein Beitrag zur Schaffung der ökologischen Durchgängigkeit in Brandenburg geleistet werden. Aufgrund der landesweiten Betrachtungsebene kann und soll an den konkreten Bauwerksstandorten jedoch keine detaillierte Vorplanung zur Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit erstellt werden.

2 Vorgehensweise und Grundlagendaten

Da aus unserer Sicht die Ausweisung eines einzelnen Wertes $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ für die geforderten Gewässerabschnitte der Vorranggewässer in einer Übersichtsmethode **nicht** zu erbringen ist, muss eine Auswahl verschiedener Fischaufstiegsanlagen (FAA) untersucht werden. Für diese Typen soll dann ein Wertebereich von $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ auf Grundlage hydraulischer und geometrischer Bemessungswerte der jeweiligen Fischregionen bzw. Dimensionierungs-Zielarten ermittelt werden. Des Weiteren ist es zielführend zwei Gefällesituationen (ökologisch optimales und maximal mögliches Gefälle) der jeweiligen Anlagentypen als weiteres Kriterium zur Festlegung der Grenzen des $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ -Wertebereichs heranzuziehen. Auf Grundlage dieser Parameter werden für die jeweiligen FAA-Typen $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ -Spektren ermittelt.

Hierfür werden zunächst die für die jeweilige Fischregion ausgewiesenen Dimensionierungs-Zielarten festgelegt bzw. aus Teil I des Landeskonzeptes zur ökologischen Durchgängigkeit (ZAHN et al. 2010) entnommen. Anschließend werden anhand von vorher festgelegten Kriterien unterschiedliche Fischaufstiegsanlagentypen (FAA-Typen) gemäß dem Merkblatt DWA-M 509 Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung ausgewählt. Um einen Mindestdurchfluss für eine Fischaufstiegsanlage zu berechnen, werden bestimmte geometrische und hydraulische Bemessungswerte wie Durchlassbreiten und -höhen, Beckenabmessungen, minimale Wassertiefen im Wanderkorridor bzw. an den Durchlässen und die maximal zulässigen Fließgeschwindigkeiten, um die wichtigsten zu nennen, benötigt. Diese sind dem DWA-M 509 zu entnehmen. Sind alle Bemessungswerte zusammengetragen, werden für jede zu untersuchende Anlagenvariante für die jeweiligen Fischregionen bzw. Dimensionierungs-Zielarten anlagenbedingte Mindestabflüsse Q_{FAA} für jede der zwei Gefällesituationen berechnet. Da zwei verschiedene Abflüsse bei der Bemessung einer FAA zu betrachten sind (Q_{FAA} = anlagenbedingter Mindestabfluss und Q_{Leit} = standortabhängige Leitströmung), werden der hydraulischen Bemessung nachfolgend diese beiden Abflüsse miteinander verglichen und der größere Wert wird als der maßgebliche standort- bzw. anlagenabhängige Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ am jeweiligen Standort betrachtet. Das Vorgehen zur Ermittlung des maßgeblichen standort- bzw. anlagenabhängigen Mindestabflusses zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ wird in Abbildung 2-1 dargestellt.

Anschließend werden die Ergebnisse aus der hydraulischen Berechnung auf die Ergebnisse der N-A-Modellierung, die durch den ARGE-Partner Büro für Angewandte Hydrologie Berlin (BAH) unter der Leitung von Dr. Bernd Pfützner durchgeführt wurde, in Bezug gesetzt. Hierfür wird der simulierte Gesamtabfluss mittels einer pauschalisierten Abflussaufteilung auf die an den Querbauwerksstandorten jeweils vorhandenen Fließarme aufgeteilt. Die vergleichende Analyse (Defizitanalyse) von $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ und der simulierten Durchflüsse Q_{30}^* wird für jeden Querbauwerksstandort der prioritären Vorranggewässer untere Havel und untere Spree durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Form von Tabellen und Karten dargestellt.

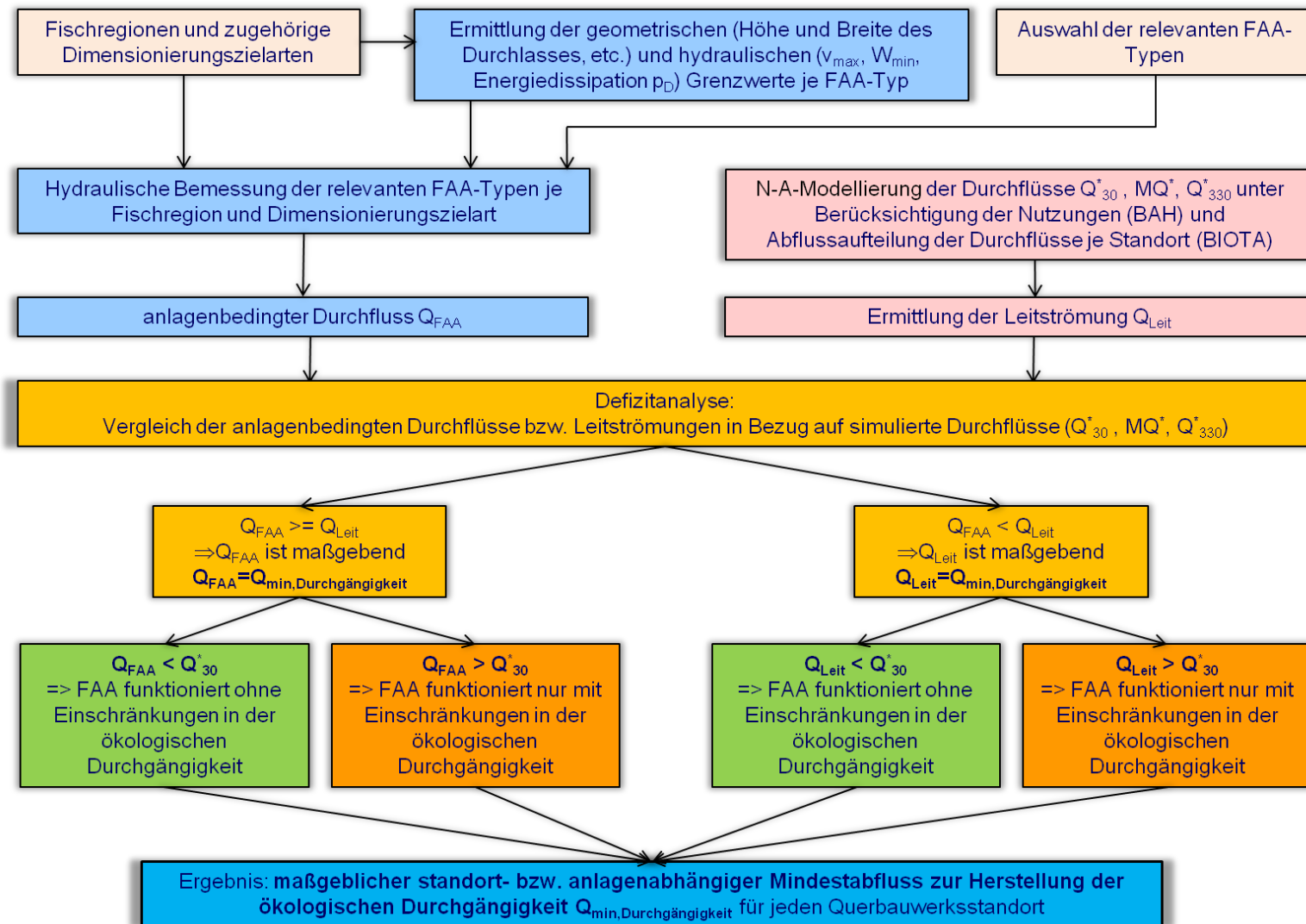


Abbildung 2-1: Ablaufschema zur Ermittlung des maßgeblichen standort- bzw. anlagenabhängigen Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$

2.1 Definition der verwendeten Abflussbegriffe

Im Folgenden werden verschiedene Abflüsse unterschieden. Zum einen werden diese Abflüsse aufgrund des Ortes, an dem sie auftreten und betrachtet werden, definiert, zum anderen werden sie durch ökologische bzw. funktionelle Kriterien definiert. Es wird demnach eine Vielzahl von unterschiedlichen Abflussbegriffen verwendet. Um eventuell auftretende Unklarheiten über die Definition der Begriffe und somit über die Aussage, die ein bestimmter Abfluss enthält, vorzubeugen, soll im Folgenden ein Schema über die wichtigsten Abflüsse aufklären (vgl. Abb. 2-2). Dies ist als Skizze zu verstehen und stellt keinen bestimmten Querbauwerksstandort dar.

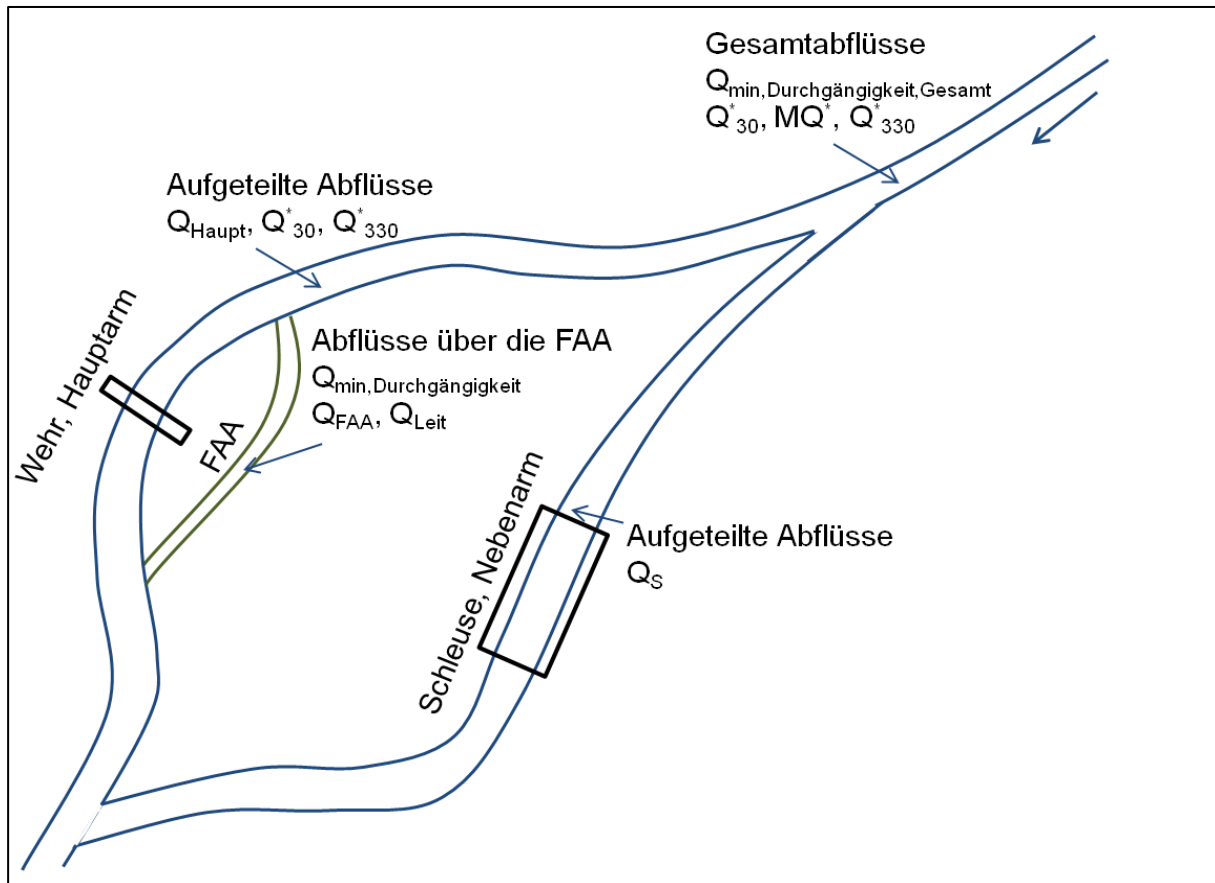


Abbildung 2-2: Übersichtsschema der verwendeten Abflussbegriffe

In Tabelle 2-1 sind die im Schema dargestellten Abflussbegriffe zusammenfassend aufgeführt. Neben den üblichen hydrologischen bzw. statistischen Abflussbegriffen MQ^* , Q_{30}^* und Q_{330}^* , die als Gesamtabflüsse eines Standortes bzw. in Bezug auf den Hauptfließarm als aufgeteilte Abflüsse auftreten, werden auch andere Abflussbegriffe verwendet, die eher durch den Standort, an dem der jeweilige betrachtete Abfluss auftritt, definiert sind. Der Schleusenabfluss Q_S ist der Abfluss, der bei einer Schleusung durch die Schleuse abgeführt wird. Der Hauptabfluss bezeichnet den Abfluss, der über den Hauptfließarm eines Bauwerksstandortes fließt. Des Weiteren wurden Abflüsse verwendet, die nach einer bestimmten Abflussmenge definiert sind, jedoch diese Abflussmenge nicht aus statistischen Auswertungen, sondern nach ökologischen bzw. funktionellen Gesichtspunkten abgeleitet wird. Der Mindestabfluss einer Fischaufstiegsanlage Q_{FAA} wird nach Mindestgeometrien verschiedener Fischaufstiegsanlagen ermittelt. Die Leitströmung Q_{Leit} ist der Mindestabfluss, den ein Fisch

benötigt, um den Einstieg in eine Fischaufstiegsanlage zu finden. Ebenfalls ein aus funktio-
neller und ökologischer Sicht heraus definierter Mindestabfluss ist der maßgebliche standort-
bzw. anlagenabhängige Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit
 $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$. Dieser Abfluss leitet sich aus den beiden Mindestabflüssen Q_{Leit} und Q_{FAA}
her und ist der Abflussanteil, der mindestens für die Fischaufstiegsanlage zur Verfügung
stehen muss. $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit, Gesamt}}$ entspricht dem maßgeblichen standort- bzw. anlagenab-
hängigen Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit, hochgerechnet
auf den jeweiligen Querbauwerksstandort unter Berücksichtigung aller vorhandenen Fließ-
arme und Schleusenabflüsse. Er stellt somit einen Gesamtabfluss dar.

Tabelle 2-1: Übersicht über die verwendeten Abflussbegrifflichkeiten

Abfluss	Beschreibung	Einheit
MQ^*	mit ArcEGMO simulierter mittlerer Abfluss mit Berücksichtigung der Wassernutzung entsprechend der bestehenden Wasserrechte, arithmetisches Mittel der Abflüsse im Zeitraum T (z.B. 1 Monat, 1 Jahr, m Jahre...)	m^3/s
Q_{30}^*	mit ArcEGMO simulierter Abfluss mit Berücksichtigung der Wassernutzung entsprechend der bestehenden Wasserrechte, der an 30 Tagen im Jahr unterschritten wird	m^3/s
Q_{330}^*	mit ArcEGMO simulierter Abfluss mit Berücksichtigung der Wassernutzung entsprechend der bestehenden Wasserrechte, der an 330 Tagen im Jahr unterschritten wird	m^3/s
Q_{Haupt}	am Hauptfließarm eines Querbauwerkstandortes auftretender aufgeteilter Hauptabfluss nach pauschalisierter Abflussaufteilung	m^3/s
Q_{FAA}	Mindestabfluss über eine Fischaufstiegsanlage bei Anwendung der Mindestgeometrien	m^3/s
Q_{Leit}	Leitströmung: Mindestabfluss, der benötigt wird, um für Fische eine gute Auffindbarkeit des Anlageneinstiegs zu gewährleisten	m^3/s
$Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$	maßgeblicher standort- bzw. anlagenabhängiger Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit; ermittelt aus dem Vergleich von Q_{FAA} und Q_{Leit}	m^3/s
$Q_{\min, \text{Durchgängigkeit, Gesamt}}$	an einem Querbauwerkstandort auftretender maßgeblicher standort- bzw. anlagenabhängiger Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit als Gesamtabfluss am jeweiligen Querbauwerksstandort	m^3/s
Q_s	Schleusenabfluss oder Schleusungswassermenge	m^3/s

2.2 Prioritäre Vorranggewässer im Land Brandenburg

Die maßgeblichen standort- bzw. anlagenabhängigen Mindestabflüsse zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit werden zunächst für die im Durchgängigkeitskonzept ausgewiesenen prioritären Vorranggewässer untere Havel (von Mündung in die Elbe bis zur Mündung der Spree) und untere Spree (von der Mündung in die Havel bis Fürstenwalde) ermittelt. Insgesamt wurden elf Querbauwerksstandorte als prioritär eingestuft (vgl. Abb. 2-3).

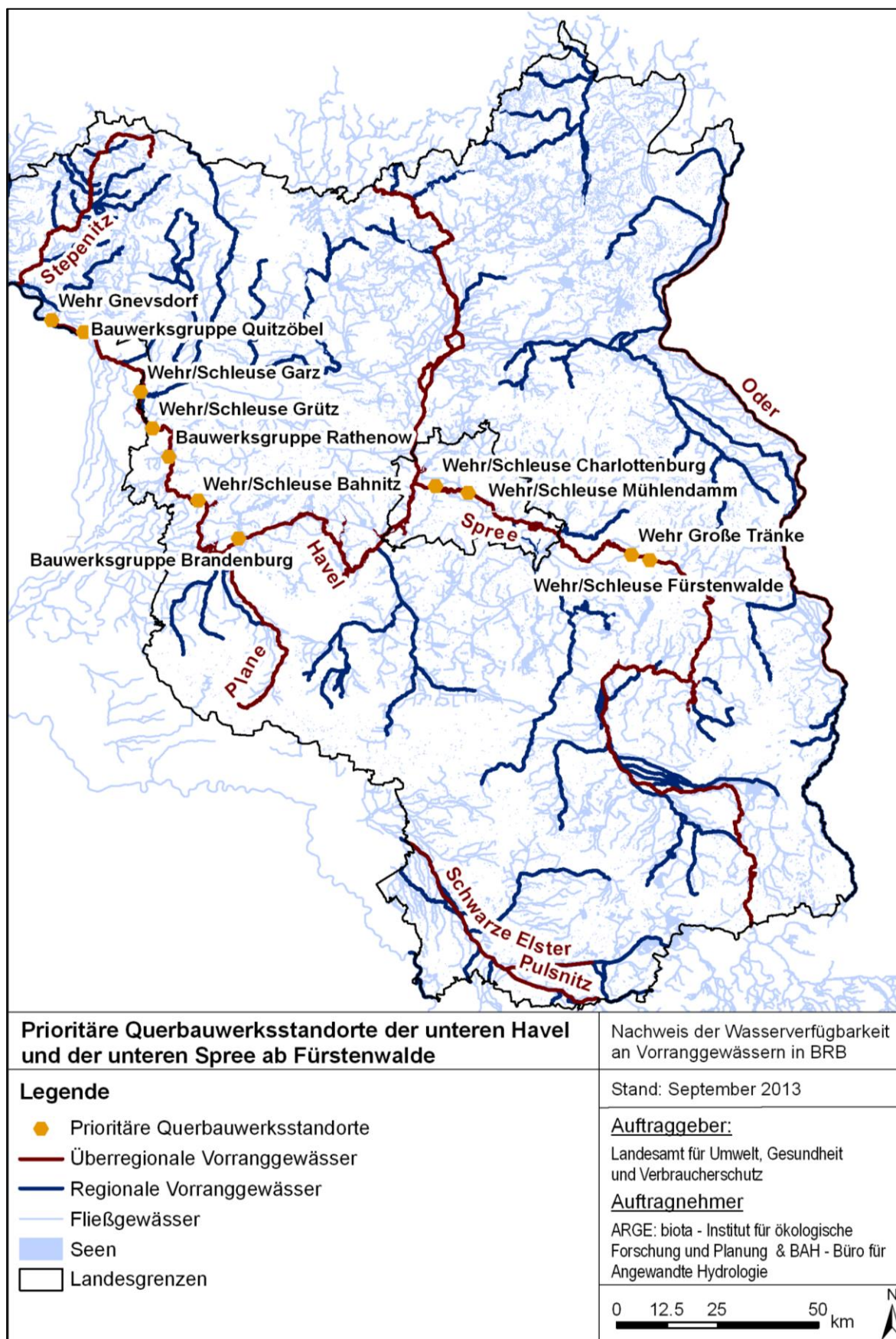


Abbildung 2-3: Übersicht über die prioritären Querbauwerksstandorte der prioritären Vorranggewässer untere Havel und untere Spree ab Fürstenwalde

2.3 Querbauwerke

Eine Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an den prioritären Vorranggewässern muss in erster Linie an den großen Querbauwerksstandorten geleistet werden. Querbauwerksstandorte werden als Gruppen von Wehren und/oder Schleusen verstanden und können eine Vielzahl von Wehren und/oder Schleusen, an mehreren Fließarmen gelegen, aufweisen. Allerdings zählt ein Wehr bzw. eine Schleuse als „Minimumausführung“ eines Querbauwerksstandortes. Im Folgenden werden die Querbauwerksstandorte in Wehre und Schleusen unterteilt, um eine Übersicht über die Bauwerke der prioritären Vorranggewässer zu erhalten.

2.3.1 Wehre

Eine Übersicht über die Bauwerksdaten der Wehre an den Querbauwerksstandorten der prioritär eingestuften Vorranggewässer untere Havel und untere Spree (ab Fürstenwalde) ist in Tabelle 2-2 zusammengefasst.

Tabelle 2-2: Übersicht über die Bauwerksdaten der Wehre an den prioritären Vorranggewässern

Gewässer	Station [km]	Querbauwerk	Bauwerkstyp	Wehrfelder	Bauwerksbreite [m]	Überfallbreite je Wehrfeld [m]
Havel	56,4	Großes Wehr Brandenburg	Wehr	2	32,0	16,0
Havel	82,0	Wehr Banitz	Schlauchwehr	2	50,0	25,0
Rathenower Havel	103,0	Wehr Hinterarche Rathenow	Segment-Schützenwehr	3	28,4	4,0
Rathenower Havel	103,4	Wehr Vorderarche Rathenow	Segment-Schützenwehr	2	24,7	21,7
						3,0
Havel	117,2	Wehr Grütz	Nadelwehr	2	68,0	60,0
			1-Feld-Schützenwehr			8,0
Havel	128,9	Wehr Garz	Nadelwehr	2	56,0	48,0
			1-Feld-Schützenwehr			8,0
Havel	156,2	Wehr Neuwerben	Doppelseitig kehrendes Rollschützenwehr	3	50,0	12,0
						24,0
						12,0
Havel (Gnevsdorfer Vorfluter)	156,2	Wehr Durchstich Quitzöbel	Schützenwehr	2	65,0	25,0
Havel (Gnevsdorfer Vorfluter)	165,8	Wehr Gnevsdorf	Wehr		40,0	
Spree	0,2	Wehr Fürstenwalde	Segment-Schützenwehr	3	28,3	8,0
Spree	47,6	Wehr Große Tränke	2 Segment-Schützenwehr	3	32,6	12,0
			Fischbauchklappe			5,0

Gewässer	Station [km]	Querbauwerk	Bauwerkstyp	Wehrfelder	Bauwerksbreite [m]	Überfallbreite je Wehrfeld [m]
Spree	17,6	Wehr Mühlen-damm Berlin	Segment-Schützenwehr	1	12,8	12,8
Spree	6,5	Wehr Charlotten-burg	Segment-Schützenwehr	5	58,0	10,0

Es sind die Wehrstandorte angegeben, die aktuell den Hauptabfluss des Querbauwerksstandortes realisieren. Für die Bauwerksgruppe Rathenow wird aktuell der Hauptabfluss über das Wehr Vorderarche geführt, nach ZAHN et al. (2012) ist aber das Wehr Hinterarche ebenfalls abflussrelevant.

2.3.2 Schleusen

Für die Schleusen der unteren Spree ab Fürstenwalde liegen Schleusungswassermengen als Zeitreihen vor. Eine Übersicht über die mittleren Schleusungswassermengen und die zugehörigen Abflussdaten (Nutzungsdaten berücksichtigt) an den jeweiligen Schleusen zeigt Tabelle 2-3. Es sind nur die Schleusen der unteren Spree ab Fürstenwalde aufgeführt, da nur für diese Schleusen Daten zu den Schleusenabflüssen zur Verfügung standen.

Tabelle 2-3: Übersicht über die mittleren Schleusungswassermengen in der unteren Spree

Schleuse	Abflussdaten			Schleusungsdaten		
	Von	Bis	MQ [m³/s]	Von	Bis	Mittlere Schleusungswassermenge [m³/s]
Charlotten-burg	-	-	-	9/1/2003	12/31/2011	0,39
Mühlendamm	11/1/1955	12/31/2011	25,32	11/1/2000	12/31/2011	1,03
Fürstenwalde	12/1/1959	12/31/2011	21,12	11/1/2005	12/31/2011	0,06

Da für die zu betrachtenden Schleusen der unteren Havel keine Schleusungswassermengen vorliegen, werden für diese Standorte die Schleusungswassermengen annähernd aus den Schleusenabmessungen berechnet. Hierzu werden die Schleusendaten aus der Staubeirats-sitzung 2008/2009 des WSA Brandenburg entnommen. Aus Kammerlänge, und -breite, sowie aus Hubhöhe (Fallhöhe) der einzelnen Schleusen wird das Schleusenvolumen ermittelt (vgl. Tab. 2-4). Um eine gewisse Sicherheit bei der näherungsweisen Ermittlung der Schleusenwassermengen aus dem Schleusenvolumen zu erhalten, wird ein „worst-case-szenario“ von zwei Gesamtschleusungen/Stunde zu Grunde gelegt.

Tabelle 2-4 Übersicht über die näherungsweise ermittelten Schleusungswassermengen der Schleusen in der unteren Havel

Gewässer	Querbauwerk	Länge [m]	Breite [m]	Fallhöhe [m]	Schleusen-volumen [m³]	Schleusungs-wassermenge [m³/s]
Brandenburger Stadtkanal	Stadtschleuse Brandenburg	23,2	5,15	1,18	140,99	0,078
Havel	Vorstadtschleuse Brandenburg (Südkammer)	218	16,85	1,18	4334,49	2,408
Havel	Vorstadtschleuse Brandenburg (Nordkammer)	169,26	12,1	1,18	2416,69	1,343
Havel	Schleuse Bahnitz	219,75	20,00	0,43	1889,85	1,050
Havel	Bootsschleuse Bahnitz	12,00	2,70	0,39	12,64	0,007
Havel	Schleuse Rathenow	219,95	12,70	1,24	3463,77	1,924
Rathenower Stadtkanal	Stadtschleuse Rathenow	73,10	8,53	1,24	772,74	0,429
Havel	Schleuse Grütz	220,75	20,00	0,79	3487,85	1,938
Schleusenkanal Garz	Schleuse Garz	220,75	20,00	0,74	3267,10	1,815
Havel	Kahnschleuse Quitzöbel	22,80	5,30	0,78	94,26	0,052

3 Ermittlung des verfügbaren Wasserdargebots

Die im Folgenden beschriebene Ermittlung des verfügbaren Wasserdargebots war notwendig, um Angaben zu erhalten, ob an den zu betrachtenden Querbauwerksstandorten bzw. Gewässerabschnitten für die entsprechenden „Bemessungsfischarten“ ausreichende Wassermengen gegeben sind.

In Kapitel 5 wird im Rahmen der Defizitanalyse der anlagenbedingte Durchfluss beziehungsweise die Leitströmung mit dem simulierten Durchfluss verglichen. Zur Bewertung der ökologischen Durchgängigkeit der Fischaufstiegsanlagen wird der aus den simulierten Abflüssen ermittelte Q_{30} zum Vergleich herangezogen. Aus diesem Grund ist das Ziel der hier beschriebenen Simulation, die Abflussdauerlinien für alle Vorranggewässer zu ermitteln. Aus diesen lässt sich die Anzahl der Tage pro Jahr ablesen, an denen der Wasserbedarf für die „Bemessungsfischart“ zur Verfügung steht. Zusätzlich wurden die Q_{30} für elf prioritär zu untersuchende Standorte ermittelt.

Bei der Bearbeitung wurde auf das im Auftrag des LUGV durch das BAH erstellte landesweite Wasserbilanzmodell aufgebaut, das unter Nutzung des hydrologischen Modellierungssystems ArcEGMO[®] den Landschaftswasserhaushalt und die Durchflüsse flächendeckend für das Land Brandenburg simuliert.

3.1 Grundlagen

3.1.1 Modellgrundlagen

Das Niederschlag-Abfluss-Modell ArcEGMO (BECKER et. al. 2002, PFÜTZNER 2002) wurde flächendeckend für das Land Brandenburg und angrenzende Gebiete eingesetzt. Es wurde entwickelt, um vorrangig die mittleren, quasi natürlichen Abflussverhältnisse (Abflussspenden) in Brandenburg zu ermitteln. Unter quasi natürlichen Abflüssen werden hierbei die Abflussverhältnisse verstanden, die sich anhand der aktuellen Landnutzungsstruktur ohne Bewirtschaftungsmaßnahmen (Wasserentnahmen, -nutzungen, Überleitungen, Staubewirtschaftung o.ä.) einstellen würden.

Die Basisversion des Brandenburg-Modells wurde 2004 im Auftrag des Landes Brandenburg (Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz) unter Zugrundelegung des Betrachtungszeitraums von 1971-2000 aufgebaut (BAH 2004). Im Jahr 2007 erfolgte eine Aktualisierung, wobei eine Verlängerung des Untersuchungszeitraumes bis 2005 vorgenommen wurde (BAH 2007). Gleichzeitig wurde versucht, Schwachstellen des 2004er Modells, insbesondere die Abbildung der Grundwasserverhältnisse, zu verbessern. Die Modellgrundlage vom Bearbeitungsstand 2007 wurde im Jahr 2011 im Rahmen von Wasserhaushaltsuntersuchungen im Haveleinzugsgebiet im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde genutzt und durch die Einbeziehung der oberen Spree erweitert, so dass nun Grundlagen existierten, die die gesamte Spree inklusive der sächsischen Einzugsgebietsteile oberhalb Sprembergs umfassten (BAH 2011). Im Jahr 2012 wurde die Modellbasis erneut aktualisiert, indem der Simulationszeitraum bis 2010 verlängert und die Modellanpassung insbesondere mit der Berücksichtigung der unterirdischen Einzugsgebiete in vielen Betrachtungsgebieten weiter verbessert wurde (BAH 2012).

Mit dem ArcEGMO-basierten Modell werden auf der Grundlage meteorologischer Eingangsgrößen und unter Berücksichtigung der Gebietseigenschaften der Gebietswasserhaushalt,

Abflusskomponenten und der Gewässerabfluss simuliert. Zur physikalisch fundierten Berücksichtigung der flächenhaften Heterogenität hydrologisch relevanter Gebietseigenschaften (Landnutzung, Boden, Gefälle) wird das Einzugsgebiet entsprechend dem Gewässernetz und den zu untersuchenden Abflussquerschnitten in Teileinzugsgebiete untergliedert. Diese meist sehr kleinen, weitgehend natürlichen Teilgebiete (im Mittel ca. 1 bis max. 10 km²) werden weiter in Teilflächen unterteilt, die hinsichtlich der Hauptflächennutzungen (Wald, Freiland, Bebauung) und der Böden (Bodentypen mit charakteristisch unterschiedlichem Infiltrationsverhalten - K_r-Wert, Staubeinflussung) weitgehend homogen sind.

Für die Beschreibung der Abflussbildung, die entscheidend den Gebietswasserhaushalt prägt und den Abfluss in eine oberflächlich oder oberflächennah abfließende Komponente und eine Grundwasserkomponente (Direkt- und Basisabfluss) aufteilt, sind die hydrologischen Teilprozesse Interzeption, Infiltration und Bodenwasserhaushalt zu simulieren. Entscheidend hierbei ist, die Infiltration richtig zu erfassen, da der nicht infiltrierende Niederschlagsanteil, der sogenannte Effektivniederschlag, in Abhängigkeit von den Gefälleverhältnissen zum Abfluss kommen kann. Zur Beschreibung der Infiltration wird ein modifizierter HOLTON-Ansatz angewendet, bei dem die Ermittlung des Effektivniederschlages in Abhängigkeit von der hydraulischen Leitfähigkeit des anstehenden Bodens und der aktuellen Bodenfeuchte erfolgt.

Bei der Konzentration des Landoberflächenabflusses zum Vorfluter wird die kinematische Welle angewendet. Dieser Ansatz beschreibt die Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der aktuellen Effektivniederschlagshöhe, dem Geländegefälle und der Oberflächenrauheit (abhängig von der Flächennutzung).

Die Abflusskonzentration im Vorfluter selbst erfolgt über hydrologische Ansätze (Speicher-kaskaden; Kalinin-Miljukov-Verfahren, s. ROSEMAN & VEDRAL 1970), die je nach Datenverfügbarkeit angewendet und unterschiedlich parametrisiert werden können.

Für reine Abflussbetrachtungen, insbesondere in größeren Gebieten mit der Möglichkeit, über Pegelmessreihen eine Modellkalibrierung vorzunehmen, haben sich Speicheransätze bewährt. Diese werden u.a. über die Länge und das Gefälle des Vorfluters als maßgebende und leicht aus GIS-Daten ableitbare Eigenschaften für die sich ausbildende Abflussdynamik parametrisiert.

Für die in diesem Projekt notwendige Berücksichtigung von Nutzungsinformationen wurden zwei Schnittstellen zwischen ArcEGMO und den verfügbaren Nutzungsdaten erstellt. Die erste gestattet den direkten Import der Daten des Regionalbereichs West. Damit ist eine optimale Berücksichtigung des Informationsgehaltes der Datenbasis gegeben, weil die Nutzungen entsprechend ihrer Raumkoordinaten den nächstliegenden Gewässerabschnitten bzw. Teileinzugsgebieten zugeordnet werden und die zeitliche Auflösung (Monatswerte) ebenfalls berücksichtigt wird.

Für die anderen Regionalbereiche wäre die Bereitstellung ebenfalls in dem Format des Regionalbereichs West anzustreben. Da dies für die Bearbeitung dieses Projektes nicht ermöglicht werden konnte, wurde eine zweite Schnittstelle erstellt, welche die Verarbeitung der auf Bilanzgebiete von WBALMO bezogenen Nutzungsdaten des Regionalbereichs Süd direkt in ArcEGMO gestattet.

3.1.2 Datengrundlagen

Die folgenden raumbezogenen Daten bildeten die Grundlage für die weitestgehend GIS-gestützte hydrologische Modellierung:

- Höhenmodell
- Bodeninformationen
- Flächennutzung
- Teilgebietsgrenzen
- Gewässersystem
- relevante Bauwerke im Gewässer wie Talsperren, Speicher, u.U. Wehre etc., sofern die hydrologisch/hydraulisch relevanten Kennwerte bisher bereitgestellt werden konnten
- hydrologische Daten (Stationsstammdaten + Tageswertzeitreihen) (s. Anlage 1)
- meteorologische Daten (Stationsstammdaten + Tageswertzeitreihen)
- Wassernutzungen für Berlin sowie für die brandenburgischen Regionalbereiche West und Süd

Verwendet wurden die in Tabelle 3-1 aufgeführten GIS-Datenbestände. Im Folgenden werden die wesentlichen Komponenten sowie die meteorologischen Datengrundlagen beschrieben. Aufgrund der Notwendigkeit, die Randbedingungen, die im Modell berücksichtigten Bewirtschaftungen und Nutzungsdaten möglichst umfassend zu dokumentieren, um eine Grundlage für die spätere Ergebnisinterpretation zu schaffen, wird darauf in eigenen Unterkapiteln eingegangen.

Tabelle 3-1: Verwendete Datengrundlagen (Quellenangaben siehe Anlage 3)

Datenart/-typ	Brandenburg	Berlin	Sachsen	Tschechien	Sachsen-Anhalt	Mecklenburg-Vorpommern
Höhenmodell	DGM25			SRTM		
Boden	BÜK300		BÜK200 SN	BÜK1000 („extrapoliert“)	BÜK200	BÜK1000
Landnutzung	CIR BB	UIS BE	CIR SN	CORINE 2000	CIR ST	CIR MV
Hydrogeologie	Hyka97		-	-	-	-
Gewässernetz	Gewnet25		auf DLM25 bis DML1000 basierte Datenbestände, die von den jeweiligen Landesämtern aufbereitet wurden			
Einzugsgebiete	Ezg25					

Tabelle 3-2: Datenquellen und weitere Unterlagen

Datenart (zitiert als)	Kurzbeschreibung und Quelle
BÜK200 ST	Bodenkundliche Übersichtskarte M 1:200.000; Datenbereitstellung durch Landesamtes für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt
BÜK200 SN	Bodenkundliche Übersichtskarte M 1:200.000; Datenbereitstellung durch Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Az: 23-281.4/4
BÜK300	Bodenkundliche Übersichtskarte M 1:300.000 des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe (LBGR Brandenburg), NV 09/2004
BÜK1000	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dienstbereich Berlin, Az: B 4.24-Fa
CIR MV	LINFOS M-V (Biotop- und Nutzungstypen), Datenbereitstellung durch Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie, Az: 201-5315.1
CIR BB	Daten zur Umweltsituation im Land Brandenburg, GK4, Ausgabe 2/2003, Bereitstellung durch LUGV Brandenburg
CIR SN	Color-Infrarot-(CIR)-Biotoptypen- und Landnutzungskartierung; Datenbereitstellung durch Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie, Az: 23-281.4/4
CORINE 2000	Bereitstellung durch LUGV Brandenburg
DGM25	© Geobasis-DE/LGB
Diverse Pegelreihen	Bereitstellung durch LUGV Brandenburg und WSA (s. Anlage 1)
DWD	Bereitstellung von Klimadaten des DWD über LUGV Brandenburg
Fließgewässernetze, Einzugsgebiete	Datenbereitstellung durch die zuständigen Landesämter in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern
Absenktrichter	bereitgestellt durch LUGV, RB Cottbus
GTOPO30	Global Digital Elevation Model (GTOPO30) represents gridded 30 arc seconds (+- 1 Km) elevation for the world. U.S. Geological Survey, EROS Data Center Distributed Active Archive Center (EDC DAAC)

Datenart (zitiert als)	Kurzbeschreibung und Quelle
Gewnet25	Version 3.1, Bereitstellung durch LUGV Brandenburg
TK10	Topografische Karten 1:10 000 im ETRS89-Koordinatensystem, Herausgeber Landesvermessungsamt (LVermA) Brandenburg, Stand 1992, Bereitstellung durch LUGV Brandenburg
Hydrogeologische Karten	Hyka97, GW-Isohypsen der Vorratsprognose und Karte der Grundwasserleiterkomplexe I und II in Brandenburg: Bereitstellung durch LUGV Brandenburg
Klimadaten PIK	Bereitstellung durch LUGV Brandenburg
SRTM	Download über http://earthexplorer.usgs.gov/ verfügbar
UIS BE	Umweltinformationssystem des Landes Berlin, Datenbereitstellung über SenStadt IX B 22, Übergabe am 13.01.2004
Seen BRB	Seen im Land Brandenburg Stand Version 3.1, Download über http://www.mugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.310481.de Seen im Land Brandenburg (seen25)
REGNIE und HYRAS	Die regionalisierten Niederschlagsdaten REGNIE des DWD und die HYRAS-Daten wurden im Rahmen eines Kooperationsvertrages dem LUGV durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde bereitgestellt.

Das Gewässernetz umfasst derzeit insgesamt ca. 52 000 Abschnitte (davon ca. 4 600 in der oberen Spree) (Abbildung 3-1).

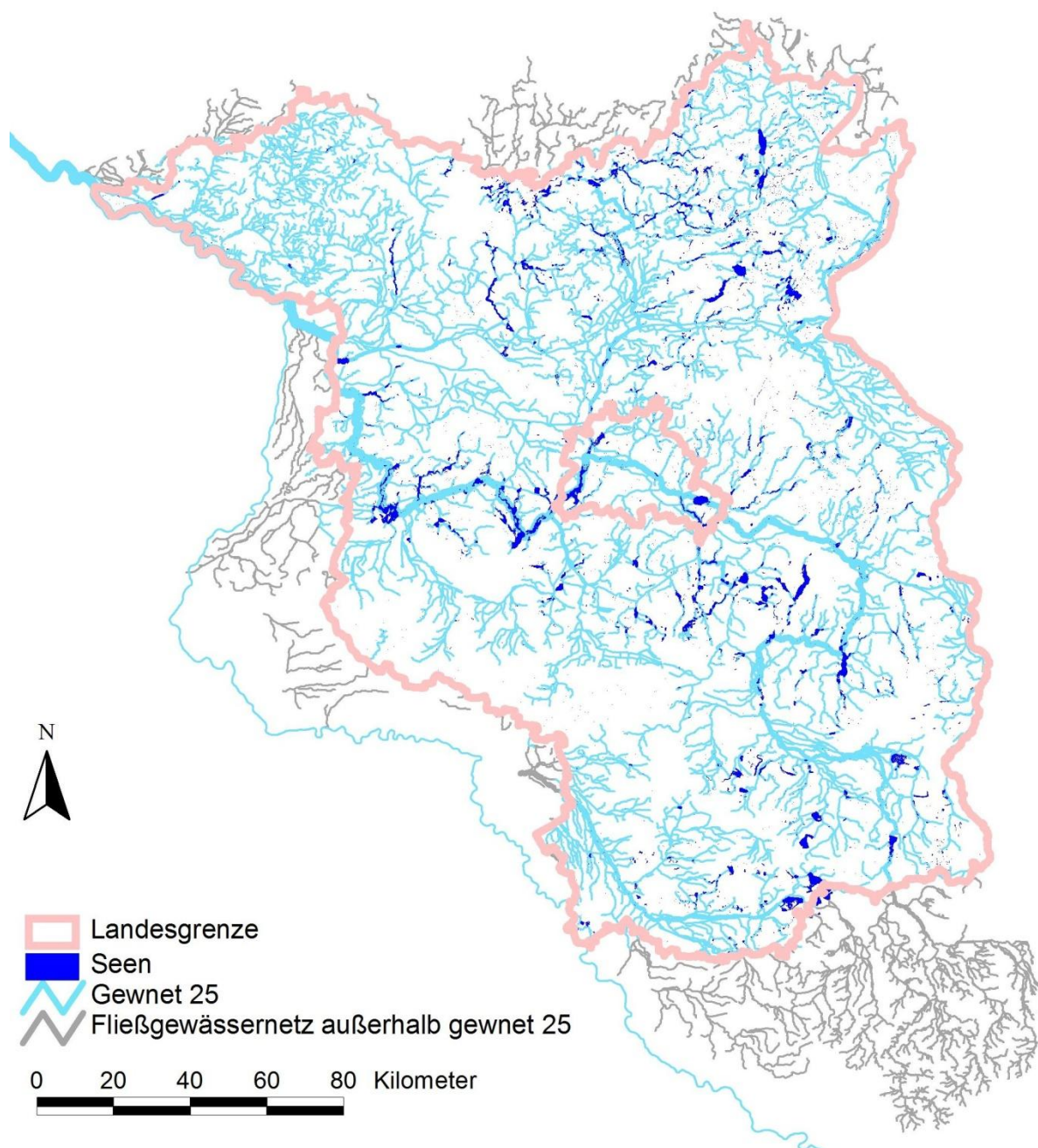


Abbildung 3-1: Fließgewässernetz und Seen

Insgesamt beinhaltet der Datenbestand ca. 7000 oberirdische Teileinzugsgebiete (Abbildung 3-2). Das Gewässernetz und die Teileinzugsgebiete wurden für das Untersuchungsgebiet aus verschiedenen Teildatenbeständen zusammengesetzt und GIS-technisch so aufbereitet, dass programmintern eine eindeutige Abarbeitungshierarchie ermittelt werden kann, mit der das Modell die Abflusskonzentration von den Quellen bis zu den Gebietsauslässen abbilden kann.

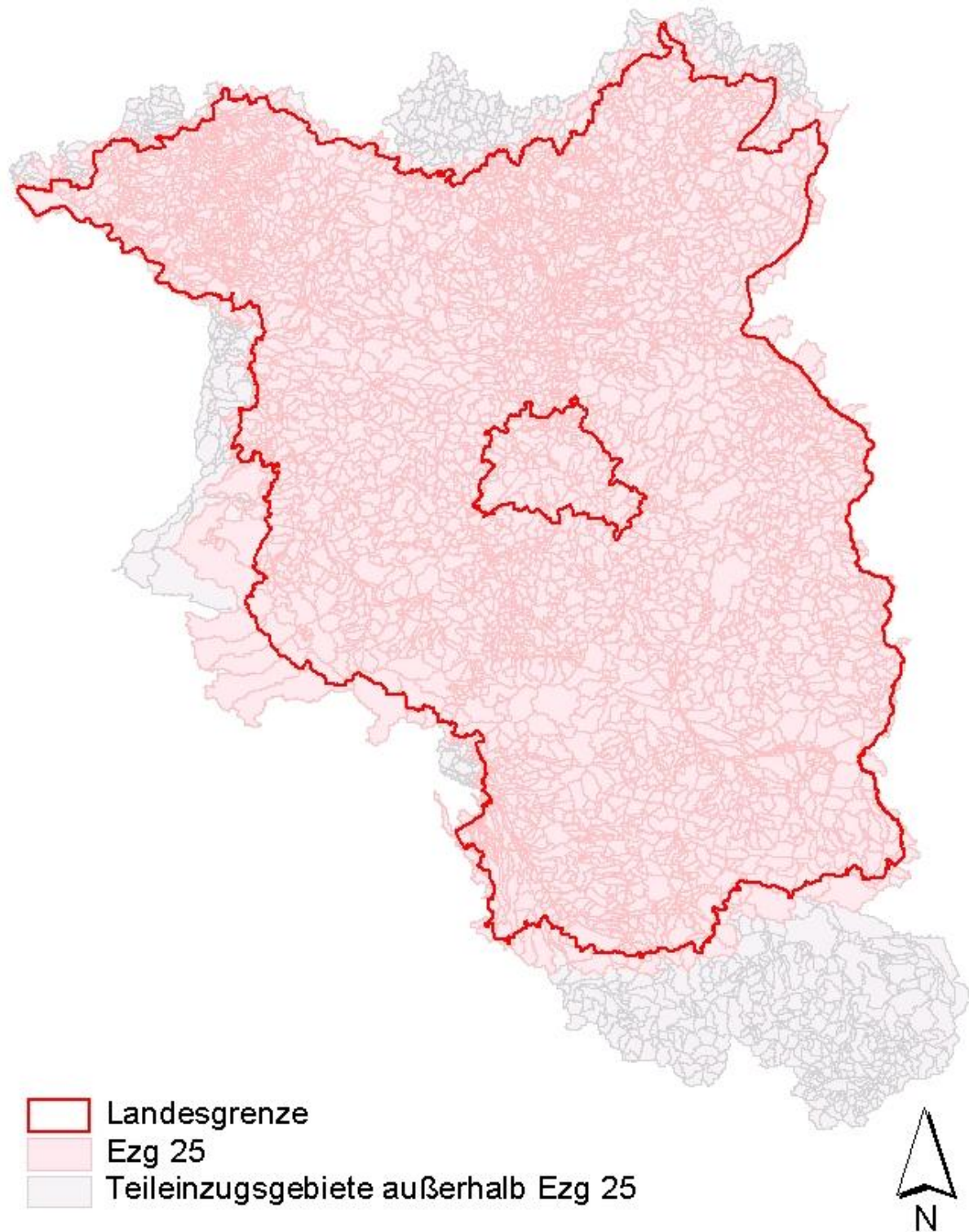


Abbildung 3-2: Teilgebietsgliederung in und außerhalb von Brandenburg

Als meteorologische Eingangsgrößen für die Abflussmodellierung wurden neben dem Niederschlag Klimagrößen zur Berechnung der potentiellen Verdunstung verwendet. Dazu diente ein durch das Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) erstellter Datensatz, der für eine Reihe wesentlicher Niederschlagsstationen weitere Klimadaten wie relative Luftfeuchte, Lufttemperatur und Sonnenscheindauer/Globalstrahlung enthielt, die über räumliche Interpolationen abgeleitet wurden.

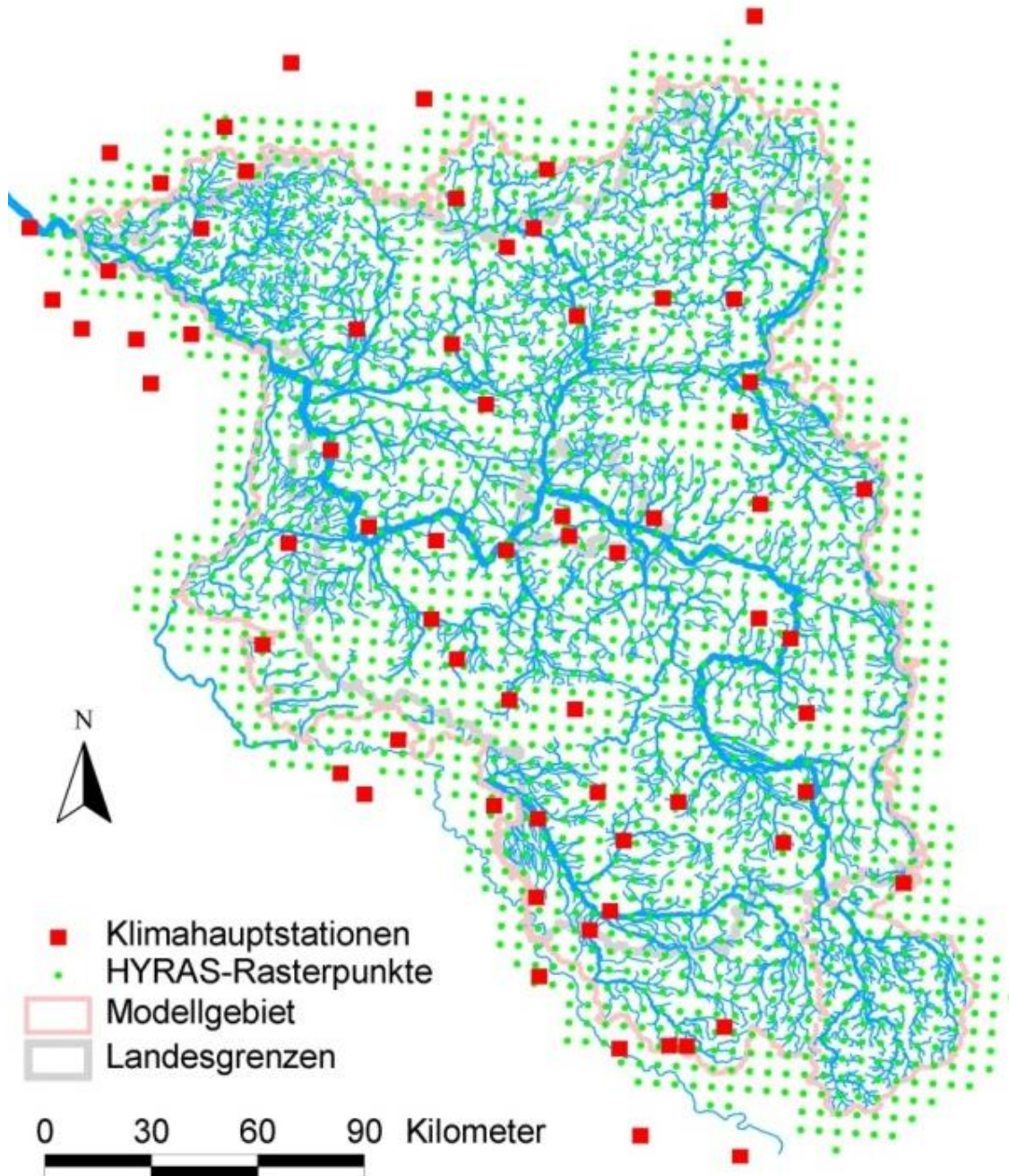


Abbildung 3-3: Klimadatenbasis

Als Ersatz für die bisherigen stationsbezogenen Niederschlagsreihen wurde auf rasterbezogene Reihen mit regionalisierten Niederschlagsdaten im 5 km-Raster zurückgegriffen (Produkt REGNIE des DWD bzw. HYRAS-Datensatz des KLIWAS-Projektes der BfG) (HYRAS: Erstellung hydrologisch relevanter Raster- und Gitterpunktdatensätze für internationale Flussgebiete mit deutschem Gebietsanteil (ohne Oder und Maas, Donau teilweise) auf der

Basis qualitätsbewerteter meteorologischer Beobachtungsdaten. Zugang über die Bundesanstalt für Gewässerkunde. Jede Rasterzelle bedeckt eine Fläche von ca. 25 km²). Zur Verarbeitung der gemischten Daten (HYRAS für REGNIE-Daten und Stationsformat für Klimastationen) (Abbildung 3-3) wurden umfangreiche Programmiererweiterungen in ArcEGMO vorgenommen.

3.1.3 Randbedingungen und Bewirtschaftung

In dem genutzten Modell sind niedrigwasserrelevante Durchflusssteuerungen als Funktion der Bauwerke (Mindestabgaben der Talsperren und Speicher) erfasst oder in den regelbasierten Durchflussaufteilungen enthalten. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Nutzung von Zeitreihen (z. B. Pegelreihen), die als Einleitungen oder Entnahmen ins Modell integriert wurden, um Randbedingungen (Zuflüsse aus der Müritz, die nicht im Modellgebiet liegt) oder nicht regelbasiert abbildbare Durchflusssteuerungen (Oder-Spree-Kanal) berücksichtigen zu können. In Abbildung 3-4 sind wesentliche dieser Systemelemente dargestellt.

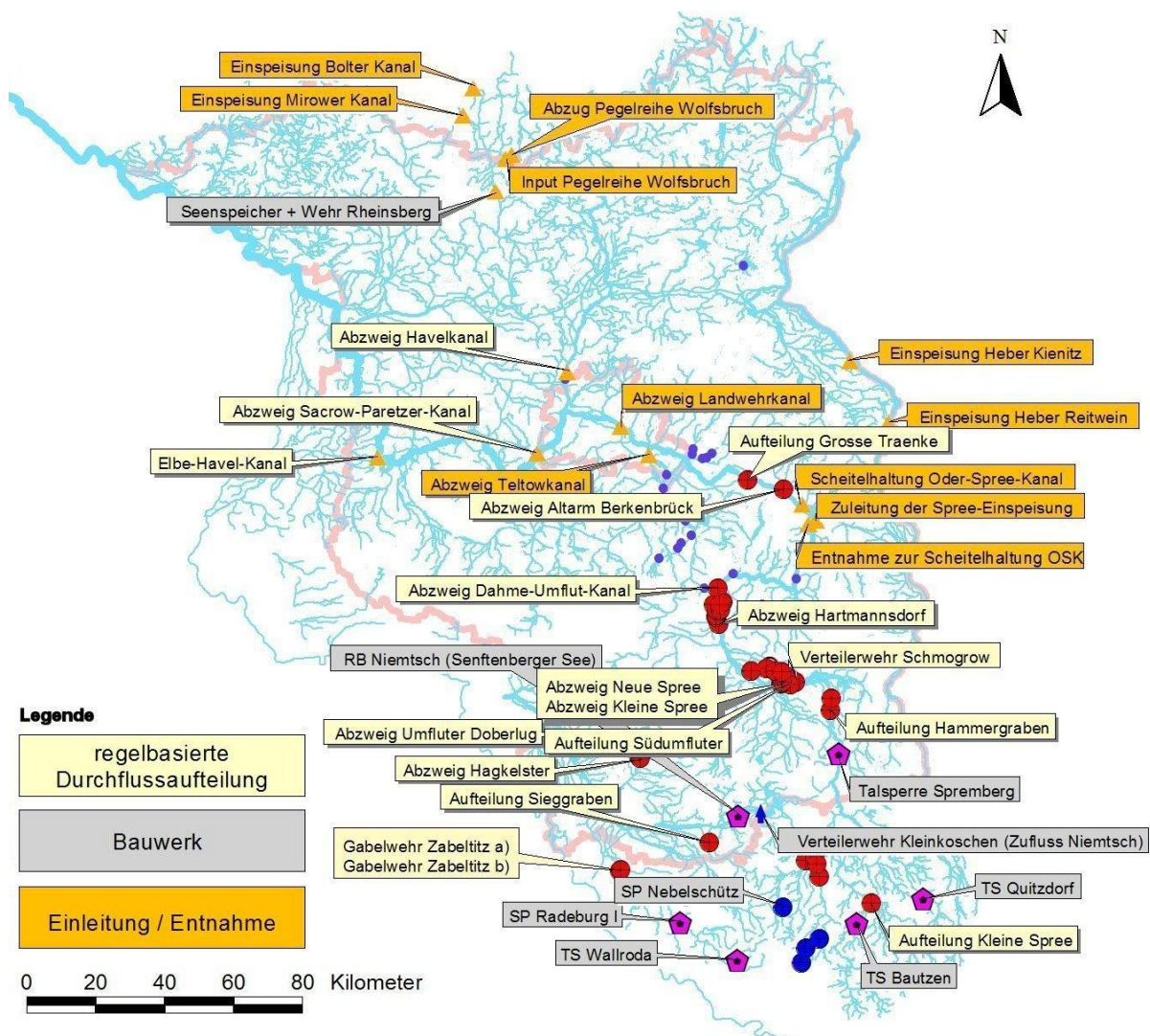


Abbildung 3-4: Wesentliche Bauwerke, Durchflussaufteilungen, Einspeisungen und Überleitungen

Um die obere Spree im Modell zu berücksichtigen, wurde der Pegel Spremberg eingespeist. Zur Abbildung der Bereiche, die außerhalb des Modellgebietes lagen, sowie zur Berücksichtigung der Überleitung aus dem Havel- in das Rhin-Einzugsgebiet an der Schleuse Wolfsbruch wurden folgende Ein- bzw. Überleitungen in das Modell eingebaut (Abbildung 3-5):

- Über den Bolter Kanal wurde anhand der Messreihe am Pegel Bolt OP ein mittlerer Zufluss von $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (1991 bis 2010) aus dem Müritz- in das Havelgebiet überführt. Dies entspricht einem Anteil von 12,5 % des MQ am Pegel Bredereiche OP (MQ = $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Über den Mirower Kanal wurde anhand der Messreihe am Pegel Mirow OP ein mittlerer Zufluss von $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (1991 bis 2010) aus dem Müritz- in das Havelgebiet überführt. Dies entspricht einem Anteil von 17,9 % des MQ am Pegel Bredereiche OP.
- Aus der Müritz-Havel-Wasserstraße (MQ ca. $2,75 \text{ m}^3/\text{s}$ im Zeitraum 1991-2010) wurde die gemessene Abflussmenge der Zeitreihe von Wolfsbruch Schleuse UP (im Mittel etwa $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$; d.h. ca. 8 % der vorhandenen Menge) ins Rhin-Einzugsgebiet (Hüttenkanal) übergeleitet. Damit verbleiben unterhalb der Abzweigung etwa $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ im oberen Havel-einzugsgebiet.



Abbildung 3-5: Überleitung aus dem Havel- ins Rhin-Einzugsgebiet

Die Scheitelhaltung am Oder-Spree-Kanal über das Pumpwerk Neuhaus und die Schleuse Kersdorf wurde nach FINKE et al. (2002) realisiert. Die Abflussdaten für das Pumpwerk Neuhaus und für Kersdorf OP sowie die Schleusenwassermengen für Neuhaus wurden vom Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin zur Verfügung gestellt. Zuflussabhängige Aufteilungsregeln wurden u.a. am Abzweig Sacrow-Paretzer-Kanal (s. Abbildung 3-7), am Abzweig Havel-Kanal (feste Abgabe von 1 m³/s gemäß LUGV), am Abzweig Dahme-Umflut-Kanal, am Abzweig Oder-Spree-Kanal (Wehr Große Tränke, s. Abbildung 3-6) sowie an den Wehren Schmogrow und Hartmannsdorf angesetzt.

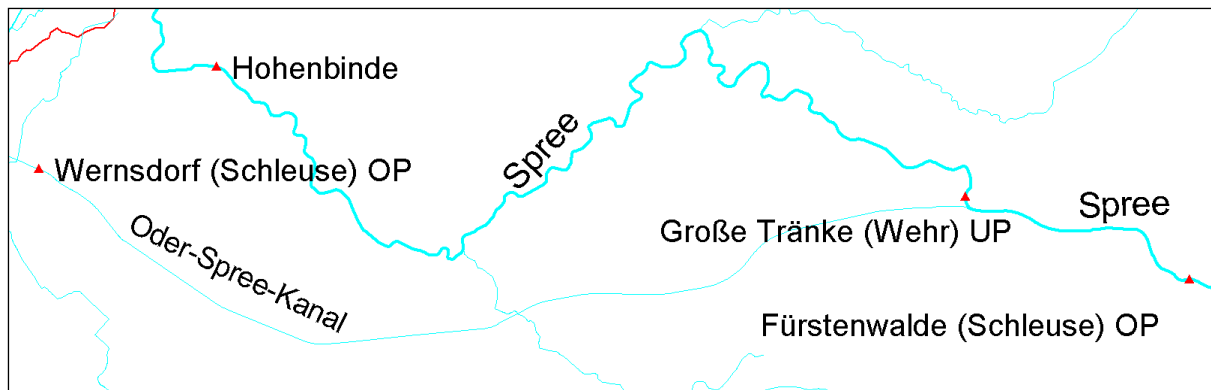


Abbildung 3-6: Modellinterne Umsetzung der Aufteilung der Spree in den Oder-Spree-Kanal

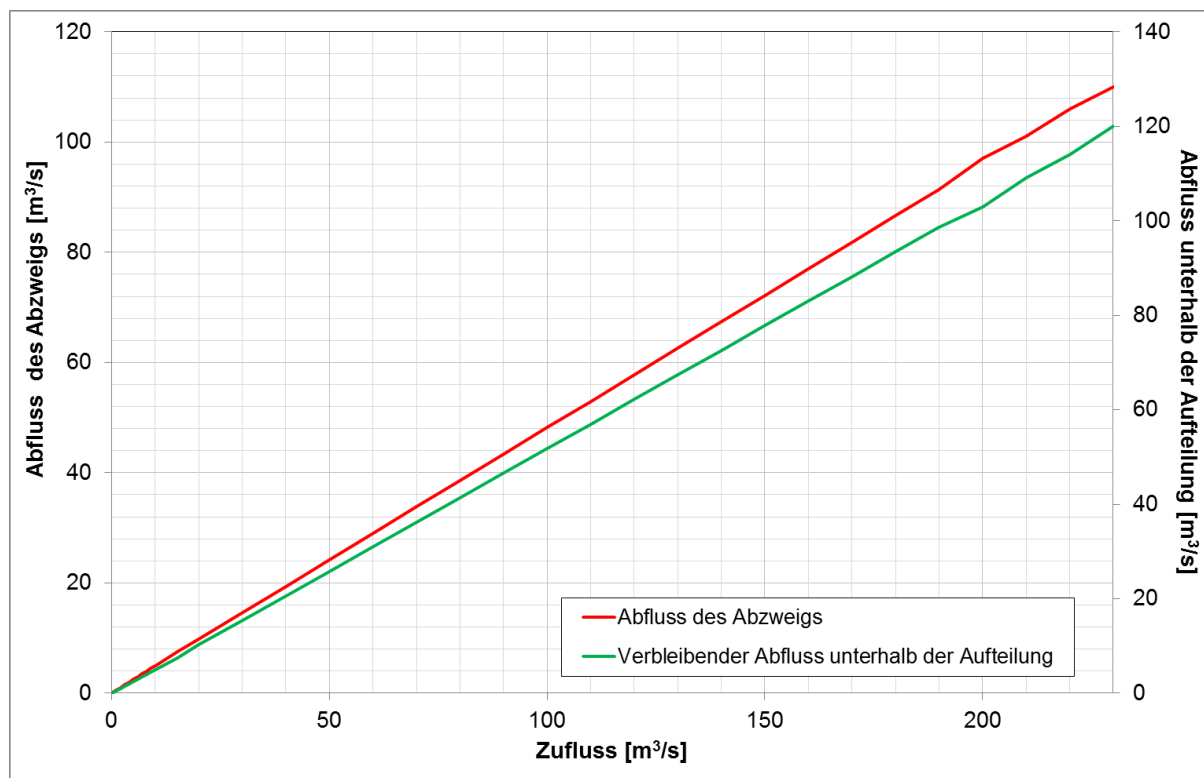


Abbildung 3-7: Zuflussabhängige Aufteilungsregel für den Abschlag der Havel in den Sacrow-Paretzer-Kanal

Das vielfach aufgeteilte Gewässernetz im oberen und im unteren Spreewald wurde mit Hilfe von Aufteilungsregeln an den Verzweigungen erfasst. Auf die für die Ergebnisse bedeutenden Aufteilungen wird im Ergebniskapitel 3.3 näher eingegangen.

Für eine bessere Abbildung der Abflusssituation an der Berliner Spree wurde innerhalb dieser Bearbeitung zusätzlich der Abschlag in den Teltowkanal in das Modell integriert. Dabei wurde die im Teltowkanal gemessene Reihe am Pegel Kleinmachnow Schleuse OP (Abflussdaten zur Verfügung gestellt vom Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin) um die oberhalb stattfindenden Bewirtschaftungsmengen (Sommereinleitung des Klärwerks Ruhleben, 70% der Einleitung des Klärwerks Waßmannsdorf) bereinigt und unterhalb des Abzweigs der Dahme in den Teltowkanal eingespeist. Das Klärwerk Waßmannsdorf leitet auch Wasser aus dem Umland ein. Daher wurden die ursprünglich im Berliner Wasserversorgungskonzept vorgefundenen Mengen um geschätzte 30% reduziert, um die Bilanz innerhalb Berlins nicht zu verfälschen. Diese 30%ige Reduktion wurde angesetzt, da sich bei der Bilanzierung sämtlicher recherchierte Nutzungseinflüsse ein Bilanzüberschuss von $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 30% ergibt. Dieser Überschuss bedeutet, dass das von den Klärwerken eingeleitete Wasser nur ca. 70% direkt aus Berlin stammt (telefonische Bestätigung erfolgte durch Dr. K. Möller, Autor des Versorgungskonzeptes, s. MÖLLER & BURGSCHWEIGER 2008). Da in den übergebenen Nutzungsdaten die Grundwasserentnahmen nur für einen Teil des Umlandes enthalten sind, wurde die genannte 30%ige Reduktion angesetzt, um Doppelbilanzierungen zu vermeiden. Auf die Überleitung in die Nuthe wurde verzichtet, da diese Menge mit 700 l/s angesichts der Unsicherheit aufgrund der groben Bilanzschätzung zu vernachlässigen ist.

In der Dahme wurde unterhalb des Abzweigs des Teltowkanals die nutzungsbereinigte Zeitreihe des Pegels Kleinmachnow (Pegelreihe abzgl. Klärwerkseinleitungen in den Teltowkanal) vom simulierten Abfluss abgezogen (Abbildung 3-8).

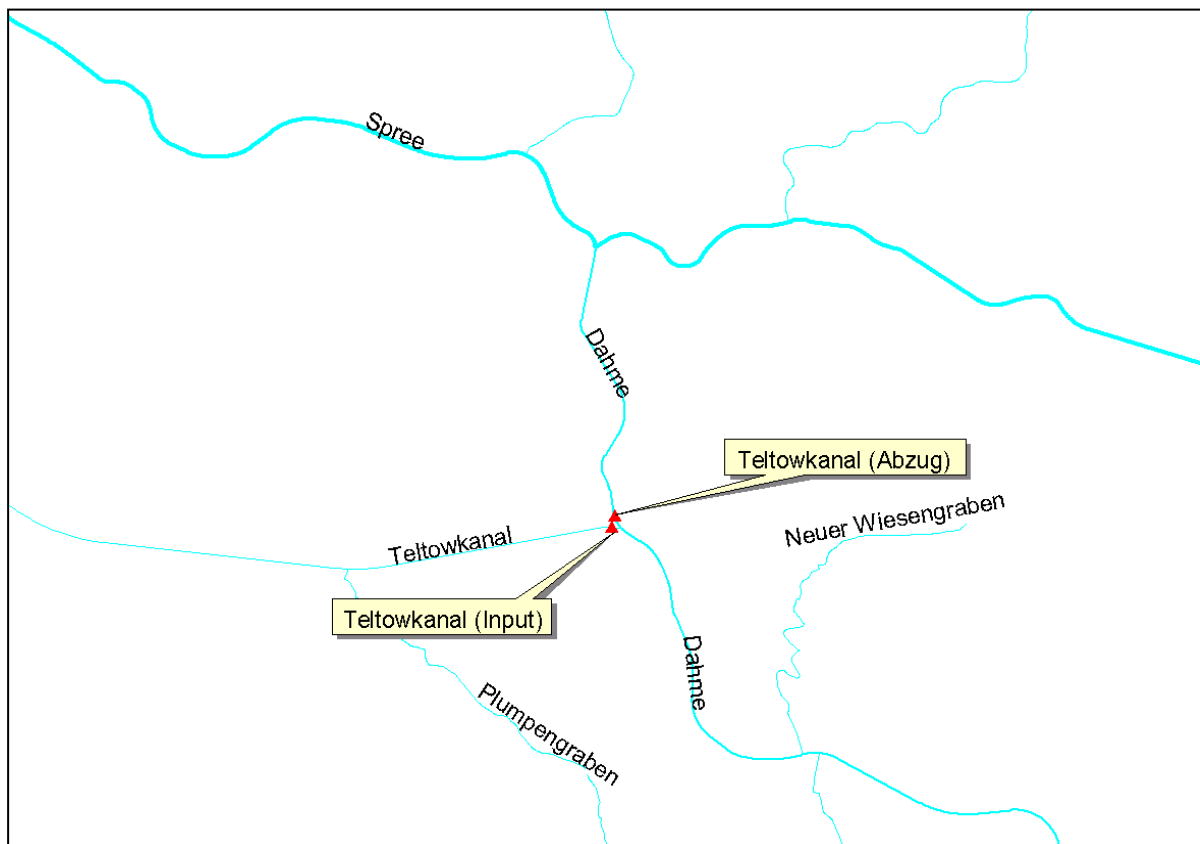


Abbildung 3-8: Modellinterne Abbildung der Aufteilung der Aufteilung der Dahme in den Teltowkanal

Da sich viele der elf prioritären Standorte unterhalb der Einmündung des Elbe-Havel-Kanals befinden, musste dieser bei der Modellierung berücksichtigt werden. Am Pegel Kade im Elbe-Havel-Kanal wurde von 1995 bis 2010 ein MQ von $7,9 \text{ m}^3/\text{s}$ gemessen. Davon sind ca. $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ Eigengebietsdargebot, so dass davon auszugehen ist, dass eine Speisung von ca. $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$ aus der Elbe den Abfluss in der unteren Havel erhöht.

Für die Integration in das Modell wurde die Pegelreihe von Kade (zur Verfügung gestellt vom Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin) eingespeist, die jedoch erst im Jahr 1994 beginnt. Für den Zeitraum davor wurde eine synthetische Reihe erzeugt. Als Ausgangspunkt dafür wurde die simulierte Zeitreihe am Auslass des Elbe-Havel-Kanals verwendet, die den Eigengebietsabfluss des Elbe-Havel-Kanals repräsentiert. Diese wurde so korrigiert, dass die Abweichungen der mittleren Monatswerte für den Zeitraum 1995-2010 im Vergleich zum Pegel Kade minimiert wurden. Zusätzlich wurde die Annahme getroffen, dass mindestens $5,26 \text{ m}^3/\text{s}$ in die Havel übergeleitet werden. Diese Information wurde dem Planfeststellungsbeschluss der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost für den Ausbau des Elbe-Havel-Kanals vom 19.05.2004 entnommen, wo es auf Seite 96 hinsichtlich des Wasserzuflusses aus dem Elbe-Havel-Kanal in die Untere-Havel-Wasserstraße heißt: „Der Status quo wurde vom Land Brandenburg im Januar 2001 mit $5,26 \text{ m}^3/\text{s}$ im Mittel im Sommerhalbjahr bei einem Mindestabfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ definiert.“

Weiterhin wurde der für den Standort Mühlendamm relevante Abschlag in den Landwehrkanal unter Verwendung der Pegelreihe Berlin Unterschleuse OP im Modell berücksichtigt und vom Spreezufluss entsprechend abgezogen (Abbildung 3-9). Die Abflussdaten für den Pegel Berlin Unterschleuse OP wurden vom Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin zur Verfügung gestellt.

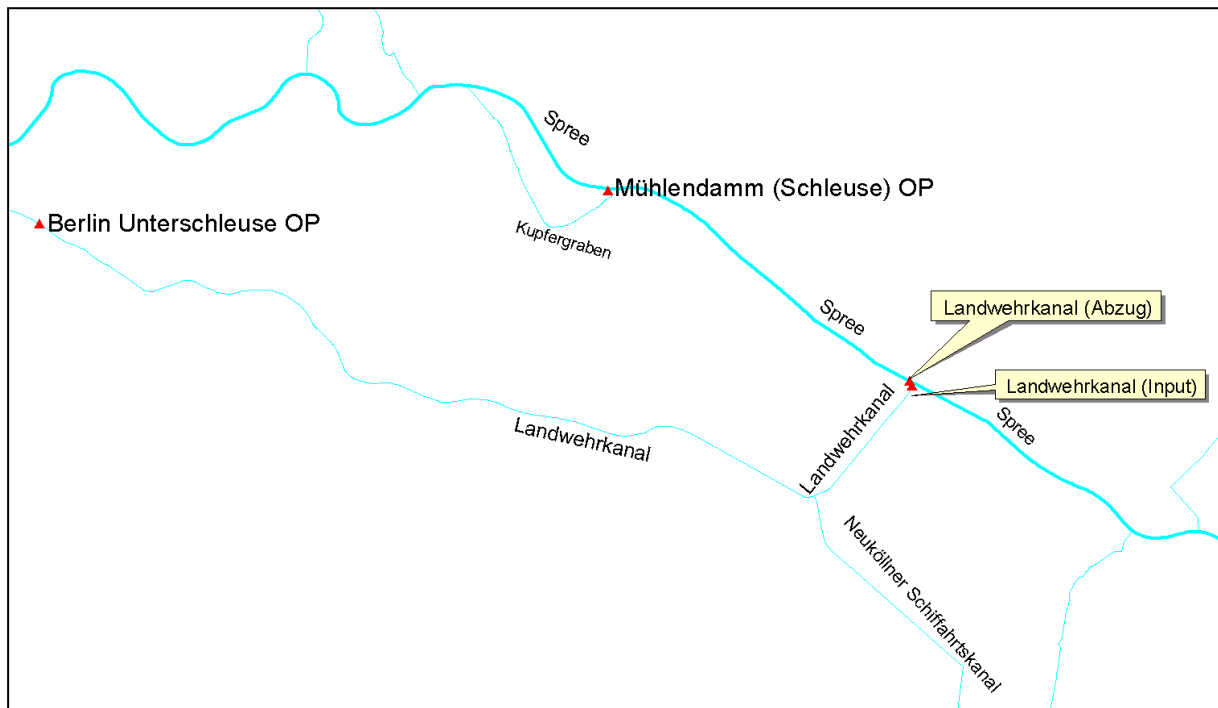


Abbildung 3-9: Modellinterne Abbildung der Aufteilung der Spree in den Landwehrkanal

3.1.4 Nutzungsdaten

Hinsichtlich der Nutzungsdaten konnte auf die im Folgenden aufgelisteten Datengrundlagen zurückgegriffen werden.

Regionalbereich West (untere und obere Havel, Stepenitz etc.) bereitgestellt durch das LUGV:

- für insgesamt ca. 1 700 Nutzer (mittlere Monatswerte)
- so verortet und klassifiziert, dass sie GIS-gestützt einzelnen Querschnitten zuordenbar sind
- stellen die derzeit aktiven Nutzungsrechte dar, so dass für die Zukunft davon ausgegangen werden muss, dass diese Rechte weiter gelten

Regionalbereich Süd (Spree und Schwarze Elster) bereitgestellt durch das LUGV:

- Datenbasis existiert innerhalb des Modells WBALMO (mittlere Monatswerte) innerhalb der Brandenburger Landesgrenzen
- Nutzungen für 24 (2x12) Bilanzquerschnitte für die derzeitigen Verhältnisse (entsprechen dem derzeitigen Zeithorizont 2008-2012) und die künftigen Verhältnisse (Prognosehorizont 2020)

Regionalbereich Ost (vor allem Oder und Neiße etc.):

- keine digitalen und verorteten und damit verwendbaren Nutzungsdaten bereitgestellt

Berlin:

- Wasserwerksentnahmen (Jahresmittel für 2000-2006) (Möller & Burgschweiger 2008)
- Klärwerkseinleitungen (Jahresmittel für 2003) (sbd.)
- Kühlwasserentnahmen/-Einleitungen der Heizkraftwerke (Monatsmittelwerte, die aus den verfügbaren Tageswerten 01.01.2001-30.06.2011 abgeleitet wurden) (vom Betreiber Vattenfall zur Verfügung gestellt)

Die folgenden beiden Abbildungen bieten einen Überblick über die verfügbare Datenbasis. Es wird deutlich, dass diese hinsichtlich ihrer räumlichen Auflösung sehr heterogen ist. So ist der Datenbestand für die Havel hoch aufgelöst, für die Spree und die Schwarze Elster jedoch als sehr grob zu bezeichnen. Zusätzlich ist anzumerken, dass für die Dahme, für die restlichen Spreezuflüsse nach Berlin sowie für den Regionalbereich Ost gar keine Nutzungsdaten vorlagen.

Auch hinsichtlich der zeitlichen Auflösung ist die Datenbasis sehr heterogen. So beziehen sich die mittleren Monatswerte des Regionalbereichs West auf den derzeitigen Zustand. Für den Regionalbereich Süd liegen ebenfalls nur mittlere Monatswerte vor, die sich auf den Zeithorizont 2008-2012 beziehen.

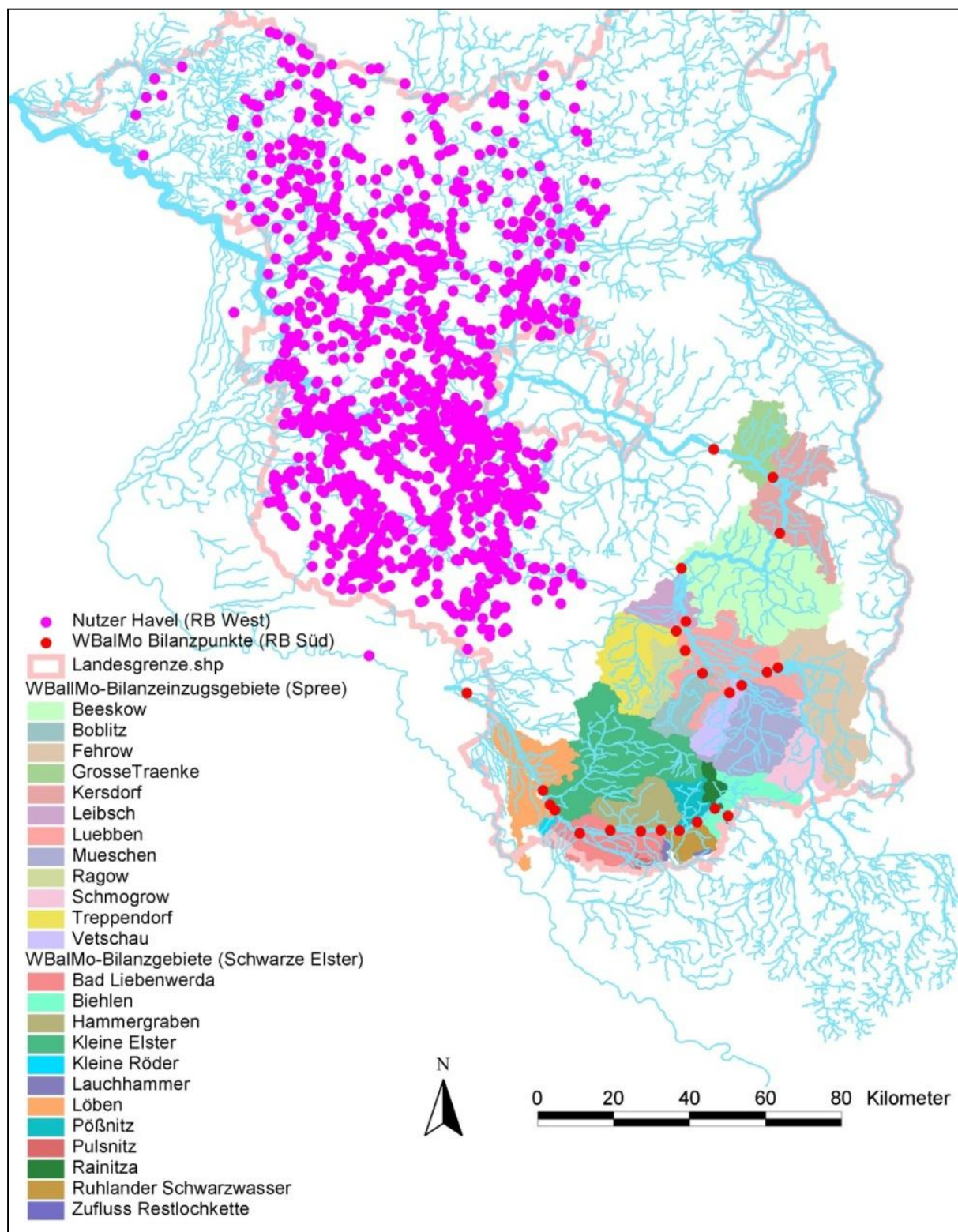


Abbildung 3-10: Übersicht der verfügbaren im Modell integrierten Brandenburger Nutzungsdaten

Für Berlin konnten hingegen nur mittlere Jahreswerte verarbeitet werden, wobei sich die Klärwerkseinleitungen auf das Jahr 2003, die Wasserwerksentnahmen auf den Zeitraum 2000-2006 und die Nutzungen der Heizkraftwerke auf den Zeitraum 2001-2011 beziehen. In Abbildung 3-11 sind die Mengen für alle im Modell berücksichtigten Nutzungen enthalten. Bei den Heizkraftwerken wurden in der Abbildung zur besseren Übersichtlichkeit nur die Mengen eingetragen, die mehr als 50 l/s betragen. Im Modell sind jedoch für alle aufgeführten Kraftwerke die Mengen berücksichtigt.

Da die meisten Klärwerke auch Wasser aus dem Umland einleiten, wurden die ursprünglich im Berliner Wasserversorgungskonzept vorgefundenen Mengen um geschätzte 30% reduziert, um die Bilanz innerhalb Berlins nicht zu verfälschen. Die Wasserwerke Johannisthal und Jungfernheide sowie das Klärwerk Falkenberg wurden im Modell nicht berücksichtigt, da diese 2002/2003 stillgelegt wurden beziehungsweise nur noch zur Grundwasserhaltung verwendet werden.

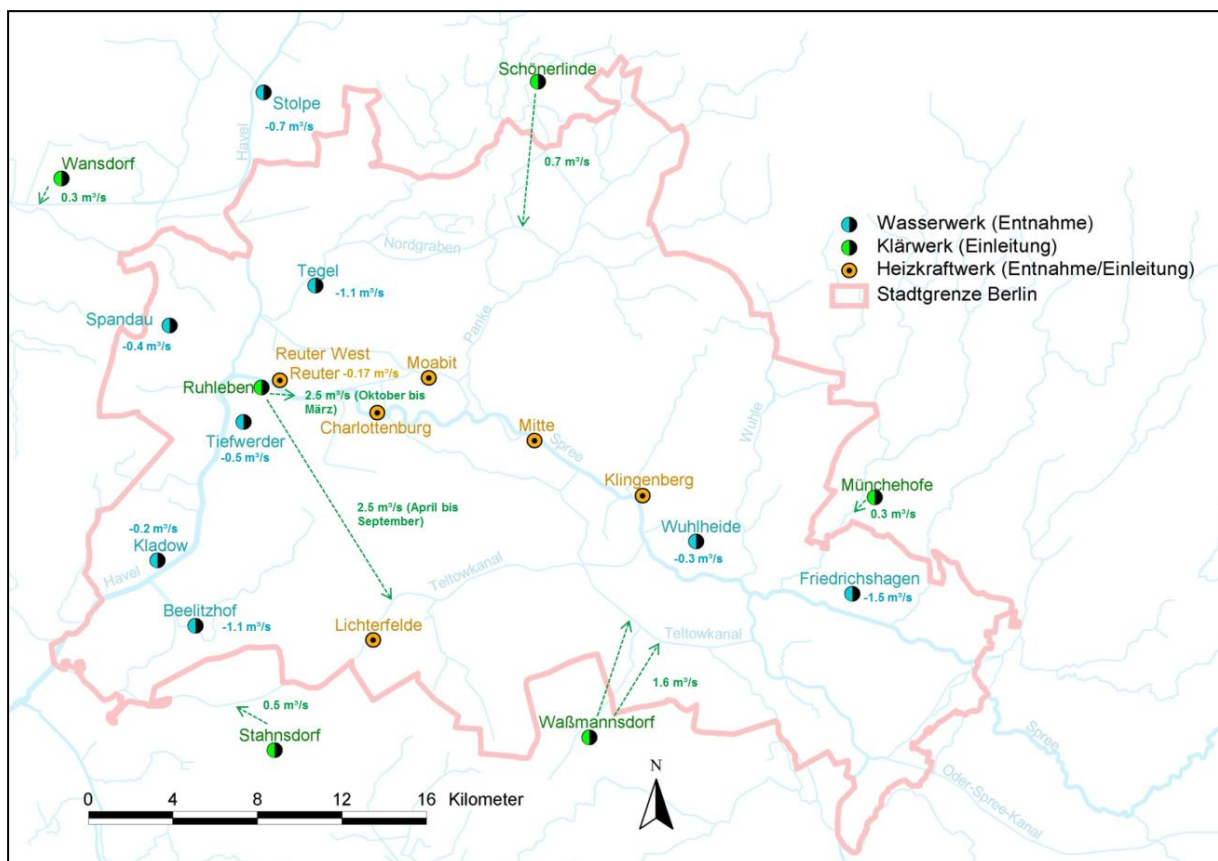


Abbildung 3-11: Übersicht der im Modell integrierten Berliner Nutzungsdaten unter Verwendung des Berliner Wasserversorgungskonzepts (Möller & Burgschweiger 2008)

Im Modell wurde bisher in den (ehemaligen) Bergbaugebieten der Spree und der Schwarzen Elster das natürliche Dargebot ermittelt. Tatsächlich waren diese Gebiete in Zeiten der Grundwasserhebungen jedoch nur indirekt an die Fließgewässer angeschlossen. Die Grundwasserneubildung des Gebietes wurde mit Teilen des statischen Dargebots zusammen den Vorflutern als Sumpfungswasser zugeführt. Seit der Stilllegung wird die Grundwasserneubildung aufgrund der Absenkrichter nicht mehr abflusswirksam.

Da für die hier zu erbringende Leistung die Bergbaueinleitungen im Modell einbezogen werden sollten, hätte dies mit der bisherigen Modellkonstellation zu einer zweifachen Berücksichtigung geführt.

sichtigung der Grundwasserneubildung geführt. Einerseits weil sie in den Sumpfungswassermengen enthalten ist und andererseits weil sie im Modell als natürliches Dargebot dem Vorfluter zugeführt wird. Aus diesem Grund wurden zusätzlich die derzeitigen und zukünftigen Trichterflächen berücksichtigt, die in den folgenden beiden Tabellen aufgelistet sind. Die betroffenen Einzugsgebiete wurden im Modell um die jeweiligen Trichterflächen 2012 und 2020 verringert, was zu einer entsprechenden Reduzierung der Abflussbildung in diesen Gebieten führte.

Es muss jedoch betont werden, dass sich die Abflussverhältnisse der (ehemaligen) Bergbauggebiete in einem dynamischen Prozess befinden, dessen zeitlicher Verlauf mit dieser statischen Datenbasis nicht erfasst werden kann.

Tabelle 3-3: Trichterflächen der Spree für IST- und PLAN-Zustand (Quelle: LUGV, RS 5)

	2012			2020		
	Fläche	Anteil Trichterfläche	Anteil Trichterfläche	Fläche	Anteil Trichterfläche	Anteil Trichterfläche
Spree	[km²]	[%]	[km²]	[km²]	[%]	[km²]
12 - Greifenhainer Fließ	393	48,4	190	393	30,4	119
13 - Vetschauer Mühlenfließ	128	4,9	6	128	0	0
14 - Dobra	154	32,5	50	154	4,9	8
15 - Wudritz	129	37,9	49	129	8	10
16 - Berste	321	1,3	4	321	0,9	3
17 - Spree	299	23,8	71	124	41	51
18 - Malxe	355	48,1	171	530	32,9	174
19 - Spree	204	14,8	30	204	2,7	6
Summe			571			371

Tabelle 3-4: Trichterflächen der Schwarzen Elster für IST- und PLAN-Zustand (Quelle: LUGV, RS 5)

	2012			2020		
	Fläche	Anteil Trichterfläche	Anteil Trichterfläche	Fläche	Anteil Trichterfläche	Anteil Trichterfläche
Schwarze Elster	[km²]	[%]	[km²]	[km²]	[%]	[km²]
42 - Schleichgraben	96	10,8	10	96	5,1	5
43 - Pößnitz	92	64,6	59	92	1,4	1
44 - Hammergraben	234	41,6	97	234	0	0
45 - Kleine Elster	716	4,7	34	716	2,5	18
46 - Schwarze Elster	343	86,9	298	343	35,1	120
Summe			498			144

3.2 Methodik

Gemäß Aufgabenstellung waren die derzeitigen und künftigen Rahmenbedingungen hinsichtlich Schiffbarkeit, Hochwasserschutz und anderen Nutzungen als Grundlage für die Ermittlung des verfügbaren Wasserdargebots an den zu betrachtenden Querbauwerksstandorten bzw. Gewässerabschnitten für die entsprechenden „Bemessungsfischarten“ zu berücksichtigen.

Ziel der hier beschriebenen Simulation ist es, die Abflussdauerlinien für alle Vorranggewässer sowie den Q_{30}^* der elf prioritär zu untersuchenden Standorte Gnevsdorf, Quitzöbel, Bahnitz, Grütz, Garz, Rathenow, Brandenburg, Charlottenburg, Mühlendammschleuse, Große Tränke und Fürstenwalde zu ermitteln. Aus den Dauerlinien lässt sich die Anzahl der Tage pro Jahr ablesen, an denen der Wasserbedarf für die „Bemessungsfischart“ zur Verfügung steht.

Das dieser Bearbeitung zugrunde liegende Modell wurde ursprünglich für die Abbildung des mittleren quasinatürlichen Dargebots erstellt. Die oben definierte Zielstellung verlangte jedoch, dass das Modell möglichst die derzeitig gemessenen Abflussverhältnisse abbildet, d.h. alle anthropogenen Überprägungen berücksichtigt.

Aus folgenden Gründen wurden als zusätzliche Stützstellen verfügbare Pegelmessungen in das Modell eingespeist. Auf diese Weise wird der simulierte Abfluss oberhalb eines Pegels durch die Messreihe ersetzt und damit der Modellfehler des oberhalb liegenden Abschnitts korrigiert:

- Im Modell sind nicht alle Verzweigungen und Überleitungen enthalten.
- Die modellinternen Aufteilungsregeln sind vor allem im Niedrigwasserfall unsicher, da die Steuerungen oft nicht regelkonform abgelaufen sind.
- Die verfügbaren Nutzungsdaten liegen nicht flächendeckend vor, so dass beispielsweise für die Dahme die Nutzungen nur über Pegeleinspeisung berücksichtigt werden können.
- Die verfügbaren Nutzungsdaten beinhalten lediglich die Nutzungsrechte, nicht aber die tatsächlich stattgefundenen Netto-Entnahmen.
- Die Nutzungsdaten liegen nur als Monatswerte vor, während die Aussagen für den Niedrigwasserbereich (Q_{30}^*) eine tägliche Auflösung verlangen.
- Die Steuerung in den Gewässern erfolgt meist wasserstands- und nicht abflussbezogen.

Abbildung 3-12 zeigt, dass die verfügbare Pegelzeitenbasis (insgesamt wurden 99 Pegelzeitreihen eingespeist) landesweit sehr unterschiedlich dicht verteilt ist. So liegen beispielsweise für den Regionalbereich Süd relativ viele, für die Regionalbereiche West und Ost jedoch vergleichsweise wenige Stützstellen vor. Dies wirkt sich letztlich auf die Sicherheit der Ergebnisse aus, die je nach Datenlage unterschiedlich zu bewerten ist. In Anlage 3 sind die für die Modellnachführung verwendeten Pegelreihen aufgelistet.

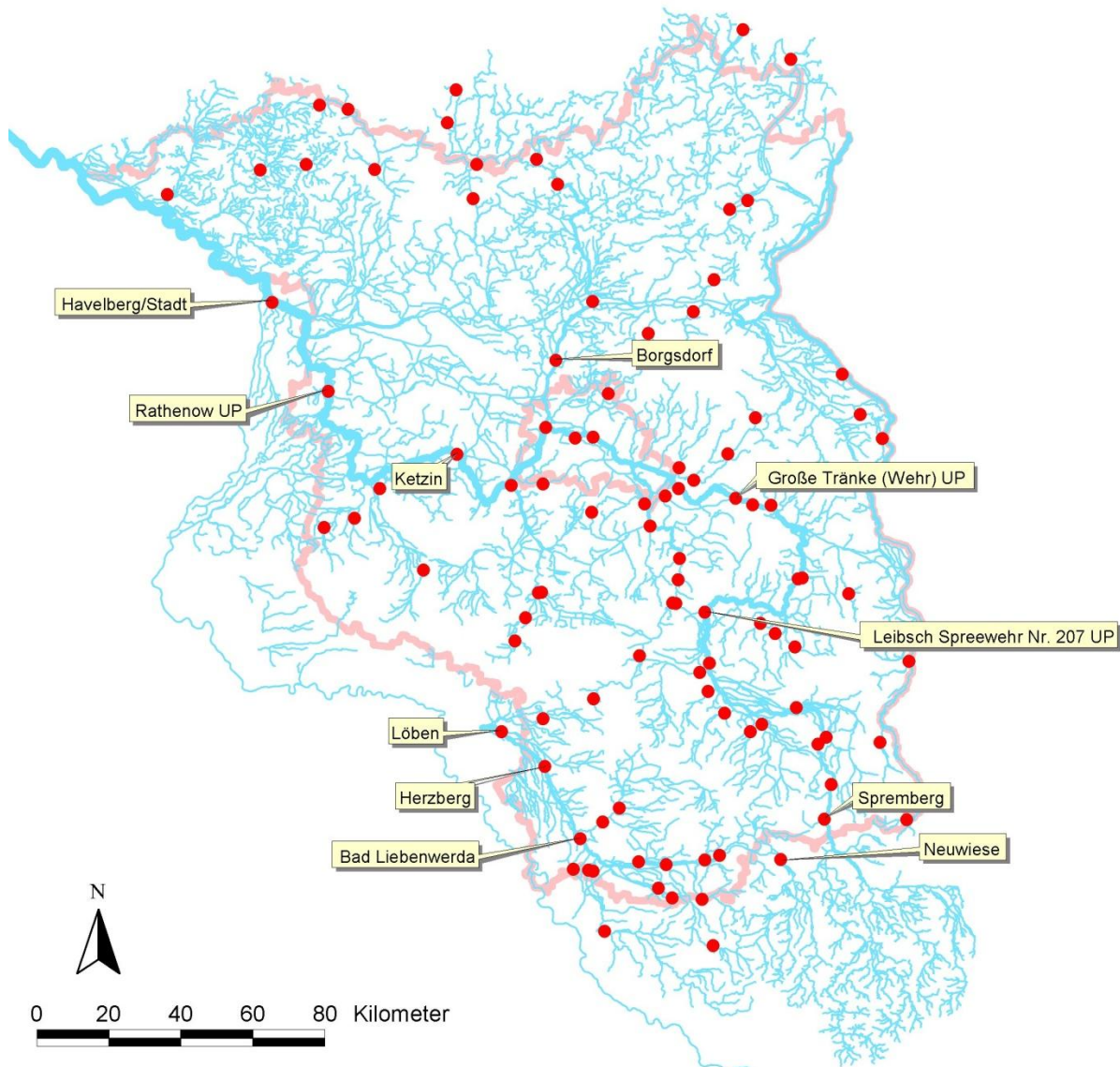


Abbildung 3-12: Übersicht der verfügbaren im Modell eingespeisten Pegelzeitreihen

Um eine Überprüfbarkeit der verwendeten Nutzungsdaten zu gewährleisten, wurden insgesamt zwei Simulationsläufe durchgeführt:

- Simulation mit eingespeisten Pegelzeitreihen ohne Berücksichtigung der verfügbaren Nutzungsdaten
- Simulation mit eingespeisten Pegelzeitreihen mit Berücksichtigung der verfügbaren Nutzungsdaten

Es ist wichtig anzumerken, dass der Simulationslauf ohne Berücksichtigung der verfügbaren Nutzungsdaten dennoch die wesentlichen in Kapitel 3.1.3 beschriebenen Randbedingungen und Bewirtschaftungen im Modell enthält (z.B. Scheitelhaltung des Oder-Spree-Kanals, Überleitung der Spree in die Dahme über den Dahme-Umflut-Kanal). Sie sind für die Beschreibung des Gesamtgewässersystems notwendig und es ist davon auszugehen, dass sie sich in Zukunft nicht grundlegend ändern werden.

Für die zu übergebenden Endergebnisse werden die Dauerlinien aller Vorranggewässer und die Q_{30}^* für die elf prioritären Standorte bereitgestellt. Dabei wird eine Spannweite zwischen dem jeweils höchsten und dem niedrigsten Ergebnis angegeben. Diese Bandbreite kann dann für den Vergleich mit dem $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ herangezogen werden. Liegt der $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ innerhalb der übergebenen Ergebnisspanne, so ist in einer anschließenden Detailplanung zu analysieren, welcher Wert den zukünftigen Nutzungsverhältnissen am nächsten kommt.

3.3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse für die elf prioritären Standorte vorgestellt. Im nächsten Schritt wird auf die zukünftige Entwicklung der Nutzungsverhältnisse und deren Auswirkung auf den Niedrigwasserbereich sowie auf die allgemeinen Unsicherheitsquellen eingegangen. Am Ende wird die Form und Struktur der Ergebnisübergabe erläutert, um die Nutzung der Daten für Dritte zu erleichtern.

Die im Rahmen der Dargebotssimulation ermittelten und im folgenden Kapitel beschriebenen Ergebnisse beziehen sich immer auf den Gesamtzufluss oberhalb einer Abflussaufteilung. Dies ist insbesondere an den Standorten zu berücksichtigen, an denen eine lokale Abflussaufteilung (z.B. Schleuse / Wehr) stattfindet.

Die Abflussaufteilung findet dann als Vorstufe der Defizitanalyse statt und wird im Kapitel 3.4 beschrieben.

3.3.1 Auswertung der elf prioritären Standorte

Die Abbildung 3-13 gibt einen Überblick zur Lage der elf Querbauwerke, für welche Abflussdauerlinien ermittelt werden sollten. Eine detaillierte Beschreibung der Randbedingungen und Funktionsweise der Anlagen befindet sich im Landeskonzept zur ökologischen Durchgängigkeit der Fließgewässer Brandenburgs (Teil II) vom Institut für Binnenfischerei (2012).

In Tabelle 3-5 werden für die elf Standorte den simulationsbasierten die messwertbasierten Kennwerte gegenübergestellt. Zusätzlich enthält die Tabelle in grau und kursiv Pegelinformationen, wo diese verfügbar waren. In den folgenden Kapiteln werden die jeweiligen Standorte in Fließrichtung betrachtet. Die Ergebnisse werden insbesondere an den Stellen näher erläutert, an denen zum Vergleich Abflussmessdaten herangezogen werden konnten.

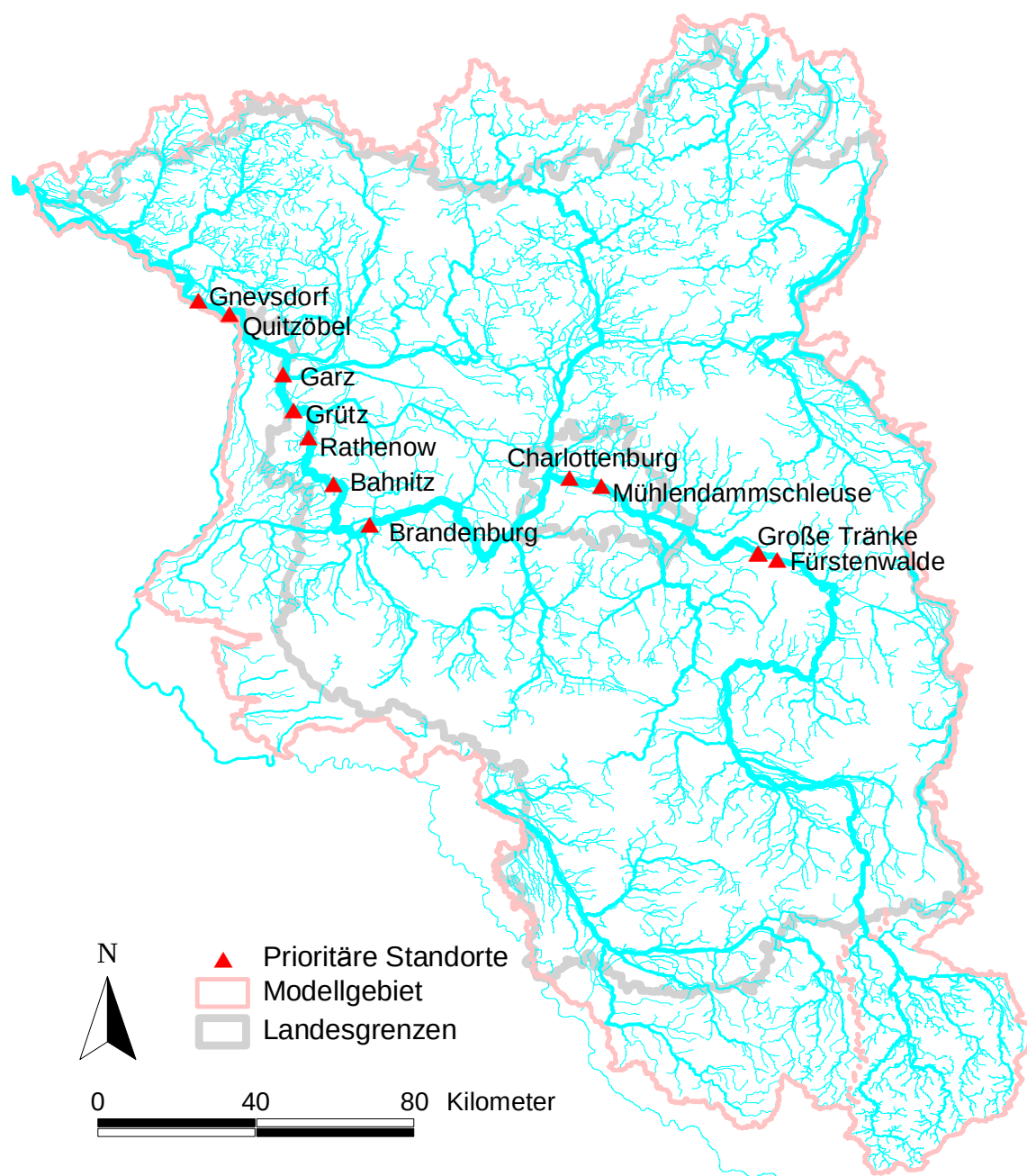


Abbildung 3-13: Übersicht der elf prioritär zu untersuchenden Standorte

Tabelle 3-5: Gegenüberstellung der aus Modellergebnissen und aus Abflussdaten abgeleiteten Kennwerte für die elf Standorte

		Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswertungszeitraum
		Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
Nr.	Standort	[m³/s]									
1	Wehr Fürstenwalde**	5,9	19,0	33,4	6,0	19,1	33,5	6,2	19,1	33,9	1991-2010
2	Wehr Große Tränke**	5,1	12,5	17,3	4,7	12,2	16,9	4,6	11,9	18,2	1991-2010
	<i>Pegel Hohenbinde ****</i>	<i>4,7</i>	<i>12,3</i>	<i>18,9</i>	<i>4,7</i>	<i>12,3</i>	<i>18,9</i>	<i>5,1</i>	<i>13,0</i>	<i>20,2</i>	<i>1991-2010</i>
3	Wehr Mühlendamm**	7,0	24,9	47,9	5,6	23,5	46,4	5,1	24,0	48,7	1991-2010
4	Wehr Charlottenburg	8,6	28,8	54,5	8,6	28,8	54,5				
	<i>Pegel Sophienwerder***</i>	<i>8,8</i>	<i>29,2</i>	<i>55,1</i>	<i>8,9</i>	<i>30,4</i>	<i>57,2</i>	<i>7,8</i>	<i>27,1</i>	<i>52,3</i>	<i>1991-2010</i>
	<i>Pegel Ketzin*</i>	<i>23,4</i>	<i>60,5</i>	<i>102,8</i>	<i>18,5</i>	<i>55,7</i>	<i>98,2</i>	<i>11,5</i>	<i>55,4</i>	<i>101,0</i>	<i>1991-2010</i>
5	Wehrgruppe Brandenburg	12,2	56,3	102,8	11,4	55,8	102,5				
	<i>Pegel Tietzow*</i>	<i>19,5</i>	<i>70,0</i>	<i>123,3</i>	<i>16,3</i>	<i>67,7</i>	<i>121,3</i>	<i>17,8</i>	<i>70,6</i>	<i>129,0</i>	<i>2002-2010</i>
6	Wehr Bahnitz	21,5	70,1	122,6	18,3	67,7	120,6				
7	Wehrgruppe Rathenow*	21,5	70,8	124,2	19,5	69,5	123,0	17,9	72,8	130,0	1991-2010
8	Wehr Grütz	19,5	75,3	135,2	17,4	73,9	133,7				
9	Wehr Garz	19,6	75,6	135,9	17,6	74,1	134,2				
	<i>Pegel Havelberg Stadt*</i>	<i>26,9</i>	<i>89,3</i>	<i>159,1</i>	<i>20,2</i>	<i>84,5</i>	<i>154,5</i>	<i>19,3</i>	<i>85,6</i>	<i>154,0</i>	<i>1991-2010</i>
10	Wehr Quitzöbel	19,4	85,9	154,9	19,4	85,9	154,7				
11	Wehr Gnevsdorf	19,8	85,9	154,5	19,8	85,9	154,5				

Grau kursiv: Pegeldata

- * Die Abflussdaten wurden vom Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Brandenburg bereitgestellt.
- ** Die Abflussdaten wurden vom Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Berlin bereitgestellt.
- *** Die Abflussdaten wurden von der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt bereitgestellt.
- **** Die Abflussdaten wurden vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg bereitgestellt.

3.3.1.1 Wehr Fürstenwalde

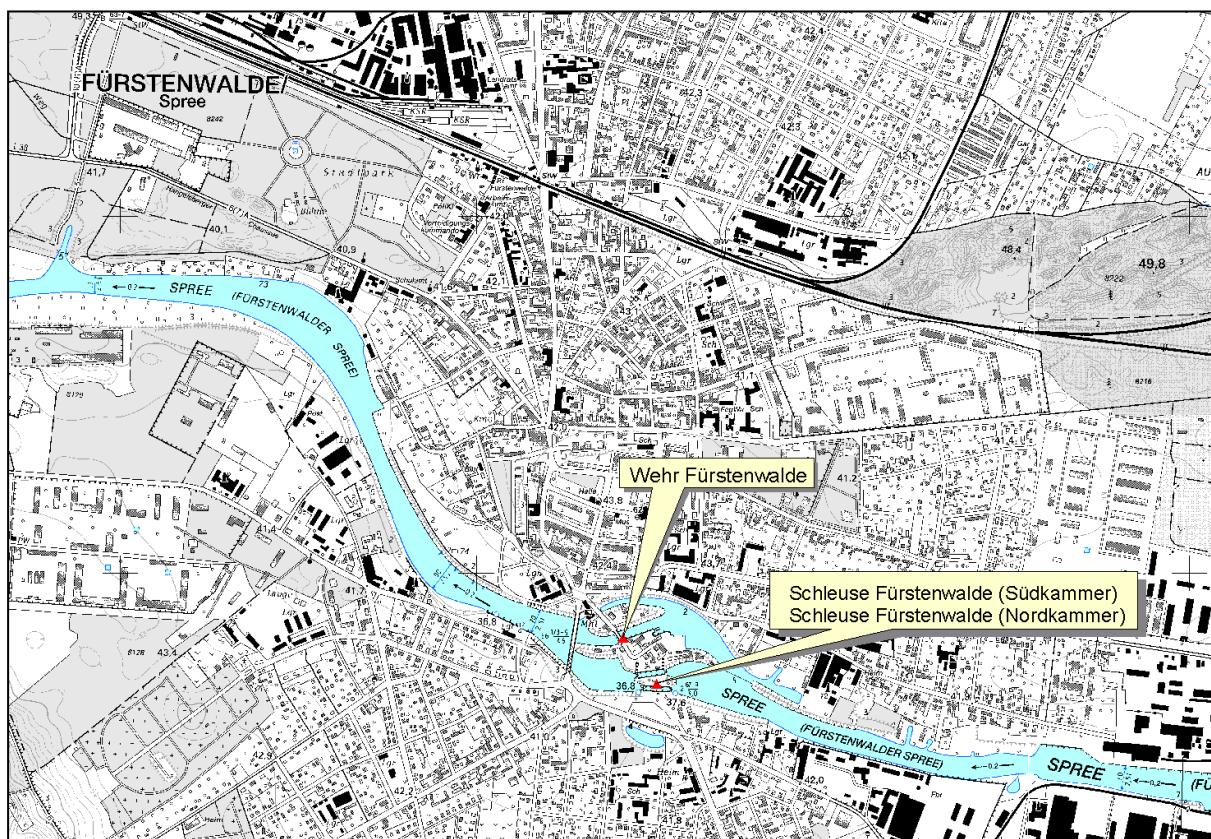


Abbildung 3-14: Übersicht zum Standort Fürstenwalde (Datengrundlage: TK10, Stand 1992)

Tabelle 3-6 zeigt die Randbedingungen für die beiden durchgeführten Simulationsläufe. Hier sind sowohl die für den Standort relevanten, bereits in Kapitel 3.1.3 beschriebenen Randbedingungen, als auch die eingespeisten Pegel und die verwendeten Nutzungsdaten aufgeführt. Die Pegelreihen für die seitlichen Zuflüsse zur Spree wurden bei der Simulation mit Nutzungsdaten nicht eingespeist, um eine Dopplung der Nutzungsmengen zu vermeiden, die einerseits in den Messungen enthalten sind und andererseits in den Nutzungsdaten enthalten sein sollten.

Tabelle 3-6: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Fürstenwalde

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Modellinterne Randbedingungen und Bewirtschaftungen	Scheitelhaltung Oder-Spree-Kanal	Ja	Ja
Einspeisung der Pegel	Beeskow Spreeschleuse UP (Spree)*	Ja	Ja
	Oegeln (Oegel-Fließ/Oelse)*	Ja	nein
	Berkenbrück2 (Heinersdorfer Fließ)*	Ja	nein
Nutzungsdaten	Regionalbereich Süd	nein	Ja

* Die Abflussdaten wurden vom LUGV Brandenburg bereitgestellt.

Aus Tabelle 3-7 wird ersichtlich, dass sich die beiden Simulationsläufe im Ergebnis kaum voneinander unterscheiden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Nutzungsdaten des Regionalbereichs Süd für dieses Bilanzgebiet (ab Pegel Beeskow bis Mündung Oder-Spree-Kanal) lediglich die Überleitung aus dem Oder-Spree-Kanal mit Scheitelhaltung beinhaltet. Es wurde jedoch auf die bereits im Modell enthaltene detailliertere Lösung (siehe Kapitel 3.1.3) zurückgegriffen. Um die Überleitungsmengen nicht doppelt einzubeziehen, wurden sie demnach aus der Nutzungsdatenbasis ausgeschlossen.

Tabelle 3-7: Abflusskennwerte für den Standort Fürstenwalde

		Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswerte- zeitraum
		Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
Nr,	Standort	[m³/s]									
1	Wehr Fürstenwalde	5,9	19,0	33,4	6,0	19,1	33,5	6,2	19,1	33,9	

Der aus den Messdaten am Pegel Fürstenwalde (Schleuse) OP abgeleitete Q_{30} -Wert wird bei beiden Simulationsläufen um etwa 3-4% unterschritten. Das Ergebnis ohne Nutzungsdaten repräsentiert die Situation der letzten 20 Jahre, da hier für die verfügbaren seitlichen Zuflüsse die Pegelreihen in das Modell eingespeist wurden, die die Nutzungsverhältnisse dieses Zeitraums beinhalten. Die Kennwerte für den Simulationslauf mit Nutzungen repräsentiert hingegen die Situation unter Berücksichtigung der aktuellen Nutzungsrechte. Allerdings ist hier die Datenbasis als sehr grob zu bezeichnen, da sie für das recht große Bilanzgebiet lediglich die Überleitung aus dem Oder-Spree-Kanal beinhaltet, die jedoch aus oben genannten Gründen im Modell herausgenommen wurde.

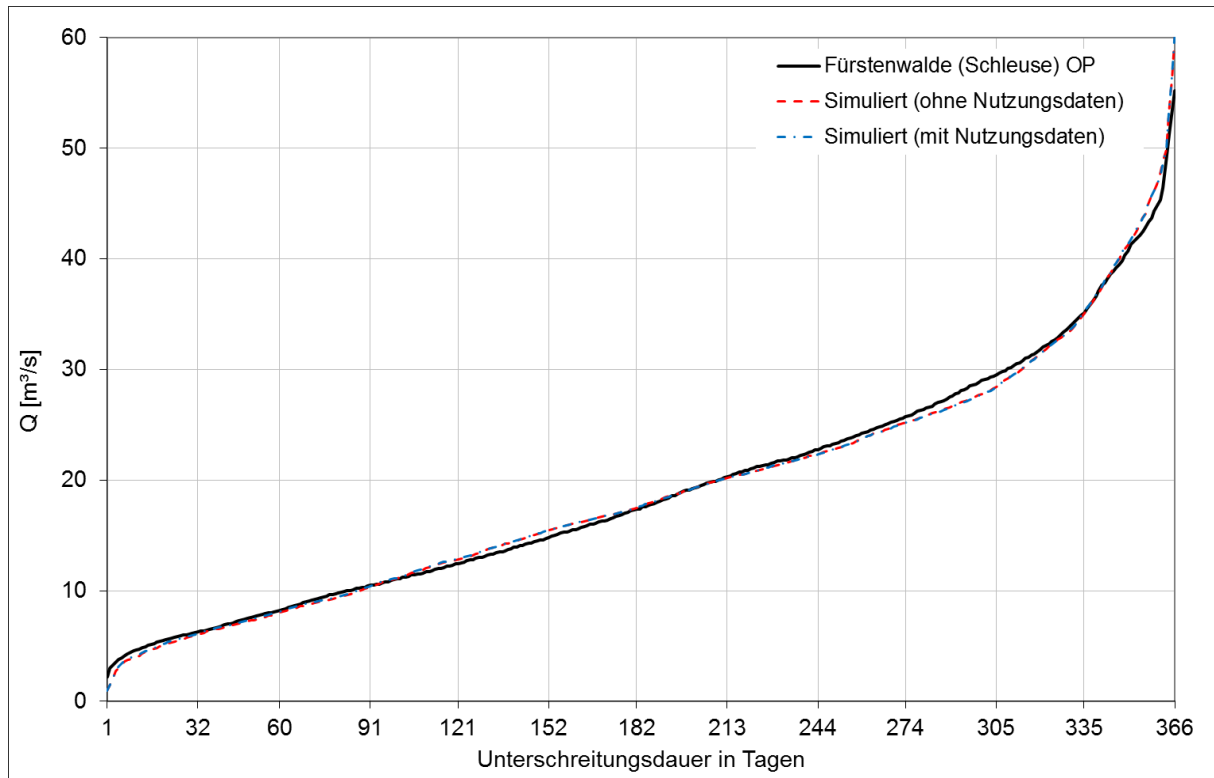


Abbildung 3-15: Abflussdauerlinien für den Standort Fürstenwalde (Quelle der Abflussdaten: WSA Berlin)

3.3.1.2 Wehr Große Tränke

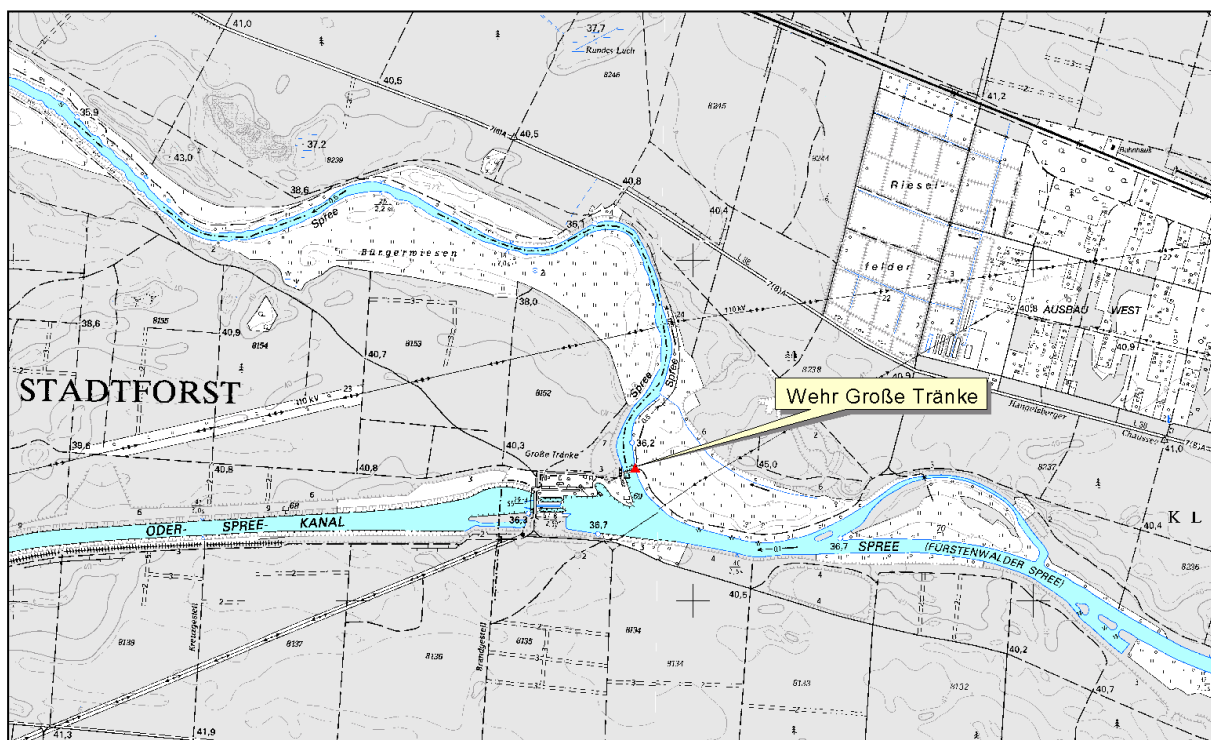


Abbildung 3-16: Übersicht zum Standort Große Tränke (Datengrundlage: TK10, Stand 1992)

Tabelle 3-8 zeigt die Randbedingungen für die beiden durchgeführten Simulationsläufe. Hier sind sowohl die für den Standort relevanten bereits in Kapitel 3.1.3 beschriebenen Randbedingungen, als auch die eingespeisten Pegel und die verwendeten Nutzungsdaten aufgeführt. Die Pegelreihen für die seitlichen Zuflüsse zur Spree wurden bei der Simulation mit Nutzungsdaten nicht eingespeist, um eine Dopplung der Nutzungsmengen zu vermeiden, die bereits in den Nutzungsdaten enthalten sein sollten.

Tabelle 3-8: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Große Tränke

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Modellinterne Randbedingungen und Bewirtschaftungen	Scheitelhaltung Oder-Spree-Kanal	Ja	Ja
	Abzweig des Oder-Spree-Kanals am Wehr Große Tränke	Ja	Ja
Einspeisung der Pegel	Beeskow Spreeschleuse UP (Spree)*	Ja	Ja
	Oegeln (Oegel-Fließ/Oelse)*	Ja	nein
	Berkenbrück2 (Heinersdorfer Fließ)*	Ja	nein
	Fürstenwalde (Schleuse) OP**	Ja	nein
Nutzungsdaten	Regionalbereich Süd	nein	Ja

* Die Abflussdaten wurden vom LUGV Brandenburg bereitgestellt.

** Die Abflussdaten wurden vom WSA Berlin bereitgestellt.

Für den Standort Große Tränke ist der oberhalb befindliche Abzweig in den Oder-Spree-Kanal von großer Bedeutung. Dieser wurde im Modell durch eine zuflussabhängige Stufenfunktion berücksichtigt, die sich an die im Jahr 1997 zwischen LUGV Brandenburg und Wasser- und Schiffsamt Berlin vereinbarte Stufenregelung anlehnt (Abbildung 3-17).

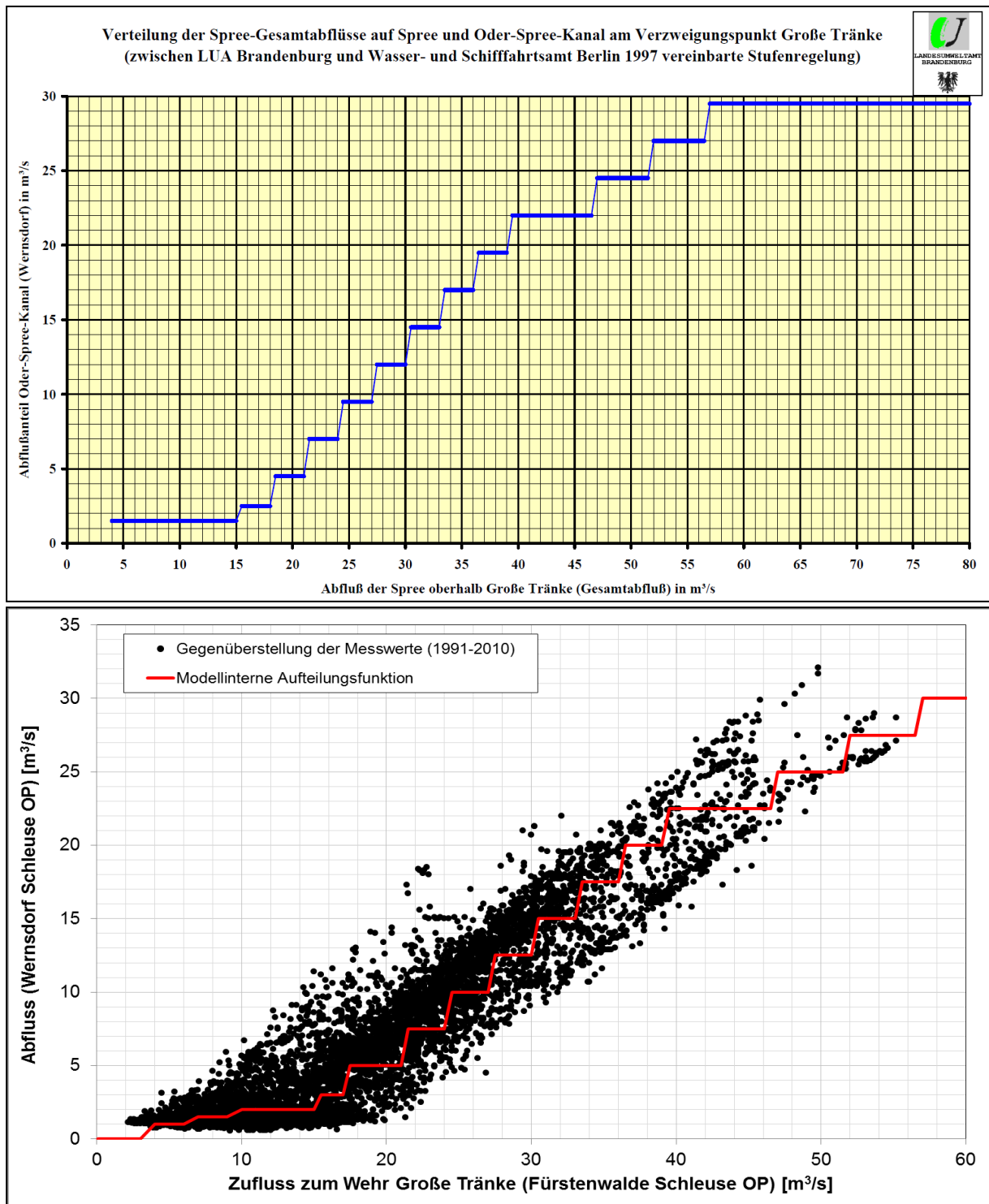


Abbildung 3-17: Vereinbarte Stufenfunktion (oben) und modellinterne Aufteilungsfunktion der Spree am Wehr Große Tränke (unten)

Die Gegenüberstellung der Messwerte zeigt jedoch eine relativ starke Streuung insbesondere im Niedrigwasserbereich, so dass mit dieser Aufteilungsfunktion lediglich die mittleren Verhältnisse unterhalb des Abzweigs erfasst werden können. Bei den in der Vergangenheit aufgetretenen Extremen (wie Niedrig- und Hochwasser) sind demnach die Modellergebnisse unsicher. Für eine abschließende Beurteilung des $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ sollte daher für diesen Standort eine Analyse der Abflussaufteilungen erfolgen, in der insbesondere die Steuerung im Niedrigwasserfall genauer untersucht wird.

Aus Tabelle 3-9 lässt sich entnehmen, dass der aus der Pegelmessung abgeleitete Q_{30} -Wert mit dem simulierten Wert unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten gut übereinstimmt. Die aus den Simulationsergebnissen abgeleiteten Dauerlinien weichen in ihrem Verlauf jedoch von der messwertbasierten Dauerlinie ab (Abbildung 3-18). Dies ist auf die oben beschriebene Stufenfunktion zur Beschreibung der Aufteilung zurückzuführen.

Tabelle 3-9: Abflusskennwerte für den Standort Große Tränke

		Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswerte- zeitraum
		Q ₃₀ [*]	MQ [*]	Q ₃₃₀	Q ₃₀ [*]	MQ [*]	Q ₃₃₀	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
Nr,	Standort	[m³/s]									
2	Wehr Große Tränke	5,1	12,5	17,3	4,7	12,2	16,9	4,6	11,9	18,2	

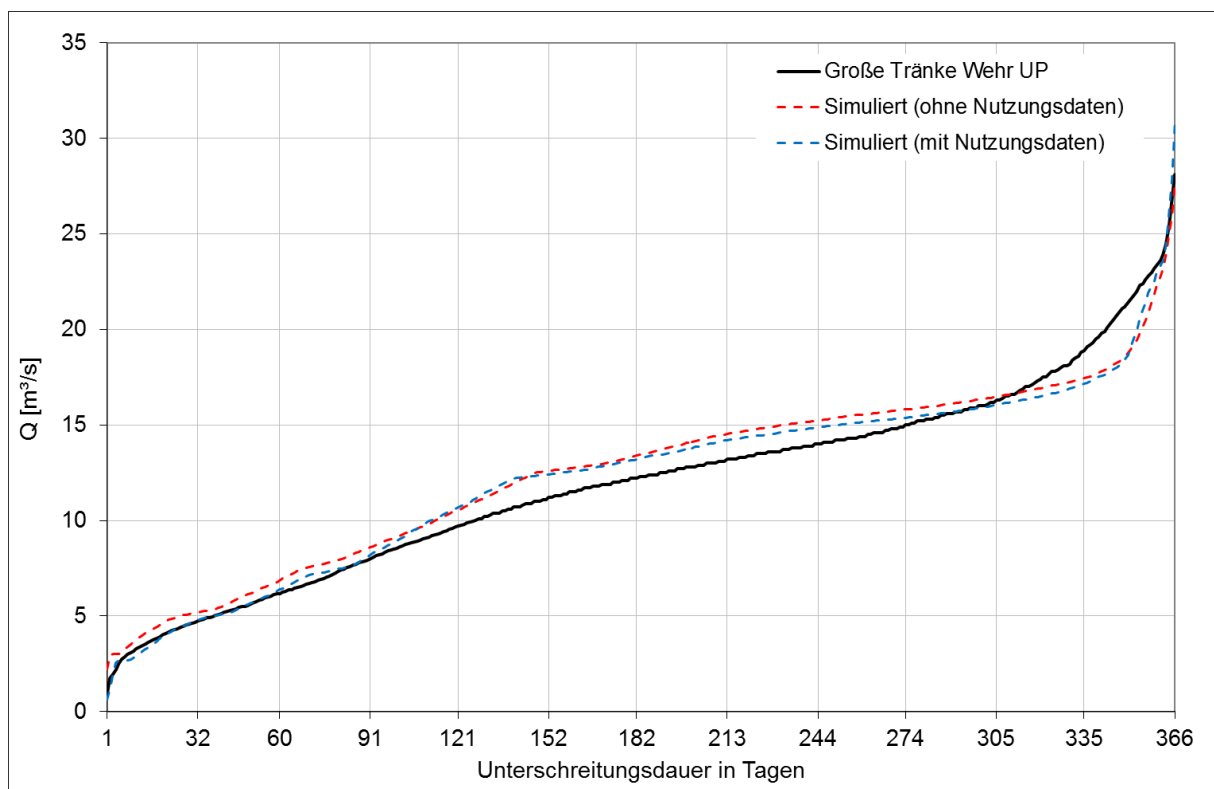


Abbildung 3-18: Abflussdauerlinien für den Standort Große Tränke (Quelle der Abflussdaten: WSA Berlin)

3.3.1.3 Wehr Mühlendamm

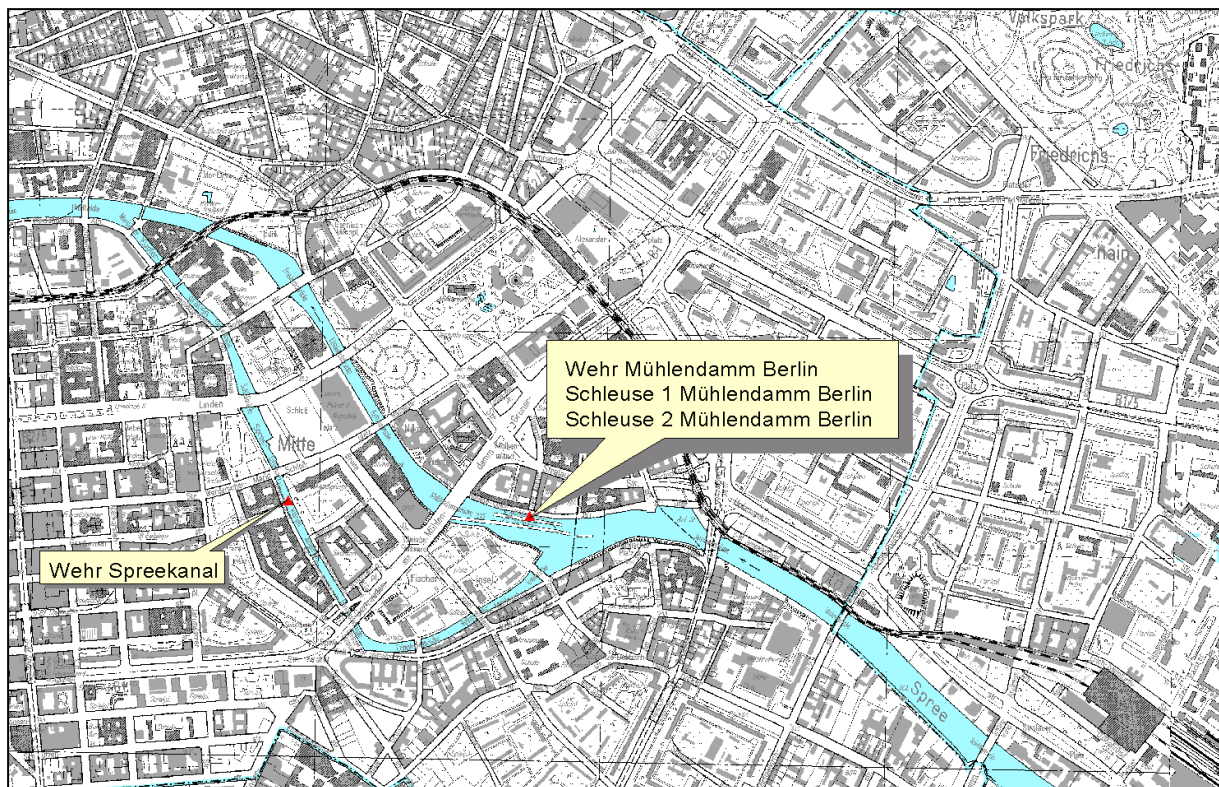


Abbildung 3-19: Übersicht zum Standort Mühlendamm (Datengrundlage: TK10, Stand 1992)

Einleitend soll an dieser Stelle auf die Besonderheiten der Abflusssituation in Berlin eingegangen werden, um die Modellergebnisse am Wehr Mühlendamm und Charlottenburg besser einschätzen zu können: Um ganzjährig Schifffahrt zu ermöglichen, ist das gesamte Berliner Gewässersystem durch Staustufen geregelt. Dabei haben die Schleusen Mühlendamm (Spree) und Kleinmachnow (Teltowkanal) den größten Einfluss auf Wasserstand und Abflussaufteilung. Die Wirkungen der Stauhaltungen reichen aufgrund des geringen Gefälles der unteren Spree bis in die Müggelspree östlich von Berlin.

Aus Tabelle 3-10 lassen sich alle Randbedingungen für die beiden durchgeführten Simulationenläufe entnehmen. Hier sind sowohl die für den Standort relevanten bereits in Kapitel 3.1.3 beschriebenen Randbedingungen, als auch die eingespeisten Pegel und die verwendeten Nutzungsdaten aufgeführt. Die Pegelreihen für die seitlichen Zuflüsse wurden jetzt bei beiden Simulationen eingespeist, da die Berliner Nutzungsdaten sich alle unterhalb der Pegelstandorte befinden und somit keine Gefahr der doppelten Berücksichtigung (wie noch für den Regionalbereich Süd oben beschrieben) bestand. Die beiden Simulationenläufe unterscheiden sich demnach nur darin, dass einmal mit und einmal ohne die Berücksichtigung der Wasser-, Klär- und Heizwerke gerechnet wurde.

Anhand von Tabelle 3-11 lässt sich zunächst erkennen, dass mit der Berücksichtigung des Abzweigs des Teltowkanals und des Landwehrkanals die mittleren Abflussverhältnisse vom Modell gut abgebildet werden. Die Abweichung des MQ^* kann u.U. darauf zurückgeführt werden, dass die Abzweigung der Spree in den Britzer Zweigkanal im Modell nicht berücksichtigt wurde.

Das Simulationsergebnis unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten liefert für das Q_{30} etwa 0,5 m³/s mehr als es aus den Pegelmessungen abgeleitet wurde.

Tabelle 3-10: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Mühlendamm

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Modellinterne Randbedingungen und Bewirtschaftungen	Abzweig des Teltowkanals	Ja	Ja
	Abzweig des Landwehrkanals	Ja	Ja
Einspeisung der Pegel	Hohenbinde (Spree/Müggelspree)*	Ja	Ja
	Grünheide2 (Löcknitz)*	Ja	Ja
	Berkenbrück2 (Heinersdorfer Fließ)*	Ja	Ja
	Woltersdorf (Schleuse) OP (Rüdersdorfer Gewässer)**	Ja	Ja
	Wernsdorf (Schleuse) OP**	Ja	Ja
	Zeuthen Straßenbrücke (Selchower Flutgraben)*	Ja	Ja
	Neue Mühle (Schleuse) UP (Dahme)**	Ja	Ja
Nutzungsdaten	Berlin (Klärwerke, Wasserwerke, Heizkraftwerke)	nein	Ja

* Die Abflussdaten wurden vom LUGV Brandenburg bereitgestellt.

** Die Abflussdaten wurden vom WSA Berlin bereitgestellt.

Tabelle 3-11: Abflusskennwerte für den Standort Mühlendamm

Nr,	Standort	Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswertungszeitraum
		Q_{30}^*	MQ^*	Q_{330}^*	Q_{30}^*	MQ^*	Q_{330}^*	Q_{30}	MQ	Q_{330}	
		[m³/s]									
3	Wehr Mühlendamm	7,0	24,9	47,9	5,6	23,5	46,4	5,1	24,0	48,7	1991-2010

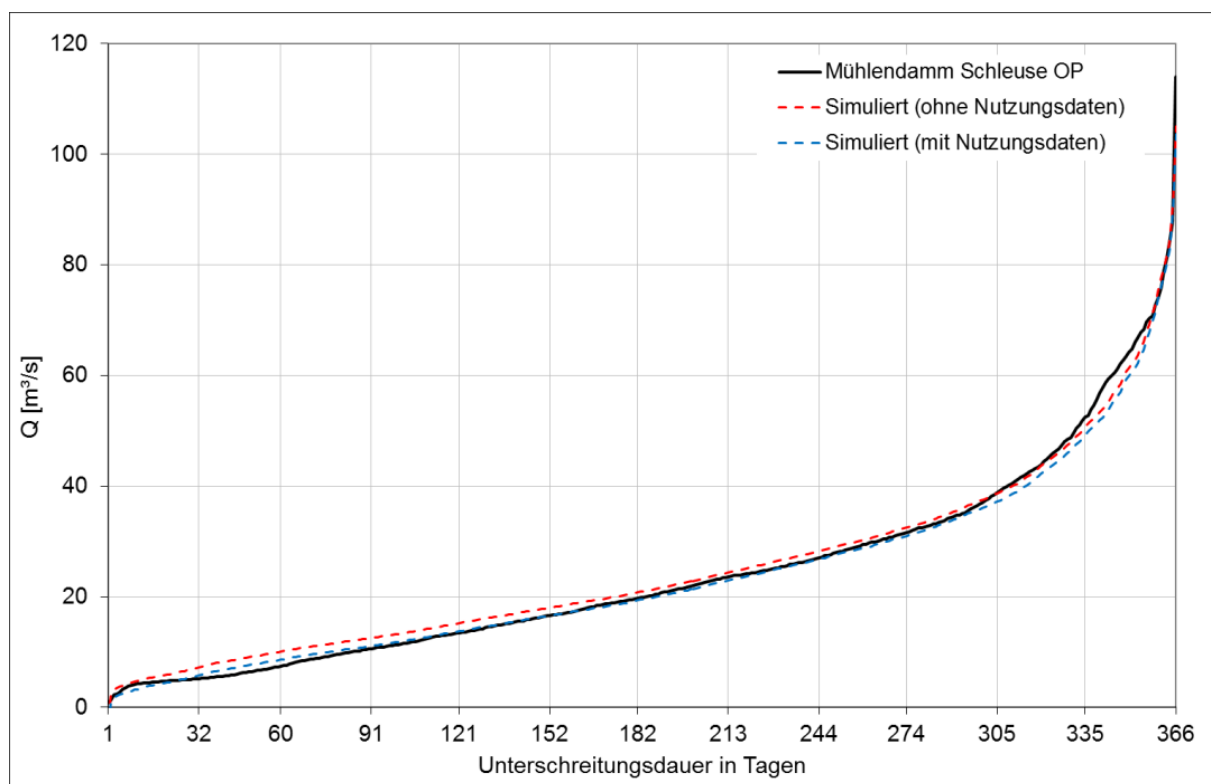


Abbildung 3-20: Abflussdauerlinien für den Standort Mühlendamm (Abflussdaten: WSA Berlin)

3.3.1.4 Wehr Charlottenburg



Abbildung 3-21: Übersicht zum Standort Charlottenburg (Datengrundlage: DOP)

Ehe die Spree in die Havel einmündet, wird sie unterhalb der Schleuse Mühlendamm durch die Charlottenburger Schleuse unterbrochen. Nördlich des Standortes ist das Gewässersystem von Verzweigungen und Umleitungen (z.B. Abzweig der Panke in den Nordgraben; Überleitung über den Hohenzollernkanal; Abzweig des Berlin-Spandauer Schifffahrtskanal) geprägt, die im Modell nicht enthalten sind (Tabelle 3-12). Aus diesem Grund kommt es im Vergleich zu den Abflüssen, die etwas unterhalb am Pegel Sophienwerder gemessen wurden, zu einer Überschätzung des Q^*_{30} um etwa $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabelle 3-13). Um diese Modellunsicherheiten zu umgehen, wäre zu erwägen, statt der simulierten Werte für diesen Standort die Dauerlinie der Pegelreihe Sophienwerder (s. Abbildung 3-23) zu verwenden.

Tabelle 3-12: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Charlottenburg

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Einspeisung der Pegel	Mühlendamm (Schleuse OP) (Spree)**	Ja	Ja
	Berlin Unterschleuse OP (Landwehrkanal)**	Ja	Ja
Nutzungsdaten	Berlin (Klärwerke, Wasserwerke, Heizkraftwerke)	nein	Ja

** Die Abflussdaten wurden vom WSA Berlin bereitgestellt

Tabelle 3-13: Abflusskennwerte für den Standort Charlottenburg

		Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswerte- zeitraum
		Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
Nr,	Standort	[m³/s]									
4	Wehr Charlottenburg	8,6	28,8	54,5	8,6	28,8	54,5				1991-2010
	Sophienwerder	8,8	29,2	55,1	8,9	30,4	57,2	7,8	27,1	52,3	1991-2010

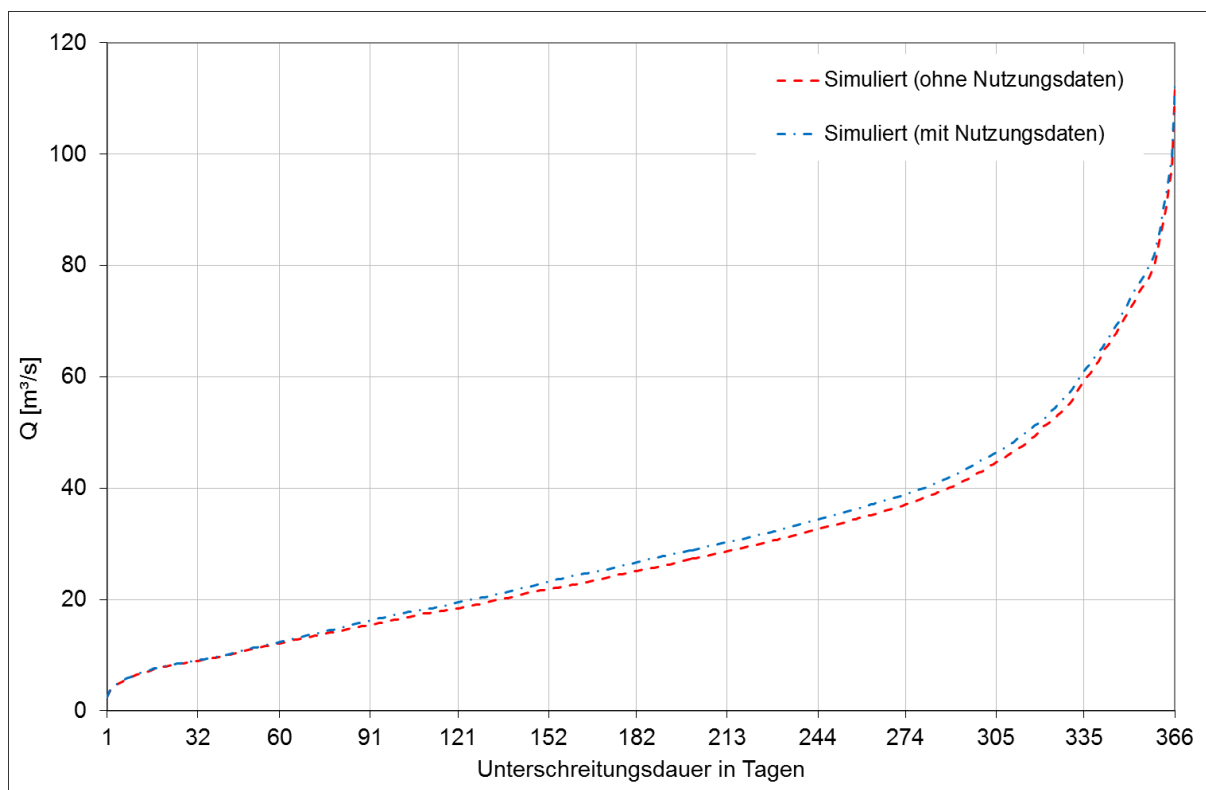


Abbildung 3-22: Abflussdauerlinien für den Standort Charlottenburg (Abflussdaten: WSA Berlin)

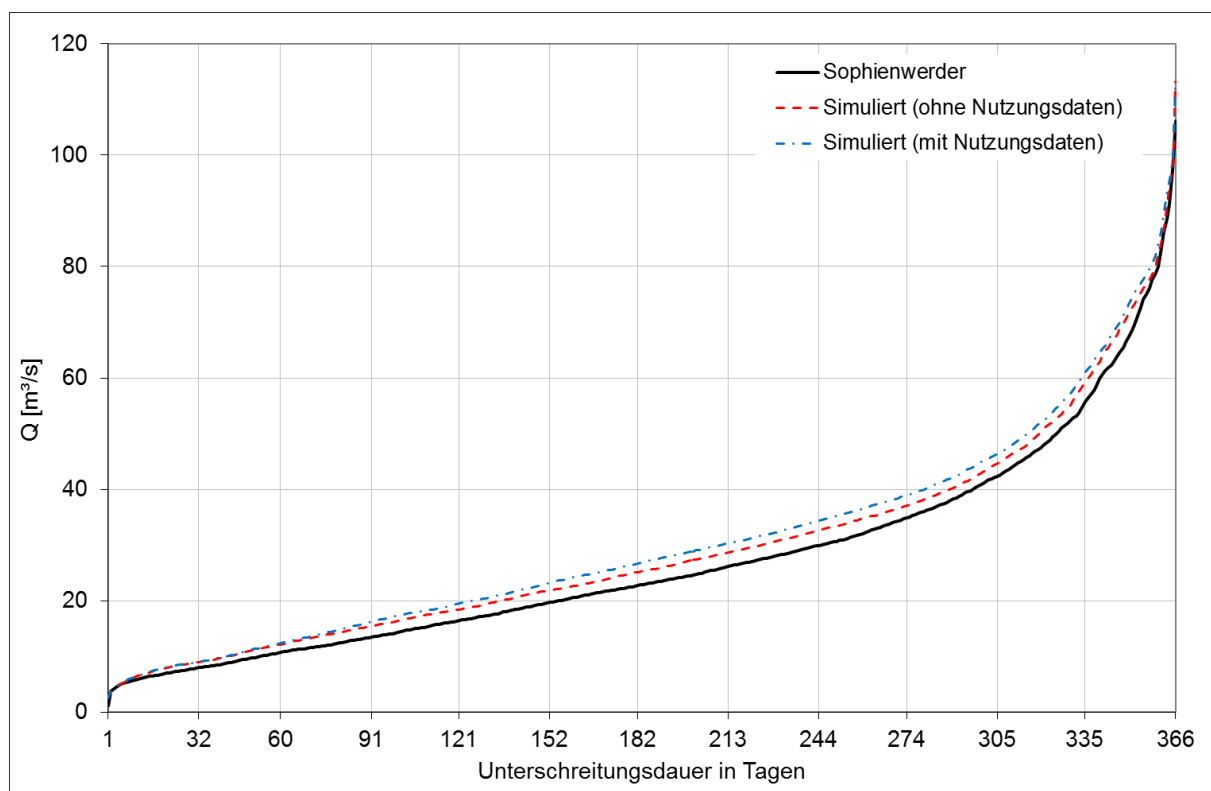


Abbildung 3-23: Abflussdauerlinien für den Standort Sophienwerder (Abflussdaten: WSA Berlin)

3.3.1.5 Wehrgruppe Brandenburg

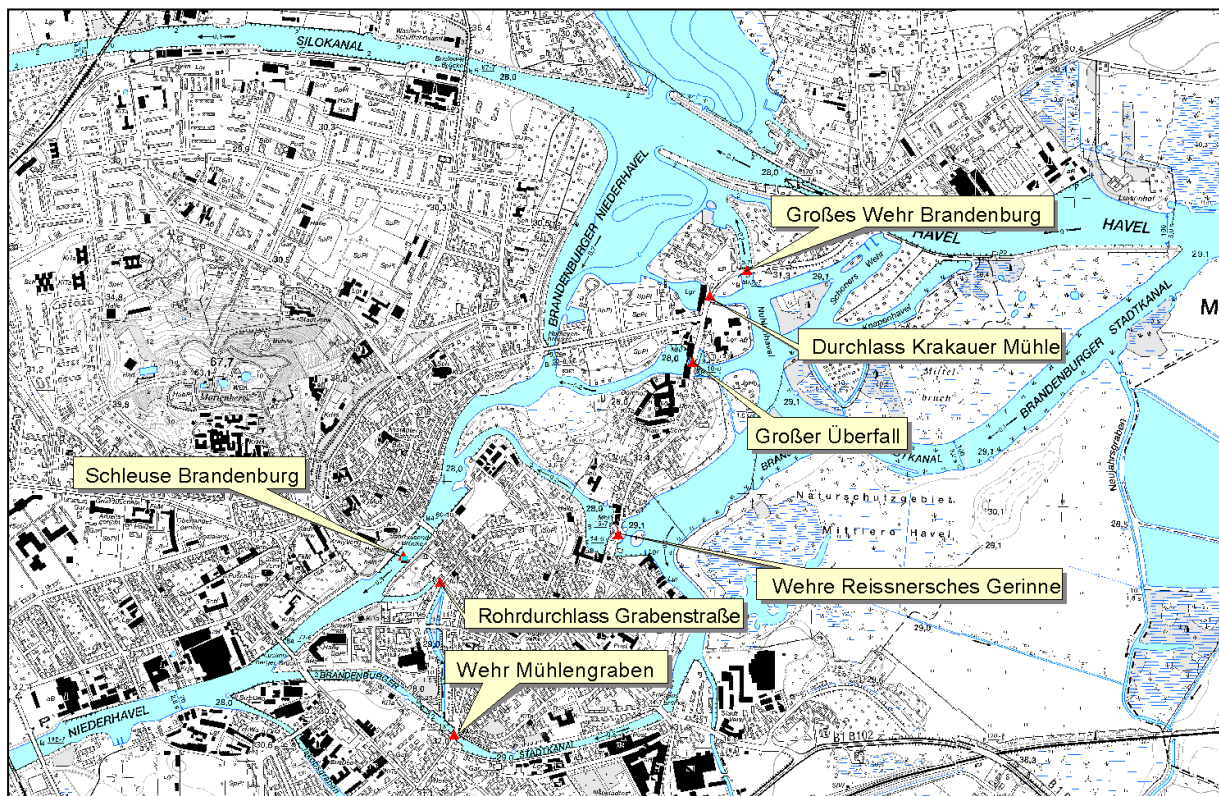


Abbildung 3-24: Übersicht zum Standort Brandenburg (Datengrundlage: TK10, Stand 1992)

Der Stau am Standort Brandenburg im Flusssystem der Havel reicht in seiner Wirkung bis in die Berliner Havel. Dies betrifft auch den Pegel Ketzin, der hier zur Plausibilisierung herangezogen wurde. Er bietet den einzigen Anhaltspunkt unterhalb des Zusammenflusses von Spree und Havel. Die Staubeinflussung erklärt, warum der simulierte Niedrigwasserabfluss am Pegel Ketzin den aus der Messung abgeleiteten Wert übersteigt (Tabelle 3-15). Es zeigt sich jedoch auch, dass mit den integrierten Nutzungsdaten der mittlere Abfluss gut mit dem Modell abgebildet werden kann. Für die Aussagen am Standort Brandenburg spielt dies jedoch keine Rolle, da oberhalb die in Ketzin gemessene Pegelzeitreihe eingespeist wurde (Tabelle 3-14).

Tabelle 3-14: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Brandenburg

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Einspeisung der Pegel	Ketzin (Havel)***	Ja	Ja
Nutzungsdaten	Regionalbereich West	nein	Ja

*** Die Abflussdaten wurden vom WSA Brandenburg bereitgestellt.

Tabelle 3-15: Abflusskennwerte für den Standort Brandenburg

		Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswertungszeitraum
		Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
Nr,	Standort	[m³/s]									
	Ketzin	23,4	60,5	102,8	18,5	55,7	98,2	11,5	55,4	101,0	
5	Wehrgruppe Brandenburg	12,2	56,3	102,8	11,4	55,8	102,5				1991-2010

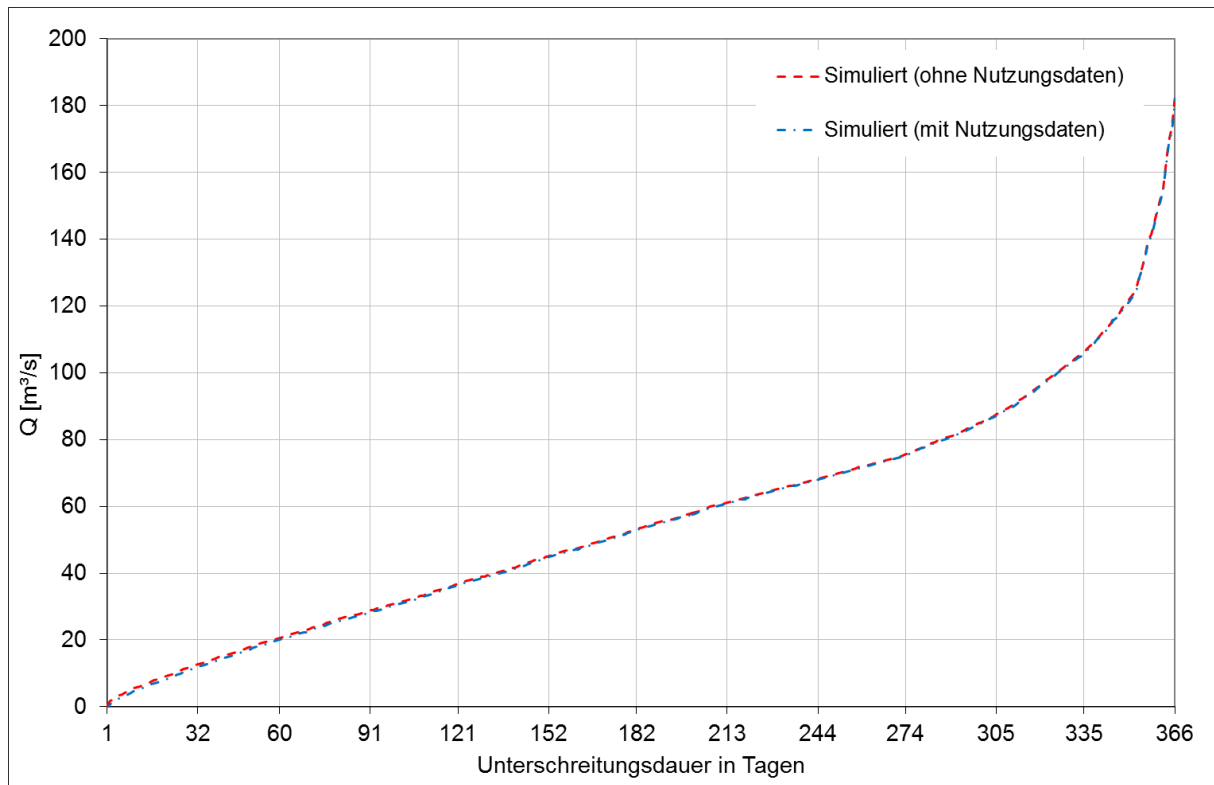


Abbildung 3-25: Abflussdauerlinien für den Standort Brandenburg

3.3.1.6 Wehr Bahnitz

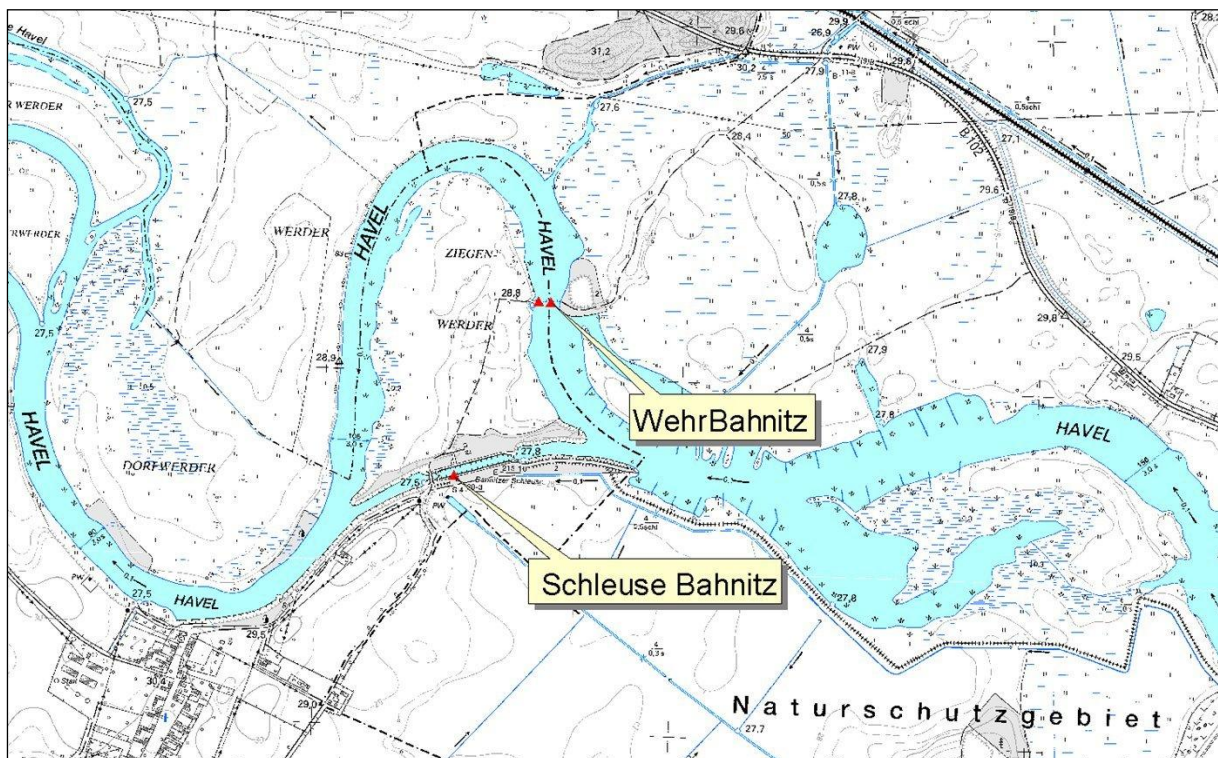


Abbildung 3-26: Übersicht zum Standort Bahnitz (Datengrundlage: TK10, Stand 1992)

Der Standort Bahnitz befindet sich unterhalb wesentlicher seitlicher Zuflüsse zur Havel (z.B. Plane, Buckau und Elbe-Havel-Kanal). Einen Anhaltspunkt zur Plausibilisierung bietet der Pegel Tieckow, für den jedoch erst ab 2002 Messdaten zur Verfügung stehen. Hier zeigt sich, wie in Abbildung 3-28 dargestellt, dass der aus den Messungen abgeleitete Niedrigwasserkennwert zwischen den beiden simulierten Q^*_{30} -Werten liegt. Dies kann ein Hinweis dafür sein, dass die verwendeten Nutzungsdaten die in der Vergangenheit tatsächlich stattgefundenen Nutzungen überschätzen, da es sich um Nutzungsrechte handelt. An dieser Stelle ist es jedoch vernünftig, den (mit Nutzungsdaten) simulierten Wert für die Abbildung eines „worst-case-szenarios“ (alle Nutzer nehmen ihre Rechte in Anspruch) als maßgebliche untere Grenze zur späteren Bewertung zu betrachten.

Tabelle 3-16: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Bahnitz

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Modellinterne Randbedingungen und Bewirtschaftungen	Überleitung Elbe-Havel-Kanal	Ja	Ja
Einspeisung der Pegel	Ketzin (Havel)***	Ja	Ja
	Göttin (Plane)*	Ja	Ja
	Wenzlow Forellenanlage (Verlorenwasser)*	Ja	Ja
	Herrenmühle Forellenanlage (Buckau)*	Ja	Ja
	Kade (Elbe-Havel-Kanal) erst ab 1995, davor künstliche Zeitreihe***	Ja	Ja
Nutzungsdaten	Regionalbereich West	nein	Ja

* Die Abflussdaten wurden vom LUGV Brandenburg bereitgestellt.

*** Die Abflussdaten wurden vom WSA Brandenburg bereitgestellt.

Tabelle 3-17: Abflusskennwerte für den Standort Bahnitz

Nr,	Standort	Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswertzeitraum
		Q ₃₀ [*]	MQ [*]	Q ₃₃₀ [*]	Q ₃₀ [*]	MQ [*]	Q ₃₃₀ [*]	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
		[m³/s]									
	Tieckow	19,5	70,0	123,3	16,3	67,7	121,3	17,8	70,6	129,0	2002-2010
6	Wehr Bahnitz	21,5	70,1	122,6	18,3	67,7	120,6				1991-2010

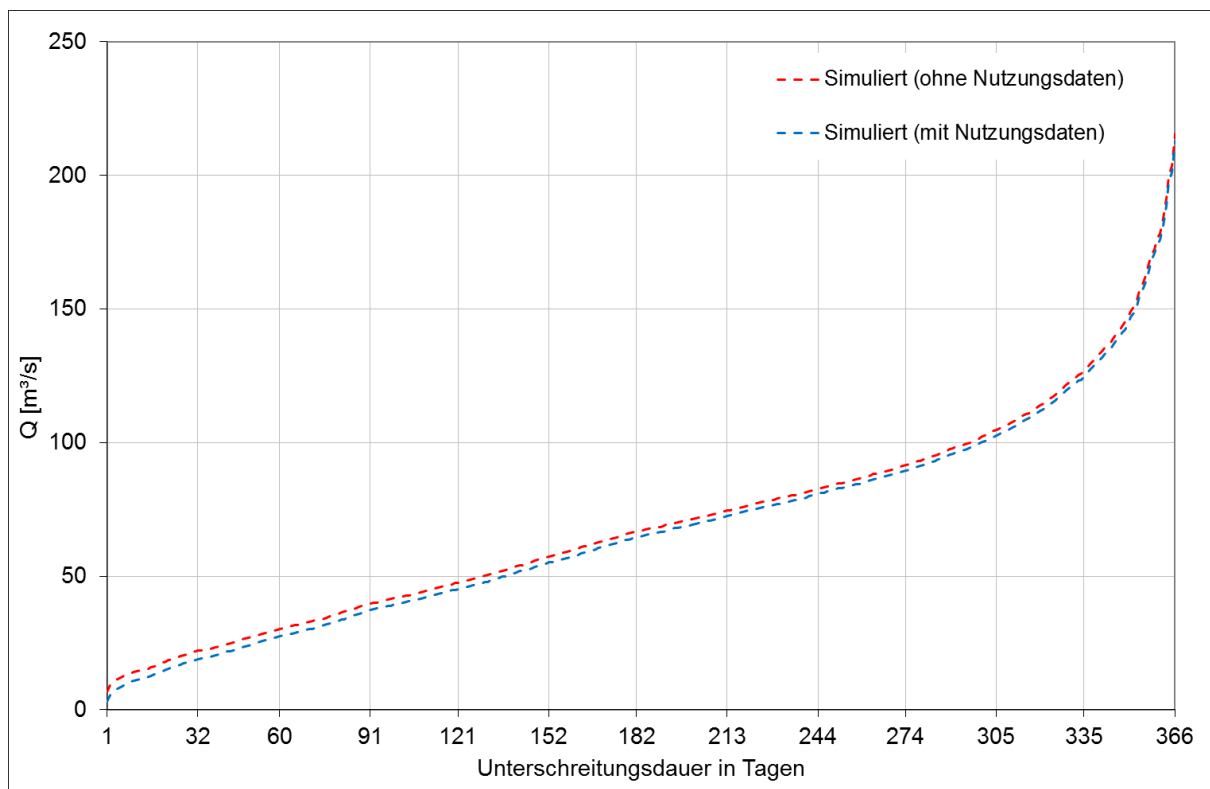


Abbildung 3-27: Abflussdauerlinien für den Standort Bahnitz

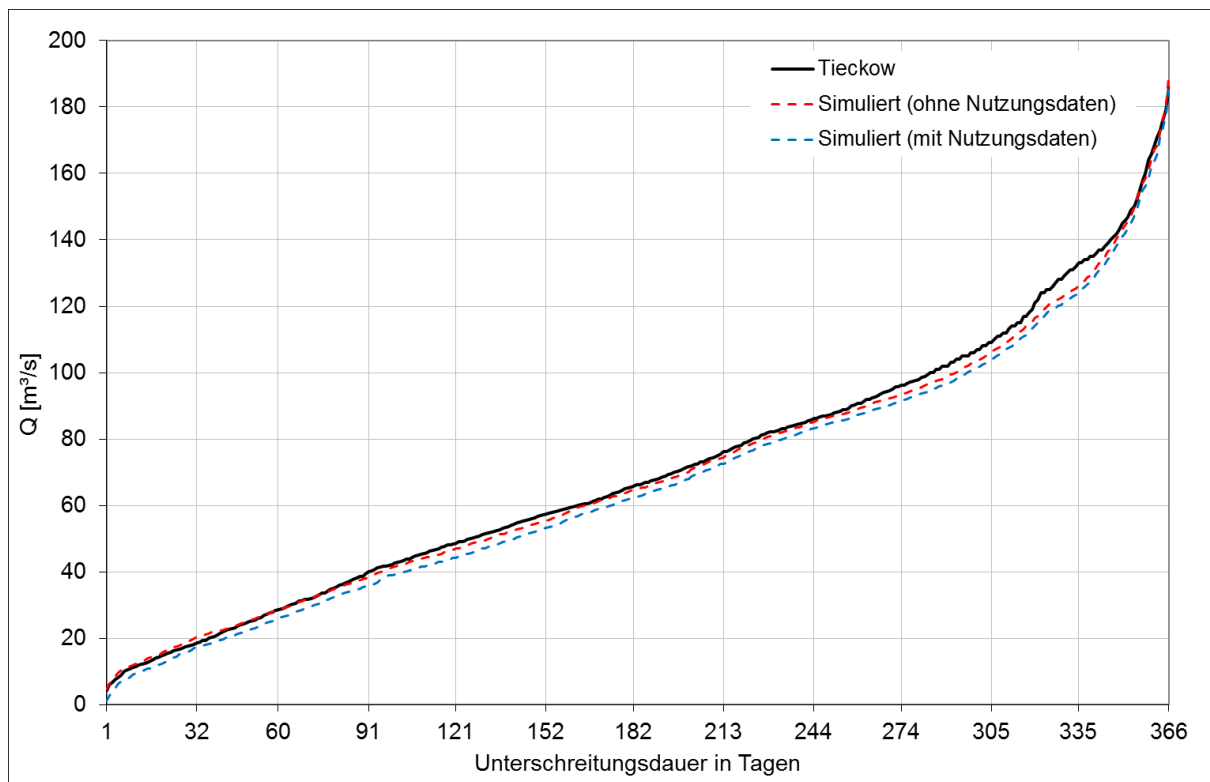


Abbildung 3-28: Abflussdauerlinien für den Standort Tieckow (Quelle der Abflussdaten: WSA Brandenburg)

3.3.1.7 Wehrgruppe Rathenow

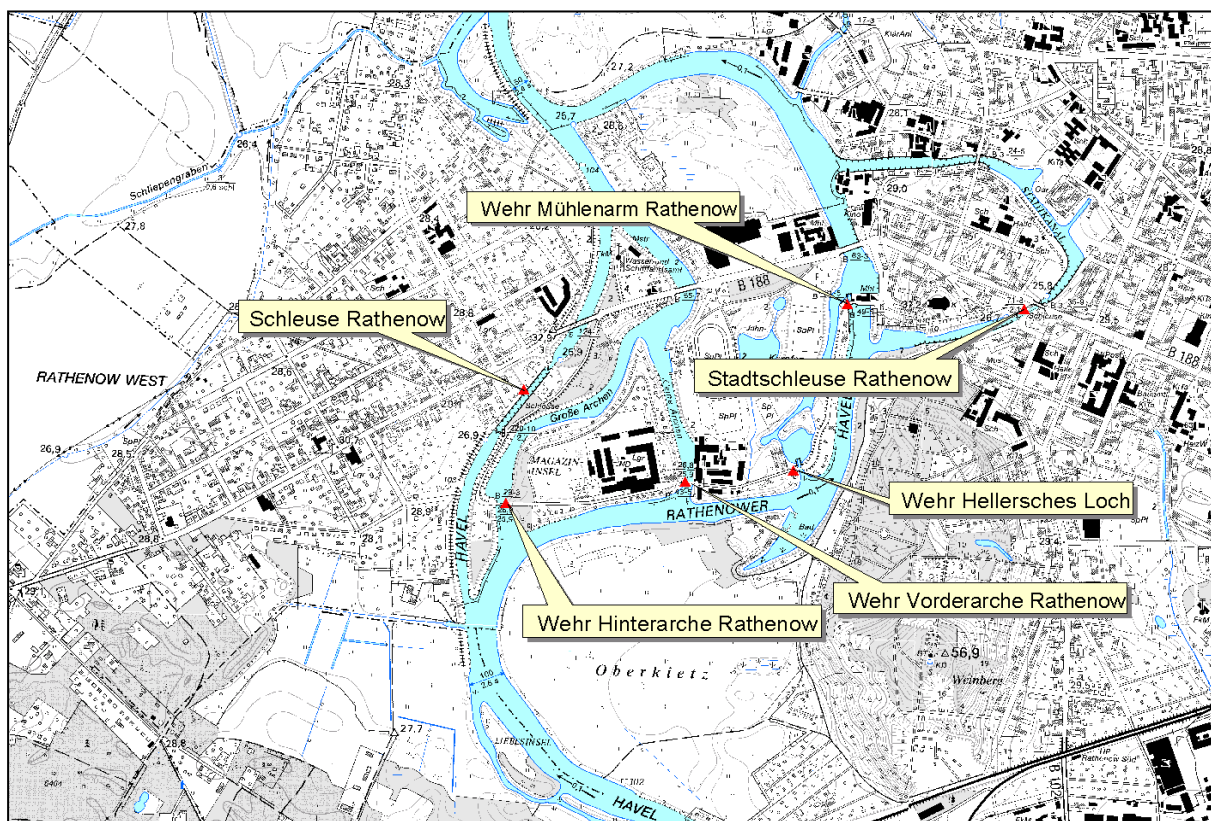


Abbildung 3-29: Übersicht zum Standort Rathenow (Datengrundlage: TK10, Stand 1992)

Für den Standort Rathenow stehen Abflussmesswerte zum Vergleich mit den Simulationsergebnissen zur Verfügung. Aus der Gegenüberstellung in Tabelle 3-18 lässt sich ablesen, dass sich mit dem Modell höhere mittlere Abflüsse und geringere Niedrigwasserkennwerte ergeben als aus den Messungen. Die Abweichung des Q_{30}^* liegt unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten bei lediglich 8%. Um die Modellunsicherheiten an dieser Stelle zu umgehen, wäre diesen Standort die Dauerlinie der Pegelreihe zu verwenden. Aus Gründen der Einheitlichkeit wird jedoch vorgeschlagen, die Simulationsergebnisse unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten zu verwenden.

Tabelle 3-18: Abflusskennwerte für den Standort Rathenow

		Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswertez zeitraum
		Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
Nr,	Standort	[m³/s]									
7	Wehrgruppe Rathenow	21,5	70,8	124,2	19,5	69,5	123,0	17,9	72,8	130,0	1991-2010

Tabelle 3-19: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Rathenow

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Modellinterne Randbedingungen und Bewirtschaftungen	Überleitung Elbe-Havel-Kanal	Ja	Ja
Einspeisung der Pegel	Ketzin (Havel)***	Ja	Ja
	Götting (Plane)*	Ja	Ja
	Wenzlow Forellenanlage (Verlorenwasser)*	Ja	Ja
	Herrenmühle Forellenanlage (Buckau)*	Ja	Ja
	Kade (Elbe-Havel-Kanal) erst ab 1995, davor künstliche Zeitreihe***	Ja	Ja
Nutzungsdaten	Regionalbereich West	nein	Ja

* Die Abflussdaten wurden vom LUGV Brandenburg bereitgestellt.

*** Die Abflussdaten wurden vom WSA Brandenburg bereitgestellt.

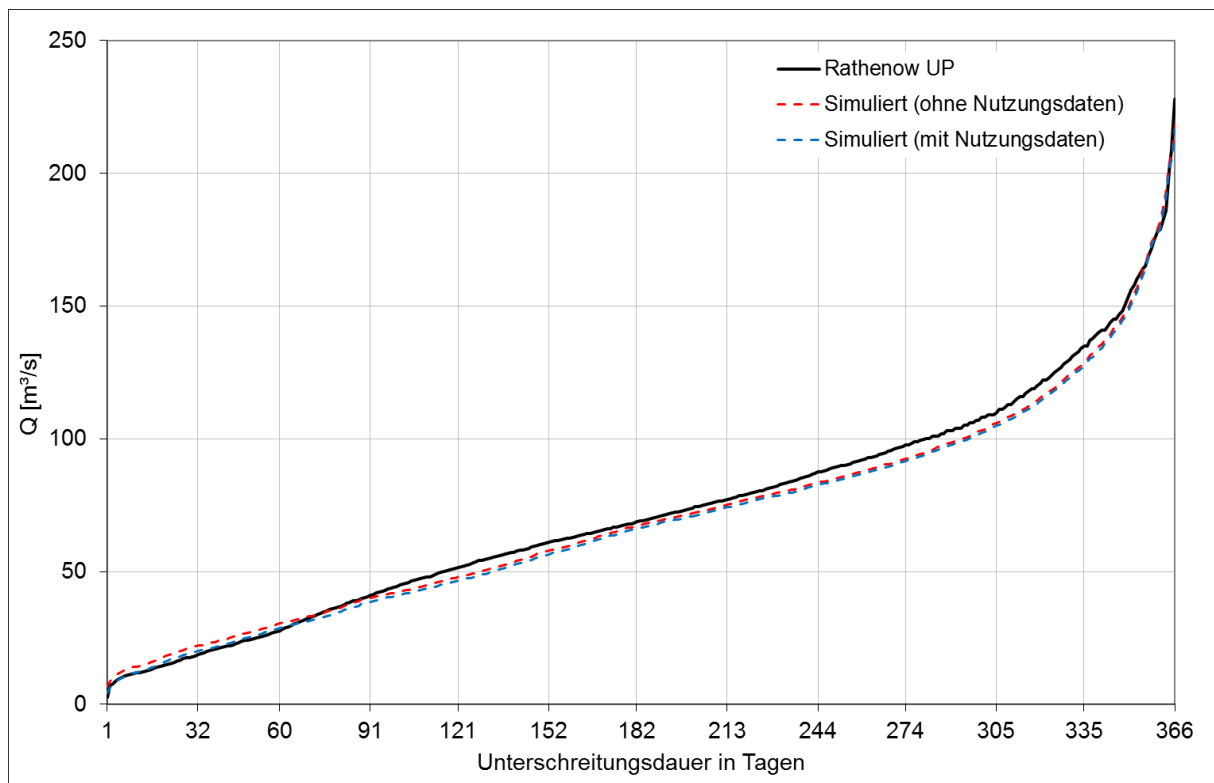


Abbildung 3-30: Abflussdauerlinien für den Standort Rathenow (Quelle der Abflussdaten: WSA Brandenburg)

3.3.1.8 Wehr Grütz

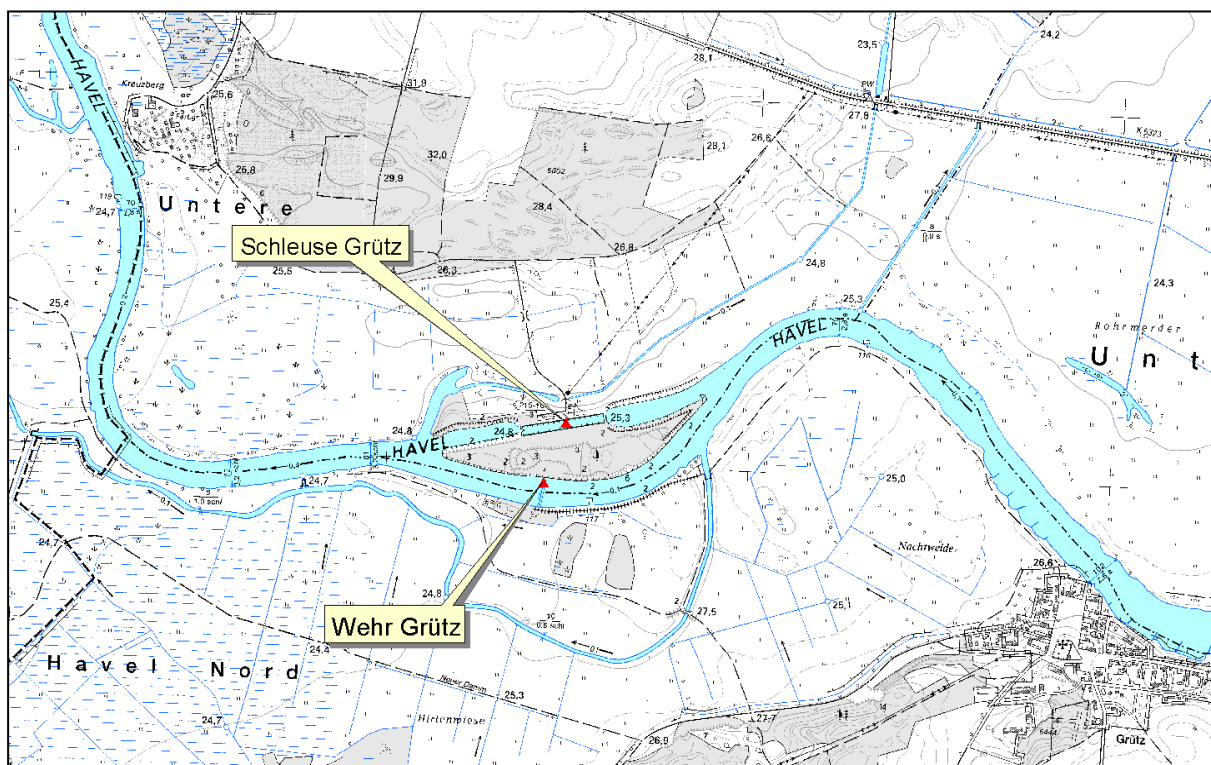


Abbildung 3-31: Übersicht zum Standort Grütz (Datengrundlage: TK10, Stand 1992)

Für Grütz und Garz konnte lediglich anhand des unterhalb der Standorte befindlichen Pegels Havelberg/Stadt eine Plausibilisierung durchgeführt werden. Es zeigt sich anhand der Dauerlinien für Havelberg (s. Abbildung 3-33), dass das Zwischengebiet zwischen Rathenow und Havelberg mit dem Modell gut abgebildet wird. Während ohne Einbeziehung der Nutzungsdaten der Niedrigwasserkennwert Q^*_{30} noch um 40% über dem der Messreihe liegt, hat sich die Abweichung mit Berücksichtigung der Nutzungsdaten auf 4% verringert.

Tabelle 3-20: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Grütz

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Einspeisung der Pegel	Rathenow UP (Havel)***	Ja	Ja
Nutzungsdaten	Regionalbereich West	nein	Ja

*** Die Abflussdaten wurden vom WSA Brandenburg bereitgestellt.

Tabelle 3-21: Abflusskennwerte für den Standort Grütz

		Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswerte- zeitraum
		Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
Nr,	Standort	[m³/s]									
8	Wehr Grütz	19,5	75,3	135,2	17,4	73,9	133,7				1991-2010
	Havelberg Stadt	26,9	89,3	159,1	20,2	84,5	154,5	19,3	85,6	154,0	1991-2010

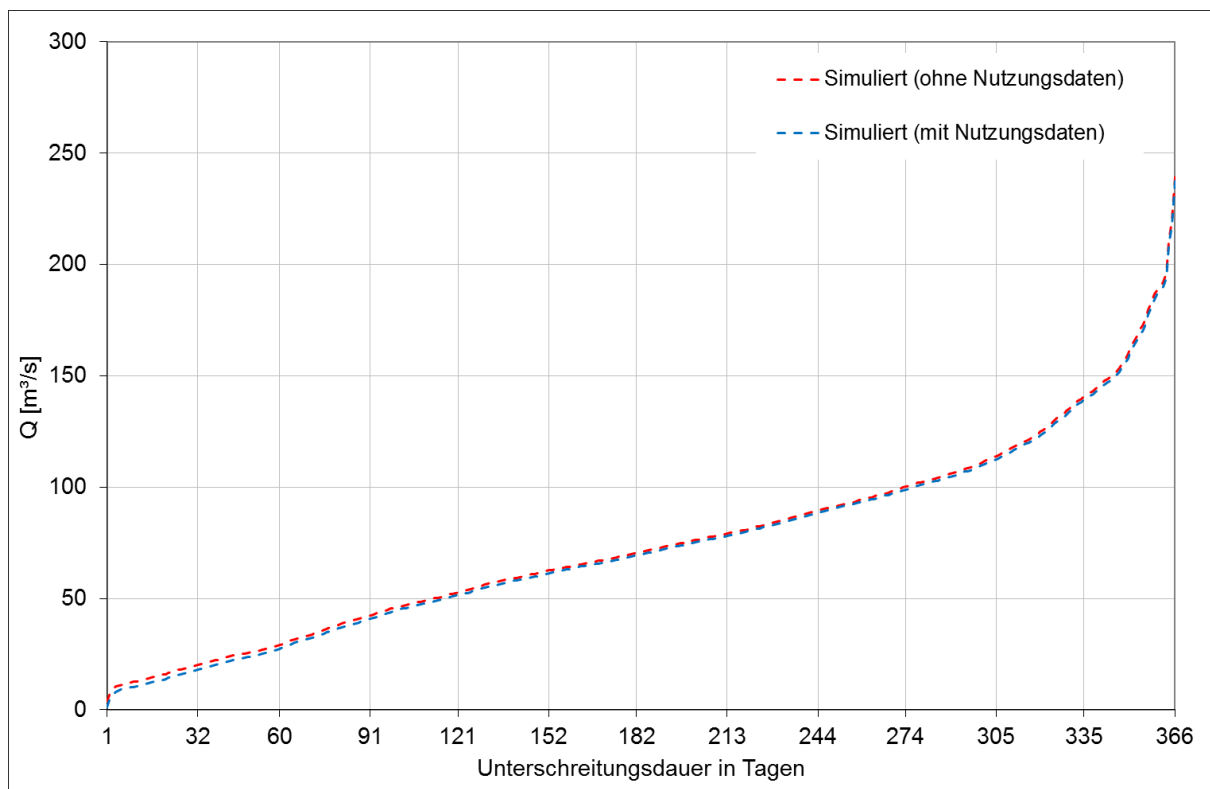


Abbildung 3-32: Abflussdauerlinien für den Standort Grütz

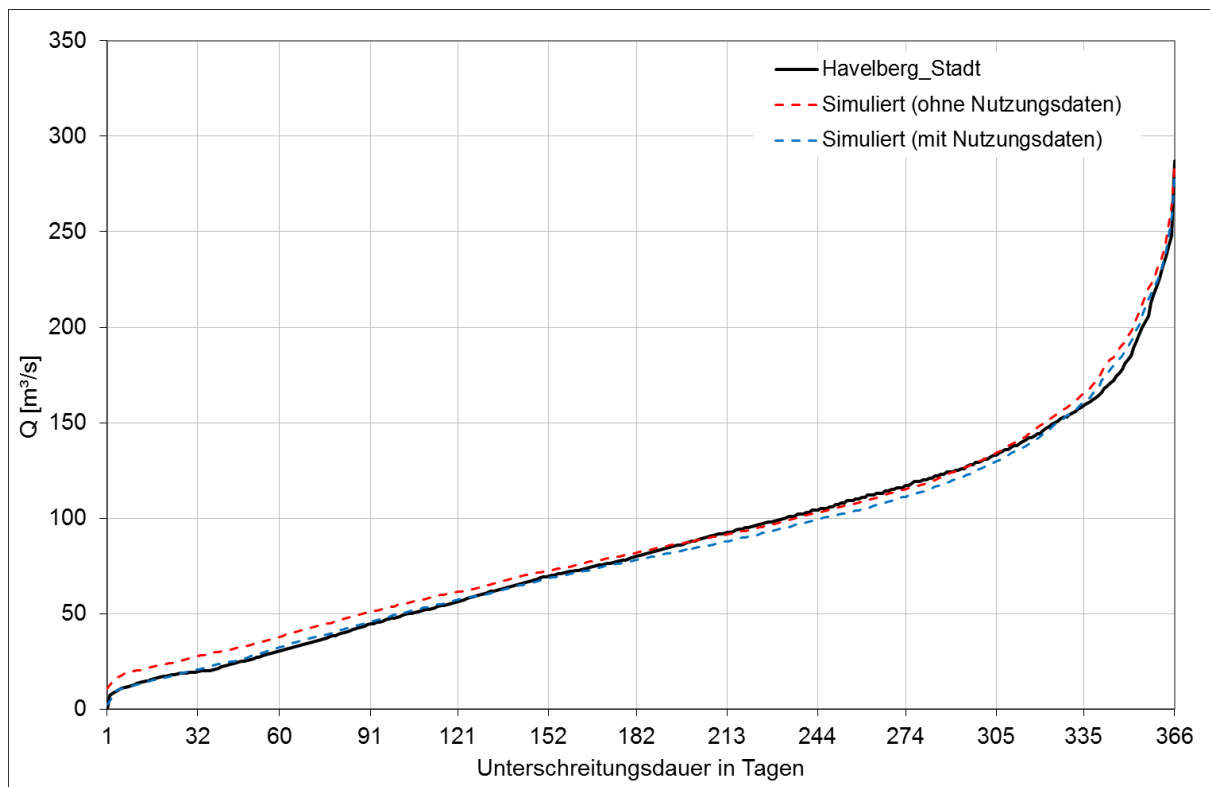


Abbildung 3-33: Abflussdauerlinien für den Standort Havelberg Stadt

3.3.1.9 Wehr Garz

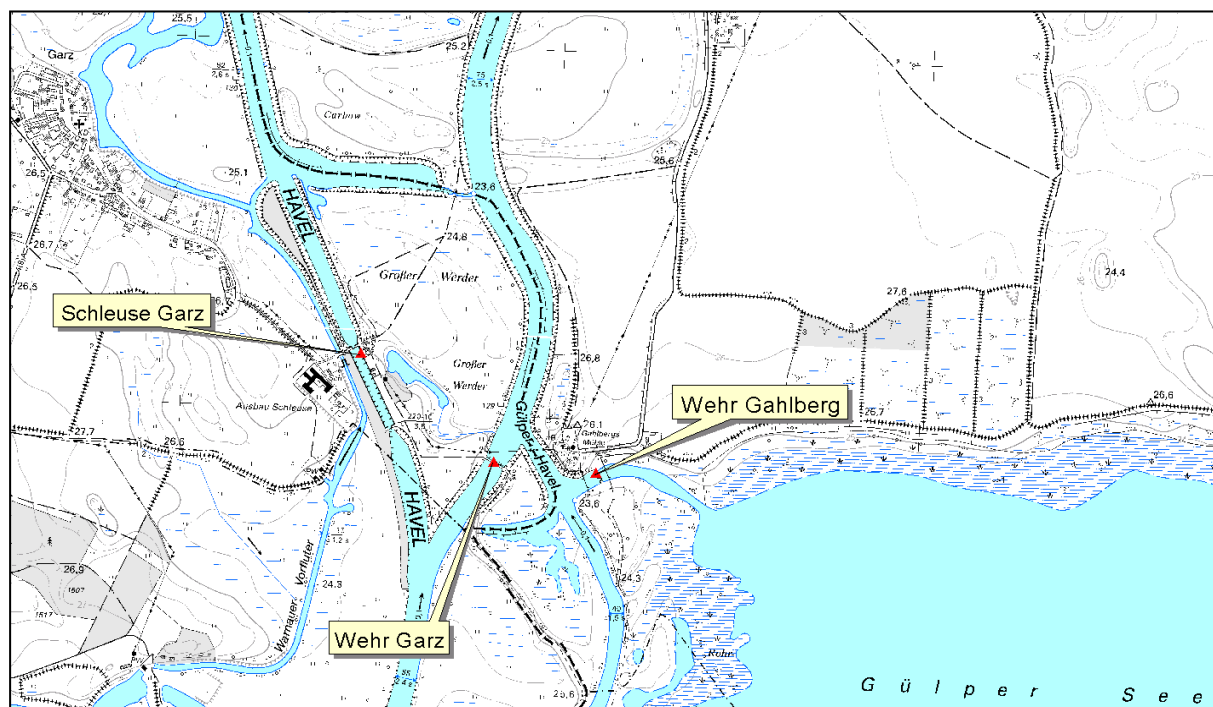


Abbildung 3-34: Übersicht zum Standort Garz (Datengrundlage: TK10, Stand 1992)

Tabelle 3-22: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Garz

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Einspeisung der Pegel	Rathenow UP (Havel)***	Ja	Ja
Nutzungsdaten	Regionalbereich West	nein	Ja

*** Die Abflussdaten wurden vom WSA Brandenburg bereitgestellt.

Tabelle 3-23: Abflusskennwerte für den Standort Garz

		Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswertungszeitraum
		Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
Nr.	Standort	[m ³ /s]									
9	Wehr Garz	19,6	75,6	135,9	17,6	74,1	134,2				1991-2010

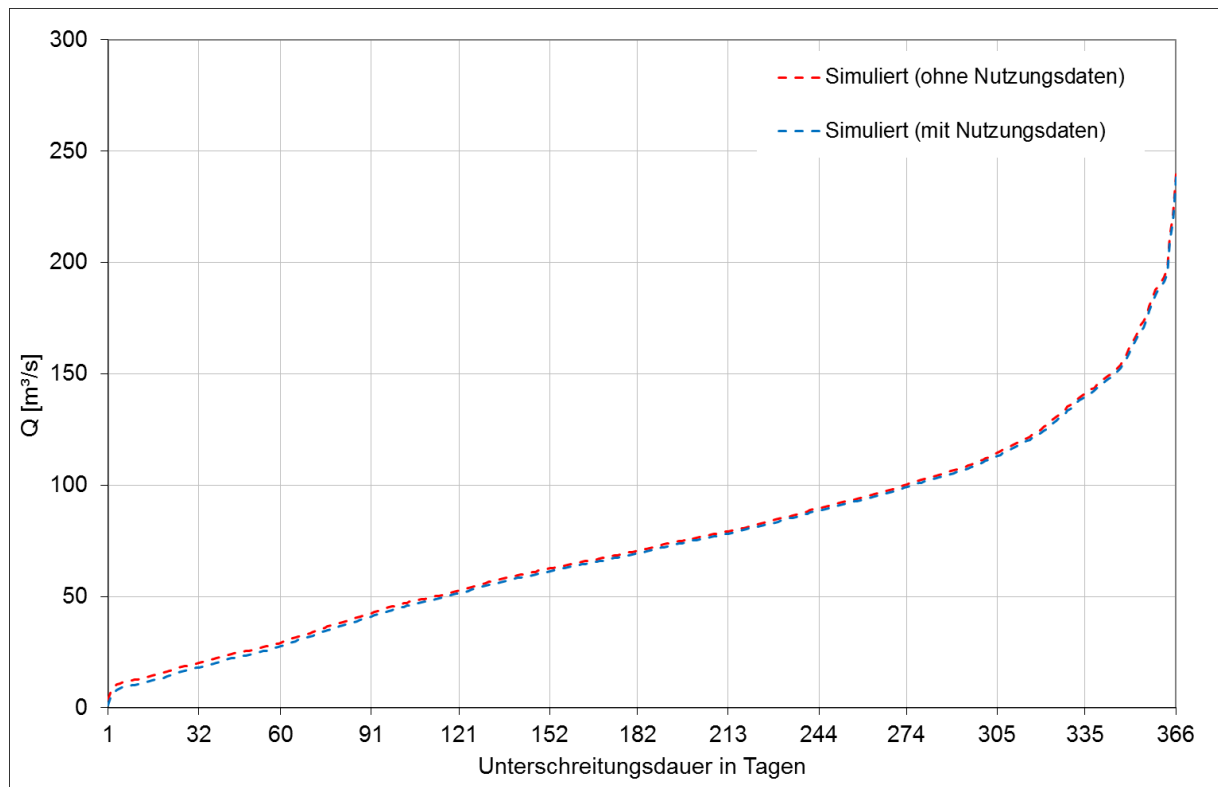


Abbildung 3-35: Abflussdauerlinien für den Standort Garz

3.3.1.10 Wehr Quitzöbel

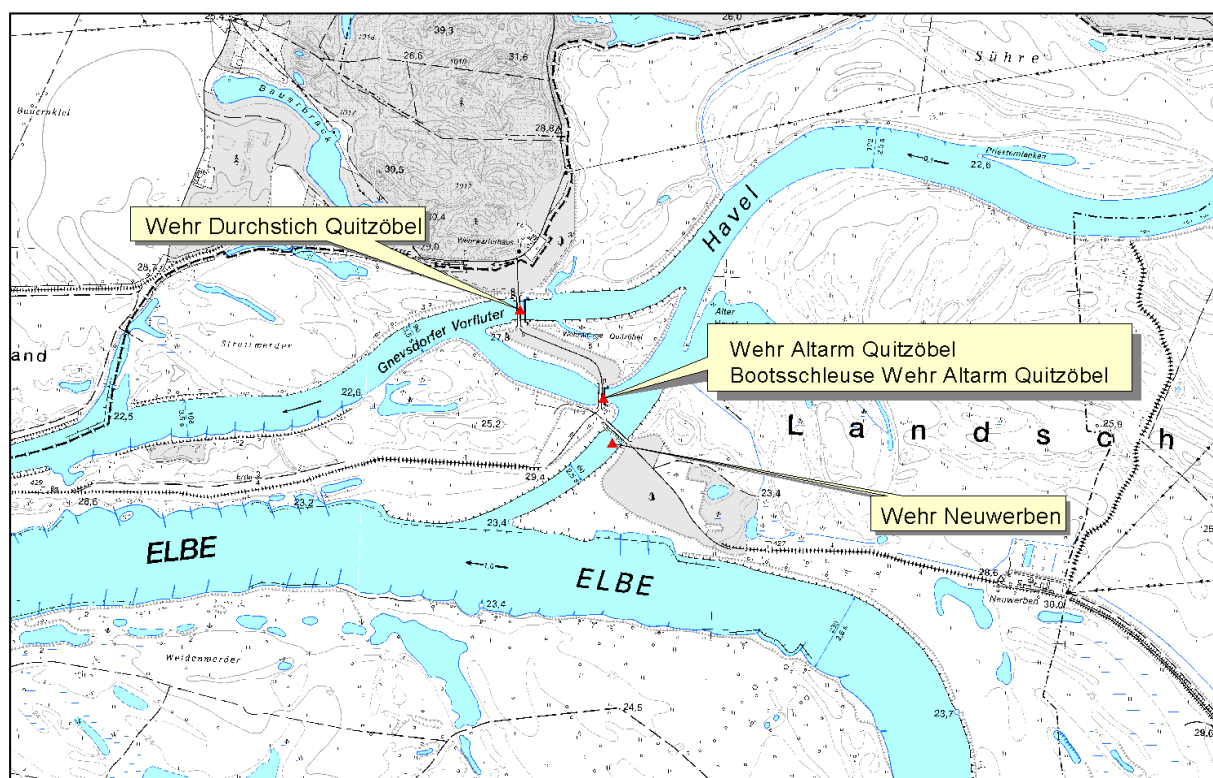


Abbildung 3-36: Übersicht zum Standort Quitzöbel (Datengrundlage: TK10, Stand 1992)

Oberhalb der Standorte Quitzöbel und Gnevsdorf wurde die Messreihe vom Pegel Havelberg/Stadt in das Modell eingespeist. Für das Zwischenstück lagen keine Nutzungsdaten vor, weshalb sich hier die beiden Simulationsläufe nicht voneinander unterscheiden.

Tabelle 3-24: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Quitzöbel

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Einspeisung der Pegel	Havelberg/Stadt (Havel)***	Ja	Ja
Nutzungsdaten	Regionalbereich West	nein	Ja

*** Die Abflussdaten wurden vom WSA Brandenburg bereitgestellt.

Tabelle 3-25: Abflusskennwerte für den Standort Quitzöbel

		Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswerte- zeitraum
		Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
		[m³/s]									
Nr,	Standort	19,4	85,9	154,9	19,4	85,9	154,7				1991-2010

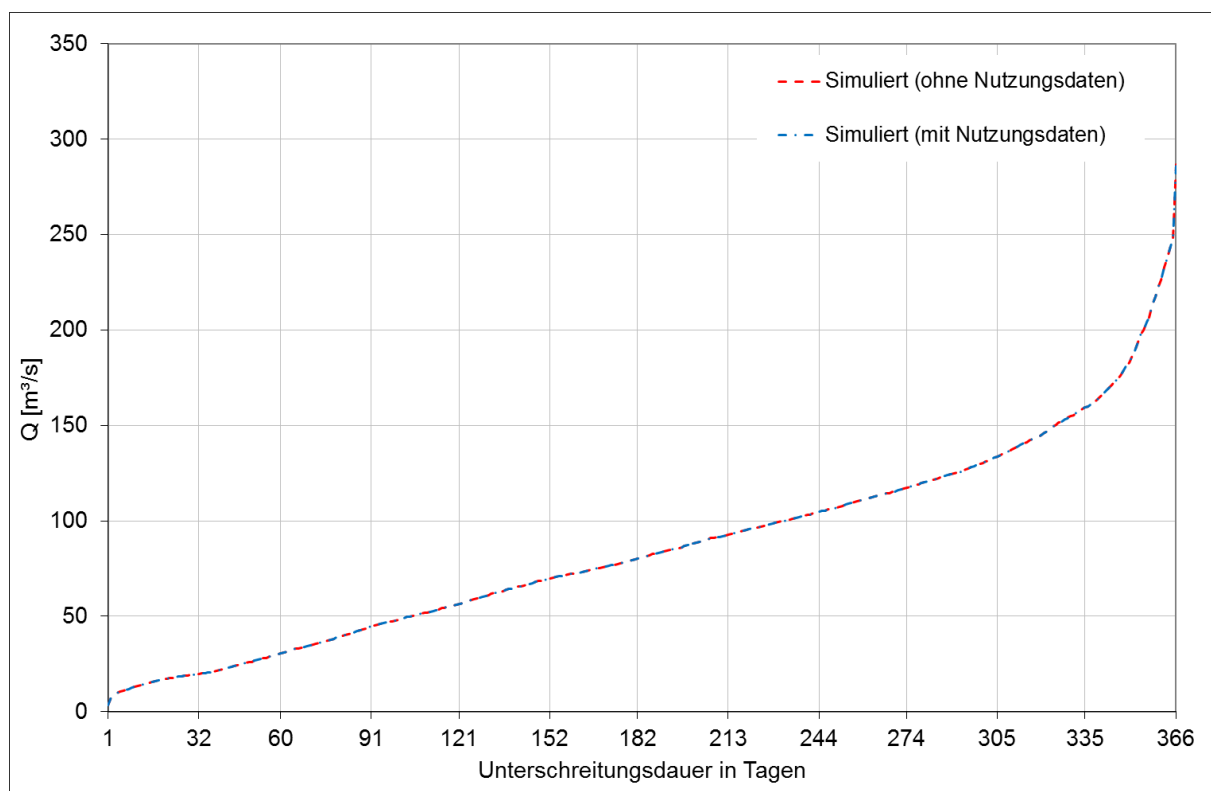


Abbildung 3-37: Abflussdauerlinien für den Standort Quitzöbel

3.3.1.11 Wehr Gnevsdorf

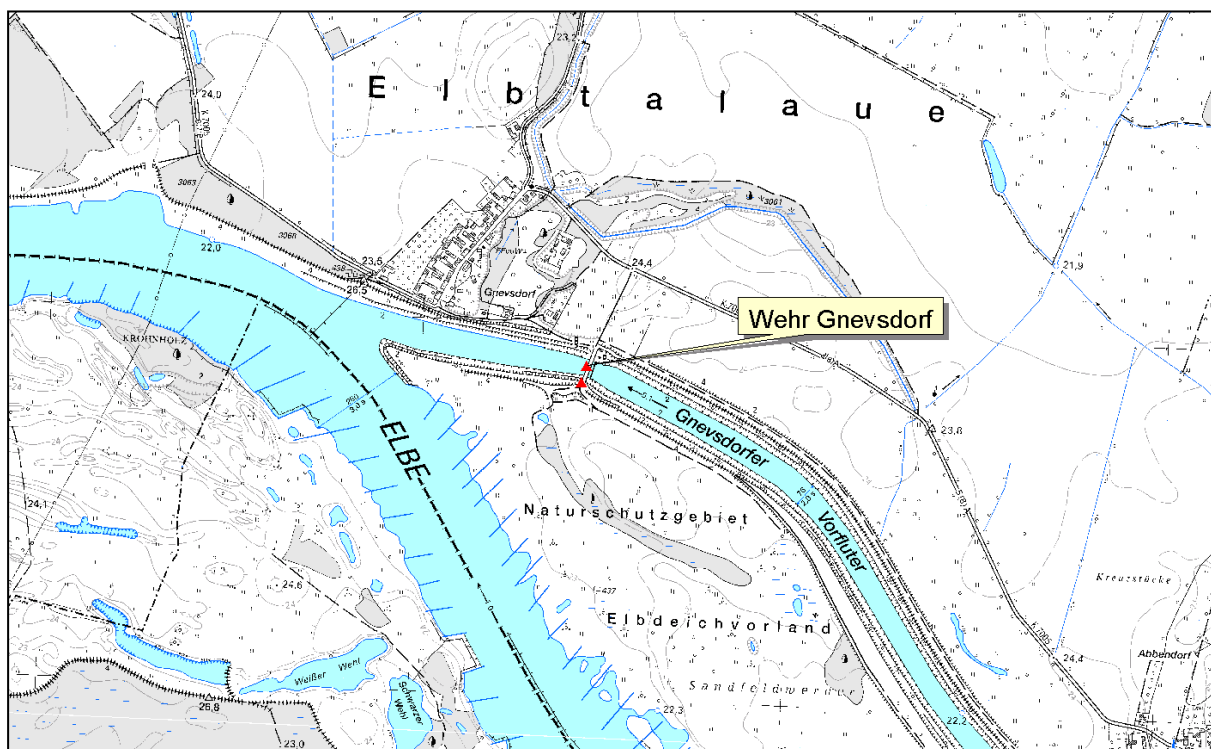


Abbildung 3-38: Übersicht zum Standort Gnevsdorf (Datengrundlage: TK10, Stand 1992)

Tabelle 3-26: Randbedingungen der Simulationsläufe für den Standort Gnevsdorf

		Ohne Nutzungen simuliert	Mit Nutzungen simuliert
Einspeisung der Pegel	Havelberg/Stadt (Havel)***	Ja	Ja
Nutzungsdaten	Regionalbereich West	nein	Ja

*** Die Abflussdaten wurden vom WSA Brandenburg bereitgestellt.

Tabelle 3-27: Abflusskennwerte für den Standort Gnevsdorf

		Ohne Nutzungen simuliert			Mit Nutzungen simuliert			aus Pegelmessung abgeleitet			Auswerte- zeitraum
		Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	
Nr,	Standort	[m³/s]									
11	Wehr Gnevsdorf	19,8	85,9	154,5	19,8	85,9	154,5				1991-2010

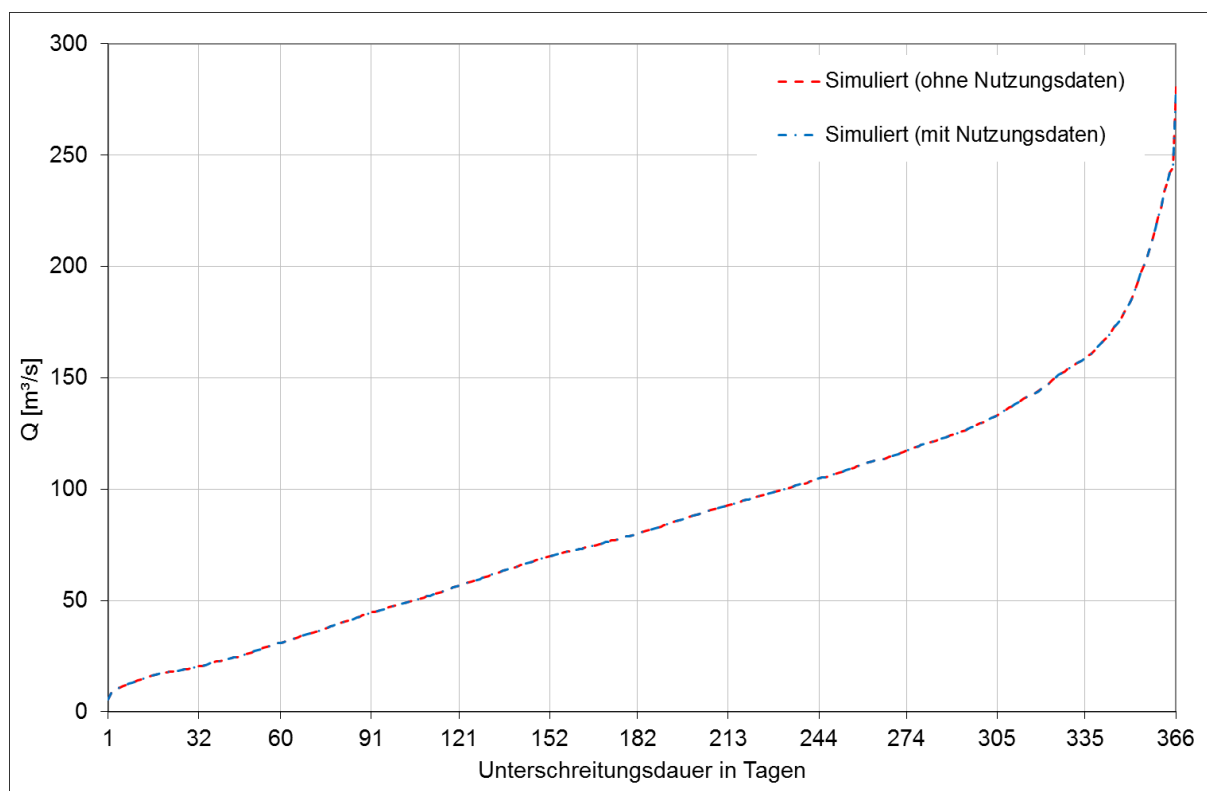


Abbildung 3-39: Abflussdauerlinien für den Standort Gnevsdorf

3.3.2 Zukünftige Entwicklung

Bei Betrachtung des verfügbaren Wasserdargebots ist in der Zukunft sowohl mit klimatischen Änderungen als auch mit Änderungen hinsichtlich der Nutzungseinflüsse zu rechnen.

Im Rahmen des Projektes KLIWAS 4.01 „Wasserhaushalt, Wasserstand und Transportkapazität“ (s. KLIWAS 2011) und in einem noch nicht abgeschlossenen Bericht der Bundesanstalt für Gewässerkunde (s. EBNER VON ESCHENBACH & HOHENRAINER 2013) wird der Einfluss des Klimawandels auf die Abflüsse im Havel-Spree-Gebiet untersucht. Die derzeitigen Ergebnisse zeigen, dass der Median der mittleren monatlichen Abflüsse (Pegel Rathenow) bzw. der Mittlere Niedrigwasserabfluss (Pegel Sophienwerder und Teltowkanal) in der „nahen Zukunft“ (ca. 2020–2050) nur sehr geringfügig von denen der Referenzperiode (1961–1990 bzw. 2008–2012) abweicht. Für die „ferne Zukunft“ (ca. 2070–2100), schwanken die Ergebnisse von keiner Änderung bis zu einer deutlichen Tendenz zum Abflussrückgang. Diese große Spannbreite an Schwankungen sind auf die Unsicherheiten auf Grund unterschiedlicher Klimaprojektionen, Modellunsicherheiten und Bewirtschaftungsszenarien zurückzuführen, so dass sich daraus keine handhabbare Ableitung der Abflüsse herleiten lässt. Somit bleibt der unsicher zu quantifizierende Einfluss des Klimawandels v.a. nach 2050 in diesem Bericht unberücksichtigt.

Bei der folgenden Analyse wird demzufolge vor allem auf die Nutzungseinflüsse eingegangen.

Aus den Angaben zur Nutzungsdatenbasis in Kapitel 3.1.4 geht hervor, dass nur für die Spree und für die Schwarze Elster Datengrundlagen für die Beschreibung der zukünftigen Nutzungssituation zur Verfügung standen. Aus diesem Grund kann bei der Betrachtung der zukünftigen Entwicklung nur auf diese beiden Gebiete eingegangen werden.

Die Nutzungsdaten sind räumlich grob aufgelöst und beziehen sich auf insgesamt 24 Bilanzgebiete, die aus dem bestehenden WBaMo-Modell abgeleitet wurden. Die Daten stehen als mittlere Monatswerte für den Zeithorizont 2012 und für den Prognosehorizont 2020 zur Verfügung. Des Weiteren wurden vom Regionalbereich Süd zur Charakterisierung des Bergbaueinflusses die Absenkrichterflächen für 2012 und 2020 zur Verfügung gestellt. Ziel der Analyse war es, die Frage zu beantworten, um welchen Wert bzw. wie stark sich das Wasserdargebot in der Zukunft ändern wird. Dazu wurden insgesamt zwei Simulationsläufe (mit den Nutzungsdaten des Zeithorizonts 2012 und des Prognosehorizontes 2020) durchgeführt. Bei diesen Rechnungen wurde auf die Pegeleinspeisung verzichtet, da andernfalls die Einflüsse der Nutzungsdaten an den Pegelstandorten überschrieben worden wären. Ein Vergleich der Simulationsergebnisse ermöglicht auf diese Weise eine Ermittlung der Änderungen des Wasserdargebots, die direkt auf die Nutzungsänderungen zurückzuführen sind.

Allerdings ist es sehr wichtig zu betonen, dass für den Sächsischen Teil der Spree keine Nutzungsdaten zur Verfügung standen und demnach auch bei diesen Berechnungen die Pegelzeitreihe Spremberg eingespeist werden musste. Dies bedeutet, dass die Zuflüsse aus der oberen Spree den Messungen der vergangenen 20 Jahre entsprechen und weder Änderungen in der Speicherbewirtschaftung noch hinsichtlich des Bergbaus für dieses Gebiet berücksichtigt werden konnten.

Dies erklärt, weshalb in anderen Untersuchungen teilweise andere zukünftige Entwicklungen ermittelt wurden, als sie im Folgenden dargestellt werden. So wird beispielsweise in EBNER VON ESCHENBACH et al. (2013) gezeigt, dass die mittleren Niedrigwasserabflüsse in der nahen Zukunft (2021-2050) durch die Inbetriebnahme zusätzlicher Speicher in der Lausitz und durch die noch bestehenden Sumpfungswässer in der Spree stark zunehmen würden. Für den Gesamtzufluss nach Berlin ergäbe sich unter diesen Voraussetzungen eine Erhöhung des MNQ um 61%.

In der vorliegenden Bearbeitung für die Spree zeigen die Daten für den Prognosezeitraum 2020 nur für das Gebiet oberhalb Lübbens Änderungen gegenüber dem Stand 2012 an. Aus diesem Grund wird an diesem Pegel aufgezeigt, welche Veränderungen des Abflusses in der Spree sich aus den verwendeten Daten ableiten lassen. Diese Abflussänderungen können dann für eine erste Abschätzung auf die unterhalb liegenden Abschnitte übertragen werden, wobei jedoch die Abflussaufteilungen unterhalb von Lübben (z.B. am Wehr Hartmannsdorf, am Wehr Leibsch und am Wehr Große Tränke) entsprechend zu berücksichtigen wären.

In Tabelle 3-28 sind die Abflusskennwerte aufgeführt, die sich aus den Abflussdaten für den Zeitraum 1991-2010 am Pegel Lübben Zusammenfluss ergeben. Sie gibt außerdem einen Überblick über die Änderungen der Abflusskennwerte, die sich unter Auswertung der Simulationläufe für den Prognosehorizont 2020 gegenüber dem Zeithorizont 2012 am Pegel Lübben Zusammenfluss ergeben. Zusätzlich ist dort aufgeführt, welches mittlere Änderungssignal jeweils aus den Nutzungsdaten und aus den Daten der Trichterflächen abgelesen werden kann.

Der Q_{30} -Wert erhöht sich für den Prognosehorizont um 0,5 m³/s, der mittlere Abfluss um knapp 1 m³/s. Im Vergleich zu den Pegeldaten ergibt sich damit ein Anstieg des Q_{30} -Wertes um ca. 9%. Dass die Auswirkungen moderat ausfallen, liegt darin begründet, dass die Nutzungsdaten im Mittel kaum (um 0,2 m³/s) voneinander abweichen. Die Grundwasserabsenktichterflächen (s. Tabelle 3-3) nehmen in der Zukunft um ca. 200 km² bzw. bezogen auf die Gesamtfläche der betrachteten WBALMO-Bilanzgebiete um etwa 10% ab.

Insgesamt deuten sowohl die Nutzungsänderungen als auch die Änderungen der Trichterflächen auf keine zukünftige Verschärfung im Niedrigwasserbereich hin.

Tabelle 3-28: Abflusskennwerte am Pegel Lübben Zusammenfluss (1991-2010) und zu erwartende Änderungen im Prognosehorizont 2020 gegenüber dem Zeithorizont 2012

		Q_{30}	MQ	Q_{330}	Nutzungen	Trichterflächen
		[m ³ /s]				km ²
Lübben Zusammenfluss	2012	5,5	17,0	31,7	0,97	571
	Änderung	+0,5	+0,9	+1,3	0,24	-200

Bei der Schwarzen Elster ist dieser Effekt verstärkt zu beobachten. Hierfür wurden zwei Standorte näher analysiert: der Pegel Biehlen 1, der sich im Hauptlauf der Schwarzen Elster unmittelbar unterhalb einer Kette aus Tagebaurestlöchern befindet und der unterste verfügbare Pegel Löben der Schwarzen Elster, der bereits in Sachsen-Anhalt liegt (Tabelle 3-29).

Für die Schwarze Elster auf Brandenburger Gebiet ergibt sich gemäß WBALMO für die Trichterflächen (s. auch Tabelle 3-3) im Prognosehorizont 2020 ein Rückgang um ca. 350 km², während die Nutzungsmengen im Mittel um 2,4 m³/s ansteigen (Tabelle 3-29). Dies führt zu einer beträchtlichen Erhöhung des Q₃₀-Wertes für Biehlen 1 um 2,7 m³/s. Am Pegel Löben beträgt der Anstieg für den Q₃₀-Wert noch 2,1 m³/s, d.h. der zukünftige Wert würde um 55% über dem Wert liegen, der sich aus den Messungen zwischen 1991-2010 ergibt.

Insgesamt deuten die Daten demnach für die Schwarze Elster auf eine vergleichsweise starke Entspannung der Niedrigwassersituation in der Zukunft hin, die sich insbesondere aus einem Rückgang der bergbaubedingten Wasserentnahmen und den verkleinerten Trichterflächen ergibt.

Tabelle 3-29: Abflusskennwerte an den Pegeln Biehlen 1 und Löben (1991-2010) und zu erwartende Änderungen im Prognosehorizont 2020 gegenüber dem Zeithorizont 2012

		Q ₃₀	MQ	Q ₃₃₀	Nutzungen	Trichterflächen
		[m ³ /s]				km ²
Löben	2012	3,8	14,9	30,2	-2,1	498
	Änderung	2,1	3,0	3,3	+2,4	-354
Biehlen 1	2012	0,7	2,4	5,4	-1,8	
	Änderung	2,7	3,5	4,9	+2,4	

Hinweis:

Zu beachten ist, dass der Klimawandel nicht in der Modellierung berücksichtigt wurde und lediglich für die Spree und die Schwarze Elster auf Brandenburger Gebiet künftige Nutzungseinflüsse einbezogen wurden, so dass die Aussagen zur künftigen Entwicklung des Wasserdargebotes mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet sind.

3.3.3 Unsicherheitsbetrachtung

Eine klassische Modellkalibrierung des Modells war aufgrund der Pegeleinspeisung, die in Kapitel 3.2 begründet wird, nicht möglich. Stattdessen wurde im Rahmen der Plausibilisierung der Modellergebnisse flächendeckend an den verfügbaren Pegelstandorten ein Vergleich zwischen simulierten und gemessenen MNQ durchgeführt. Dieser Vergleich zeigte, dass an einigen Standorten größere Differenzen zwischen den aus Simulation und Messung abgeleiteten Kennwerten auftreten. Diese sind auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Die vorhandenen Nutzungsdaten stellen die Nutzungsrechte und damit die maximal möglichen Nutzungsmengen dar, wodurch es auf Seiten des Modells zu einer Unterschätzung des aus den Messungen abgeleiteten Q_{30} kommen kann.
- Die Nutzungsdaten liegen nur als Monatswerte vor, während die Aussagen für den Niedrigwasserbereich (Q_{30}^*) eine tägliche Auflösung verlangen.
- Hinsichtlich der Nutzungsdaten existiert ein unterschiedlicher Grad an Sicherheit für die verschiedenen Regionalbereiche. Bereits aus der Beschreibung der Nutzungsdatenbasis (vgl. Kap. 3.1.4) wird ersichtlich, dass hinsichtlich der räumlichen Auflösung eine starke Heterogenität vorliegt. So sind Ergebnisse entstanden, die
 - für den RB West Aussagen in hoher räumlicher Auflösung unter Berücksichtigung der derzeitigen Nutzungseinflüsse ermöglichen,
 - für den RB Süd Aussagen in grober räumlicher Auflösung unter Berücksichtigung der derzeitigen und künftigen Nutzungseinflüsse gestatten und
 - für den RB Ost hauptsächlich auf den natürlichen Dargeboten beruhen (abgesehen von den wenigen Stellen, wo Pegeldaten zur Verfügung standen) und damit nur Aussagen darüber zulassen, ob eine FAA theoretisch möglich ist (Q_{30}^* größer als $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$) und
 - für Berlin Aussagen in hoher räumlicher aber geringer zeitlicher Auflösung unter Berücksichtigung der derzeitigen Nutzungseinflüsse ermöglichen.
- Für die Nutzungsdaten des Regionalbereichs Süd ist problematisch, dass innerhalb der großen Bilanzgebiete keine Differenzierungsmöglichkeiten gegeben sind und daher innerhalb eines Bilanzgebietes keine Nutzungen angesetzt werden konnten. Aus diesem Grund wurden die kumulativen Nutzungsmengen des Bilanzgebietes jeweils erst am Gebietsauslass berücksichtigt. Um diese Unsicherheitsquelle in Zukunft auszuschließen, ist die Verwendung einer örtlich höher aufgelösten Datenbasis (wie jetzt bereits im Regionalbereich West) empfehlenswert.
- Im Modell sind nicht alle Verzweigungen und Überleitungen enthalten.
- Vor allem die im Modell berücksichtigten Abflussaufteilungen im Einzugsgebiet der Spree und der Schwarzen Elster wurden im Rahmen anderer Bearbeitungen eingeführt, bei denen die Niedrigwassersituation keine Rolle spielte. So sind diese modellinternen Aufteilungsregeln dazu geeignet, die mittleren und/oder Hochwasserabflüsse abzubilden. Unsicherheiten treten jedoch im Niedrigwasserbereich auf.
- Insbesondere in der unteren Havel sind die W-Q-Beziehungen wegen der Staubeinflussung mit Unsicherheiten belastet.
- Zusätzlich kommt es im Tiefland in Trockenzeiten zu sinkenden Grundwasserständen, wodurch ein Teil des Wassers aus dem Vorfluter ins Grundwasser reinfiltiert. Dies wird im Modell nur ansatzweise berücksichtigt, was dazu führt, dass das Modell insbesondere in den Gebieten der unteren Havel die Sommerabflüsse teilweise überschätzt.

Angesichts der genannten Unsicherheiten sollte an den Standorten, wo der Q_{30}^* -Wert in derselben Größenordnung wie der $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ liegt, untersucht werden, inwiefern die verwendeten Nutzungsdaten den tatsächlichen Nutzungsmengen entsprechen. Gegebenenfalls ist hier eine Konfliktanalyse durchzuführen, wie die Nutzungsrechte in Zukunft verteilt werden, um den notwendigen Mindestabfluss für eine FAA zu gewährleisten.

Die oben beschriebenen Unsicherheiten sind hauptsächlich auf die verfügbaren Nutzungsdaten zurückzuführen. Mit dem Modell wurde jedoch ein gutes Werkzeug geschaffen, das in der Lage ist, bei einer hinreichend räumlich und zeitlich aufgelösten Datenbasis die derzeitigen und zukünftigen Niedrigwasserabflüsse abzubilden.

3.3.4 Ergebnisübergabe für alle Vorranggewässer

Die in Kapitel 3.3.1 dargestellten Ergebnisse für die 11 prioritären Standorte bilden eine Teilmenge der übergebenen Daten. Es wurde beispielhaft beschrieben, wie diese Daten interpretiert werden können. Als Gesamtergebnis werden für alle Vorranggewässer Brandenburgs (siehe übergebene Shape-Datei *vorranggewaesser.shp*) die Abflussdauerlinien der zwei Simulationsläufe (mit und ohne Berücksichtigung der Nutzungsdaten) übergeben. Diese wurden hoch aufgelöst für alle 5336 Gewnet25-Fließgewässerabschnitte der Vorranggewässer (Abbildung 2-3) erzeugt und in den folgenden zwei Dateien abgespeichert:

- *Dauerlinien_mit_Nutzung.txt* (Diese Datei enthält die mittleren Abflussdauerlinien für den Simulationslauf unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten.)
- *Dauerlinien_ohne_Nutzung.txt* (Diese Datei enthält die mittleren Abflussdauerlinien für den Simulationslauf ohne Berücksichtigung der Nutzungsdaten.)

Das Modell beinhaltet keine Zuflüsse zur Oder oder Neiße. Da in diesen überregionalen Vorranggewässern keine für den AG relevante Standorte vorliegen, sollten hier auch keine Ergebnisse geliefert werden. Für den Regionalbereich Ost wurden demnach nur die regionalen Vorranggewässer ausgewertet.

Über die Fließgewässer-ID (FGWID) kann an jedem beliebigen Standort im Gewässernetz die jeweilige Dauerlinie abgefragt werden. In Abbildung 3-40 ist ein Ausschnitt aus der Ergebnistabelle mit den Dauerlinien dargestellt. In Spalte „H“ sind die Unterschreitungsdauern in Tagen angegeben. Alle weiteren Spalten sind mit der jeweiligen FGWID überschrieben. Diese finden sich im übergebenen Shape der Vorranggewässer wieder und können so jedem Gewässerabschnitt zugeordnet werden. In dem Beispiel wurde ein Fließgewässerabschnitt der Dosse mit der ID 621 selektiert.

H	606	613	621
1	0,061	0,061	0,063
2	0,067	0,068	0,071
3	0,07	0,071	0,076
4	0,073	0,074	0,084
5	0,079	0,08	0,095
6	0,084	0,087	0,098
7	0,089	0,091	0,102
8	0,091	0,093	0,105
9	0,092	0,095	0,108
10	0,094	0,096	0,112
11	0,096	0,098	0,115
12	0,096	0,099	0,117
13	0,098	0,1	0,119
14	0,1	0,102	0,122

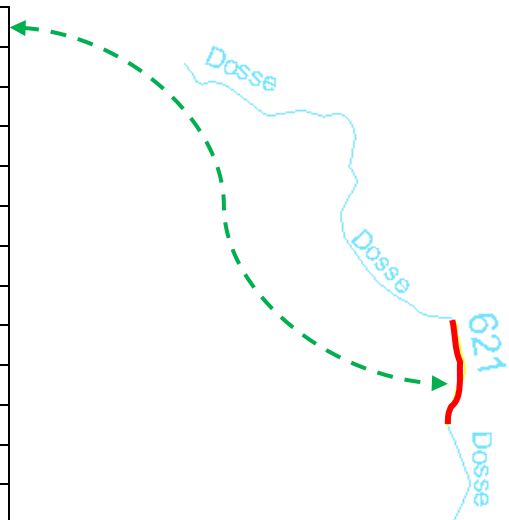


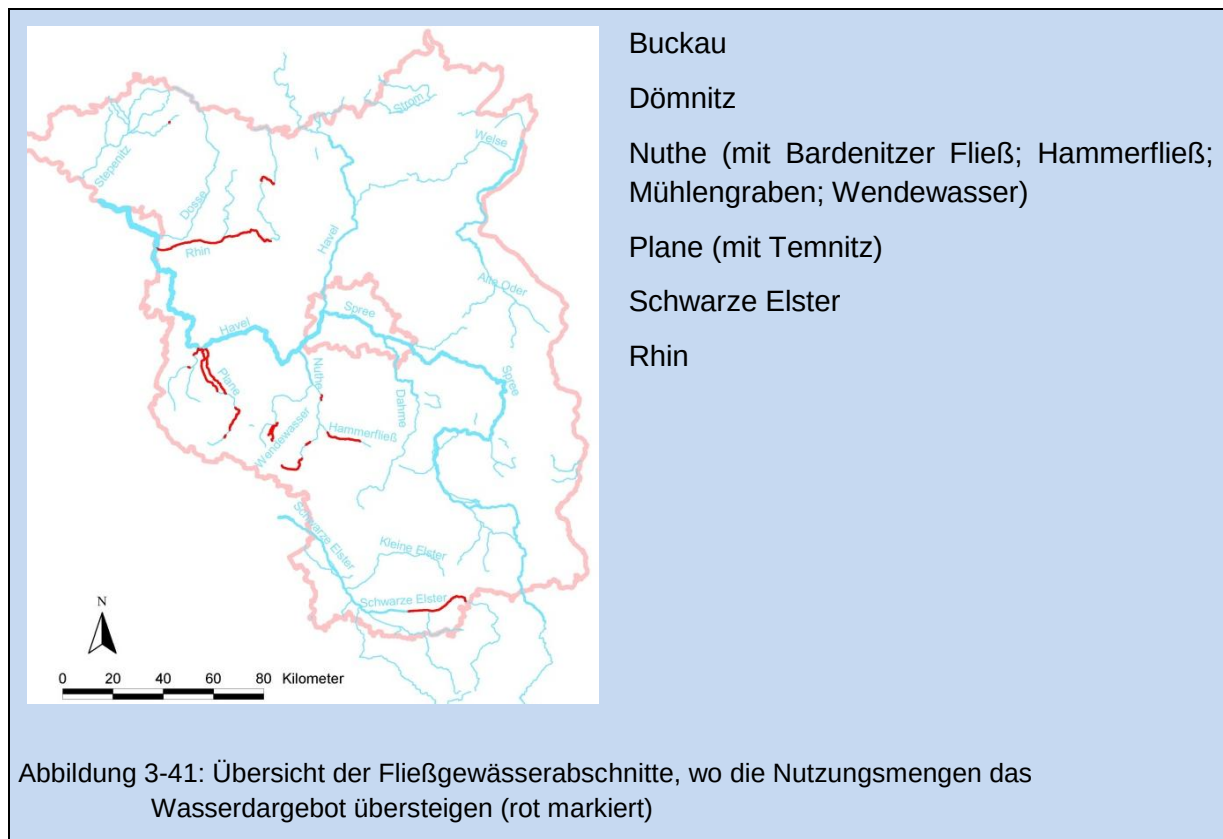
Abbildung 3-40: Beispiel für die Ergebniszuordnung

In einigen Einzugsgebieten wurden bei der Simulation unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten negative Abflüsse berechnet. In Abbildung 3-41 sind beispielhaft die betroffenen Abschnitte mit daraus resultierenden negativen Q_{30}^* -Werten rot gekennzeichnet. Betroffen sind die Gewässer Buckau, Dömnitz, Nuthe (mit Bardenitzer Fließ; Hammerfließ; Mühlengraben; Wendewasser), Plane (mit Temnitz), Schwarze Elster und Rhin. Bei geringeren Unterschreitungsauern als 30 Tage können weitere Fließgewässer betroffen sein.

Die negativen simulierten Abflüsse sind auf die Datenbasis zurückzuführen, die offenbar in manchen Gebieten Nutzungsmengen enthält, die das vorhandene Wasserdargebot übersteigen. Es ist unsicher, inwiefern die durch die Daten repräsentierten Nutzungsrechte tatsächlich in Anspruch genommen werden. Die Simulationsergebnisse sind demnach immer als Szenario der maximal möglichen Nutzungen zu bewerten.

In den Ergebnistabellen mit den Dauerlinien wurden die negativen Werte beibehalten, um eine Unterscheidung zu echten Null-Werten zu ermöglichen. Weiterhin bieten die Ergebnisse so den Vorteil, den Einfluss der lokalen Nutzungsdaten zu ermitteln, indem die Dauerlinien ohne Berücksichtigung der Nutzungsdaten mit denen unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten verglichen werden.

Im weiteren Umgang mit diesen Ergebnissen, insbesondere bei dem Vergleich mit dem $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ sollten jedoch für die zu betrachtenden Gewässerabschnitte die Dauerlinien im negativen Bereich durch null ersetzt werden. Das verfügbare Dargebot liegt demnach zwischen den Ergebnissen ohne Berücksichtigung der Nutzungsdaten und null. Für genauere Aussagen an den betroffenen Standorten muss eine Detailanalyse hinsichtlich der lokalen Nutzungen vorgenommen werden.



Weiterhin ist zu beachten, dass manche Bilanzgebiete in Spree und Schwarzer Elster an einem Pegelstandort enden. Dies führt im Modell dazu, dass die Nutzungsdaten am Fließgewässerabschnitt des Pegels berücksichtigt wurden. Bereits am unterhalb liegenden Fließgewässerabschnitt wird im Modell der simulierte Abfluss (inklusive der berücksichtigten Nutzungsmengen) jedoch durch die Abflusswerte des eingespeisten Pegels überschrieben, so dass im Unterlauf des Pegels in das Gesamt-Modell nur die gemessenen (tatsächlich in Anspruch genommenen) Einflüsse der Nutzungen der letzten 20 Jahre eingehen, nicht jedoch die hier verwendeten Nutzungsdaten des Bilanzgebietes für den heutigen Zustand.

Bilanzgebiete im Hauptlauf von Spree und Schwarzer Elster beinhalten an einigen Stellen weitere Bilanzgebiete aus dem Oberlauf. So umfasst ein Bilanzgebiet der Spree, welches von Spremberg bis Lübben reicht, alle oberhalb liegenden Bilanzgebiete (auch der seitlichen Zuflüsse zum Oberspreewald). Wenn sich an den unteren Grenzen dieser Bilanzgebiete verfügbare Pegelreihen befanden, so wirken sich am Pegel Lübben Zusammenfluss nunmehr die eingespeisten Pegelzeitreihen aus, nicht aber die angesetzten Nutzungsdaten innerhalb dieser Unterbilanzgebiete.

3.4 Abflussaufteilung

Um Aussagen über vorhandene Defizite hinsichtlich eines mindestens benötigten Wasserbedarfs $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ in Bezug auf das tatsächliche Wasserdargebot in den Vorranggewässern untere Havel und untere Spree treffen zu können, müssen die tatsächlichen (unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten simulierten) Abflüsse an den jeweiligen Querbauwerksstandorten auf die verschiedenen Fließarme aufgeteilt werden. Die Ergebnisse der N-A-Modellierung spiegeln nur den Gesamtabfluss an den einzelnen Gewässerabschnitten wider, der Mindestwasserbedarf einer FAA wird aber nur auf den am Querbauwerkstandort aufgeteilten Abfluss eines Fließarmes bezogen. Demnach ist es nicht zielführend den Gesamtabfluss als Bezugswasserdargebot anzusetzen. Vielmehr muss als Bezugsgröße der auf denjenigen Fließarm, über den der Hauptabfluss an einem Querbauwerksstandort realisiert wird (Hauptarm), aufgeteilte Abfluss angesetzt werden. Es liegen allerdings weder nützliche Daten (Abflüsse aus Wehrsteuerungen etc.) noch Größenordnungen der Teilabflüsse an Querbauwerksstandorten mit mehreren Fließarmen und Bauwerken vor. Deshalb wird ein einfacher pauschalisierter Ansatz zur Aufteilung der Abflüsse angewendet. Der vorhandene Gesamtabfluss wird mittels einer einfachen Gewichtung auf die vorhandenen Fließarme aufgeteilt. Jeder an einem Querbauwerksstandort vorhandene Nebenarm wird mit 10 % des Gesamtabflusses beaufschlagt und vom Gesamtabfluss subtrahiert. An Querbauwerksstandorten mit Schleusen wird der Schleusenabfluss anschließend vom Gesamtabfluss abgezogen. Das Ergebnis ist somit ein pauschalisierter Abfluss am Hauptarm, über den der Hauptabfluss realisiert wird.

→ Aufgeteilter Hauptabfluss $Q_{\text{Haupt}} = \text{Gesamtabfluss}$

- $n \cdot 0,1 \cdot \text{Gesamtabfluss}$ (mit n = Anzahl der Nebenarme, ohne Schleusen- und Hauptfließarm)
- Schleusenabfluss

Tabelle 3-33 zeigt eine Übersicht der Abflussaufteilung aller Querbauwerksstandorte unter Berücksichtigung der Fließarme und Schleusenvolumina bzw. -abflüsse. Die Angaben sind auf eine Nachkommastelle aufgerundet, um die Sicherheit der Werte zu erhöhen, da diese unter oben beschriebenen Annahmen ermittelt werden. Der Rückgang der Abflüsse am Querbauwerksstandort Große Tränke lässt sich aus der Überleitung in den Oder-Spree-Kanal direkt oberhalb des Wehres erklären. Somit gelangt ein Teil des Abflusses direkt oberhalb des Wehres in den Oder-Spree-Kanal. Diese Nutzung ist in der N-A-Modellierung (vgl. Kap. 3) berücksichtigt.

Tabelle 3-33: Übersicht über die Abflussaufteilung aller Querbauwerksstandorte der prioritären Vorranggewässer (untere Havel, untere Spree ab Fürstenwalde)

Querbauwerksstandorte	Gesamtabflüsse [m³/s]			aufgeteilte Abflüsse [m³/s]			Anzahl der Fließarme** [-]	Schleusen-volumen Gesamt*** [m³]	Schleu-sendurch-fluss Gesamt**** [m³/s]
	Q* ₃₀	MQ*	Q* ₃₃₀	Q* ₃₀	MQ*	Q* ₃₃₀			
Gnevsdorf Wehr	19,8	85,9	154,5	19,8	85,9	154,5	1	-	-
Bauwerksgruppe Quitzöbel	19,4	85,9	154,7	17,5	77,3	139,3	2	94	0,1
Garz Wehr/ Schleuse	17,6	74,1	134,2	15,9	72,3	132,4	2	3267	1,9
Grütz Wehr/ Schleuse	17,4	73,9	133,7	15,5	72,0	131,8	2	3488	2
Bauwerksgruppe Rathenow	19,5	69,5	123,0	11,3	46,3	83,8	6	4237	2,5
Bahnitz Wehr/ Schleuse	18,3	67,7	120,6	17,3	66,7	119,6	2	1902	1,1
Bauwerksgruppe Brandenburg	11,4	55,8	102,5	0,8	18,5	37,2	9	6892	4
Charlottenburg Wehr/ Schleuse	8,6	28,8	54,5	8,3	28,5	54,2	2	1768	0,4
Mühlendamm Wehr/ Schleuse	5,6	23,5	46,4	4,0	20,2	40,8	2	4877	1,1
Große Tränke Wehr	4,7	12,3	16,9	4,7	12,3	16,9	1	-	-
Fürstenwalde Wehr/ Schleuse	6,0	19,1	33,5	5,9	19,0	33,5	2	1129	0,1

* Alle Werte sind aus Gründen der Sicherheit auf eine Nachkommastelle aufgerundet

** Anzahl der Fließarme inklusive Hauptarm und Schleusenarm

*** Schleusenvolumen = Summe aller Schleusenvolumina an einem Querbauwerksstandort

****Schleusenabfluss = Summe aller Schleusenabflüsse an einem Querbauwerksstandort (aufgerundet)

Da aufgrund fehlender Angaben eine Unsicherheit in der Abflussaufteilung in Kauf genommen werden muss, und diese Unsicherheit mit der Anzahl der Fließarme zunimmt, werden Querbauwerksstandorte, an denen eine Abflussaufteilung erfolgt gesondert gekennzeichnet (vgl. Abb. 5-2 & 5-3). Einen solchen Standort stellt die Bauwerksgruppe Rathenow dar. Die Abflussaufteilung an diesem Querbauwerksstandort ist in Tabelle 3-34 zusammengefasst. Da alle Werte auf eine Nachkommastelle aufgerundet werden, ist die Summe der aufgeteilten Abflüsse etwas größer als die der simulierten Gesamtabflüsse.

Bislang wird der Hauptabfluss am Standort Rathenow über das Wehr Vorderarche realisiert. Die Platzverhältnisse für die Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit sind am Wehrstandort Hinterarche wesentlich günstiger als am Wehr Vorderarche oder am Mühlenwehr, da beidseitig keine Gebäude vorhanden sind und das Flussprofil unterhalb des Wehres stark erweitert ist (ZAHN et al. 2012). Demnach wird hier das Wehr Hinterarche als wahrscheinlicher Hauptfließarm betrachtet.

Tabelle 3-34: Abflussaufteilung für die Querbauwerksgruppe Rathenow (realisierter Hauptabfluss am wahrscheinlichen Standort ist hier fett gedruckt)

Querbauwerke der einzelnen Fließarme	Gesamtabflüsse [m ³ /s]			aufgeteilte Abflüsse [m ³ /s]		
	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀	Q [*] ₃₀	MQ [*]	Q [*] ₃₃₀
Schleuse Rathenow	19,5	69,5	123,0	2,0	2,0	2,0
Wehr Hinterarche Rathenow (realisiert zukünftig wahrscheinlich den Hauptabfluss)				11,3	46,3	83,8
Wehr Vorderarche Rathenow (realisiert bislang den Hauptabfluss)				2,0	7,0	12,4
Wehr Hellersches Loch				2,0	7,0	12,4
Wehr Mühlenarm Rathenow				2,0	7,0	12,4
Stadtschleuse Rathenow				0,5	0,5	0,5

*Alle Werte sind aus Gründen der Sicherheit auf eine Nachkommastelle aufgerundet.

Ein weiterer Standort mit einer hohen Anzahl an Fließarmen ist die Bauwerksgruppe Brandenburg (vgl. Tab. 3-35). Auffällig ist der im Vergleich zu den anderen Querbauwerksstandorten sehr niedrige Q^{*}₃₀-Wert des Hauptarmes (vgl. Tab. 3-33). Dies kann auf die pauschalisierte Beaufschlagung aller Nebenarme auf 10% des Gesamtabflusses zurückgeführt werden. Ebenfalls sind die Vorstadtschleusen der Bauwerksgruppe Brandenburg mit ihrem großen Volumen und dem dadurch bedingten relativ großen Schleusendurchfluss als möglicher Grund für den niedrigen Hauptabfluss zu nennen. Auch hier ist die Summe der aufgeteilten Abflüsse etwas größer als die der simulierten Gesamtabflüsse.

Tabelle 3-35: Abflussaufteilung für die Querbauwerksgruppe Brandenburg (realisierter Hauptabfluss am wahrscheinlichen Standort ist hier fett gedruckt)

Querbauwerke der einzelnen Fließarme	Gesamtabflüsse [m³/s]			aufgeteilte Abflüsse [m³/s]		
	Q_{30}^*	MQ^*	Q_{330}^*	Q_{30}^*	MQ^*	Q_{330}^*
Wehrverschluss Jakobsgraben	11,4	55,8	102,5	1,2	5,6	10,3
Schienendurchlass						
Manhattanwehr						
Rohrdurchlass/Wehr Grabenstraße				1,2	5,6	10,3
Wehr Mühlengraben						
Stadtschleuse				0,1	0,1	0,1
Wehr/Pumpwerk				1,2	5,6	10,3
Reißnersches Gerinne				1,2	5,6	10,3
Wehr Großer Überfall				1,2	5,6	10,3
Wehr Durchlass Krakauer Mühle				1,2	5,6	10,3
Großes Wehr				0,8	18,5	37,2
Vorstadtschleuse (Südkammer)				2,5	2,5	2,5
Vorstadtschleuse (Nordkammer)				1,4	1,4	1,4

*Alle Werte sind aus Gründen der Sicherheit auf eine Nachkommastelle aufgerundet.

4 Ermittlung des Wasserbedarfs

4.1 Festlegen der relevanten Fischaufstiegsanlagentypen

Bei der Auswahl verschiedener FAA-Typen unterschiedlicher Bauweise können folgende Kriterien herangezogen werden:

- Becken- oder gerinneartige Anlagenvarianten
- Technische oder Naturnahe Bauweise
- Vorhandenes Platzangebot
- Wasserverbrauch der Anlagen

Zur weiteren Differenzierung der Anlagentypen werden ein maximales und ein minimales zu erreichendes Gefälle betrachtet, wobei für die Wanderung von Fischen und Wirbellosen ein geringes Gefälle vorteilhafter erscheint. Diese Fälle werden als ökologisch günstig angesehen, während eine Bauweise mit maximalem Gefälle als ökologisch ungünstig betrachtet wird. Grundsätzlich sind naturnahe Bauweisen den technischen Varianten vorzuziehen, da diese den Fischen mehr Raum zur Wanderung bieten und bei ausreichendem Platzangebot an die gewässertypspezifischen Gefälleverhältnisse angepasst werden können. Technische Fischaufstiegsanlagen mit einem ökologisch ungünstigen Gefälle sollten nur zur Anwendung kommen, wenn restriktive Randbedingungen (geringes Platzangebot, etc.) eingehalten werden müssen.

Auf Grundlage der oben genannten Kriterien ergeben sich 9 unterschiedliche Anlagenvarianten für je 2 verschiedene Gefällesituationen:

Technische Anlagentypen

- konventioneller Beckenpass
- Vertikalschlitzpass
- Raugerinne-Beckenpass

Naturnahe Anlagentypen

- Flächige Raugerinne
- Raugerinne mit Störsteinen
- Raugerinne mit Beckenstruktur

Sonderbauweisen

- Borstenfischpass mit Störelementen
- Borstenfischpass mit Beckenstruktur
- Rundbeckenfischpass

Als rein technische Anlagentypen sind im engeren Sinne nur der konventionelle Beckenpass sowie der Vertikalschlitzpass zu nennen. Beide Typen weisen eine Beckenstruktur auf, wobei der Unterschied in den Durchlässen zwischen den einzelnen Becken besteht. Bei Vertikal-Schlitzpässen steht dem Fisch zum Aufstieg ein über die gesamte Wassersäule reichender Schlitz zur Verfügung während bei einem konventionellen Beckenpass der Fischaufstieg durch einen Bodendurchlass und über einen Kronenausschnitt ermöglicht wird. Im weiteren Sinne zählen Sonderbauweisen wie Borstenfischpässe und Rundbeckenfischpässe auch zu den technischen Anlagen. Eine Kompromisslösung zwischen naturnaher Bauweise und technischer Ausführung stellt der Raugerinne-Beckenpass dar. Dieser ist eine Kombination

aus einer rauen Rampe und einer beckenartigen Fischaufstiegsanlage. Die Durchlässe haben die Form von Schlitzfenstern und sind je nach Ausführung mit einer Grundschwelle in den Durchlässen versehen. Die Trennwände zwischen den Becken bestehen aus Natursteinen. Die Hydraulik verhält sich ähnlich zu der der Raugerinne mit Beckenstruktur. Allerdings sind keine Böschungen sondern massive Trennwände zur Abgrenzung des Gerinnes gegenüber der Stauanlage vorhanden. Die Sohle ist aus geschütteten Steinen rau gestaltet.

Zu den naturnahen Anlagentypen zählen alle Raugerinne. Diese können sowohl über die gesamte Gewässerbreite infolge eines Rückbaues einer Stauanlage, als auch als Teilrampe, die in einer Stauanlage integriert ist und auf einer Teilbreite die Fischpassierbarkeit realisiert werden soll. Bei ausreichend vorhandenem Platzangebot ist es auch möglich Raugerinne als Umgehungsgerinne zu errichten. Flächige Raugerinne sind gerinneartige Fischaufstiegsanlagen ohne Beckenstruktur und werden in geschütteter Bauweise mit einer relativ ebenen Sohle und homogenen Rauheit errichtet. Können bei flächigen Raugerinnen die geforderten Grenzwerte mit der Rauheit der Sohle und dem gegebenen oder angestrebten Gefälle nicht eingehalten werden, können große solitäre Störsteine zusätzlich auf dem Raugerinne angeordnet werden (DWA-M 509). Man spricht dann von einem Raugerinne mit Störsteinen. Eine weitere Modifizierung von Raugerinnen entsteht durch das Einbringen von Störsteinriegeln, die wie eine Trennwand beckenartiger Fischaufstiegsanlagen fungieren. Dadurch entsteht eine Beckenstruktur, aus der erheblich niedrigere Fließgeschwindigkeiten und Turbulenzen resultieren.

4.2 Ermittlung der erforderlichen Bemessungswerte

Gemäß dem DWA-Merkblatt 509 erfolgt die hydraulische Bemessung von Fischaufstiegsanlagen nach bestimmten geometrischen und hydraulischen Bemessungswerten. Ebenfalls müssen bei der Bemessung Grenzwerte eingehalten werden. Diese Grenzwerte leiten sich aus der in einem betrachteten Gewässerabschnitt vorkommenden Fischregion und den dazugehörigen Dimensionierungszielarten (Bemessungsfische) ab.

Die Zuordnung der Fischregionen zu den jeweiligen überregionalen Vorranggewässern in Brandenburg erfolgte durch das Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow (IFB). Auf das Vorgehen bei der Ausweisung der jeweiligen Fischregionen und der dazugehörigen Dimensionierungs-Zielarten soll hier nicht weiter eingegangen werden. Vielmehr werden die im Teil I des Landeskongzeptes zur ökologischen Durchgängigkeit der Fließgewässer in Brandenburg (ZAHN et al. 2010) ausgewiesenen Fischregionen und der zugehörigen Dimensionierungszielarten verwendet.

4.2.1 Fischregionen

Abbildung 4-1 zeigt die in den prioritären Vorranggewässern Brandenburgs ausgewiesenen Fischregionen gemäß ZAHN et al. (2010). Diese sind Bleiregion (untere Havel) und Tiefland-Barbenregion i. Ü. Bleiregion (untere Spree). Hierbei ist allerdings zu bemerken, dass sich die Bleiregion in der unteren Havel aufgrund verschiedener Dimensionierungszielarten in zwei Abschnitte untergliedert. Im Folgenden sollen diese Abschnitte als obere Bleiregion mit den Dimensionierungszielarten Stör, Wels, Barbe, Lachs, Blei, Hecht, Zander und als untere Bleiregion mit den Dimensionierungszielarten Stör, Wels, Blei, Hecht, Zander, Barbe, Maifisch, Schnäpel, Lachs bezeichnet werden.

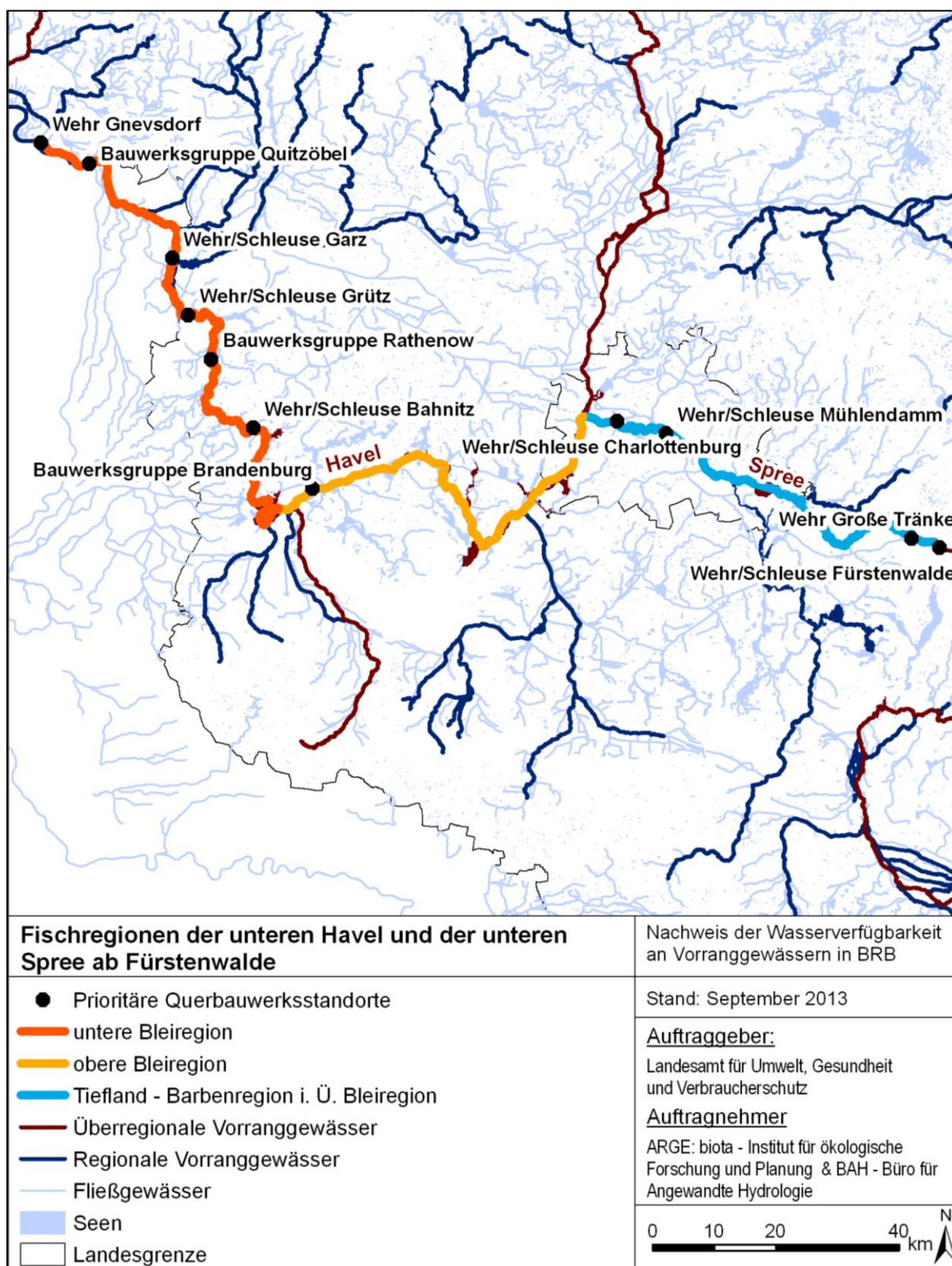


Abbildung 4-1: Übersicht über die Fischregionen der unteren Havel und der unteren Spree ab Fürstenwalde

* Dimensionierungszielarten der unteren Bleiregion: Stör, Wels, Blei, Hecht, Zander, Barbe, Maifisch, Schnäpel, Lachs

** Dimensionierungszielarten der oberen Bleiregion: Stör, Wels, Blei, Hecht, Zander, Barbe, Lachs

4.2.2 Dimensionierungszielarten

Die sich aus den oben genannten Fischregionen ergebenden Dimensionierungszielarten für die überregionalen Vorranggewässer sind in Tabelle 4-1 aufgeführt. Dort sind nur die Fischregionen der unteren Havel und der unteren Spree dargestellt. Die dick gedruckte Dimensionierungszielart wird als Bemessungsfisch für die Bemessung der FAA-Typen für die Standorte der unteren Havel und der unteren Spree herangezogen. Erste Besatzmaßnahmen des Störs in der Elbe (2008) und der Oder (2006) zeigten, dass in beiden Stromgebieten die Störe im Frühjahr zum Laichen bis in die Barbenregion, manchmal sogar bis in die Äschenregion der großen Haupt- und Nebenflüsse aufstiegen (ZAHN et al. 2010). Obwohl der Stör in Brandenburg momentan noch als ausgestorben gilt, ist es aufgrund dieser Bemühungen zur Wiederansiedlung und deren ersten Ergebnisse zielführend Fischaufstiegsanlagen an den Querbauwerksstandorten der unteren Havel und der unteren Spree auf den Stör zu bemessen. Da die untere Havel und die untere Spree im Einzugsgebiet der Elbe liegen, wird der Atlantische Stör (*Acipenser sturio*) als Bemessungsfisch für diese Gewässer angesetzt. Obwohl der Stör als Bemessungsfisch für die prioritären Vorranggewässer angesetzt wird, werden im Folgenden auch die Bemessungsfische Wels und Hecht aus Gründen der Vollständigkeit mit angeführt.

Die bei der hydraulischen Bemessung einzuhaltenden hydraulischen und geometrischen Grenzwerte werden aus oben genannten Fischregionen und Dimensionierungszielarten sowie dem Fischaufstiegsvarianten (gerinne- oder beckenartig) abgeleitet. Die maximal zulässigen Fließgeschwindigkeiten im Wanderkorridor, die maximalen Werte der spezifischen Leistungsdichte und die einzuhaltenden Mindestwassertiefen im Wanderkorridor sowie in den Engstellen sind dem DWA-Merkblatt 509 entnommen und zusammenfassend in Tabelle dargestellt.

Tabelle 4-1: Zusammenfassung der relevanten hydraulischen Grenzwerte für die Fischregionen der prioritären Vorranggewässer (gemäß DWA-M 509)

Fisch-region	$v_{\max}$ [m/s]			spezifische Leistungsdichte [W/m³]		Bemes-sungs-fisch	$W_{\min}$ [m]	
	becken-artige FAA	gerinne-artige FAA	Stör-stein-rampen	Becken-bauweise	Störstein-bauweise		Wander-korridor	Eng-stelle
Blei-regionen	1,7	1,5	1,6	125	175	Stör	1,28	1,02
						Wels	0,88	0,70
						Hecht	0,43	0,34
Barben-regionen	1,8	1,6	1,7	150	200	Stör	1,28	1,02
						Wels	0,88	0,70
						Hecht	0,43	0,34

4.3 Hydraulische Bemessung

Die Bemessung der einzelnen Fischaufstiegsanlagentypen erfolgt gemäß DWA-M 509. Da Fischwanderungen ganzjährig auftreten ist die Funktionsfähigkeit von Fischaufstiegsanlagen an mindestens 300 Tagen im Jahr sicherzustellen, d.h. außerhalb der Zeiten mit sehr niedrigen bzw. sehr hohen Abflüssen (MUNLV NRW 2005). Aufgrund dessen sind für die hydraulische Bemessung die Abflussverhältnisse bei Q_{30} , einem Abflusswert der an 30 Tagen im Jahr unterschritten wird und bei Q_{330} , einem Abfluss der an 330 Tagen im Jahr unterschritten wird, maßgeblich. Die hydraulische Bemessung erfolgt auf Grundlage von geometrischen und hydraulischen Bemessungswerten. Hierbei werden die erforderlichen Mindestabmessungen verwendet, um wassersparende minimale Abflusswerte zu erhalten. Diese Mindestabflüsse werden für alle relevanten Anlagentypen unter der Berücksichtigung mehrerer Gefälleverhältnisse ermittelt. Für jeden Anlagentyp werden demnach mehrere Gefälleverhältnisse betrachtet. Zum einen das maximal angestrebte und zum anderen das minimal angestrebte Gefälle. Für beckenartige Anlagentypen ist der Wasserspiegelunterschied Δh zwischen zwei aufeinanderfolgende Becken relevant ($\Delta h_{\min} = 0,07 \text{ m}$, $\Delta h_{\max} = 0,11 \text{ m}$). Diese Werte richten sich nach Erfahrungswerte für maximale und ökologisch optimale (für Fische leicht zu überwindende) Wasserspiegelunterschiede in beckenartigen Fischaufstiegsanlagen. Die gerinneartigen Fischaufstiegsanlagen wurden auf verschiedene Sohlgefälle (1:100, 1:150 und 1:200) bemessen.

Es ist für die Abflussbandbreite der Betriebszeit zwischen Q_{30} und Q_{330} der Nachweis zur Einhaltung der Bemessungs- und Grenzwerte der Fließgeschwindigkeiten zu erbringen, um einen uneingeschränkten Fischaufstieg aller relevanten Fischarten der Bemessungsregionen zu gewährleisten. Deshalb werden für die relevanten Anlagentypen Abflussspektren, die diese Abflussbandbreite während Betriebszeit abdecken, ermittelt. Die jeweiligen Mindestabflüsse werden auf Grundlage der erforderlichen Mindestabmessungen ermittelt und bilden den unteren Rand des Abflussspektrums.

Bei Anstieg der Durchflüsse im Gerinne können in der Regel auch der Anlagendurchfluss und damit die Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen zunehmen. Aufgrund dessen vergrößert sich der Abfluss, der über die Fischaufstiegsanlage abgeführt wird, auf ein Vielfaches des Mindestabflusses über eine Fischaufstiegsanlage. Es ist nicht möglich, den gesamten Q_{330} über die Fischaufstiegsanlage abzuführen. Vielmehr gelangt nur ein Teil des Gesamtabflusses in die Fischaufstiegsanlage. Aus Erfahrungswerten, die bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen gesammelt wurden, und aus dem Landeskonzept zur ökologischen Durchgängigkeit der Fließgewässer Brandenburgs (Teil II) (ZAHN et al. 2012) kann davon ausgegangen werden, dass sich bei einer Erhöhung des Gesamtabflusses auf Q_{330} der Q_{FAA} im Vergleich zu Q_{30} ungefähr verdoppelt. Somit ist eine Fischaufstiegsanlage auch bei Q_{330} funktionsfähig, wenn diese einen doppelten Mindestabfluss $Q_{\text{FAA,doppelt}}$ unter Einhaltung aller Bemessungs- und Grenzwerte (insbesondere maximal zulässige Fließgeschwindigkeit und Energiedissipation) abführen kann. Demnach werden für die Bemessung der FAA-Typen mit den Mindestgeometrien das Zweifache der anlagenbedingten Mindestdurchflüsse beaufschlagt und überprüft, ob die zulässigen Grenzwerte eingehalten werden. Dieser Ansatz wurde gewählt, um ein gesichertes Abflussspektrum für die Funktionstüchtigkeit der Anlage festzulegen.

Im Folgenden wird die hydraulische Bemessung der verschiedenen FAA-Typen kurz erläutert. Für detaillierte Erläuterungen zur Bemessung sowie verwendeter Bemessungsformeln wird auf das DWA-Merkblatt 509 verwiesen. Es werden lediglich Angaben zu den verwen-

ten Mindestgeometrien und grundsätzlichen Vorgehen bei der hydraulischen Bemessung der verschiedenen FAA-Typen gemacht. Die angegebenen Mindestgeometrien richten sich nach dem größten Bemessungsfisch des Landes Brandenburg, dem Stör, wobei bei einigen FAA-Typen die Beckenbreiten erhöht wurden, um die erforderlichen Grenzwerte auch bei einem höheren Abfluss einzuhalten.

Obwohl der Stör als Bemessungsfisch für die prioritären Vorranggewässer angesetzt wird, werden in nachfolgenden Tabellen auch die Bemessungsfische Wels und Hecht aus Gründen der Vollständigkeit mit angeführt.

4.3.1 Technische Anlagentypen

4.3.1.1 Vertikalschlitzpass

Da die Bemessung auf Q_{30} erfolgt, können gleichförmige Abflussverhältnisse in der Anlage angenommen werden. Das bedeutet, dass an jeder Trennwand gleiche Wasserspiegeldifferenzen auftreten und Wassertiefen auftreten.

Die Fließgeschwindigkeiten, die in den Becken unterhalb der Schlitzte auftreten berechnen sich in Abhängigkeit der Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken Δh . Für eine maximal zulässige Fließgeschwindigkeit von 1,8 m/s ergibt sich ein Δh von rund 0,16 m. Allerdings liegen Erfahrungswerte für maximale Wasserspiegeldifferenzen zwischen zwei aufeinanderfolgende Becken bei rund 0,11 m. Des Weiteren erhöhen sich die Wasserspiegeldifferenzen zwischen den Becken bei größeren Durchflüssen (z.B. Q_{330}) und somit auch die auftretenden Fließgeschwindigkeiten. Deshalb wird bei der Bemessung mit einem $\Delta h_{\max} = 0,11$ m gearbeitet, was für den Vertikalschlitzpass eine bei Mindestabflüssen maximal auftretende Fließgeschwindigkeit von 1,5 m/s zur Folge hat.

Tabelle 4-2: Mindestgeometrien des Vertikalschlitzpasses (gemäß DWA-M 509)

	Hecht	Wels	Stör
Beckenbreite [m]	2,25	3,2	6,75
Beckenlänge [m]	3	4,8	9
Schlitzbreite [m]	0,3	0,67	1,08
Böschungsneigung 1:m	0	0	0

4.3.1.2 Konventioneller Beckenpass

Zur Gewährleistung der Passierbarkeit von konventionellen Beckenpässen sind bei der hydraulischen Bemessung mehrere Parameter maßgebend.

Zum einen sind das Fließgeschwindigkeiten in den Schlupflöchern und Kronenausschnitten, die auch bei einem Q_{30} -Abfluss nicht überschritten werden dürfen. Zum anderen sind das der Abfluss in der FAA und die Energiedissipation, welche zu einer Gewährleistung turbulenzarmer Beckenströmungen nicht überschritten werden dürfen. Die maximalen Fließgeschwindigkeiten treten unterhalb der Durchlassöffnungen auf und berechnen sich in Abhängigkeit der maximal auftretenden Wasserspiegeldifferenzen zwischen den Becken analog zum Schlitzpass.

Tabelle 4-3: Mindestgeometrien des Konventionellen Beckenpasses (gemäß DWA-M 509)

	Hecht	Wels	Stör
Beckenbreite [m]	1,5	2,4	4,3
Beckenlänge [m]	3	4,8	9
Kronenausschnittbreite [m]	0,3	0,3*	0,3*
Kronenausschnitthöhe [m]	0,44	0,44*	0,44*
Schlupflochbreite [m]	0,3	0,67	1,08
Schlupflochhöhe [m]	0,34	0,7	1,02
Böschungsneigung 1:m	0	0	0

* auch für die Fischarten Stör und Wels wird der Kronenausschnitt auf Hecht dimensioniert, da Stör und Wels Grundschwimmer sind und somit nur das Bodenschlupfloch zum Aufstieg nutzen

4.3.1.3 Raugerinne-Beckenpass

Für den Raugerinne-Beckenpass liegt kein spezifisches Berechnungsverfahren vor. Da aber der Aufbau ähnlich dem eines Raugerinnes mit Beckenstruktur ist, kann der Raugerinne-Beckenpass wie ein Raugerinne mit Beckenstruktur berechnet werden. Dabei ist darauf zu achten, unterschiedliche Werte für die Spaltenverluste und den Überfallbeiwert zu wählen, da beim Raugerinne-Beckenpass die hochkant eingebrachten Steine keine Zwischenräume aufweisen sollen, um wie eine geschlossene Trennwand zwischen den Becken zu fungieren. Des Weiteren werden Raugerinne-Beckenpässe als technische Variante mit einer seitlichen Trennwand versehen, die die Fischaufstiegsanlage gegen die Stauanlage abgrenzt. Diese seitlichen Trennwände haben einen „Böschungswinkel“ von 90°.

Tabelle 4-4: Mindestgeometrien (mit Ausnahme der lichten Beckenbreite für Stör) des Raugerinne-Beckenpasses (gemäß DWA-M 509)

	Hecht	Wels	Stör
Lichte Beckenbreite [m]	1,8	3	8
Lichte Beckenlänge[m]	3	4,8	9
Durchlassbreite [m]	0,6	0,67	1,1
Öffnungstiefe [m]	0,4	0,7	1
Böschungsneigung 1:m	0	0	0

4.3.2 Naturnahe Anlagentypen

4.3.2.1 Flächiges Raugerinne

Maßgeblichen Einfluss auf die Abflussverhältnisse in einem flächigen Raugerinne hat der Sohlwiderstand. Die Berechnung des Abflusses bei flächigen Raugerinnen erfolgt über die mittlere Fließgeschwindigkeit in offenen Gerinnen.

Der Widerstandsbeiwert wird nach der Formel von SCHEUERLEIN (1968), die von HASSINGER (1991) weiterentwickelt wurde, berechnet (vgl. Abschnitt 6.3.2, DWA-M 509). Aus der errechneten mittleren Fließgeschwindigkeit und dem Fließquerschnitt ergibt sich dann der Abfluss über die Fischaufstiegsanlage aus der Kontinuitätsgleichung.

Tabelle 4-5: Mindestgeometrien des Flächigen Raugerinnes (gemäß DWA-M 509)

	Hecht	Wels	Stör
Breite der Rampe [m]	2	3	4,9
Gefälle der Rampe [m]	1:100	1:100	1:100
	1:150	1:150	1:150
	1:200	1:200	1:200
Böschungsneigung 1:m	2	2	2

4.3.2.2 Raugerinne mit Störsteinen

Bei Raugerinnen mit Störsteinen findet die Wanderung der Fische zwischen den Störsteinen statt.

Tabelle 4-6: Mindestgeometrien des Raugerinnes mit Störsteinen (gemäß DWA-M 509)

	Hecht	Wels	Stör
Breite der Rampe [m]	2,9	4,16	4,9
Länge der Rampe [m]	4,4	5,6	9,8
Lichter Steinabstand quer zur Fließrichtung [m]	0,4	0,88	1,4
Lichter Steinabstand längs der Fließrichtung [m]	3	4,8	9
Böschungsneigung 1:m	2	2	2

Daher sind für die Berechnung des Abflusses, die lichten Abstände, die Fließtiefen sowie die mittlere Fließgeschwindigkeit zwischen den Störsteinen $v_{m,E}$ als maßgebende Bemessungswerte einzuhalten. Dabei ist zu beachten, dass die mittlere Fließgeschwindigkeit in den Engstellen $v_{m,E}$ nicht mit der mittleren Fließgeschwindigkeit im Gerinne zu verwechseln ist.

Analog zur Bemessung von flächigen Raugerinnen wird auch bei der Bemessung von Raugerinnen mit Störsteinen der Abfluss über die Kontinuitätsgleichung aus der mittleren Fließgeschwindigkeit im Gerinne und des Gerinnequerschnittes berechnet. Der Gesamtwiderstand zur Berechnung der mittleren Fließgeschwindigkeit im Gerinne ergibt sich aus dem

Widerstand der Sohle und dem Widerstand der Steine, wobei Abminderungsfaktoren für das Gerinnevolumen sowie die Gerinnefläche berücksichtigt werden.

4.3.2.3 Raugerinne mit Beckenstruktur

Die hydraulischen Gesetzmäßigkeiten des Abflusses über oder durch eine Steinschwelle (Riegel) entsprechen denen des Überfalls über ein festes Wehr, wobei die beiden Grundfälle des vollkommenen (rückstaufreien) und des unvollkommenen (rückstaubeeinflussten) Überfalls zu unterscheiden sind (DWA-M 509). Die Abflussverhältnisse in einem Raugerinne mit Beckenstruktur werden ausschließlich durch die Gestalt und Staffelung der Steinschwellen (Riegel) bestimmt. Die Sohlenrauheit besitzt auf den Abfluss keinen Einfluss mehr. Deshalb unterscheidet sich die Bemessung grundlegend von der Bemessung für flächige Raugerinne.

Tabelle 4-7: Mindestgeometrien (mit Ausnahme der lichten Beckenbreite für Stör) des Raugerinnes mit Störsteinen (gemäß DWA-M 509)

	Hecht	Wels	Stör
Lichte Beckenbreite [m]	2,6	3,2	8
Lichte Beckenlänge[m]	3	4,8	9
Durchlassbreite [m]	0,6	0,67	1,1
Öffnungstiefe [m]	0,4	0,7	1
Böschungsneigung 1:m	1,5	1,5	1,5

4.3.3 Sonderbauweisen

Sonderbauweisen, wie der Rundbeckenfischpass oder der Borstenfischpass, können aufgrund unzureichend vorhandener hydraulischer Bemessungsansätze nicht hinreichend genau bzw. auf die Anforderungen gemäß DWA-M 509 bemessen werden. Beide Bauweisen stellen technische Anlagentypen dar.

4.3.3.1 Borstenfischpass

Borstenfischpässe werden wie Raugerinne mit Störsteinen oder mit Beckenstruktur (Riegelbauweise) behandelt. Es gelten dementsprechend die jeweiligen geometrischen und hydraulischen Bemessungswerte unter Berücksichtigung der jeweiligen Sicherheitsbeiwerte gemäß DWA-M 509 (2010).

Tabelle 4-8: Mindestgeometrien des Borstenpasses mit Beckenstruktur (gemäß DWA-M 509)

	Hecht	Wels	Stör
Lichte Beckenbreite [m]	2,6	3,2	5
Lichte Beckenlänge[m]	3	4,8	9
Durchlassbreite [m]	0,6	0,67	1,1
Öffnungstiefe [m]	0,4	0,7	1
Böschungsneigung 1:m	0	0	0

Tabelle 4-9: Mindestgeometrien des Borstenpasses mit Störelementen (gemäß DWA-M 509)

	Hecht	Wels	Stör
Breite der Rampe [m]	2,9	4,16	4,9
Länge der Rampe [m]	4,4	5,6	9,8
Lichter Steinabstand quer zur Fließrichtung [m]	0,4	0,88	1,4
Lichter Steinabstand längs der Fließrichtung [m]	3	4,8	9
Böschungsneigung 1:m	0	0	0

Die Borstenelemente werden wie Störsteine oder Riegel behandelt. Die hydraulische Bemessung erfolgt wie bei Raugerinnen mit Störsteinen bzw. mit Beckenstruktur. Allerdings ist keine Grundschwelle vorhanden und es sind senkrechte Trennwände zur Abgrenzung des Borstenfischpasses gegen die Stauanlage von Nöten. Des Weiteren werden bei der Bauweise, bei der die Borstenelemente als Riegel fungieren die Spaltenverluste höher angesetzt als bei Raugerinnen mit Beckenstrukturen, da die Borsten keine undurchlässigen Riegel darstellen. Bei der Bemessung von Borstenfischpässen, bei denen die Borstenelemente wie Störsteine wirken, muss die Anströmgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Aus Gründen der Herstellung ist der Borstendurchmesser (4 bis 6 mm) und damit die Belastbarkeit der Borsten begrenzt (HASSINGER 2009). Dies hat zur Folge, dass die Borstenlänge begrenzt ist, da bei größeren Wassertiefen mit einer Überströmung von mehr als 20 cm über die Borstenspitze (bei Q_{330}) die Steifigkeit der Borsten zum Halten größerer Wassertiefen nicht mehr gegeben ist. Bei Q_{30} sollten die Borstenspitzen des obersten Borstenriegels auf gleicher Höhe wie der Oberwasserspiegel liegen. Die in der Praxis verwendeten maximalen Borstenlängen liegen im Bereich von 50 bis 60 cm. Da die Belastung der Borsten von der Höhendifferenz am Einzelriegel abhängt, kann durch eine Reduzierung von Δh allerdings die Borstenlänge und somit die Wassertiefe etwas erhöht werden (HASSINGER 2009).

4.3.3.2 Rundbeckenfischpass

Für die Hydraulik runder Becken fehlen bislang nachvollziehbare Berechnungsverfahren (DWA-M 509 2010). Für die Bemessung von Rundbeckenfischpässen existiert zwar ein Berechnungsverfahren, doch werden damit die für die Funktionsfähigkeit maßgeblichen fischrelevanten Werte nicht betrachtet (DWA-M 509 2010).

Für Rundbeckenfischpässe gelten prinzipiell die gleichen Anforderungen an Konstruktion, Geometrie und Hydraulik wie für konventionelle Beckenbauweisen (Beckenpass, Schlitzpass). Allerdings können die üblichen Berechnungsansätze für die Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken aufgrund der unvollständigen Energiedissipation und der direkten Anströmung der Beckenübergänge nicht zur Anwendung kommen.

Aufgrund eben genannter Sachverhalte wird der FAA-Typ Rundbeckenfischpass im Folgenden nicht weiter betrachtet.

4.4 Ergebnis der hydraulischen Bemessung

Die Ergebnisse der Abflussberechnung sind in Tabelle 4-10 dargestellt. Die Tabelle zeigt die berechneten Mindestabflüsse der verschiedenen Fischaufstiegsanlagentypen in Abhängigkeit der jeweiligen Fischregionen (Bemessungsregion) und Dimensionierungs-Zielarten (Bemessungsfisch). Insgesamt wurden 9 verschiedene Bauweisen von Fischaufstiegsanlagen untersucht und die jeweiligen Durchflüsse entsprechend den Bemessungswerten gemäß DWA-M 509 (2010) ermittelt. Für jeden Anlagentyp wurden mehrere Gefälleverhältnisse betrachtet (vgl. Kap. 4.3). Die berechneten Durchflüsse der jeweiligen Anlagenvarianten stellen die Durchflussmengen dar, die die jeweils zu Grunde liegende Bemessungsfischart bei Anwendung der Mindestgeometrien (vgl. Tabellen 4-2 bis 4-9, Kap. 4.3) benötigt. Die Werte sind auf eine Nachkommastelle aufgerundet, um eine gewisse Sicherheit dieser Mindestabflüsse zu erreichen.

Die zulässigen maximalen Fließgeschwindigkeiten als auch die zulässigen maximalen Werte für die spezifische Leistungsdichte der Energiedissipation werden größtenteils unterschritten und somit eingehalten. Nur bei einigen Anlagenvarianten werden die Grenzwerte nicht eingehalten. Insbesondere bei den naturnahen Bauweisen können aufgrund der größer anzusetzenden Mindestgeometrien ($h_{\min}$, Korridorbreite, Beckenbreite, -länge) für die größeren Bemessungsfischarten (z.B. Stör, Wels) mit ansteigendem Gefälle der Anlage die maximal zulässigen Fließgeschwindigkeiten der Fischregionen nicht mehr eingehalten werden. Für auf den Stör dimensionierte Raugerinne mit Störsteinen ist dies ab einem Gefälle von 1:150 der Fall. Für ein Gefälle von 1:200, das als ökologisch günstiges Gefälle betrachtet wird, werden die Fließgeschwindigkeiten jedoch eingehalten, bei einer Erhöhung des Abflusses auf das doppelte des Mindestabflusses (vgl. Tab. 4-11) allerdings nicht mehr. Somit kann ein auf den Stör dimensioniertes Raugerinne mit Störsteinen nur bei einem Gefälle von < 1:200 die Funktionsfähigkeit der Anlage innerhalb der Betriebszeit (Q_{30} bis Q_{330}) gewährleisten. Für auf den Stör bemessene flächige Raugerinne werden die zulässigen Fließgeschwindigkeiten schon bei Mindestabfluss und bei einem ökologisch günstigen Gefälle von 1:200 nicht mehr eingehalten. Für ein flächiges Raugerinne, das auf die Bemessungsfischart Wels dimensioniert wird, kann die Anlage nur bei einem ökologisch günstigen Gefälle von 1:200 eine Funktionsfähigkeit innerhalb der Betriebszeit (Q_{30} bis Q_{330}) gewährleisten. Bei ansteigendem Gefälle werden die zulässigen Fließgeschwindigkeiten überschritten.

Die naturnahen Anlagentypen weisen in der Regel einen höheren Durchflussbedarf als die technischen Bauweisen auf. Dies hat die Gestaltung als Raugerinne mit einer rauen Sohle zur Ursache. Abgesehen vom flächigen Raugerinne weist das Raugerinne mit Störsteinen den höchsten Durchflussbedarf gegenüber allen anderen Anlagentypen auf, da neben der Versorgung des hydraulisch notwendigen Mindestquerschnitts ein erheblicher Durchflussanteil zwischen den übrigen Lücken zwischen den Steinen abfließt (LUNG 2009). Dies begründet den entscheidenden ökologischen Vorteil von Raugerinnen mit Störsteinen, denn die zahlreichen untergeordneten Abflusswege sind Lebensraum und Wanderweg für Jungfische und benthische wirbellose Tiere. Werden die Störsteine durch Steinriegel ersetzt, wodurch eine Beckenstruktur entsteht, so sinkt der Wasserverbrauch. Dieser Anlagentyp stellt die wassersparsamste naturnahe Bauweise dar.

Von den klassischen technischen Anlagentypen weist der konventionelle Beckenpass den geringsten Wasserverbrauch auf, da dort die Durchlässe den geringsten Fließquerschnitt haben. Des Weiteren sind auch für die großen Bemessungsfischarten Stör und Wels der Kronenausschnitt im konventionellen Beckenpass auf den Hecht dimensioniert, da Stör und Wels Grundschwimmer sind und somit nur das Bodenschlupfloch zum Aufstieg nutzen. Der Wasserbedarf im Vertikalschlitzpass lässt sich unter Verwendung der Mindestgeometrien ebenfalls gering halten. Eine Übergangslösung zwischen den technischen und den naturnahen Anlagentypen stellt der Raugerinne-Beckenpass dar. Bei einem relativ geringen Wasserverbrauch ($Q_{FAA} = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ für Hecht, $Q_{FAA} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ für Wels, $Q_{FAA} = 1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ für Stör, jeweils bei ökologisch günstigem Gefälle bzw. Wasserspiegelunterschied zwischen den Becken Δh) weist er dennoch einen naturnahen Charakter durch die Beckentrennwand aus Störsteinen und die raue Sohle.

Die Sonderbauweisen Borstenfischpass mit Beckenstruktur und Borstenfischpass mit Störelementen sind ebenfalls als Kombination aus technischer und naturnaher Bauweise gestaltet. Der Wasserverbrauch ist jedoch größer als bei den naturnahen Anlagentypen. Das ist im höheren Wasserdurchsatz durch die Borstenriegel und -elemente als durch die Steinriegel und Störsteine begründet. Eine Ausnahme stellt allerdings der auf den Stör dimensionierte Borstenfischpass mit Störelementen dar. Bei ökologisch günstigem Gefälle ist der Abfluss im Raugerinne mit Störsteinen um rund 25 % höher als der Abfluss im Borstenpass mit Störelementen, während bei allen anderen Bemessungsfischarten die Abflüsse der Borstenfischpässe mit Störelementen größer sind. Werden die Störelemente bzw. -steine deutlich überströmt, wirkt sich bei sehr großen Wassertiefen der Wasserdurchsatz durch die Borstenelemente in einem geringeren Maße aus als der Wasserdurchsatz durch den zusätzlichen Fließquerschnitt, der durch die Böschungen bei Raugerinnen resultiert. Bei sehr großen Wassertiefen übersteigt somit der durch die Böschungen erzeugte zusätzliche Fließquerschnittsanteil im Raugerinne den Fließquerschnittsanteil im Borstenfischpass, der durch die Durchlässigkeit der Borstenelemente erzeugt wird. Für Borstenfischpässe werden die zulässigen Fließgeschwindigkeiten für alle Bemessungsfischarten eingehalten. Allerdings werden bei erhöhten Abflüssen größer als der ermittelte Mindestabfluss die Wassertiefen so groß, dass keine ausreichende Stabilität der Borstenelemente mehr gewährleistet werden kann. Dies ist bei den größeren Bemessungsfischarten (z.B. Stör, Wels) für den Anlagentyp Borstenfischpass mit Beckenstruktur der Fall.

Tabelle 4-10: Übersicht über die berechneten Mindestabflüsse Q_{FAA} [m³/s] der verschiedenen Anlagentypen in Abhängigkeit der Fischregionen (mit $v_{max} = 1,8$ m/s, außer Tiefland-Forelleregion: $v_{max} = 2,1$ m/s) und Bemessungsfischarten

Bemessungsfisch für Mindestwassertiefe W_{min}	Kurzbezeichnung	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	8c
	Anlagenart	Raugerinne		Raugerinne			Raugerinne		Technisch		Technisch		Technisch		Technisch		Technisch		
	FAA-Typ	Flächiges Rau- gerinne		Aufgelöste Bauweise mit Störsteinen			Riegelbauweise mit Becken- struktur		Raugerinne- beckenpass		Konventioneller Beckenpass		Vertikalschlitzpass		Borstenpass mit Beckenstruktur		Borstenpass mit Störelemente		
	Gefällesituation: Δh je Becken [m] bzw. Gefälle [-] W_{min} nach Bemessungsfisch [m]	ökologisch optimal 1:200	groß (ungünstig) 1:150	ökologisch optimal 1:200	mittel 1:150	groß (ungünstig) 1:100	ökologisch optimal 0,07	groß (ungünstig) 0,11	ökologisch optimal 0,07	groß (ungünstig) 0,11	ökologisch optimal 0,07	groß (ungünstig) 0,11	ökologisch optimal 0,07	groß (ungünstig) 0,11	ökologisch optimal 0,07	groß (ungünstig) 0,11	ökologisch optimal 1:200	mittel 1:150	groß (ungünstig) 1:100
Stör	1,28	-	-	16,1	-	-	1,5	1,9	1,3	1,7	1,2	1,5	1,5	2,0	2,2	3,2	12,3	13,5	-
Wels	0,88	3,2	-	2,4	2,8	3,4	0,7	0,8	0,6	0,7	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	1,2	3,3	3,5	3,9
Hecht	0,44	1,2	1,4	1,0	1,1	1,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,3	0,6	0,8	1,7	1,8	1,9

Erläuterungen:

- Alle Werte der Mindestabflüsse sind aus Gründen der Sicherheit auf 0,1 m³/s aufgerundet.
- Rot markierte Werte: Grenzwerte werden bei Q_{FAA} eingehalten, bei $Q_{FAA,doppelt}$ werden jedoch zu große Fließgeschwindigkeiten und/oder Wassertiefen erreicht.
- Fehlende Werte weisen daraufhin, dass bei diesen Anlagentypen die Grenzwerte (Fließgeschwindigkeit) bei einem Durchfluss von Q_{FAA} nicht eingehalten werden und/oder zu große Wassertiefen erzeugt werden
- Δh bzw. Gefälle: hier ist für beckenartige Anlagentypen eine maximal zu überwindende und eine optimale Wasserspiegeldifferenz von Becken zu Becken angegeben; für gerinneartige Anlagentypen wird hier ein maximales, ein mittleres und ein optimales Gefälle angegeben (diese Werte sind Erfahrungsbasierte bzw. Literaturwerte).
- a, b und c stehen für die verschiedenen Gefällevarianten: a = ökologisch optimales Gefälle, b = Gefälle zwischen ökologisch optimal und ungünstig, c = ökologisch ungünstiges Gefälle; 1-8 stehen für die verschiedenen FAA-Typen

Tabelle 4-11: Übersicht über die doppelten Mindestabflüsse $Q_{FAA,doppelt}$ [m³/s] der verschiedenen Anlagentypen in Abhängigkeit der Fischregionen (mit $v_{max} = 1,8$ m/s, außer Tiefland-Forelleregion: $v_{max} = 2,1$ m/s) und Bemessungsfischarten

Bemessungsfisch für Mindestwassertiefe W_{min}	Kurzbezeichnung	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b	4a	4b	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	8c
	Anlagenart	Raugerinne		Raugerinne			Raugerinne		Technisch		Technisch		Technisch		Technisch		Technisch		
	FAA-Typ	Flächiges Raugerinne		Aufgelöste Bauweise mit Störsteinen			Riegelbauweise mit Beckenstruktur		Raugerinne-beckenpass		Konventioneller Beckenpass		Vertikalschlitzpass		Borstenpass mit Beckenstruktur		Borstenpass mit Störelemente		
	Gefällesituation: Δh je Becken [m] bzw. Gefälle [-] W_{min} nach Bemessungsfisch [m]	ökologisch optimal 1:200	groß (ungünstig) 1:150	ökologisch optimal 1:200	mittel 1:150	groß (ungünstig) 1:100	ökologisch optimal 0,07	groß (ungünstig) 0,11	ökologisch optimal 0,07	groß (ungünstig) 0,11	ökologisch optimal 0,07	groß (ungünstig) 0,11	ökologisch optimal 0,07	groß (ungünstig) 0,11	ökologisch optimal 0,07	groß (ungünstig) 0,11	ökologisch optimal 1:200	mittel 1:150	groß (ungünstig) 1:100
Stör	1,28	-	-	32,2	-	-	2,9	3,8	2,5	3,3	2,4	3,0	3,0	3,9	4,4	6,4	24,6	26,9	-
Wels	0,88	6,3	-	4,8	5,5	6,7	1,3	1,6	1,1	1,4	1,0	1,2	1,1	1,5	1,6	2,3	6,5	7,0	7,7
Hecht	0,44	2,4	2,8	2,0	2,2	2,7	0,9	1,0	0,7	0,8	0,4	0,4	0,4	0,5	1,1	1,6	3,3	3,5	3,8

Erläuterungen:

- Alle Werte der Mindestabflüsse sind aus Gründen der Sicherheit auf 0,1 m³/s aufgerundet.
- Rot markierte Werte: Grenzwerte werden bei Q_{FAA} eingehalten, bei $Q_{FAA,doppelt}$ werden jedoch zu große Fließgeschwindigkeiten und/oder Wassertiefen erreicht.
- Fehlende Werte weisen daraufhin, dass bei diesen Anlagentypen die Grenzwerte (Fließgeschwindigkeit) bei einem Durchfluss von Q_{FAA} nicht eingehalten werden und/oder zu große Wassertiefen erzeugt werden
- Δh bzw. Gefälle: hier ist für beckenartige Anlagentypen eine maximal zu überwindende und eine optimale Wasserspiegeldifferenz von Becken zu Becken angegeben; für gerinneartige Anlagentypen wird hier ein maximales, ein mittleres und ein optimales Gefälle angegeben (diese Werte sind Erfahrungsbasierte bzw. Literaturwerte).
- a, b und c stehen für die verschiedenen Gefällevarianten: a = ökologisch optimales Gefälle, b = Gefälle zwischen ökologisch optimal und ungünstig, c = ökologisch ungünstiges Gefälle; 1-8 stehen für die verschiedenen FAA-Typen

4.5 Ermittlung der Leitströmung

Die Leitströmung, die die Auffindbarkeit einer Fischaufstiegsanlage bestimmt, sollte für mittlere bis kleine Gewässer 5 bis 10 % des konkurrierenden Abflusses umfassen (MUNLV NRW, 2005). Laut DWA M-509 soll die Leitströmung für kleine und mittlere bis große Gewässer auf 5 bis 10 % des mittleren Niedrigwasserabflusses dotiert werden. Da die Vorranggewässer im Land Brandenburg hauptsächlich mittlere bis große Gewässer darstellen, wird die Leitströmung auf 5 % des Mittelwasserabflusses dotiert. Geringere Leitströmungsanteile am Gesamtabfluss sind für die Gewässer Brandenburgs nicht zulässig. Grundsätzlich wird die Leitströmung aus dem Gesamtabfluss ermittelt. Im Falle einer Abflussaufteilung jedoch wird die Leitströmung aus dem aufgeteilten Gesamtabfluss (vgl. Tab. 3-29) ermittelt. Hierzu wird der am Hauptarm des jeweiligen Querbauwerksstandortes realisierbare Hauptabfluss Q_{Haupt} angesetzt. Aus diesem Hauptabfluss wird über eine Faktorbeziehung die erforderliche Leitströmung errechnet.

Tabelle 4-13: Leitströmungen Q_{Leit} für die Querbauwerksstandorte der prioritären Vorranggewässer (Untere Havel, Untere Spree ab Fürstenwalde)

Prioritäre Vorranggewässer	Querbauwerksstandort	Q_{Haupt} [m ³ /s]	Q_{Leit} [m ³ /s]
untere Havel	Gnevsdorf Wehr	85,9	4,3
	Bauwerksgruppe Quitzöbel	77,3	3,9
	Garz Wehr/Schleuse	72,3	3,7
	Grütz Wehr/Schleuse	72,0	3,6
	Bauwerksgruppe Rathenow	46,3	2,4
	Bahnitz Wehr/Schleuse	66,7	3,4
	Bauwerksgruppe Brandenburg	18,5	1,0
untere Spree ab Fürstenwalde	Charlottenburg Wehr/Schleuse	28,5	1,5
	Mühlendamm Wehr/Schleuse	20,2	1,1
	Große Tränke Wehr	12,3	0,7
	Fürstenwalde Wehr/Schleuse	19,0	1,0

*Alle Werte sind aus Gründen der Sicherheit auf 0,1 m³/s aufgerundet.

Demzufolge wird die Leitströmung als $Q_{\text{Leit}} = 0,05 \cdot Q_{\text{Haupt}}$ ermittelt. Eine Übersicht über die ermittelten Leitströmungen der prioritären Querbauwerksstandorte gibt Tabelle 4-13. Dargestellt ist der mittels bereits erwähnten Aufteilungsregeln (vgl. Kap. 3-4) aufgeteilte Abfluss für den Fließarm, der aktuell den Hauptabfluss Q_{Haupt} realisiert (Hauptarm), und die daraus resultierende Leitströmung Q_{Leit} an diesem Hauptarm.

4.6 Ermittlung des maßgeblichen standort- bzw. anlagenabhängigen Mindestabflusses zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$

Je größer der Abflussanteil (bei Einhaltung aller Grenzwerte) in der Fischaufstiegsanlage ist, desto besser ist die Auffindbarkeit (bei Einhaltung der einschlägigen Gestaltungshinweise) gewährleistet (MUNLV NRW 2005). Dieser Abflussanteil entspricht entweder der standortabhängigen Leitströmung oder dem anlagenbedingten Mindestabfluss. Der für die Defizitanalyse maßgebliche standort- bzw. anlagenabhängige Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ richtet sich nach der Größeren der beiden oben genannten Abflusskomponenten. Demnach wird für jeden zu betrachtenden Querbauwerksstandort der standortabhängigen Leitströmung (vgl. Kap. 4.5) ein anlagenbedingter Mindestabfluss gegenübergestellt (vgl. Tab. 4-14) und der größere Abflusswert als $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ betrachtet. Der obere Wert entspricht dem anlagenabhängigen Mindestdurchfluss Q_{FAA} , der untere Wert der Leitströmung Q_{Leit} . Um deutlich zu machen, welcher dieser beiden Abflüsse den $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ darstellt, wird dieser in Tabelle 4-14 hervorgehoben.

Der Leitströmungsanteil stellt nicht den anlagenbedingten Durchfluss einer auf Mindestabmessungen bemessenen Fischaufstiegsanlage dar. Vielmehr wird durch die Leitströmung die Auffindbarkeit einer Fischaufstiegsanlage für den wanderwilligen Fisch gesichert. Dies bedeutet nicht, dass eine auf Mindestabmessungen dimensionierte Fischaufstiegsanlage diese Leitströmung uneingeschränkt realisieren kann (siehe Textbox unten). Die Methode zur Ermittlung des maßgeblichen standort- bzw. anlagenabhängigen Mindestabflusses zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ berücksichtigt die beiden Abflusskomponenten, die einen möglichen Mindestabfluss einer Fischaufstiegsanlage darstellen können. Diese sind entweder anlagenabhängige (Q_{FAA}) oder standortabhängige (Q_{Leit}) Abflüsse.

Was ist zu beachten, wenn für eine Fischaufstiegsanlage eine standortabhängige Leitströmung Q_{Leit} realisieren werden muss, die weitaus höher ist als der anlagenbedingte Mindestdurchfluss Q_{FAA} ?

Bei den Mindestabmessungen ausschließlich bestimmt durch den anlagenbedingten Mindestabfluss Q_{FAA} könnten dann die hydraulischen Grenzwerte in der Regel nicht mehr eingehalten werden, die Anlage würde nicht mehr uneingeschränkt funktionieren.

Um einen höheren Durchfluss als den doppelten anlagenbedingten Mindestdurchfluss ($2 \cdot Q_{\text{FAA}}$) trotzdem ohne Einschränkungen in der Funktionsfähigkeit abführen zu können, müssen entweder die Becken- oder die Durchlassabmessungen größer bzw. das Gefälle geringer geplant werden, um die hydraulischen Grenzwerte (Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten und spezifische Leistungsdichte) einzuhalten.

Alternativ könnte unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten auch über eine zusätzliche Bypassleitung ein über den Betriebsabfluss der Aufstiegsanlage hinausgehendes Wasservolumen dem Oberwasser entnommen und über ein Druckrohr oder über eine offene Rinne dem untersten Becken bzw. dem unterwasserseitigen Abschnitt der Fischaufstiegsanlage zugeführt werden (DWA-M 509, 2010). Entsprechend dimensioniert, kann somit ein höherer Leitströmungsdurchfluss auch durch eine auf Mindestabmessungen ausgelegte Fischaufstiegsanlage unter Einhaltung aller hydraulischen Grenzwerte abgeführt werden.

Tabelle 4-14: Übersicht über die maßgeblichen standort- und anlagenabhängigen Mindestabflüsse zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ [m^3/s] der prioritären Querbauwerksstandorte für den Bemessungsfisch Stör. Der obere Wert entspricht dem anlagenabhängigen Minstdurchfluss Q_{FAA} , der untere Wert der Leitströmung Q_{Leit} . Um deutlich zu machen, welcher dieser beiden Abflüsse den $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ darstellt, wird dieser in den Tabellen hervorgehoben.

	FAA-Typ	Flächiges Raugerinne (aufgelöste Bauweise mit Ruhestrecken)		Aufgelöste Bauweise mit Störsteinen			Riegelbauweise mit Beckenstruktur		Raugerinnebeckenpass		Konventioneller Beckenpass		Vertikalschlitzpass		Borstenpass mit Beckenstruktur		Borstenpass mit Störelemente		
Querbauwerksstandort	Fischregion Gefällesituation: Δh je Becken [m] bzw. Gefälle [-]	ökologisch optimal	groß (ungünstig)	ökologisch optimal	mittel	groß (ungünstig)	ökologisch optimal	groß (ungünstig)	ökologisch optimal	groß (ungünstig)	ökologisch optimal	groß (ungünstig)	ökologisch optimal	groß (ungünstig)	ökologisch optimal	groß (ungünstig)	ökologisch optimal	mittel	groß (ungünstig)
Gnevsdorf Wehr	Bleiregion	-	-	16,1 4,3	-	-	1,5 4,3	1,9 4,3	1,3 4,3	1,7 4,3	1,2 4,3	1,5 4,3	1,5 4,3	2,0 4,3	2,2 4,3	3,2 4,3	12,3 4,3	13,5 4,3	-
Bauwerksgruppe Quitzöbel		-	-	16,1 3,9	-	-	1,5 3,9	1,9 3,9	1,3 3,9	1,7 3,9	1,2 3,9	1,5 3,9	1,5 3,9	2,0 3,9	2,2 3,9	3,2 3,9	12,3 3,9	13,5 3,9	-
Garz Wehr/Schleuse		-	-	16,1 3,7	-	-	1,5 3,7	1,9 3,7	1,3 3,7	1,7 3,7	1,2 3,7	1,5 3,7	1,5 3,7	2,0 3,7	2,2 3,7	3,2 3,7	12,3 3,7	13,5 3,7	-
Grütz Wehr/Schleuse		-	-	16,1 3,6	-	-	1,5 3,6	1,9 3,6	1,3 3,6	1,7 3,6	1,2 3,6	1,5 3,6	1,5 3,6	2,0 3,6	2,2 3,6	3,2 3,6	12,3 3,6	13,5 3,6	-
Bauwerksgruppe Rathenow		-	-	16,1 2,4	-	-	1,5 2,4	1,9 2,4	1,3 2,4	1,7 2,4	1,2 2,4	1,5 2,4	1,5 2,4	2,0 2,4	2,2 2,4	3,2 2,4	12,3 2,4	13,5 2,4	-
Bahnitz Wehr/Schleuse		-	-	16,1 3,4	-	-	1,5 3,4	1,9 3,4	1,3 3,4	1,7 3,4	1,2 3,4	1,5 3,4	1,5 3,4	2,0 3,4	2,2 3,4	3,2 3,4	12,3 3,4	13,5 3,4	-
Bauwerksgruppe Brandenburg		-	-	16,1 1,0	-	-	1,5 1,0	1,9 1,0	1,3 1,0	1,7 1,0	1,2 1,0	1,5 1,0	1,5 1,0	2,0 1,0	2,2 1,0	3,2 1,0	12,3 1,0	13,5 1,0	-
Charlottenburg Wehr/Schleuse	Tiefland-Barbenregion i. Ü. Bleiregion	-	-	16,1 1,5	-	-	1,5 1,5	1,9 1,5	1,3 1,5	1,7 1,5	1,2 1,5	1,5 1,5	1,5 1,5	2,0 1,5	2,2 1,5	3,2 1,5	12,3 1,5	13,5 1,5	-
Mühlendamm Wehr/Schleuse		-	-	16,1 1,1	-	-	1,5 1,1	1,9 1,1	1,3 1,1	1,7 1,1	1,2 1,1	1,5 1,1	1,5 1,1	2,0 1,1	2,2 1,1	3,2 1,1	12,3 1,1	13,5 1,1	-
Große Tränke Wehr		-	-	16,1 0,7	-	-	1,5 0,7	1,9 0,7	1,3 0,7	1,7 0,7	1,2 0,7	1,5 0,7	1,5 0,7	2,0 0,7	2,2 0,7	3,2 0,7	12,3 0,7	13,5 0,7	-
Fürstenwalde Wehr/Schleuse		-	-	16,1 1,0	-	-	1,5 1,0	1,9 1,0	1,3 1,0	1,7 1,0	1,2 1,0	1,5 1,0	1,5 1,0	2,0 1,0	2,2 1,0	3,2 1,0	12,3 1,0	13,5 1,0	-

* Alle Werte der Mindestabflüsse sind aus Gründen der Sicherheit auf eine Nachkommastelle aufgerundet

** Rot markierte Werte: Grenzwerte werden bei Q_{FAA} eingehalten, bei $Q_{\text{FAA, doppelt}}$ werden jedoch zu große Fließgeschwindigkeiten und/oder Wassertiefen erreicht

***, Fehlende Werte weisen daraufhin, dass bei diesen Anlagentypen die Grenzwerte (Fließgeschwindigkeit) bei einem Durchfluss von Q_{FAA} nicht eingehalten werden und/oder zu große Wassertiefen erzeugt werden

5 Defizitanalyse

Um Aufschluss über die Realisierbarkeit der Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit für die im Durchgängigkeitskonzept angegebenen Leitfischarten an den Querbauwerksstandorten der als prioritär eingestuften Vorranggewässern untere Havel und untere Spree ab Fürstenwalde geben zu können, wird eine Defizitanalyse durchgeführt. Grundlage hierfür bilden die simulierten Abflüsse (unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten) (vgl. Kap. 3) und die für die prioritären Querbauwerksstandorte, für die betrachteten FAA-Typen und für die „Bemessungsfischart“ Stör ermittelten $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ (vgl. Kap. 4). Für jeden der 11 prioritären Querbauwerksstandorte und für die Schleuse Wernsdorf im Oder-Spree-Kanal werden die standortabhängigen und bereits aufgeteilten Abflüsse mit den $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ der wassersparsamsten FAA-Typen verglichen. Der wassersparsamste naturnahe FAA-Typ ist das Raugerinne mit Beckenstruktur, der wassersparsamste technische FAA-Typ der Konventionellen Beckenpass. Die beiden Abbildungen 5-1 und 5-2 zeigen die Defizitanalyse für den Anlagentyp Konventioneller Beckenpass. Hier sind die $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ und die standortabhängigen auf den Hauptarm aufgeteilten Abflüsse des Q_{30}^* -Abflusses dargestellt. Die Defizitanalyse der prioritären Querbauwerksstandorte ist in einer Shape-Datei¹ zusammengefasst, die mit diesem Bericht übergeben wird.

Um sicher ein Defizit feststellen zu können, werden bei der Defizitanalyse die Grenzen für ein Defizit bzw. kein Defizit nach oben bzw. nach unten gedrückt. Dies geschieht mit der Beaufschlagung bzw. dem Abzug von 10 % des $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ vom $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$. So entsteht gleichzeitig ein potentieller Defizitbereich zwischen diesen beiden Grenzwerten ($0,9 \cdot Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ und $1,1 \cdot Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$), innerhalb dessen die ermittelten $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ nahe am verfügbaren Q_{30}^* liegen und somit dort ein potentielles Defizit besteht. Unterschreitet folglich ein Grenzwert von $1,1 \cdot Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ den standortabhängigen auf den Hauptarm aufgeteilten Q_{30}^* -Wert, so zeigt die Ampel in den Abbildungen 5-1 und 5-2 ein grünes Licht. Wird allerdings bereits bei einem Grenzwert von $0,9 \cdot Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ der Q_{30}^* -Wert überschritten, so zeigt die Ampel ein rotes Licht. In diesem Fall kann von einer Funktionseinschränkung der Fischaufstiegsanlage an diesem Querbauwerksstandort oberhalb des Abflusses, der an 30 Tagen im Jahr unterschritten wird, ausgegangen werden. Ein gelbes Ampellicht zeigt den oben erwähnten potentiellen Defizitbereich an. Die Spannweite beträgt hierbei ± 10 % von $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ ($0,9 \cdot Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}} < Q_{30}^* < 1,1 \cdot Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$). Des Weiteren wird im Falle einer Abflussaufteilung auch eine unsichere Abflussaufteilung aufgrund einer hohen Anzahl von Fließarmen mit der gelben Ampel indiziert. Die auf Annahmen beruhende Abflussaufteilung wird demnach an solchen Querbauwerksstandorten als unsicher gekennzeichnet. Hier ist darauf hinzuweisen, dass die Bearbeitungstiefe dieser Studie nicht ausreicht um standortspezifische Abflussverhältnisse bzw. Abflussaufteilungen auf mehrere Fließarme detailliert zu erfassen. Deshalb empfiehlt es sich, in diesen Fällen eine standortspezifische Einzelfallprüfung der jeweiligen Abflussverhältnisse durchzuführen. Dies kann in dieser Arbeit allerdings aufgrund der fehlenden Datengrundlage und der hohen Anzahl der zu untersuchenden Querbauwerksstandorte nicht erbracht werden. Die Anzahl der Tage, an denen der ökologische Mindestabfluss bezogen auf einen Querbauwerksstandort unterschritten wird, wird im Folgenden ebenfalls ermittelt und dargestellt (vgl. Tab. 5-1 und 5-2).

¹ Endergebnis_Defizitanalyse_Prioritaere_Bauwerke

5.1 Untere Havel

Prioritäre Bauwerksstandorte

Insgesamt befinden sich sieben der 11 prioritären Querbauwerksstandorte an der unteren Havel. Hauptsächlich handelt es sich hierbei um Bauwerksgruppen mit einem Wehr und maximal zwei Schleusen. Nur die Bauwerksgruppen Rathenow und Brandenburg weisen eine Vielzahl von Fließarmen auf, die durch Wehre und/oder Durchlässe und Schleusen ökologisch unterbrochen sind. Aufgrund der hohen Anzahl von Fließarmen können die anhand der Methode von Abschnitt 3.4 ermittelten einzelnen auf die Fließarme aufgeteilten Abflüsse geringer ausfallen als sie tatsächlich sind. Dies kann dazu führen, dass sogar für den wassersparsamsten Konventionellen Beckenpass das errechnete Wasserdargebot nicht für einen DWA-regelgerechten Betrieb ausreicht. Diese methodenbedingt aufgezeigten Defizite sind zu verhindern wenn eine eindeutige Favorisierung eines Fließarmes mit einem höheren Abflussanteil als bei der pauschalisierten Abflussaufteilung stattfindet oder neu festgelegt wird.

Konkret ist dies an der Bauwerksgruppe Brandenburg zu erkennen. Der Q_{30}^* -Wert von aufgerundet $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt deutlich unter den Abflüssen der anderen Querbauwerksgruppen. Es wird dort der Mindestabfluss weder für den konventionellen Beckenpass ($Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}} = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$) (vgl. Abb. 5-2) noch für das Raugerinne mit Beckenstruktur ($Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) erreicht. Somit müsste der Querbauwerksstandort Brandenburg in der Karte rot (für „Defizit vorhanden“) gekennzeichnet sein. Aufgrund der vielen Fließarme am Standort ist die Abflussaufteilung allerdings als unsicher zu betrachten, die Abflüsse im Hauptarm werden methodenbedingt tendenziell unterschätzt. Daher wird für den Standort ein „potenzielles Defizit“ ausgewiesen (gelbe Ampel). Über eine gezielt Steuerung eines oder aller Nebenfließarme bei Niedrigwasserverhältnissen kann der Abfluss am Hauptfließarm sicher soweit erhöht werden, dass ein Aufstiegsanlagenbetrieb DWA-regelgerechten möglich ist. Hierüber kann allerdings nur eine ortskonkrete Untersuchung der Abflussverhältnisse, der tatsächlichen Abflussaufteilung sowie der Abflusssteuerungsmöglichkeiten an den einzelnen Wehrstandorten der Bauwerksgruppe Brandenburg Aufschluss geben.

Alle anderen Bauwerksgruppen weisen ein deutlich höheres Wasserdargebot auf, die $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ werden weit überschritten. Somit kann von einer **ausreichend vorhandenen Wasserverfügbarkeit** an diesen Querbauwerksstandorten ausgegangen werden (vgl. Abb. 5-2).

Die Anzahl der Tage, an denen $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ unterschritten wird, sind in Tabelle 5-1 für die prioritären Querbauwerksstandorte der unteren Havel zusammengefasst. Die Werte $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit, Gesamt}}$ ergeben sich aus der Hochrechnung der aufgeteilten $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ des Hauptfließarmes auf den gesamten Standort. Dies ist für die Ermittlung der Unterschreitungstage erforderlich, da die Durchflussdauerlinien nur für den Gesamtabfluss vorliegen.

Die Werte für $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ beziehen sich auf den wassersparsamsten technischen FAA-Typ konventioneller Beckenpass und sind für das ökologisch günstige Gefälle ermittelt. Für diese Kombination aus Anlagentyp, Gefälle, Bemessungsfisch (Stör) und Gewässer (untere Havel) sind für die zu betrachtenden Querbauwerke (mit Ausnahme der Bauwerksgruppe Brandenburg) Funktionseinschränkungen nur an 0 bis 3 Tagen im Jahr zu erwarten.

Tabelle 5-1: Unterschreitungstage des $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ an den prioritären Querbauwerksstandorten der unteren Havel bezogen auf die Dauerlinien (unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten)

Querbauwerksstandort	$Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ [m ³ /s]	$Q_{\min, \text{Durchgängigkeit, Gesamt}}$ [m ³ /s]	Unterschreitungs- tage
Gnevsdorf Wehr	4,3	4,3	0
Bauwerksgruppe Quitzebel	3,9	4,4	1
Garz Wehr/Schleuse	3,7	5,6	1
Grütz Wehr/Schleuse	3,6	5,6	1
Bauwerksgruppe Rathenow	2,4	6,8	2
Bahnitz Wehr/Schleuse	3,4	4,5	3
Bauwerksgruppe Brandenburg *	1,2	12,6	34

Alle Werte sind aus Gründen der Sicherheit auf eine Nachkommastelle aufgerundet.

* Werte an der Bauwerksgruppe Brandenburg methodenbedingt unsicher (siehe Text)

Havel-Mündung

Bezüglich der Havel-Mündung in die Elbe werden zwei Varianten A und B unterschieden (vgl. Abb. 5-1). Die ursprüngliche Havelmündung in die Elbe wurde in den 30er und später in den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts schrittweise von Havelberg nach Neuwerben und abschließend nach Gnevsdorf vorverlegt. Die aktuelle (eigentliche) Havelmündung stellt Variante A, über das Wehr Neuwerben (Hauptarm A), dar. Variante B stellt die Mündung über den Gnevsdorfer Vorfluter dar (Wehre Gnevsdorf und Quitzebel, Hauptarm B). Über die Wehre Gnevsdorf und Quitzebel sollen v.a. ein Sommerstau für die Karthane-Niederung sowie eine hochwasserrelevante Verlegung der Havel-Mündung stromabwärts realisiert werden (ZAHN et al. 2012). Der Gesamtkomplex der Wehre Quitzebel und des Wehres Neuwerben dient der Stau- und Abflussregulierung der unteren Havel bis Garz, der Schifffahrt sowie dem Hochwasserschutz bzw. der Hochwasserentlastung in der Havel. Deshalb wird das Wehr Neuwerben mit zum Querbauwerksstandort Quitzebel gezählt. Je nach Variante der Havel-Mündung wird der Hauptabfluss über das Wehr Quitzebel oder das Wehr Neuwerben realisiert. Der jeweils andere Hauptarm wird dann zum Nebenarm. Der Schleusenarm (Altarm Quitzebel) bleibt bei beiden Varianten A und B ein Nebenarm. Hier wird allerdings nur der Schleusendurchfluss beaufschlagt. Bei beiden Fließarmen (Hauptarm A oder B) kann dann je nach Variante derselbe Hauptabfluss und somit auch derselbe $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ angesetzt werden. Der Hauptabfluss über den jeweiligen Hauptarm wird nach der pauschalisierten Abflussaufteilung (vgl. Kap. 3.4) ermittelt. Unter anderem wird der Schleusenabfluss über die Bootsschleuse Quitzebel abgezogen. Es ist demnach eine Spiegelung der Abflussaufteilung je nach Variante möglich. Somit ergibt sich für die beiden Varianten dieselbe Abflussaufteilung, die allerdings je nach Variante einen anderen Hauptarm berücksichtigt. Hydrologisch gesehen ist ausreichend Wasser verfügbar, um eine der aktuellen möglichen Havelmündungen (Variante A oder B) durch das Errichten einer Fischaufstiegsanlage ökologisch durchgängig zu machen.

Aus ökologischen Gründen könnte es jedoch erforderlich sein, die ökologische Durchgängigkeit an beiden aktuellen möglichen Havelmündungen herzustellen. Dies würde allerdings bedeuten, die Wehre Gnevsdorf, Quitzöbel und Neuwerben mit einer Fischaufstiegsanlage zu versehen. Hydrologisch wäre dies realisierbar, da das verfügbare Wasserdargebot in Niedrigwasserfall Q_{30}^* mehr als dreimal so hoch ist wie $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ (vgl. Abb. 5-2).

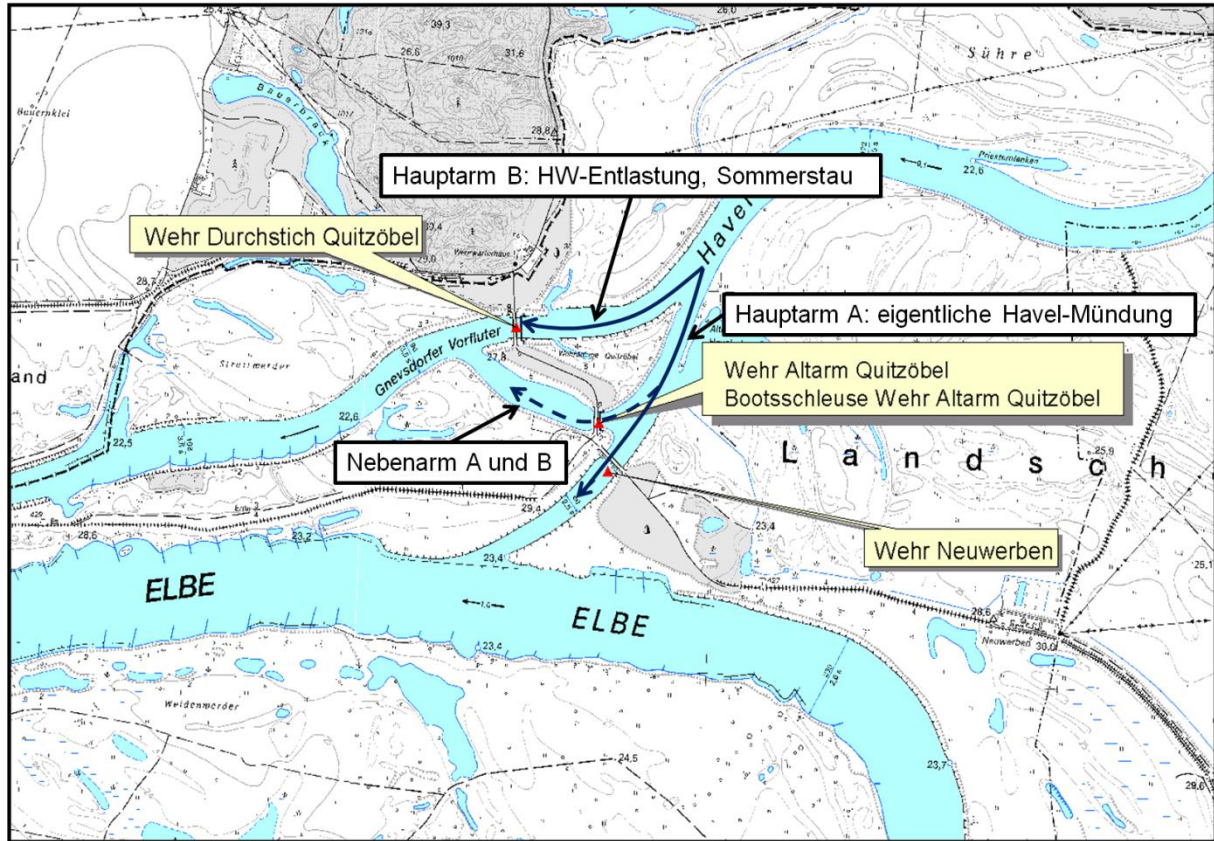


Abbildung 5-1: Übersicht über den Querbauwerksstandort Quitzöbel mit beiden Varianten A und B der Hauptabflussrealisierung

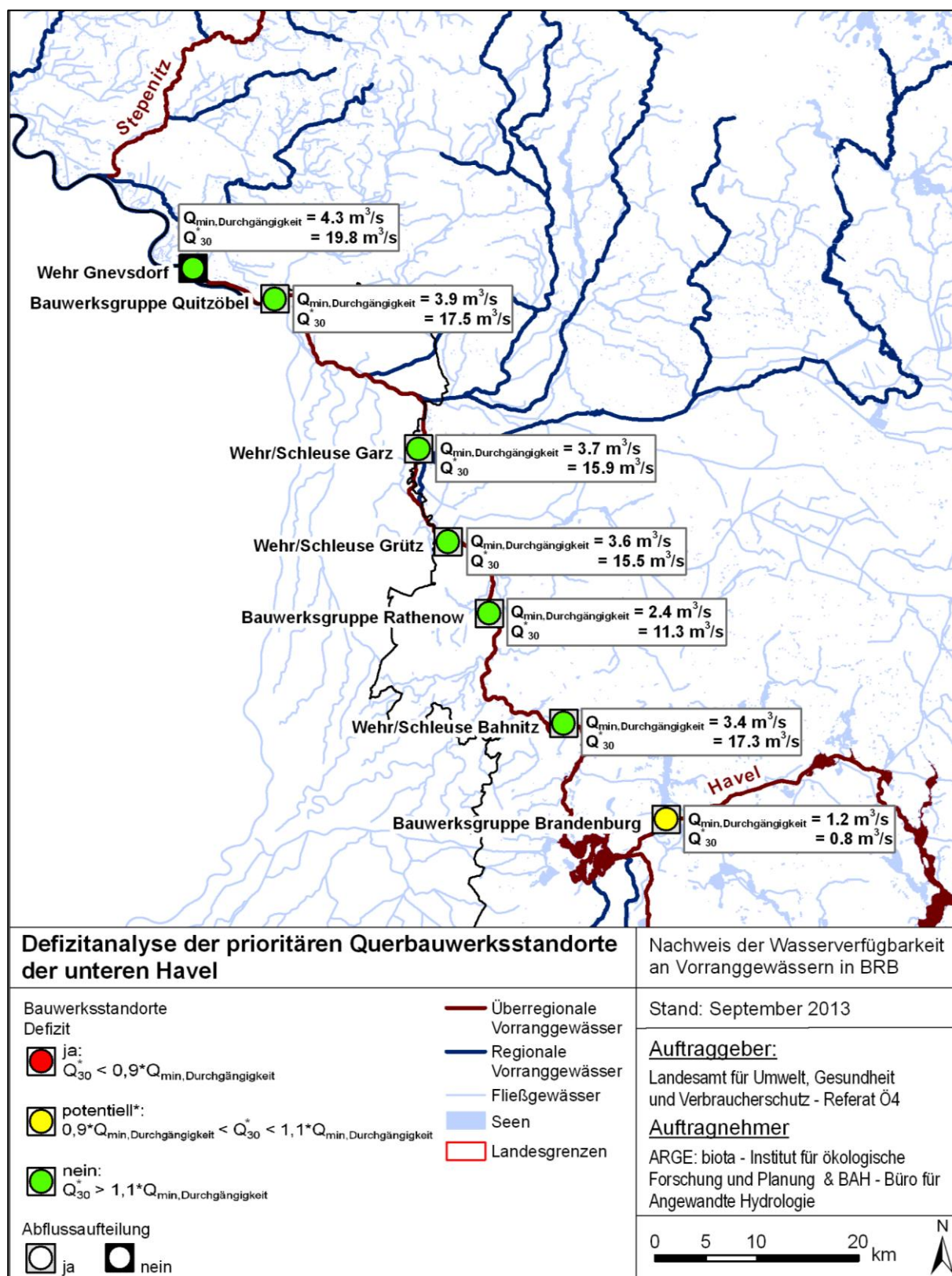


Abbildung 5-2: Defizitanalyse für die prioritären Querbauwerksstandorte an der unteren Havel

* Gelbe Ampel: Potentielles Defizit und/oder Q_{30}^* -Wert ist unsicher bzw. möglicherweise unterschätzt aufgrund der pauschalisierten Abflussaufteilung (10 % des Gesamtabflusses je Nebenarm) und hoher Anzahl von Fließarmen am jeweiligen Querbauwerkstandort (z.B. Bauwerksgruppe Brandenburg)

** Q_{30}^* entspricht hier dem auf den Hauptfließarm aufgeteilten Q_{30} -Wert

5.2 Untere Spree

Insgesamt befinden sich vier der 11 prioritären Querbauwerksstandorte an der unteren Spree ab Fürstenwalde. Hauptsächlich handelt es sich hierbei um Bauwerksgruppen mit einem Wehr und maximal zwei Schleusen. Nur der Querbauwerksstandort Große Tränke besitzt keine Schleuse. An allen Bauwerksgruppen kann von einer ausreichend vorhandenen Wasserverfügbarkeit ausgegangen werden. Für den Konventionellen Beckenpass ($Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}} = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$) (vgl. Abb. 5-3) und dem Raugerinne mit Beckenstruktur ($Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}} = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) werden die maßgeblichen standort- und anlagenabhängigen Mindestabflüsse zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit deutlich überschritten. Die Anzahl der Tage, an denen $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ unterschritten wird sind in Tabelle 5-2 zusammengefasst. Hier sind nur die prioritären Querbauwerksstandorte der unteren Spree ab Fürstenwalde und die Schleuse Wernsdorf im Oder-Spree-Kanal aufgeführt. Die Werte für $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ beziehen sich auf den wassersparsamsten technischen FAA-Typ konventioneller Beckenpass und sind für das ökologisch günstige Gefälle ermittelt. Für diese Kombination aus Anlagentyp, Gefälle, Bemessungsfisch (Stör) und Gewässer (untere Spree) sind für die zu betrachtenden Querbauwerke Funktionseinschränkungen nur an 0 bis 5 Tagen im Jahr zu erwarten.

Tabelle 5-2: Unterschreitungstage des $Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ an den prioritären Querbauwerksstandorten der unteren Spree bezogen auf die Dauerlinien (unter Berücksichtigung der Nutzungsdaten)

Querbauwerksstandort	$Q_{\min, \text{Durchgängigkeit}}$ [m ³ /s]	$Q_{\min, \text{Durchgängigkeit, Ges}}$ [m ³ /s]	Unterschreitungs- tage
Charlottenburg Wehr/Schleuse	1,5	2,1	0
Mühlendamm Wehr/Schleuse	1,2	2,5	5
Große Tränke Wehr	1,2	1,2	1
Fürstenwalde Wehr/Schleuse	1,2	1,3	1

*Alle Werte sind aus Gründen der Sicherheit auf eine Nachkommastelle aufgerundet.

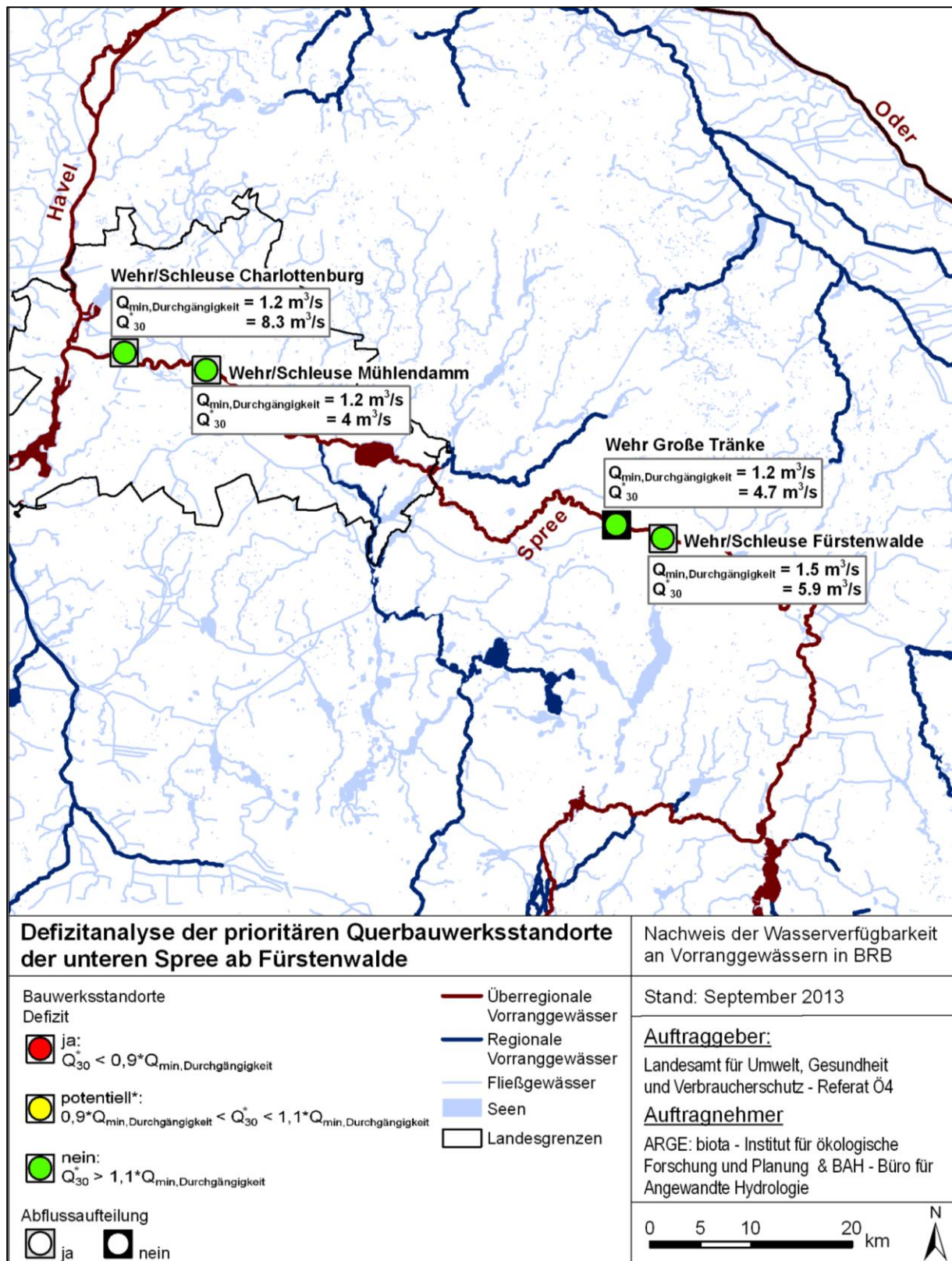


Abbildung 5-3: Defizitanalyse für die prioritären Querbauwerksstandorte an der unteren Spree

* Gelbe Ampel: Potentielles Defizit und/oder Q_{30} -Wert ist unsicher bzw. möglicherweise unterschätzt aufgrund der pauschalisierten Abflussaufteilung (10 % des Gesamtabflusses je Nebenarm) und hoher Anzahl von Fließarmen am jeweiligen Querbauwerkstandort (z.B. Bauwerksgruppe Brandenburg)

** Q_{30} entspricht hier dem auf den Hauptfließarm aufgeteilten Wert

6 Fazit

Die vorliegende Studie stellt in einer Übersichtsmethode Defizite im Wasserdargebot hinsichtlich einer Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit an den prioritären Vorranggewässern Brandenburgs fest. Hierbei wird ein Minimalitätsansatz angewendet. Dies bedeutet, dass Fischaufstiegsanlagen auf ihre Mindestabmessungen, bezogen auf den jeweils am zu betrachtenden Gewässerabschnitt ursprünglich vorkommenden Bemessungsfisch, dimensioniert werden. Somit werden anlagenbedingte Mindestabflüsse Q_{FAA} ermittelt und mit den standortabhängigen Leitströmungsanteilen Q_{Leit} verglichen, um einen maßgeblichen standort- bzw. anlagenabhängigen Mindestabfluss zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit $Q_{min,Durchgängigkeit}$ je Gewässerabschnitt und Standort zu erhalten.

An den prioritären Standorten in der unteren Havel und in der unteren Spree werden die mittels des Niederschlag-Abfluss-Modell ArcEGMO - unter Berücksichtigung der Wassernutzung entsprechend der bestehenden Wasserrechte - ermittelten Abflüsse mit den maßgeblichen standort- bzw. anlagenabhängigen Mindestabflüssen zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit $Q_{min,Durchgängigkeit}$ verglichen. Dieser Vergleich ergibt dann als Ergebnis Standorte, an denen kein Defizit ($1,1 \cdot Q_{min,Durchgängigkeit}$ kleiner als Q_{30}^*) oder ein Defizit ($0,9 \cdot Q_{min,Durchgängigkeit}$ größer als Q_{30}^*) vorherrscht. Zusätzlich wird ein potentieller Defizitbereich ausgewiesen ($0,9 \cdot Q_{min,Durchgängigkeit} < Q_{30}^* < 1,1 \cdot Q_{min,Durchgängigkeit}$). Tritt ein solcher potentieller Defizit auf, müssen die tatsächlichen Abflussverhältnisse, mögliche Abflussaufteilungen, Hauptfließarm des Standortes, etc. detailliert untersucht werden.

Die Tabelle 6-1 zeigt eine Zusammenfassung der Defizitanalyse der Querbauwerksstandorte der prioritären Vorranggewässer im Land Brandenburg. Abschließend lassen sich die Ergebnisse dieser Studie zur Wasserverfügbarkeit für die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an den prioritären Vorranggewässern wie folgt beurteilen:

1. In der unteren Havel und der unteren Spree ab Fürstenwalde ist in der Regel auch bei einer sicherheitsorientierten Abflussaufteilung ausreichend Wasser für eine uneingeschränkte Funktionsfähigkeit von Fischaufstiegsanlagen vorhanden. Bei fast allen Standorten (mit Ausnahme Rathenow und Brandenburg) ist von einem uneingeschränkten DWA-regelgerechten Betrieb mit ausreichendem Durchfluss auch im Niedrigwasserfall in mindestens einer Aufstiegsanlage auszugehen.
2. An Bauwerksstandorten mit einer hohen Anzahl von Fließarmen und evtl. Schleusen (Brandenburg und Rathenow) ist eine genaue Kenntnis über die örtlichen Abflussverhältnisse, Schleusenabflüsse sowie Abflussaufteilungen der einzelnen Fließarme unabdingbar, um eine uneingeschränkte Funktionsfähigkeit einer Fischaufstiegsanlage abschließend beurteilen zu können. Dies erfordert detaillierte Voruntersuchungen am jeweiligen Standort. Ein ausreichendes Wasserdargebot unter Voraussetzung angepasster Wehrsteuerungen ist aber auch hier sehr wahrscheinlich vorhanden.

Die Unsicherheiten der Methodik werden im Folgenden aufgeführt. Zunächst wird auf das Kapitel 3.3 verwiesen. Dort werden die Unsicherheiten der N-A-Modellierung beschrieben. Des Weiteren werden im Folgenden kurz die Unsicherheiten der Defizitanalyse beschrieben:

- Die pauschalisierte Abflussaufteilung (vgl. Kap. 3.4) beruht auf Annahmen, die sicherheitsorientiert gewählt wurden. Das bedeutet, dass Abflüsse eher unterschätzt und nicht überschätzt werden.

- Die minimalen Anlagendurchflüsse werden bei relativ geringem (ökologisch günstigerem) Gefälle bzw. Wasserspiegelunterschied einzelner Becken erreicht. Nach DWA-Regeln grenzwertig große Gefälle und Wasserspiegelunterschiede erfordern höhere Durchflüsse. Beide Fälle der Anlagendimensionierung wurden betrachtet (vgl. Kap. 4.4). Die Defizitanalyse bezieht sich auf die wassersparsamste Variante mit geringerem Wasserspiegelunterschied.
- Die Ermittlung des Schleusendurchflusses für einen „worst-case-scenario“ von 2 Schleusungen pro Stunde soll den Extremfall eines touristischen Schifffahrtsverkehrs im Hochsommer bei Niedrigwasserverhältnissen abdecken.

Die Annahmen beruhen auf einen sicherheitsorientierten Minimalitätsansatz, da die Fragestellung speziell auf eine nicht ausreichende Wasserverfügbarkeit abzielt. Das bedeutet, dass vorrangig bei extremen Niedrigwasserverhältnissen die ökologische Durchgängigkeit sichergestellt werden muss. Die hydraulische Bemessung der betrachteten Fischaufstiegsanlagen beruht auf den Mindestabmessungen der Anlagentypen für die jeweiligen Fischregionen. Die Ergebnisse der hydraulischen Bemessung stellen somit Mindestgrößen für einen DWA-regelgerechten Betrieb dar. **Bei konkreten Planungen sind diese Größen mindestens einzuhalten. Zusätzliche Randbedingungen wie Gefälle, Flächenverfügbarkeit, höherer Anlagendurchfluss, Anströmungsverhältnisse, ökologische Ansprüche einzelner Arten können jedoch den Bau einer größeren Anlage erforderlich machen.**

Tabelle 6-1: Zusammenfassung der Defizitanalyse für die Querbauwerksstandorte der prioritären Vorranggewässer

Prioritäre Vorranggewässer	Querbauwerksstandort	Zusammenfassung der Defizitanalyse
untere Havel	Gnevsdorf Wehr	• Q_{Leit} maßgebend für $Q_{min, Durchgängigkeit}$ • Keine Abflussaufteilung vorhanden (1 Fließarm) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit wenig Unsicherheiten verhaftet • Kein hydrologisches Defizit bezüglich Herstellbarkeit der ökologischen Durchgängigkeit • Unterschreitungstage von $Q_{min, Durchgängigkeit, Gesamt}$: 0 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung möglich
	Bauwerksgruppe Quitzöbel	• Q_{Leit} maßgebend für $Q_{min, Durchgängigkeit}$ • Abflussaufteilung vorhanden (2 Fließarme, davon 1 Schleuse) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit wenig Unsicherheiten verhaftet • Kein Defizit im Wasserdargebot • Unterschreitungstage von $Q_{min, Durchgängigkeit, Gesamt}$: 1 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung möglich

Prioritäre Vorranggewässer	Querbauwerksstandort	Zusammenfassung der Defizitanalyse
untere Havel	Garz Wehr/Schleuse	• Q_{Leit} maßgebend für $Q_{min,Durchgängigkeit}$ • Abflussaufteilung vorhanden (2 Fließarme, davon 1 Schleuse) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit wenig Unsicherheiten verhaftet • Kein hydrologisches Defizit bezüglich Herstellbarkeit der ökologischen Durchgängigkeit • Unterschreitungstage von $Q_{min,Durchgängigkeit,Gesamt}$: 1 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung möglich
	Grütz Wehr/Schleuse	• Q_{Leit} maßgebend für $Q_{min,Durchgängigkeit}$ • Abflussaufteilung vorhanden (2 Fließarme, davon 1 Schleuse) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit wenig Unsicherheiten verhaftet • Kein hydrologisches Defizit bezüglich Herstellbarkeit der ökologischen Durchgängigkeit • Unterschreitungstage von $Q_{min,Durchgängigkeit,Gesamt}$: 1 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung möglich
	Bauwerksgruppe Rathenow	• Q_{Leit} maßgebend für $Q_{min,Durchgängigkeit}$ • Abflussaufteilung vorhanden (6 Fließarme, davon 2 Schleusen) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit Unsicherheiten verhaftet • Kein hydrologisches Defizit bezüglich Herstellbarkeit der ökologischen Durchgängigkeit • Unterschreitungstage von $Q_{min,Durchgängigkeit,Gesamt}$: 2 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung möglich, Detailuntersuchungen vor Planung erforderlich
	Bahnitz Wehr/Schleuse	• Q_{Leit} maßgebend für $Q_{min,Durchgängigkeit}$ • Abflussaufteilung vorhanden (2 Fließarme, davon 1 Schleuse) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit wenig Unsicherheiten verhaftet • Kein hydrologisches Defizit bezüglich Herstellbarkeit der ökologischen Durchgängigkeit • Unterschreitungstage von $Q_{min,Durchgängigkeit,Gesamt}$: 3 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung möglich

Prioritäre Vorranggewässer	Querbauwerksstandort	Zusammenfassung der Defizitanalyse
untere Havel	Bauwerksgruppe Brandenburg	• Q_{FAA} maßgebend für $Q_{min, Durchgängigkeit}$ • Abflussaufteilung vorhanden (9 Fließarme, davon 2 Schleusen) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit Unsicherheiten verhaftet • Potentielles hydrologisches Defizit bezüglich Herstellbarkeit der ökologischen Durchgängigkeit • Unterschreitungstage von $Q_{min, Durchgängigkeit, Gesamt}$: 34 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung potentiell möglich, Detailuntersuchungen vor Planung dringend erforderlich
untere Spree	Charlottenburg Wehr/Schleuse	• Q_{Leit} maßgebend für $Q_{min, Durchgängigkeit}$ (für Beckenpass und ökologisch optimalen Gefälle) • Abflussaufteilung vorhanden (2 Fließarme, davon 1 Schleuse) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit wenig Unsicherheiten verhaftet • Kein hydrologisches Defizit bezüglich Herstellbarkeit der ökologischen Durchgängigkeit • Unterschreitungstage von $Q_{min, Durchgängigkeit, Gesamt}$: 0 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung möglich
	Mühlendamm Wehr/Schleuse	• Q_{FAA} maßgebend für $Q_{min, Durchgängigkeit}$ • Abflussaufteilung vorhanden (2 Fließarme, davon 1 Schleuse) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit wenig Unsicherheiten verhaftet • Kein hydrologisches Defizit bezüglich Herstellbarkeit der ökologischen Durchgängigkeit • Unterschreitungstage von $Q_{min, Durchgängigkeit, Gesamt}$: 5 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung möglich
	Große Tränke Wehr	• Q_{FAA} maßgebend für $Q_{min, Durchgängigkeit}$ • Keine Abflussaufteilung vorhanden (1 Fließarm) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit wenig Unsicherheiten verhaftet • Kein hydrologisches Defizit bezüglich Herstellbarkeit der ökologischen Durchgängigkeit • Unterschreitungstage von $Q_{min, Durchgängigkeit, Gesamt}$: 1 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung möglich

Prioritäre Vorranggewässer	Querbauwerksstandort	Zusammenfassung der Defizitanalyse
untere Spree	Fürstenwalde Wehr/Schleuse	• Q_{FAA} maßgebend für $Q_{min, Durchgängigkeit}$ • Abflussaufteilung vorhanden (2 Fließarme, davon 1 Schleuse) • Methodischer Gesamtansatz zur Nachweis der Wasserverfügbarkeit mit wenig Unsicherheiten verhaftet • Kein hydrologisches Defizit bezüglich Herstellbarkeit der ökologischen Durchgängigkeit • Unterschreitungstage von $Q_{min, Durchgängigkeit, Gesamt}$: 1 → Errichtung einer Aufstiegsanlage aus hydrologischer Sicht ohne Einschränkung möglich

7 Ausblick

In Teil II soll die Wasserverfügbarkeit zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit im Land Brandenburg auch für die als nicht prioritär eingestuften Gewässer nachgewiesen werden. Hierfür sind alle überregionalen und regionalen Vorranggewässer in Brandenburg zu betrachten.

Aufbauend auf diesem Bericht soll die grundsätzliche Methodik und Ergebnisdarstellung angewendet werden. Hierbei sollen die bereits festgelegten FAA-Typen, die erarbeiteten hydraulischen Bemessungsgrundlagen sowie die Defizitanalyse weitestgehend analog zu diesem Bericht zur Anwendung kommen. Allerdings sind in den weiterführenden Untersuchungen andere Bemessungsfische als der Stör für die Bemessung der FAA-Typen anzusetzen (Wels, Hecht, Lachs, Meerforelle, Barbe, Döbel, Bachforelle).

Um die Übersichtlichkeit der Ergebnisse zu erhöhen, wird eine Defizitkarte der einzelnen Gewässerabschnitte aller überregionalen und regionalen Vorranggewässer Aufschluss über mögliche Defizite geben. Alle Querbauwerksstandorte der überregionalen und regionalen Vorranggewässer werden analog zu der Defizitanalyse der prioritären Bauwerksstandorte behandelt. Somit werden im Abschlussbericht alle Defizite im Wasserdargebot aller Querbauwerksstandorte aller überregionalen und regionalen Vorranggewässer aufgezeigt.

8 Literaturverzeichnis

- BAH (2004): Erstellung einer Abflussspendenkarte der mittleren Abflüsse der Zeitreihe 1981 bis 2000 für das Land Brandenburg – Abschlussbericht; Im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumplanung des Landes Brandenburg.
- BAH (2007): Aktualisierung der Abflussspendenkarte der mittleren Abflüsse bis zum Jahr 2005 für das Land Brandenburg – Abschlussbericht; Im Auftrag des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg
- BAH (2011): Wasserhaushaltsmodellierung mit ArcEGMO im Einzugsgebiet der Havel - Abschlussbericht; Im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde
- BAH (2012): Aktualisierung der Abflussspendenkarte der mittleren Abflüsse - Abschlussbericht; Im Auftrag des Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg
- BECKER, A., KLÖCKING, B., LAHMER, W., PFÜTZNER, B. (2002): The Hydrological Modelling System ArcEGMO. In: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology (Eds.: Singh, V.P. and Frevert, D.K.). Water Resources Publications, Littleton/Colorado, 321-384. ISBN 1-887201-34.
- DWA-M 509 (Entwurf): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke. Gestaltung Bemessung, Qualitätssicherung. DWA-Merkblatt, DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2010
- EBNER VON ESCHENBACH, A.-D., HOHENRAINER, J.: Wasserbewirtschaftung und Klimawandel im deutschen Elbegebiet – Daten, Konzepte & Modelle dargestellt am Beispiel des Havelgebietes. Tagungsbeitrag. Veranstaltungsband der BfG zum Kolloquium "Die Zukunft des Wasserhaushalts im Elbegebiet" am 29.-30. November 2012 in Dresden (in Druck).
- FINKE, W.; FÜRTIG, G.; HAUNSCHILD, A.; RICHTER, K. (2002): Kanalwasserbilanz der Scheitelhaltung des Oder-Spree-Kanals für die Wasserbewirtschaftung. HW 46.2002, H. 2
- HASSINGER, R. (2009): Borsten-Fischpässe und Fisch-Kanu-Pässe, Beschreibung des Standes der Technik, März 2009 http://www.uni-kassel.de/fb14/vpuw/Download/FKP/Stand_der_Technik_Borstenkonzept0309.pdf,
- KLIWAS (2011): „Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland“, Tagungsband zur 2. Statuskonferenz am 25. und 26. Oktober 2011, BMVBS, Berlin
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern (LUNG): Bewertung von Fischaufstiegsanlagen in Mecklenburg-Vorpommern - Bestandsanalyse - , Güstrow, 2009
- MÖLLER, K. & BURGSCHWEIGER, J. (Hrsg.) (2008): Wasserversorgungskonzept von Berlin und für das von den BWB versorgte Umland (Entwicklung bis 2040); Berlin.
- Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV NRW): Handbuch Querbauwerke, 2005
- PFÜTZNER, B. (ED.) (2002): Description of ArcEGMO. Official homepage of the modelling system ArcEGMO, <http://www.arcegmo.de>, ISBN 3-00-011190-5

- ROSEMAN, H.-J. AND VEDRAL, J., (1970): Das Kalinin-Miljukov-Verfahren zur Berechnung des Ablaufs von Hochwasserwellen, Schriftenreihe des Bayrischen Landesstelle für Gewässerkunde Heft 6, München, S. 70.
- SCHOLTEN, M., LANDWÜST VON, C., WIELAND, S., ANLAUF, A. (2010): Herstellung der Durchgängigkeit an Staustufen von Bundeswasserstraßen, Fischökologische Einstufung der Dringlichkeit von Maßnahmen für den Fischaufstieg, BfG-Bericht 1967, Koblenz 2010
- ZAHN, S., SCHARF, J., BORKMANN, I. (2010): Landeskonzept zur ökologischen Durchgängigkeit der Fließgewässer Brandenburgs (Teil I) – Ausweisung von Vorranggewässern, IFB-Bericht, Potsdam-Sacrow, 2012
- ZAHN, S., SCHARF, J., RITTERBUSCH, D. (2012): Landeskonzept zur ökologischen Durchgängigkeit der Fließgewässer Brandenburgs (Teil II) – Bewertung und Priorisierung der Querbauwerke in Brandenburger Bundeswasserstraßen, IFB-Bericht, Potsdam-Sacrow, 2012
- WSA Brandenburg (2009): Staubeiratssitzung 2008/2009 – Tabellen und Grafiken zu den Havelwasserständen bis Anfang 2009 und statistische Auswertungen der Durchflüsse einiger Nebengewässer der Havel, April 2009

9 Anhang

Anlage 1: Für die Modellnachführung genutzte Pegeldatenbasis

Pegelname	Gewässer	Betreiber	AEo [km²]	von	bis	Fehlwert- anteil ^(*) [%]
Babelsberg	Nuthe	LUGV BRB	1804	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Bad Liebenwerda	Schwarze Elster	LUGV BRB	3168	01.11.1960	31.10.2010	0,8
Beeskow Spreeschleuse UP	Spree	LUGV BRB	5535	01.11.1950	31.10.2010	0,8
Berkenbrück 2	Heinersdorfer Fließ	LUGV BRB	105	01.11.1970	01.11.2003	45,5
Berlin Unter- schleuse OP	Landwehrkanal	WSA Berlin	-	01.11.1955	31.10.2012	0,0
Biehlen 1	Schwarze Elster	LUGV BRB	1102	01.11.1983	31.10.2010	0,8
Biesenthal, Wehrmühle UP	Finow	LUGV BRB	150	01.11.1970	31.10.2008	10,7
Blankenfelde	Glasower Bach	LUGV BRB	15	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Boblitz (Wehr Nr, 197 UP)	Dobra	LUGV BRB	137	01.11.1964	31.10.2010	0,8
Bolt OP	Bolter Kanal	LUNG MV	-	01.11.1982	31.12.2010	0,0
Borgsdorf	Havel	WSA Ebers- walde	3050	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Bräsinchen Haupt- abflusspegel	Spree	LUGV BRB	2255	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Bredereiche OP	Obere Havel- Wasserstraße	WSA Ebers- walde	1157	01.11.1985	31.10.2010	0,8
Bremsdorfer Mühle UP	Schlaube	LUGV BRB	36	15.07.1976	28.03.2011	48,5
Buckow, Park- brücke	Stöbber	LUGV BRB	125	01.11.1975	31.10.2010	0,8
Chorin	Nettelgraben	LUGV BRB	122	01.11.1970	31.10.2007	15,7
Cottbus Sandower Brücke	Spree	LUGV BRB	2325	01.11.1950	31.10.2010	0,8
Dahme Stadt	Dahme	LUGV BRB	30	01.11.1973	31.10.2010	0,8

Pegelname	Gewässer	Betreiber	AEo [km²]	von	bis	Fehlwert- anteil ^(*) [%]
Doberburg Wehr UP	Dobberbuser Mühlenfließ	LUGV BRB	82	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Eberswalde	Schwärze	LUGV BRB	125	01.11.1966	31.10.2008	10,7
Fehrow (Malxebrücke Nr,12)	Großes Fließ (Malxe)	LUGV BRB	453	01.11.1962	31.10.2010	0,8
Freyenstein	Dosse	LUGV BRB	40	01.11.1979	31.10.2011	20,1
Fürstenwalde (Schleuse) OP	Spree-Oder- Wasserstraße	WSA Berlin	6194	01.12.1959	31.12.2011	0,0
Gadow	Löcknitz	LUGV BRB	475	01.11.1970	31.12.2010	5,6
Golzow	Schmaler Strom	LUGV BRB	63	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Götting	Plane	LUGV BRB	465	01.01.1981	31.12.2011	0,0
Greiffenberg	Sernitz	LUGV BRB	28	01.11.1970	31.10.2008	15,7
Große Tränke (Wehr) UP	Mueggelspre	WSA Berlin	6215	01.12.1959	31.12.2011	0,0
Grünheide 2	Löcknitz	LUGV BRB	174	01.11.1977	31.10.2010	0,8
Guben 2	Lausitzer Neiße	LUGV BRB	4125	01.11.2000	31.10.2010	50,4
Havelberg/Stadt	Havel	WSA BRB	23784	01.11.1970	31.12.2011	0,1
Heber Kienitz	Ableiter	LUGV BRB	-	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Heber Reitwein	Ableiter	LUGV BRB	-	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Heidekrug	Stöbber/ Stöbberbach	LUGV BRB	21	01.11.1964	31.10.2010	0,8
Hermsdorf Wehr Nr,212 OP	Dahme/Dahme- Wasserstraße	LUGV BRB	623	01.11.1976	31.10.1997	65,3
Herrenmühle, Forellenanlage	Buckau	LUGV BRB	135	01.11.1970	01.11.2005	25,6
Herzberg	Schwarze Elster	LUGV BRB	4152	01.11.1997	31.10.2010	35,5
Hohenbinde	Spree/ Müggelspre	LUGV BRB	6407	01.11.1959	31.10.2010	0,8
Jüterbog- Bürgermühle	Nuthe	LUGV BRB	139	01.11.1967	31.10.2010	0,8
Ketzin	Havel	WSA BRB	16006	01.11.1970	31.12.2011	0,0

Pegelname	Gewässer	Betreiber	AEo [km²]	von	bis	Fehlwert- anteil ^(*) [%]
Kleinmachnow, Schleuse OP	Teltowkanal	WSA Berlin	220	01.11.1955	31.10.2012	0,0
Kleinraschütz	Große Röder	LfULG	678	01.11.1961	31.12.2011	0,0
Königsbrück	Pulsnitz	LfULG	92	01.11.1926	31.12.2010	0,0
Kröbelsn	Kleine Röder/ Schwarzgraben	LUGV BRB	70	01.11.1997	31.10.2010	35,5
Lauchhammer	Schwarze Elster	LUGV BRB	1474	01.11.1973	31.10.2010	0,8
Leibsch Spree- wehr Nr, 207 UP	Spree/Hauptspree	LUGV BRB	4606	01.11.1945	31.10.2010	0,8
Liebenwalde OP	Malzer Kanal	WSA Ebers- walde	2321	01.08.1987	31.10.2011	0,0
Lietzengraben	Lietzengraben	Berl, SenatsV	54	20.07.2005	30.10.2006	93,6
Lindena	Schacke/ Mühlen- fließ	LUGV BRB	75	01.11.1973	31.10.2010	0,8
Lindenau	Pulsnitz	LUGV BRB	258	01.11.1988	31.10.2010	0,8
Lindenberg, Wehr OP	Nuthe	LUGV BRB	265	01.05.1993	31.10.2011	25,1
Lipsa	Ruhlander Schwarzwasser	LUGV BRB	153	01.11.1988	31.10.2010	0,8
Löben	Schwarze Elster	LHW ST	4325	01.11.1970	30.11.2010	0,4
Löcknitz	Randow	LUNG MV	354	01.11.1970	31.10.2005	25,6
Lübben Zu- sammenfluss	Spree/Hauptspree	LUGV BRB	4475	01.11.1950	31.10.2010	0,8
Märkisch Buch- holz 2	Dahme	LUGV BRB	519	01.11.1975	31.10.2010	0,8
Märkisch Buch- holz Überfall- wehr Nr,211 OP	Dahme-Umflut- Kanal	LUGV BRB	61	01.11.1951	31.10.2010	0,8
Merzdorf 1	Hammergraben	LUGV BRB	4	01.11.1976	31.10.2010	0,8
Meyenburg	Stepenitz	LUGV BRB	35	01.01.1976	31.10.2010	15,7
Mirow OP	Mirower Kanal	WSA Ebers- walde	-	01.11.1954	31.12.2010	0,0

Pegelname	Gewässer	Betreiber	AEo [km²]	von	bis	Fehlwert- anteil ^(*) [%]
Mühlendamm (Schleuse) OP	Spree-Oder- Wasserstraße	WSA Berlin	9538	01.11.1955	31.12.2011	0,0
Mulknitz	Obere Malxe	LUGV BRB	121	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Müschen Paulicks Mühle Nr.191	Kzschischoka/ Greifenhainer Fließ	LUGV BRB	327	01.11.1961	31.10.2011	0,0
Neue Mühle (Schleuse) UP	Dahme	WSA Berlin	1341	01.11.1955	31.10.2011	0,0
Neuwiese	Schwarze Elster	LfULG	668	01.01.1951	31.12.2011	0,0
Oegeln	Oelse/ Oegel-Fließ	LUGV BRB	87	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Ortrand	Pulsnitz	LUGV BRB	245	01.11.1988	31.10.2010	0,8
Pasewalk	Ücker	LUNG MV	1403	01.11.1970	31.10.2005	25,6
Plessa	Hammergraben	LUGV BRB	233	01.11.1975	31.10.2010	5,8
Prieros Schleu- se OP	Dahme/Dahme- Wasserstraße	LUGV BRB	687	01.11.1985	31.10.2010	0,8
Prierow 2	Dahme	LUGV BRB	299	01.11.1960	31.10.2010	0,8
Pritzwalk, Hainholz	Dömnitz	LUGV BRB	75	01.11.2000	31.10.2010	69,7
Ragow 2	Wudritz/ Ottergraben	LUGV BRB	126	01.11.1960	31.10.2011	0,0
Rathenow UP	Havel	WSA BRB	19204	01.01.1951	31.12.2011	0,0
Ravensbrück	Hegensteinfließ	LUGV BRB	180	01.11.1970	31.10.2010	10,5
Ressen Stau UP	Ressener Mühlen- fließ	LUGV BRB	72	01.11.1970	31.10.2010	0,8
Rheinsberg, Wehr OP	Rheinsberger Ge- wässer	LUGV BRB	139	01.11.1976	31.10.2010	0,8
Schadewitz	Kleine Elster	LUGV BRB	633	01.11.1955	31.10.2010	0,8
Schönermark	Welse	LUGV BRB	299	01.11.1970	31.10.2008	10,7
Schönewalde	Schweinitzer Fließ	LUGV BRB	227	01.11.1998	31.10.2010	45,5
Schuhlen- Wiese	Rocher Mühlenfließ	LUGV BRB	54	01.11.1985	31.10.2010	0,8
Schwarzheide- Ost	Pößnitz	LUGV BRB	60	01.11.1996	31.10.2010	35,5

Pegelname	Gewässer	Betreiber	AEo [km²]	von	bis	Fehlwert- anteil ^(*) [%]
Sophienwerder	Spree	Berl, SenatsV	10104	01.11.1960	31.10.2012	0,0
Spremberg	Spree	LUGV BRB	2140	01.11.1960	31.10.2010	0,8
Stolzenhain 1	Große Röder	LUGV BRB	813	01.11.1997	31.10.2010	40,5
Stolzenhain 2	Geißlitz/ Röderwild- bett	LUGV BRB	7	01.11.1995	31.10.2010	25,6
Trebitz, UP	Plane	LUGV BRB	224	01.11.1962	31.10.2010	0,8
Treppendorf	Berste	LUGV BRB	317	01.11.1967	31.10.2010	5,8
Vetschau	Luckaitz/ Vetschauer Mühlen- fließ	LUGV BRB	110	01.11.1988	31.10.2011	0,0
Wenzlow, Forellenanlage	Verlorenwasser	LUGV BRB	91	01.11.2000	31.10.2010	50,4
Wernsdorf (Schleuse) OP	Oder-Spree-Kanal	WSA Berlin	32	01.11.1953	31.10.2011	0,0
Wittstock	Glinze	LUGV BRB	75	01.11.1970	31.12.2010	39,9
Wolfsbruch, Schleuse UP	Hüttenkanal	WSA Ebers- walde	232	01.11.1980	31.10.2010	11,6
Wolfshagen	Stepenitz	LUGV BRB	575	01.11.1970	31.10.2010	9,4
Woltersdorf (Schleuse) OP	Rüdersdorfer Ge- wässer	WSA Berlin	142	01.11.1993	31.10.2011	14,9
Woltersdorf I, Wehr OP	Nuthe	LUGV BRB	360	01.11.1970	31.10.2006	20,7
Woltersdorf II	Hammerfließ	LUGV BRB	208	01.11.1967	31.10.2007	15,7
Zeuthen Stra- ßenbrücke	Selchower Flutgra- ben	LUGV BRB	76	01.11.2000	31.10.2010	50,4
Zschorno	Föhrenfließ/ Lach- graben	LUGV BRB	70	01.11.1970	31.10.2010	0,8
(*) für den Zeitraum 1991-2010						