

Bauherr: Wasser- und Bodenverband „Stepenitz – Maurine“

Bauvorhaben: Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit Paligner Bach
in der Gemeinde Lüdersdorf

1. BA Mündung bis unterhalb Ortslage Palingen



Unterlage 11.1 - Hydraulische Berechnungen Paligner Bach

11.1 Grundlagen

Die hydraulischen Bemessungen wurden mit dem Programm FLUSS von REHM Software durchgeführt. FLUSS ist ein Programm zur Fließgewässermodellierung und ermöglicht neben der 1-D-Wasserspiegellagenberechnung auch die Erstellung und Berechnung zweidimensionaler Strömungsmodelle. Für die Bemessung naturnaher Fließgewässer ist grundsätzlich ein 1-D-Wasserspiegellagenmodell geeignet. FLUSS ermöglicht anhand von Querprofilen die eindimensionale Berechnung von Wasserspiegellagen, die auf Grundlage der Fließgesetze von Manning-Strickler oder Darcy-Weisbach ermittelt werden.

Für die Abbildung der hydraulischen Verhältnisse in naturnahen Fließgewässern hat sich das Fließgesetz nach Manning-Strickler bewährt. Über den k_{ST} -Wert lassen sich die Rauheitsverhältnisse im Gewässer hinreichend darstellen. Zur Bestimmung des k_{ST} -Wert stehen umfangreiche Literatur- und Messwerte für naturnahe und verkrautete Tieflandgewässer zur Verfügung. Aufgrund der guten Kalibrierbarkeit und der guten Zuordnung zu den Rauheitsverhältnissen im Gewässer wird dieser Ansatz für die nachfolgenden hydraulischen Bemessungen verwendet.

Fließformel nach MANNING/STRICKLER

$$Q = k_{st} \cdot \sqrt{I_E} \cdot r_{hy}^{\frac{2}{3}} \cdot A$$

mit

$$A = b \cdot h + \frac{m_r + m_l}{2} \cdot h^2 \quad \text{durchflossener Querschnitt}$$

$$r_{hy} = \frac{A}{U} \quad \text{hydraulischer Radius}$$

$$v = k_{st} \cdot \sqrt{I_E} \cdot r_{hy}^{\frac{2}{3}} \quad \text{Fließgeschwindigkeit}$$

k_{st}	STRICKLER Beiwert	[m ^{1/3}]
b	Sohlbreite	[m]
I_E	Energieliniengefälle	[-]
m_r	Böschungsneigung rechts	[1:m _r]
m_l	Böschungsneigung links	[1:m _l]
A	durchflossener Querschnitt	[m ²]
U	benetzter Umfang	[m]
v	Fließgeschwindigkeit	[m ³ /s]

11.2 Eingangsdaten

11.2.1 Durchflüsse

Den hydraulischen Berechnungen wurden folgende Durchflüsse zugrunde gelegt (vgl. Unterlage 1 – Kapitel 3.4)

Tabelle 1: Durchflüsse für die planungsrelevanten Einzugsgebiete des Palinger Baches

	Fläche EZG	MNQ	Q30	MQ	Q330	HQ
Palinger Bach Gesamt - EZG	19,18 km ²	0,034	0,038	0,138	0,299	1,99
Palinger Bach bis Mündung Stehbeck	12,42 km ²	0,022	0,024	0,090	0,194	1,295

Aufgrund der Größe des Vorhabensgebiets und der räumlichen Trennung der jeweiligen Bauwerke erfolgen die hydraulischen Berechnungen in drei Modellabschnitten.

Tabelle 2: Darstellung Modellabschnitte und Eingangsgrößen

Modellbereich	Station von-bis	MNQ	Q30	MQ	Q330	HQ
BW1 bis BW4	0+501,35 1+007,54	0,034	0,038	0,138	0,299	1,990
BW5 bis BW6	1+934,40 2+890,34	0,034 0,022	0,038 0,024	0,138 0,090	0,299 0,194	1,990 1,295
BW7 - BW8	3+143,85 3+709,84- IST (3+759,34-PLAN)	0,022	0,024	0,090	0,194	1,295

11.2.2 Rauheiten

Für die Bestimmung des K_{ST} -Wertes ist die Ausprägung der Vegetation im und am Gewässer von entscheidender Bedeutung. Unbeschattete Gewässer weisen in den abflussschwachen Sommermonaten eine starke Verkräutung auf. Diese bewirkt den sogenannten „Krautstau“ und ist bei der Abbildung der Rauigkeiten im Gewässer besonders zu berücksichtigen. Je nach Bewuchsdichte und Durchflusssituation verändern sich die Rauigkeiten im Gewässer im Laufe der Vegetationszeit.

Für die Kalibrierung des hydraulischen Modells wurden anhand der Tagesabflüsse sowie der gemessenen Wasserspiegellagen die k_{ST} -Werte für diesen Zustand ermittelt. Der relevante Tagesabfluss von 0,043 m/s (10.07.2019) liegt etwas über dem mittleren Niedrigwasser. Der

ermittelte k_{ST} -Wert von $10 \text{ m/s}^{1/3}$ entspricht den Erfahrungswerten für sommerliche, stark verkrautete und unrenaturierte Gerinne.

Folgende Rauigkeiten wurde für die verschiedenen Betriebszustände angenommen:

Tabelle 3: Darstellung Modellabschnitte und Eingangsgrößen

k_{ST}-Wert [$\text{m/s}^{1/3}$] Strickler-Beiwert	Beschreibung
10	unbeschattetes verkrautetes Gerinne Sommer MNQ
12	unbeschattetes verkrautetes Gerinne MQ
20	unbeschattetes verkrautetes Gerinne Winter MHQ
14	renaturiertes Gerinne Sommer MNQ
17	renaturiertes Gerinne MQ
22	renaturiertes Gerinne HQ
60	Betonrohrdurchlass ohne Sohle
25	Durchlass mit Sohlsubstrat

11.3 Modellbereich BW1 bis BW4

Die hydraulischen Berechnungen wurden für die Ist-Zustände und Plan-Zustände für die Abflussszenarien MNQ, MQ und HQ durchgeführt. Nachfolgend werden für ausgewählte Querprofile die Berechnungsergebnisse dargestellt. Die ausführlichen Ergebnisse für den gesamten Modellbereich sind in den Unterlagen 11.2 bis 11.3 dargestellt.

11.3.1 Ist-Zustand

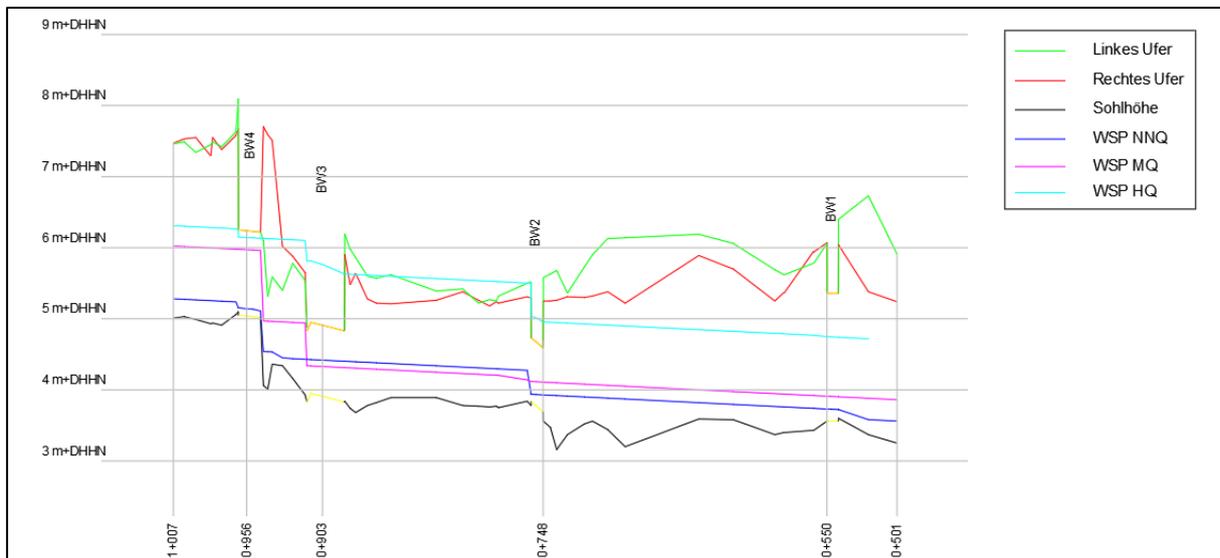
Für den Modellbereich wurde der Ist-Zustand für die o.g. Abflussszenarien gerechnet. In dem hydraulischen Modell wurden folgende Bauwerke berücksichtigt:

Tabelle 4: vorh. Bauwerke im Modellbereich im Ist-Zustand

Bauwerk	Station	Dimension	Länge	Material	Beschreibung
BW 1	0+546	DN 1000	6,00 m	Stahlrohr	Wegedurchlass
BW2	0+752	DN 800	8,50 m	Betonrohr	Landw. Überfahrt
BW3	0+903	DN 1000	26,00 m	Betonrohr	Rohrleitung
BW4	0+958	DN 1200	17,00 m	Betonrohr	Straßendurchlass mit Sohlabsturz

Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt die berechneten Wasserspiegellagen für den Ist-Zustand.

Abbildung 1: berechnete Wasserspiegellagen Modellbereich BW1-BW4 im Ist-Zustand



Bei Hochwassereignissen ist das Bauwerk BW 2 (Betonrohr DN 800) nicht mehr in der Lage, die anfallenden Wassermassen ordnungsgemäß abzuführen. In der Folge kommt es zu einem Rückstau und zu einer Überflutung der Flächen zwischen BW2 und BW 3. Auch das Bauwerk BW3 kann bei einem Hochwasserereignis die anfallenden Wassermassen - auch infolge des

Rückstaus auch BW 2 - nicht mehr ordnungsgemäß abführen. Hier kommt es ebenfalls zu einem Rückstau und zu einer Überflutung der angrenzenden Flächen bis zum Bauwerk 4. Aufgrund der örtlichen Situation kommt es zwischen BW3 und BW4 in dem Falle zu einer Überflutung der angrenzenden Bebauung.

11.3.2 Plan-Zustand

Die vorhandenen Bauwerke werden an gleicher Stelle durch Wellstahlrohre mit Maulprofil (BW1-BW3) sowie einem Betonrechteckkanal (BW4) ersetzt. Auf der Sohle erfolgt der Einbau einer 30...40 cm starken Sohlsubstratschicht aus einem Grobkies-Lesestein-Gemisch. Die nachfolgende Tabelle zeigt die gewählten Bauwerksdimensionierungen:

Tabelle 5: Bauwerksgeometrien im Modellbereich BW1-BW4 im Plan-Zustand

Bauwerk	Stat.	Länge	Spannweite	Lichte Höhe	Dicke Sohlsubstrat	Sohle Einlauf
						Sohle Auslauf
BW 1	0+547	15,0 m	1,85 m	1,55 m	30 cm	3,54 mNHN
						3,47 mNHN
BW 2	0+754	12,5 m	1,85 m	1,55 m	30 cm	3,72 mNHN
						3,56 mNHN
BW 3	0+903	12,0 m	1,94 m	1,60 m	30 cm	3,92 mNHN
						3,84 mNHN
BW 4	0+949	21,5 m	1,99 m	2,00 m	40 cm	4,83 mNHN
						4,36 mNHN

Zwischen BW3 und BW4 wird durch den Rückbau der Rohrleitung und dem Rückbau des Sohlabsturzes eine Neuprofilierung des Fließgewässers erforderlich. Das neue Gerinne wird gliedert sich in eine NW-Rinne mit seitlichen Vorländern. Die NW-Rinne erhält eine Breite von 0,30 m, die Breite der Vorländer variiert zwischen 0,1 m...1,0 m. Die Böschungen weisen eine Neigung von 1:1,5 auf. Innerhalb der Bauwerke BW3 und BW4 wird das gegliederte Gerinne fortgeführt.

Die Sohldifferenz von ca. 0,80 m aus dem Absturz bei BW4 wird in Anlehnung an ein Raugerinne in Kombination mit steileren Fließstrecken (Längsgefälle 3%) und flacheren Fließstrecken (Längsfälle 0,8%) abgebaut. Die Steilstrecken weisen dabei eine Länge von 5,0 m, die Flachstrecken eine Länge von 10,0 m auf.

Nach DWA-M 509 ist die Funktionsfähigkeit von fischpassierbaren Anlagen für Abflüsse zwischen Q30 und Q330, also an 300 Tagen im Jahr zu gewährleisten und hydraulisch

nachzuweisen. Dies gilt insbesondere für die Nachweise der Mindestwassertiefen und Einhalten der Fließgeschwindigkeiten.

Ein Zwangspunkt stellt die umverlegte SW-Leitung im Einlaufbereich des BW4, deren Sohlüberdeckung mindestens 0,15 m aufweisen soll.

11.3.3 Nachweis Abflusskapazität Durchlassbauwerke

Bauwerke BW1 und BW2

Für die Bauwerke BW1 und BW2 kommen nach Tabelle 5 Wellstahlrohrdurchlässe mit Maulprofil und einer Spannweite von 1,85 m zum Einsatz. In den Durchlass erfolgt der Einbau einer 30 cm starken Sohlsubstratschicht sowie die Ausbildung einer 0,30 m breiten Niedrigwasserrinne. Für den Nachweis der hydraulischen Abflusskapazität wurde ein Maulprofil entsprechend einem Hamco – Maulprofil MA 01 gewählt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die hydraulische Kapazität für das gewählte Durchlassprofil:

Tabelle 6: Abflusskapazitäten BW1 und BW2

WSP [mNHN]	A [m ²]	U [m]	rhy [m]	Gefälle [‰]	kst [m ^{1/3} /s]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0,00	0,000	0,300	0,000	0,007	25	0,000	0,000
0,12	0,050	0,590	0,080	0,007	25	0,388	0,019
0,25	0,110	2,110	0,050	0,007	25	0,284	0,031
0,37	0,340	2,360	0,150	0,007	25	0,590	0,201
0,50	0,570	2,620	0,220	0,007	25	0,762	0,434
0,62	0,800	2,880	0,280	0,007	45	1,611	1,289
0,75	1,010	3,150	0,320	0,007	45	1,761	1,779
0,87	1,210	3,450	0,350	0,007	45	1,870	2,263
1,00	1,380	3,780	0,370	0,007	45	1,940	2,678
1,12	1,520	4,210	0,360	0,007	45	1,905	2,896
1,25	1,600	5,090	0,310	0,007	45	1,725	2,759

Das Durchlassprofil kann maximal 2,896 m³/s abführen. Dem steht der Hochwasserabfluss im relevanten Einzugsgebiet mit 1,99 m³/s gegenüber, so dass für den Durchlass ausreichende Abflusskapazitäten gegeben sind.

Bauwerk BW 3

Für das Bauwerk 3 kommt nach Tabelle 5 ein Wellstahldurchlass mit Maulprofil und einer Spannweite von 1,94 m zum Einsatz. In den Durchlass erfolgt der Einbau einer 30 cm starken Sohlsubstratschicht sowie die Ausbildung einer 0,30 m breiten Niedrigwasserrinne. Für den Nachweis der hydraulischen Abflusskapazität wurde eine Maulprofil entsprechend einem Hamco – Maulprofil MA 02 gewählt. Die nachfolgende Tabelle und Abbildung zeigt die hydraulische Kapazität für das gewählte Durchlassprofil:

Tabelle 7: Abflusskapazitäten BW3

WSP [mNHN]	A [m²]	U [m]	rhy [m]	Gefälle [‰]	kst [m^{1/3}/s]	v [m/s]	Q [m³/s]
0,00	0,000	0,300	0,000	0,007	25	0,000	0,000
0,13	0,050	0,600	0,080	0,007	25	0,388	0,019
0,26	0,130	2,220	0,060	0,007	25	0,321	0,042
0,39	0,380	2,480	0,150	0,007	25	0,590	0,224
0,52	0,630	2,740	0,230	0,007	25	0,785	0,495
0,65	0,880	3,010	0,290	0,007	45	1,650	1,452
0,78	1,110	3,300	0,340	0,007	45	1,834	2,036
0,91	1,320	3,600	0,370	0,007	45	1,940	2,561
1,04	1,510	3,960	0,380	0,007	45	1,975	2,983
1,17	1,660	4,390	0,380	0,007	45	1,975	3,279
1,30	1,740	5,320	0,330	0,007	45	1,798	3,128

Das Durchlassprofil kann maximal 3,279 m³/s abführen. Dem steht der Hochwasserabfluss im relevanten Einzugsgebiet mit 1,99 m³/s gegenüber, so dass durch den Durchlass ausreichende Abflusskapazitäten gegeben sind. Hinsichtlich der Abflusskapazität wäre für das BW3 auch ein Wellstahlprofil mit einer Spannweite von 1,85 m hydraulisch ausreichend. Dies würde aber – bedingt durch die hohen WSP-Lagen in den vorhergehenden Profilen - zu einem Einstau und damit zu einem Rückstau in den hochwassergefährdeten Bereich zwischen BW3 und BW4 kommen.

Bauwerk BW4

Für das Bauwerk 4 kommt ein Betonrechteckkanal 2x2 m zum Einsatz. In den Durchlass werden werksseitig zwei Otterbermen mit einer Breite von 0,50 m integriert. Weiterhin erfolgt der Einbau einer 40 cm starken Sohlsubstratschicht sowie die Ausbildung einer 0,30 m breiten Niedrigwasserrinne. Die nachfolgende Tabelle zeigt die hydraulische Kapazität für das gewählte Durchlassprofil:

Tabelle 8: Abflusskapazitäten BW4

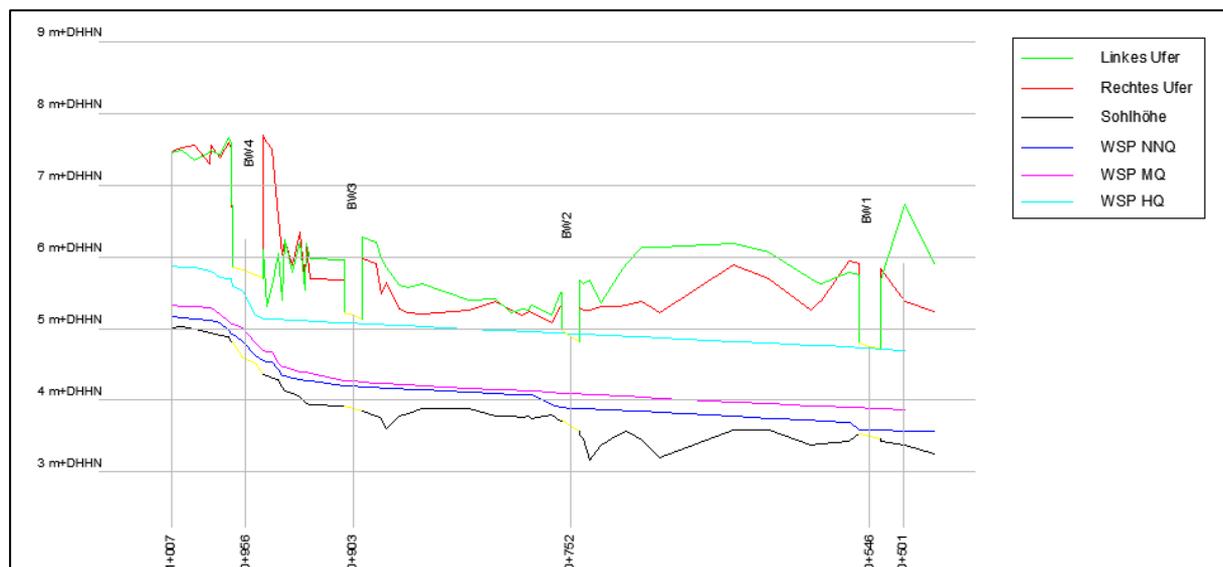
WSP [mNHN]	A [m ²]	U [m]	rhy [m]	Gefälle [‰]	kst [m ^{1/3} /s]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0,00	0,000	0,300	0,000	0,007	25	0,000	0,000
0,17	0,070	0,680	0,100	0,007	25	0,451	0,032
0,34	0,170	1,450	0,120	0,007	25	0,509	0,087
0,51	0,340	1,790	0,190	0,007	25	0,691	0,235
0,68	0,650	3,130	0,210	0,007	25	0,739	0,480
0,85	0,990	3,470	0,290	0,007	45	1,650	1,633
1,02	1,330	3,810	0,350	0,007	45	1,870	2,487
1,19	1,670	4,150	0,400	0,007	45	2,044	3,413
1,36	2,010	4,490	0,450	0,007	45	2,211	4,444
1,53	2,350	4,830	0,490	0,007	45	2,340	5,499
1,70	2,690	6,170	0,440	0,007	45	2,178	5,859

Das Durchlassprofil kann maximal 5,86 m³/s abführen. Dem steht der Hochwasserabfluss im relevanten Einzugsgebiet mit 1,99 m³/s gegenüber, so dass durch den Durchlass ausreichende Abflusskapazitäten gegeben sind.

11.3.4 Nachweis der Wasserspiegellagen

Maßgeblich für die Dimensionierung der Bauwerke ist neben der Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit auch der Überflutungsschutz der örtlichen Bebauung bei Hochwasserereignissen. Hier ist die Gebäudeunterkante des ehemaligen Mühlengebäudes am BW4 mit 5,50 mNHN maßgeblich und definiert den Grenzwert für die Hochwasserspiegellage. Entsprechend den hydraulischen Berechnungen stellen sich bei MNQ, MQ, HQ folgende Wasserspiegellagen ein:

Abbildung 2: berechnete Wasserspiegellagen Modellbereich BW1-BW4 im Plan-Zustand



Aus der Abbildung 2 ist zu erkennen, dass bei Hochwasserabflüssen in den vormals problematischen Bereichen (BW3 bis BW4) der Abfluss innerhalb des Profils erfolgt und es zu keiner Überflutung der angrenzenden Flächen/Bebauungen kommt. Der Abfluss in den Bauwerken BW1 und BW2 erfolgt bei HQ unter Volleinstau. Dies bedingt sich aus den Wasserspiegellagen der vorhergehenden Fließabschnitte - der Querschnitt der Durchlässe ist hydraulisch in der Lage, die Wassermassen schadlos abzuführen. Die Verwendung größerer und hydraulisch günstigerer Querschnitte würde dann unter die Kategorie Brückenbauwerke (lichte Breite >2,0m) fallen und ist aufgrund der untergeordneten Bedeutung der BW1 und BW2 wirtschaftlich nicht vertretbar.

In der nachfolgenden Tabelle 9 sind für ausgewählten Fließabschnitte die Wasserspiegellagen für die maßgeblichen Abflussszenarien dargestellt.

Tabelle 9: ausgewählte Wasserspiegellagen

Bauwerk	Station [m]	Sohle [mNHN]	MNQ	MQ	HQ
			WSP [mNHN]	WSP [mNHN]	WSP [mNHN]
BW1 – Mitte	0+546	3,50	3,72	3,87	4,74
BW 2 – Mitte	0+752	3,64	3,90	4,04	5,03
BW3 – Mitte	0+903	3,89	4,17	4,29	5,25
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+918	4,05	4,32	4,46	5,33
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+928	4,13	4,39	4,52	5,34
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+938	4,31	4,55	4,71	5,35
BW 4 – Auslauf	0+944	4,36	4,60	4,73	5,29
BW4 – Einlauf	0+965	4,81	5,01	5,20	5,76
oh BW 4	0+973	4,91	5,14	5,27	5,91

Bei einem Abfluss entsprechend HQ liegen die WSP-Lagen in dem Fließabschnitt zwischen BW3 und BW4 zwischen 5,25...5,35 mNHN und damit unterhalb der Gebäudekante des ehemaligen Mühlengebäudes mit 5,50 mNHN.

11.3.5 Nachweis der Mindestwassertiefe

Neben der schadlosen Abführung der HW-Ereignisse ist auch der Mindestwasserstand bei einem Abfluss entsprechend einem Q30 für die Passierbarkeit des Gerinnes von großer Bedeutung. Maßgeblich für den Mindestwasserstand im Gerinne ist das vorhandene Artenspektrum im Gewässer. Aus dem Ergebnisbericht Ichthyofauna geht hervor, dass im

Unterlauf des Palinger Baches die u.a. Quappe als geschützte/gefährdete Art vorkommt, die über mittlere Distanzen ein Wanderungsverhalten aufweist. Daneben ist aufgrund der Nähe zur Wakenitz/Trave und damit zur Ostsee eine Aufwanderung der Meerforelle in den Palinger Bach nicht ausgeschlossen. Die Meerforelle wandert im adulten Stadium vorrangig in den wasserreichen Monaten November bis Januar.

Als Bemessungsfischart für den Palinger Bach wird die Quappe angenommen. Für die Meerforelle wird der Nachweis ausreichender Wassertiefen für Mittelwasserabflüsse geführt.

Nach der Studie „Ermittlung fischspezifischer und hydraulischer Bemessungswerte für Fischaufstiegsanlagen im Voranggewässernetz in M-V“ gelten in M-V für die Bemessung von Fischaufstiegsanlagen angepasste geometrische Grenzwerte für kleine Fließgewässer mit einem MNQ <150 l/s. Diese Grenzwerte wurden repräsentativ auch für die Bemessung der Niedrigwasserrinne angenommen.

Bei einem Betriebszustand entsprechend einem Q30 benötigt die Quappe einen Mindestwasserstand von 0,16 m und die Meerforelle einen Mindestwasserstand von 0,35 m.

Tabelle 10: ausgewählte Wasserspiegelhöhen

Bauwerk	Station [m]	Sohle [mNHN]	Q30		MQ	
			WSP [mNHN]	Tiefe [m]	WSP [mNHN]	Tiefe [m]
BW1 – Mitte	0+546	3,50	3,73	0,23	3,87	0,37
BW 2 – Mitte	0+752	3,64	3,92	0,28	4,04	0,40
BW3 – Mitte	0+903	3,89	4,18	0,29	4,29	0,40
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+918	4,05	4,33	0,28	4,46	0,41
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+928	4,13	4,40	0,27	4,52	0,39
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+938	4,31	4,56	0,25	4,71	0,40
BW 4 – Auslauf	0+944	4,36	4,61	0,25	4,73	0,37
BW4 – Einlauf	0+965	4,81	5,02	0,19	5,20	0,39
oh BW 4	0+973	4,91	5,15	0,24	5,27	0,36

Der Nachweis der ausreichenden Wasserstände (< 0,16 m) für die Quappe gelingt bei Q30 in allen Fließabschnitten. Für die Meerforelle gelingt der Nachweis bei Q30 aufgrund der geringen Durchflussmenge nicht. Bei Abflüssen ab einem MQ sind dagegen die Mindestwassertiefen für die Meerforelle eingehalten. Mit dem Hintergrund, dass die

Wanderung vorrangig in den abflussstärkeren Wintermonaten erfolgt, ist eine Aufwanderung der Meerforelle in dem Fließabschnitt BW1 bis BW 4 möglich.

11.3.6 Nachweis der Fließgeschwindigkeiten

Neben den geometrischen Grenzwerten müssen für die Passierbarkeit auch die Grenzwerte für die maximale Fließgeschwindigkeit bei Abflüssen entsprechend einem Q330 eingehalten werden. In Anlehnung an das Merkblatt DWA-M 509 kann der Palinger Bach der sogenannten Barbenregion zugordnet werden. Für Gerinne ohne Einbauten gelten in Abhängigkeit der Gesamtlänge der Steilstrecke folgende Grenzwerte für die mittlere Fließgeschwindigkeit:

Tabelle 11: Grenzwerte mittlerer Fließgeschwindigkeit für Gerinne ohne Einbauten in der Barbenregion (DWA-M 509)

Gesamtlänge	Mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]
< 5 m	1,6
5 m bis 10 m	1,4
>10 m bis 25 m	1,2

Die nachfolgende Tabelle zeigt die mittleren Fließgeschwindigkeiten bei den einem Abfluss entsprechend Q330.

Tabelle 12: auftretende mittlere Fließgeschwindigkeiten bei Q330 in m³/s

Bauwerk	Station	Q330
BW1 – Mitte	0+546	0,42
BW 2 – Mitte	0+752	0,30
BW3 – Mitte	0+903	0,33
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+918	0,64
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+928	0,62
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+938	0,48
BW 4 – Auslauf	0+944	1,19
BW4 – Einlauf	0+965	0,79
oh BW 4	0+973	0,59

Die vorhandenen mittleren Fließgeschwindigkeiten liegen unter den Grenzwerten von Tabelle 11.

11.3.7 Nachweis der Sohlstabilität

Gewässersohlen bestehen aus Geschiebe und /oder Schwebstoffen, die den Prozessen Erosion, Transport, Sedimentation und Resuspension unterliegen. Geschiebe ist das Material, welches auf der Gewässersohle transportiert wird. Schwebstoffe, werden durch Turbulenzen im Wasserkörper in Schwebelage gehalten.

Der Transportbeginn auf der Gewässersohle setzt ein, wenn die maximal vorhandene Sohlschubspannung τ_0 auf der Gewässersohle die kritische Schubspannung τ_{zul} des vorhandenen Geschiebes überschreitet.

Die Sohlschubspannung τ_0 berechnet sich mit:

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

ρ = Dichte des Wasser

r_{hy} = hydraulischer Radius

g = Erdbeschleunigung

I_E = Energieliniengefälle

Es ist stets der Nachweis

$$\tau_{max} < \tau_{zul} \quad \text{maßgeblich.}$$

Der nachfolgenden Tabelle (DWA-M509) können die Grenzwerte für die zulässige Schleppspannung τ_{zul} je nach Sohlenbeschaffenheit entnommen werden:

Tabelle 13: Grenzwerte für die zul. Schleppspannung τ_{zul} aus DWA-M 509

Tabelle 31: Richtwerte für zulässige Schubspannungen und Fließgeschwindigkeiten, nach PRESSLER & BOLLRICH (1980) und in Anlehnung an SCHLEISS (1999)

Sohlenmaterial	Körnung (mm)	τ_{zul} (N/m ²)	$v_{m,zul}$ (m/s)
Mittelkies	6,3 bis 20	15	0,8 bis 1,25 ^{*)}
Grobkies	20 bis 63	45	1,25 bis 1,6
Schotter	32 bis 63	30 bis 58	k. A.
Schüttsteine	63 bis 90	40 bis 75	k. A.
	63 bis 125	75 bis 100	k. A.
	100 bis 150	k. A.	1,9 bis 3,4
	150 bis 200	k. A.	2,6 bis 3,8
Wasserbausteine	400	300	k. A.
	550	400	k. A.
	800	600	k. A.
	930	700	k. A.

ANMERKUNGEN
^{*)} Die höheren Werte gelten bei vorhandenem Geschiebetrieb. Da nicht bekannt ist, ob in den obigen Angaben Sicherheiten enthalten sind, sollten bei Anwendung der obigen Tabellenwerte Sicherheitsfaktoren benutzt werden.
 k. A. keine Angabe.

Der Nachweis der Sohlstabilität ist für die Durchlässe und das neuprofilierte Gerinne zwischen BW3 und BW4 zu erbringen. Maßgeblich sind die Schubspannungen τ_{\max} , die maximal bei einem HQ-Ereignis auftreten können. Mit der Wasserspiegellagenberechnung wurden auch die Schubspannungen auf der Sohle ermittelt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Schubspannungen bei den maßgeblichen Querprofilen.

Tabelle 14: maximale Sohlschubspannungen τ_{\max} und gewähltes Sohlsubstrat anhand der zul. Schubspannungen

Bauwerk	Station [m]	Max. Sohlschubspannung τ_{\max} [N/m ²]	Gewähltes Sohlsubstrat/ Körnung [mm]	Zul. Sohlschubspannung τ_{zul} [N/m ²]
BW1 – Mitte	0+546	33	Grobkies mit Lesesteinen 20 bis 63	45
BW 2 – Mitte	0+752	24		
BW3 – Mitte	0+903	10		
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+918	4		
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+928	5		
Gerinne zw. BW3 u BW4	0+938	6	Schüttsteine/Lesesteine 60/90 mit Grobkies 20-63	40 bis 75
BW 4 – Auslauf	0+944	71		
BW4 – Einlauf	0+965	69		
oh BW 4	0+973	33		

Im Bereich der Bauwerke BW1 bis BW3 sowie für das Gerinne zwischen BW3 und BW4 erfüllt der Einbau eines Grobkies-Lesestein-Gemischen in der Körnung 20 bis 63 mm den Stabilitätsnachweis. Im Bereich des BW4 treten größere Schubspannungen auf der Sohle auf. Hier wird der Einbau eines Lesesteingemisches mit Grobkiesanteil in der Körnung 63 bis 60/90 mm erforderlich.

11.4 Modellbereich BW5 bis BW6

Im Modellbereich BW5 bis BW6 werden ausschließlich die Ersatzneubauten BW5 und BW6 zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit betrachtet. Maßnahmen am Fließgerinne zwischen den Bauwerken sind nicht Gegenstand des Vorhabens.

Die Bauwerke BW5 und BW6 werden an gleicher Stelle durch ein Wellstahlrohr mit Maulprofil (BW5) bzw. einen Betondurchlass DN1200 mit Kreisprofil (BW6) ersetzt. Auf der Sohle erfolgt der Einbau einer 30 cm...40 cm starken Sohlsubstratschicht aus einem Grobkies-Lesestein-Gemisch. Die nachfolgende Tabelle zeigt die gewählten Bauwerksdimensionierungen:

Tabelle 15: Bauwerksgeometrien im Modellbereich BW5-BW6 im Plan-Zustand

Bauwerk	Stat.	Länge	Spannweite	Lichte Höhe	Dicke Sohlsubstrat	Sohle Einlauf
						Sohle Auslauf
BW 5	1+952	13,0 m	1,85 m	1,55 m	40 cm	6,26 mNHN
						6,06 mNHN
BW 6	2+802	13,0 m	DN 1200		30 cm	7,00 mNHN
						7,00 mNHN

11.4.8 Nachweis Abflusskapazität Bauwerk BW5

Für das Bauwerk BW5 kommt nach Tabelle 15 ein Wellstahldurchlass mit Maulprofil und einer Spannweite von 1,85 m zum Einsatz. In den Durchlass erfolgt der Einbau einer 40 cm starken Sohlsubstratschicht. Für den Nachweis der hydraulischen Abflusskapazität wurde eine Maulprofil entsprechend einem Hamco – Maulprofil MA 01 gewählt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die hydraulische Kapazität für das gewählte Durchlassprofil:

Tabelle 16: Abflusskapazitäten BW1 und BW2

WSP [mNHN]	A [m ²]	U [m]	rhy [m]	Gefälle [‰]	kst [m ^{1/3} /s]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0,00	0,000	0,300	0,000	0,007	25	0,000	0,000
0,12	0,050	0,590	0,080	0,007	25	0,388	0,019
0,25	0,110	2,110	0,050	0,007	25	0,284	0,031
0,37	0,340	2,360	0,150	0,007	25	0,590	0,201
0,50	0,570	2,620	0,220	0,007	25	0,762	0,434
0,62	0,800	2,880	0,280	0,007	45	1,611	1,289
0,75	1,010	3,150	0,320	0,007	45	1,761	1,779
0,87	1,210	3,450	0,350	0,007	45	1,870	2,263
1,00	1,380	3,780	0,370	0,007	45	1,940	2,678
1,12	1,520	4,210	0,360	0,007	45	1,905	2,896
1,25	1,600	5,090	0,310	0,007	45	1,725	2,759

Das Durchlassprofil kann maximal 2,896 m³/s abführen. Dem steht der Hochwasserabfluss im relevanten Einzugsgebiet mit 1,99 m³/s gegenüber, so dass durch den Durchlass ausreichende Abflusskapazitäten gegeben sind.

11.4.9 Nachweis Abflusskapazität Bauwerk BW 6

Für das Bauwerk BW6 kommt aufgrund der geringeren Einzugsgebietsgröße ein Betonrohrdurchlass DN1200 mit Kreisprofil zum Einsatz. In den Durchlass erfolgt der Einbau einer 30 cm starken Sohlsubstratschicht. Die nachfolgende Tabelle zeigt die hydraulische Kapazität für das gewählte Durchlassprofil:

Tabelle 17: Abflusskapazitäten BW6

WSP [mNHN]	A [m ²]	U [m]	rhy [m]	Gefälle [‰]	kst [m ^{1/3} /s]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0,00	0,000	1,040	0,000	0,007	25	0,000	0,000
0,09	0,100	1,240	0,080	0,007	25	0,388	0,039
0,18	0,200	1,430	0,140	0,007	25	0,564	0,113
0,27	0,310	1,610	0,190	0,007	25	0,691	0,214
0,36	0,420	1,790	0,230	0,007	25	0,785	0,330
0,45	0,520	1,970	0,260	0,007	45	1,534	0,798
0,54	0,620	2,160	0,290	0,007	45	1,650	1,023
0,63	0,720	2,370	0,300	0,007	45	1,687	1,215
0,72	0,800	2,600	0,310	0,007	45	1,725	1,380
0,81	0,870	2,890	0,300	0,007	45	1,687	1,468
0,90	0,910	3,550	0,260	0,007	45	1,534	1,396

Das Durchlassprofil kann maximal 1,468 m³/s abführen. Dem steht der Hochwasserabfluss im relevanten Teileinzugsgebiet mit 1,295 m³/s gegenüber, so dass durch den Durchlass ausreichende Abflusskapazitäten gegeben sind.

11.5 Modellbereich BW7 bis BW8

Die hydraulischen Berechnungen wurden für die Ist-Zustände und Planzustände für die Abflussszenarien MNQ, MQ und HQ durchgeführt. Nachfolgend werden für ausgewählte Querprofile die Berechnungsergebnisse dargestellt. Die ausführlichen Ergebnisse für den gesamten Modellbereich sind in den Unterlagen 11.4 bis 11.5 dargestellt.

11.5.10 Ist-Zustand

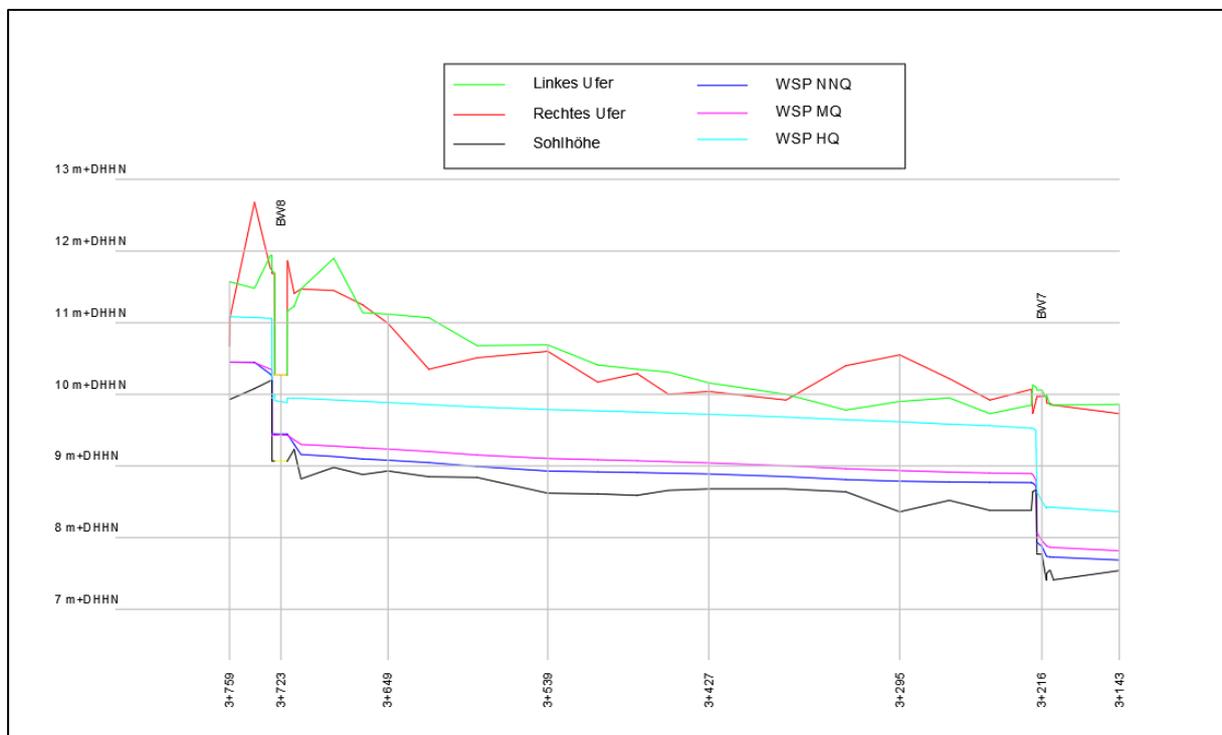
Für den Modellbereich wurde der Ist-Zustand für die o.g. Abflussszenarien gerechnet. In dem hydraulischen Modell wurden folgende Bauwerke berücksichtigt:

Tabelle 18: vorh. Bauwerke im Modellbereich BW7-BW8 im Ist-Zustand

Bauwerk Nr.	Station	Dimension	Länge	Material	Beschreibung
BW7	3+216	-	7,00 m	Spundwandkasten	Sohlabsturz
BW8	3+723	DN 1200	8,50 m	Betonrohr	Wegedurchlass mit Sohlabsturz

Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt die berechneten Wasserspiegellagen für den Ist-Zustand.

Abbildung 3: berechnete Wasserspiegellagen Modellbereich BW7-BW8 im Ist-Zustand



Aus der Abbildung 3 ist erkennbar, dass es alle Abflussereignisse innerhalb des Abflussprofils abgeführt werden.

11.5.11 Plan-Zustand

Der vorhandene massive Sohlabsturz (BW 7) wird ersatzlos rückgebaut. Der Wegedurchlass DN 1200 mit Sohlabsturz (BW8) wird in leicht verschwenkter Trasse ebenfalls durch ein Durchlassrohr DN 1200 mit einer 30 cm starken Sohlsustratauflage ersetzt.

Tabelle 19: Bauwerksgeometrien im Modellbereich BW7-BW8 im Plan-Zustand

Bauwerk	Stat.	Länge	Durchmesser	Dicke Sohlsustrat	Sohle Einlauf	
					Sohle Auslauf	
BW7	3+216	Ersatzloser Rückbau				
BW8	3+760	13 m	DN1200	30 cm	9,79 mNHN	
					9,75 mNHN	

Die Sohldifferenzen aus den Abstürzen bei BW7 ($\Delta h = 1,40$ m) und BW8 ($\Delta h = 0,80$ m) werden durch Gefälleanpassung in der Sohle und Laufverlängerung abgebaut. Dazu erfolgt eine Neutrassierung des Fließabschnittes und Verlegung des Gewässers an die Waldkante. Insgesamt ergibt sich dadurch eine Laufverlängerung von rund 38 m.

Im Bereich des Waldes ist aus forstwirtschaftlicher Sicht eine Absenkung der Niedrig- und Mittelwasserstände zwingend zu vermeiden. Eine Anhebung der Wasserstände ist dagegen wünschenswert. Das neue Profil wird in ein NW-Profil mit seitlichem Vorland gegliedert. Da hier eine zukünftige Unterhaltung maschinell durchgeführt werden muss, ist nach Forderung des unterhaltungspflichtigen Verbandes die NW-Rinne nicht kleiner als 0,50 m...0,60 m zu gestalten. Die nachfolgende Tabelle zeigt stationsbezogen die Gerinnegeometrien:

Tabelle 20: Gerinnegeometrien im Modellbereich BW7 bis BW8 im Plan-Zustand

Station von	bis	Sohlgefälle [%]	Breite NW-Rinne [m]	Breite Vorland [m]	Bö-Neigung [m]
3+143	3+223	1,0	keine	-	1:2
3+223	3+263	1,0	0,5...0,6	1,0	1:2
3+263	3+303	0,25	0,5...0,6	1,0	1:2
3+303	3+714	0,25	0,5...0,6	0,5	1:2...1:4

11.5.12 Nachweis Abflusskapazität Bauwerk BW8

Für das Bauwerk 8 kommt nach Tabelle 19 ein Betonrohrdurchlass DN1200 mit Kreisprofil zum Einsatz. In den Durchlass erfolgt der Einbau einer 30 cm starken Sohlsustratschicht. Die nachfolgende Tabelle zeigt die hydraulische Kapazität für das gewählte Durchlassprofil:

Tabelle 21: Abflusskapazitäten BW8

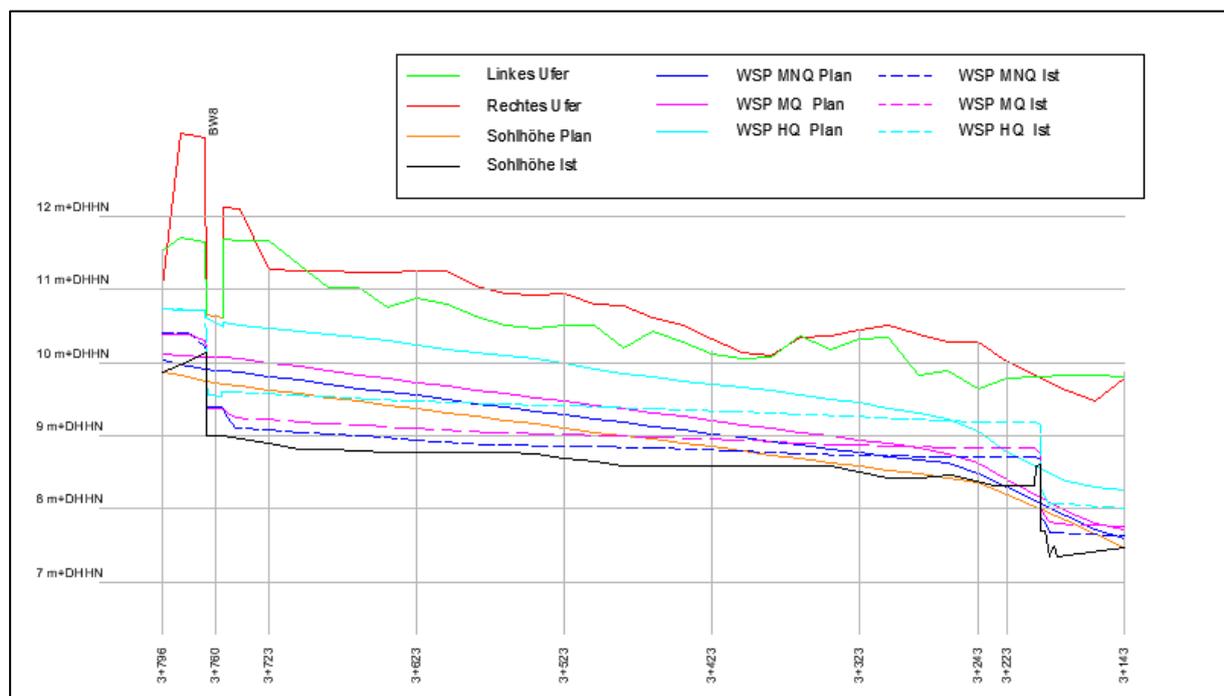
WSP [mNHN]	A [m ²]	U [m]	rhy [m]	Gefälle [‰]	kst [m ^{1/3} /s]	v [m/s]	Q [m ³ /s]
0,00	0,000	1,040	0,000	0,007	25	0,000	0,000
0,09	0,100	1,240	0,080	0,007	25	0,388	0,039
0,18	0,200	1,430	0,140	0,007	25	0,564	0,113
0,27	0,310	1,610	0,190	0,007	25	0,691	0,214
0,36	0,420	1,790	0,230	0,007	25	0,785	0,330
0,45	0,520	1,970	0,260	0,007	45	1,534	0,798
0,54	0,620	2,160	0,290	0,007	45	1,650	1,023
0,63	0,720	2,370	0,300	0,007	45	1,687	1,215
0,72	0,800	2,600	0,310	0,007	45	1,725	1,380
0,81	0,870	2,890	0,300	0,007	45	1,687	1,468
0,90	0,910	3,550	0,260	0,007	45	1,534	1,396

Das Durchlassprofil kann maximal 1,468 m³/s abführen. Dem steht der maximale Hochwasserabfluss im relevanten Teileinzugsgebiet mit 1,295 m³/s gegenüber, so dass durch den Durchlass ausreichende Abflusskapazitäten gegeben sind.

11.5.13 Nachweis der Wasserspiegellagen

Maßgeblich für den Fließabschnitt ist eine Vermeidung der Absenkung der Mittel- und Niedrigwasserspiegellagen im Bereich des Waldes.

Abbildung 4: Gegenüberstellung Wasserspiegellagen Modellbereich BW7-BW8 im Plan-Zustand und Ist-Zustand



Die Abbildung 4 zeigt die Gegenüberstellung der Ist-Wasserstände zu den Plan-Wasserständen. Es ist zu erkennen, dass durch die Anhebung der Sohle auch eine deutliche Anhebung der Wasserstände in allen Abflusssituationen und damit eine Bevorteilung des Wasserdargebots für den Wald erfolgt. Darüber hinaus werden auch im Plan-Zustand alle Abflüsse innerhalb des Profils abgeführt.

11.5.14 Nachweis der Mindestwassertiefe

Für das neue Fließgerinne zwischen BW7 und BW8 ist analog zum Modellbereich BW1 bis BW4 die Quappe die zielführende Bemessungsfischart. Demnach wäre auch für diesen Fließabschnitt eine Mindestwassertiefe von 0,16 m maßgeblich. Die Bemessung des Ist-Zustandes hat allerdings gezeigt, dass bei MNQ nur bedingt die Mindestwassertiefe erreicht wurde. Demnach ist davon auszugehen, dass ohne weitere Strukturmaßnahmen auf der gesamten Fließstrecke eine Aufwanderung der Quappe in den Oberlauf nur in den abflussstärkeren Monaten erfolgen kann.

Tabelle 22: ausgewählte Wasserspiegelhöhen und -tiefen

Bauwerk	Station [m]	Sohle [mNHN]	Q30		MQ	
			WSP [mNHN]	Tiefe [m]	WSP [mNHN]	Tiefe [m]
Altgerinne (keine Maßn.)	3+143	7,52	7,65	0,13	7,75	0,23
Ehem. BW7	3+183	7,88	8,01	0,13	8,13	0,25
Anfang Neuprofilierung	3+243	8,41	8,54	0,13	8,66	0,25
Beginn Waldkante	3+303	8,57	8,76	0,19	8,93	0,36
Mitte Waldkante	3+543	9,20	9,39	0,19	9,62	0,37
Ende Waldkante	3+723	9,67	9,86	0,19	10,04	0,37
Ende Neuprofilierung	3+763	9,87	9,95	0,17	10,12	0,34
Altgerinne	3+797	9,91	10,06	0,15	10,15	0,24

Die Tabelle 22 zeigt, dass der Nachweis der Mindestwassertiefen bei Q30 erst ab Station 3+303 gelingt. In den vorhergehenden neuprofilierten Abschnitten gelingt der Nachweis aufgrund des steileren Gefälles von 1,0% nicht. Ein flacheres Gefälle in Richtung Oberlauf konnte aus forstwirtschaftlichen Gründen nicht umgesetzt werden. Eine Gefälleanpassung in den Unterlauf würde eine Anhebung der Sohle bedeuten und damit höhere Wasserspiegellagen. Hier werden die angrenzenden Flächen als Mähwiesen genutzt, so dass eine Beeinträchtigung der wirtschaftlichen Nutzung erfolgen würde.

Fischwanderungen erfolgen vorrangig in den abflussstärkeren Frühjahrs- und Herbstmonaten. Bei MQ sind ausreichende Wassertiefen vorhanden, so dass hier eine Aufwanderung der Quappe stattfinden kann.

Für die Meerforelle sind aufgrund der geringen Durchflüsse selbst bei MQ nicht mehr die erforderlichen Mindestwassertiefen von 0,35 m vorhanden. Eine Aufwanderung der Meerforelle in diesen Abschnitt und damit weiter in den Oberlauf ist nicht gegeben.

11.5.15 Fließgeschwindigkeiten

In dem Fließabschnitt variieren die Fließgeschwindigkeiten je nach Sohlgefälle zwischen 0,63 m/s und 0,30 m/s (vgl. Tabelle 23). Die größten Geschwindigkeiten treten im Fließabschnitt mit einem Sohlgefälle von 1,0 % auf. Diese sind lokal begrenzt und können auch von schwimmschwächeren Arten überwunden werden. Zusätzlich erfolgt der Einbau von Störsteinen und Strukturelementen im Fließgerinne. Sie bieten im begrenztem Umfang Ruhezone für die Fische, so dass diese die steileren Strecken nicht zwangsläufig in einem Bewegungsablauf überwinden müssen.

Tabelle 23: auftretende mittlere Fließgeschwindigkeiten bei Q330 in m³/s

Bauwerk	Station	Q330
Altgerinne (keine Maßn.)	3+143	0,30
Ehem. BW7	3+183	0,47
Anfang Neuprofilierung	3+243	0,63
Beginn Waldkante	3+303	0,40
Mitte Waldkante	3+543	0,37
Ende Waldkante	3+723	0,37
Ende Neuprofilierung	3+763	0,41
Altgerinne	3+797	0,30

11.5.16 Nachweis der Sohlstabilität

Zwischen BW7 und BW8 wird der Palinger Bach neu profiliert. Für die neue Bachsohle ist die Lagestabilität entsprechend den Grundlagen aus Kapitel 11.3.7 nachzuweisen.

Der nachfolgenden Tabelle (WENDEHORST) können die Grenzwerte für die kritische Schleppspannung τ_{krit} je nach Sohlenbeschaffenheit entnommen werden:

Tabelle 24: Grenzwerte für die kritische Schleppspannung τ_{krit} in Abhängigkeit der Sohlbeschaffenheit

Tafel 19.34 Grenzwerte für Schleppspannung τ_0		
	Sohlenbeschaffenheit	τ_0 in N/m ²
Einzelkorngefüge	Feinsand, Korngröße 0,063 bis 0,2 mm	1,0
	Mittelsand, Korngröße 0,2 bis 0,63 mm	2,0
	Grobsand, Korngröße 0,63 bis 1 mm	3,0
	Grobsand, Korngröße 1 bis 2 mm	4,0
	Grobsand, Korngröße 0,63 bis 2 mm	6,0
	Kies-Sand-Gemisch, Korngröße 0,63 bis 6,3 mm festgelagert, langanhaltend überströmt	9,0
	Kies-Sand-Gemisch, Korngröße 0,63 bis 6,3 mm, festgelagert, kurzzeitig überströmt	12,0
	Mittelkies, Korngröße 6,3 bis 20 mm	15,0
	Grobkies, Korngröße 20 bis 63 mm	45,0
	Plattiges Geschiebe , 1 bis 2 cm hoch, 4 bis 6 cm lang	50,0
Boden wenig kolloidal	Lehmiger Sand	2,0
	Lehmhaltige Ablagerungen	2,5
	Lockerer Schlamm	2,5
	Lehmiger Kies, langanhaltend überströmt	15,0
	Lehmiger Kies, kurzzeitig überströmt	20,0
Boden stark-kolloidal	Lockerer Lehm	3,5
	Festgelagerter Lehm	12,0
	Ton	12,0
	Festgelagerter Schlamm	12,0
	Rasen verwachsen, langanhaltend überströmt	15,0
	Rasen verwachsen, kurzzeitig überstromt	30,0

Auf Höhe der neuen Sohlage stehen laut Baugrundgutachten mitteldicht gelagerte Mittelsande an. Diese weisen nach Tabelle 24 eine kritische Schleppspannung von 2,0 N/m² aus.

Mit der Wasserspiegellagenberechnung wurden auch die Schubspannungen auf der Sohle ermittelt. Die nachfolgende Tabelle 25 zeigt die Schubspannungen bei den maßgeblichen Querprofilen in verschiedenen Abflusszuständen.

Tabelle 25: maximale Sohlschubspannungen und gewähltes Sohlsubstrat anhand der zul. Schubspannungen

Bauwerk	Station [m]	Sohlschubspannung τ_{\max} in [N/m ²]		
		MNQ	MQ	HQ
Altgerinne (keine Maßn.)	3+143	1	3	8
Ehem. BW7	3+183	9	14	8
Anfang Neuprofilierung	3+243	9	15	8
Beginn Waldkante	3+303	3	4	8
Mitte Waldkante	3+543	3	4	7
Ende Waldkante	3+723	3	4	10
Ende Neuprofilierung	3+763	1	1	10
Altgerinne	3+797	1	2	10

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die vorhandenen Schleppspannungen die kritische Schleppspannung vor allem in dem neuprofilierten Fließabschnitt in allen Abflusszuständen überschreiten. Das heißt, dass auch bei geringen Abflüssen ein Transport auf der Sohle stattfindet.

Für eine lagestabile Sohle ist der Einbau eines Sohlsubstrates erforderlich. Dafür werden folgende Körnungen gewählt:

Tabelle 26: Gerinnegeometrien im Modellbereich BW7 bis BW8 im Plan-Zustand

Station von	bis	Sohlgefälle [%]	τ_{\max} in [N/m ²]	Gew. Substrat Körnung	τ_{zul} [N/m ²]
3+143	3+223	1,0	14	Mittelkies Korngröße 6,3-20 mm	15
3+223	3+263	1,0	15		
3+263	3+303	0,25	8		
3+303	3+797	0,25	10		