

Wasserverband Mittlere Oker

Neubau eines Fischkanupasses
am Petriwehr

Anlage 2

Technische Berechnungen

Bemessung eines Borstenfischpasses in Mehrfach-Riegeln mit Becken:

Grunddaten:

Nr.	Parameter	Kürzel	Wert	Einh.	Bemerkung
Gerinne					
1	Gerinne-Breite in Mehrfachriegeln	b_R	2,400	m	Breite im Bereich der Mehrfachriegel
1.1	Wassertiefe im Mehrfachriegel	h_R	0,500	m	Wassertiefe in den Borstenriegeln
1.2	Breite Becken zwischen Riegelgruppen	b_{BK}	2,400	m	Mittlere Breite der Becken (= b_R oder größer)
1.3	mittlere Wassertiefe Becken	h_{BK}	0,800	m	= h_R oder möglichst größer
1.4	Länge der Ruhebecken	l_{BK}	3,000	m	Lichter Abstand zwischen den Mehrfachriegeln
1.5	Höhendifferenz am Mehrfach-Riegel	Δh_{MR}	0,150	m	WSP-Differenz an einer Riegelgruppe
1.6	Anzahl Einzelriegel pro Mehrfachriegel	n	3		
1.7	Gesamt-Höhendifferenz des Fischpasses	Δh_{ges}	2,75	m	Differenz Oberwasser - Unterwasser
Borsten					
1.8	Borstendurchmesser	d_B	6	mm	Mittlerer Durchmesser der Borsten (derzeit ≤ 5 mm)
1.9	Borstengewicht pro m Länge	G_B	25,73	g/m	Dichte: $0,91 \text{ g/cm}^3$
1.10	Borstenlänge	l_B	0,500	m	Gesamtlänge einschließlich Einbindung in Grundplatte
1.11	hydr. eff. Borstenlänge	l_{Bhyd}	0,475	m	schaut aus der Grundplatte heraus
1.12	Widerstandsbeiwert	c_W	0,980	[-]	aus Literatur für Zylinder bei ähnlicher Reynoldszahl
1.13	zul. Widerstandskraft	W_{zul}	0,460	N	(siehe Erläuterungen!)
1.14	Borsten pro Bündel	n_B	6	[-]	wählbar zwischen 5 und 7, üblicherweise 6
1.15	Grundplattendicke	d_{Gp}	25	mm	
Borstenelemente/ Einzelriegel					
1.16	Summe Lückenbreiten im Riegel	b_{LR}	0,600	m	Lückenbreiten, quer gemessen
1.17	Summe Elementbreiten im Riegel	b_{BER}	1,800	m	Erstreckung quer zur Fließrichtung
1.18	Elementlänge	l_{BE}	0,300	m	Erstreckung in Fließrichtung
1.19	Lichter Längsabstand zw. Einzel-Riegeln	c_R	0,250	m	Lichter Abstand innerhalb der Mehrfachriegel
1.20	Grundfläche Borstenelemente je Riegel	A_{BER}	0,540	m^2	
Berechnete geometrische Größen					
1.21	Länge eines Mehrfachriegels	l_{MR}	1,400	m	Länge von OK erster Riegel bis UK letzter Riegel einer Gruppe
1.22	Rapportlänge (Mehrfachriegel + Becken)	l_{Rap}	4,400	m	
1.23	Höhendifferenz am Einzelriegel	Δh_R	0,050	m	
1.24	Hydraulisches Gefälle im Mehrfachriegel	J_{MR}	0,0909	=> 1 : 11,00	
1.25	Mittleres Gesamtgefälle	J_{ges}	0,0341	=> 1 : 29,33	
1.26	Volumen der Ruhebecken	V_{BK}	5,760	m^3	
Allgemeine Größen:					
1.27	Erdbeschleunigung	g	9,80665	m/s^2	
1.28	Wasserdichte	ρ_w	1000	kg/m^3	

Bemessungsergebnisse und Borstendaten

Nr.	Parameter	Kürzel	Wert	Einheit	Formel
2	Hydraulische Parameter				
2.1	Abfluss	Q	680	l/s	
2.2	spez. Abfluss in Durchlass	q	0,283	m ³ /(sxm)	= Q/b
2.3	mittl. Fließgeschw. im Riegel	v _m	0,567	m/s	= q/h
2.3.1	Spitzen-Strahlgeschwindigkeit unterhalb Riegel 1	vs1	1,213	m/s	siehe Erläuterungen!
2.3.2	Spitzen-Strahlgeschwindigkeit unterhalb Riegel 2	vs2	2,400	m/s	siehe Erläuterungen!
2.3.3	Spitzen-Strahlgeschwindigkeit unterhalb Riegel 3	vs3	2,037	m/s	siehe Erläuterungen!
2.4	mittl. Fließgeschw. im Becken	v _{mB}	0,354	m/s	= Q/h _{BK} /b _{BK}
2.5	Durchflossene Querschnittsfläche im Riegel	A	1,2000	m ²	A = b · h
2.6	Hangabtriebskomponente je Einzel-Riegel	G' _{MR}	588,4	N	G' = ρ · g · h · I _o · (l _{Be} + c _R)
2.7	Widerstandskraft auf eine Borste	W _B	0,448	N	W _B = d _B · l _B · c _w · ρ / 2 · v _m ²
Kontrolle 1: Belastbarkeit der Borste überschritten?			O.K.		
Leistungsdichten					
2.10	Hydraul. Leistung f. eine Stufe	P _{MR}	1000	W	P _{MR} = ρ · g · Q · Δ h _{MR}
2.11	Leistungsumsatz in Borstenfeld	P _{Borsten}	640	W	siehe Erläuterungen!
2.11a	Leistungsdichte in Borstenfeld	spez. P _{Borste}	381	W/m ³	Siehe Erläuterungen!
2.12	Leistungsumsatz in Becken	P _{Bk}	360	W	siehe Erläuterungen!
2.12a	Leistungsdichte im Becken	P _{Bk}	63	W/m ³	Siehe Erläuterungen!
Werte pro Einzel-Riegel					
2.13	Rinnengrundfläche pro Riegel (incl. Leerraum)	A _R	1,320	m ²	
2.14	Benötigte Borstenanzahl pro Riegel	N _{BR}	1312	Stück	= G' _{MR} /W _B
2.15	Borstenbündel pro Riegel	n _{BBR}	219		
2.16	Borstengewicht pro Riegel	G _{BR}	16,880	kg	
2.17	Anströmfläche aller Borsten pro Riegel	A _{BR}	3,7396	m ²	
2.18	Zahl der Borstenelemente pro Riegel	n _{BER}	3,000	Stück	
Werte pro Borstenelement					
2.17	Breite eines Borstenelementes	b _{BE}	0,600	m	
2.18	Grundfläche eines Borstenelementes	A _{BE}	0,1800	m ²	
2.19	Borsten pro Element	n _{BBE}	437	Stück	
2.20	Borstenbündel pro Element	n _{BBBE}	73	Stück/Element	
Kontrolle 2: Grundfläche für Borsten ausreichend?			O.K.		
2.21	Mittlerer Bündelabstand	a _{BB}	49,7	mm	
Werte für die ganze Rinne					
2.22	Anzahl der Mehrfach-Riegel	n _R	19,0	Stück	
2.23	Anzahl der Einzelriegel	n _{ER}	57,0	Stück	
2.24	Anzahl der Borstenelemente	n _{BE}	171,0	Stück	
2.25	Anzahl der Einzelborsten	n _{Bges}	74791	Stück	
2.26	Gewicht der Borsten	G _{Bges}	962,2	kg	
2.27	Gesamte Fläche der Grundplatten	A _{ges}	30,780	m ²	
2.28	Gesamtzahl der Borstenbündel	n _{BB}	12465	Stück	
2.29	Anzahl der Becken	n _{Bk}	18	Stück	
2.30	Rapportlänge (Mehrfachriegel + Becken)	l _{Rap}	4,40	m	
2.31	Gesamtlänge Fischpass	l_{ges}	80,60	m	

Berechnung eines Borstenfischpasses - Typ C
(nach DWA-M 509, Mai 2014)

Projekt: Neubau eines Fischkanupasses am Petriwehr
Auftraggeber: Wasserverband Mittlere Oker
Lastfall 1: U=30, 19 Mehrfachriegel

<u>Eingabe:</u>			<u>Bemerkung</u>
<u>Wasserstände:</u>			
	OW	69,30 m+NHN	
	UW	66,55 m+NHN	
<u>Abmessungen, Vorgaben:</u>			
	Anzahl Riegel	19 Stück	
	lichte Beckenlänge L_{LB}	3,00 m	
	Länge Riegel L_R	1,50 m	3 -fach Riegel
	Beckenbreite B_{LB}	2,40 m	
	Riegelbreite B_R	2,40 m	
	Breite Borstengasse B_G	0,60 m	
	Wassertiefe in Gasse h_R	0,50 m	
	mittlere Wassertiefe Becken	0,80 m	
	Sohlsubstrat, d_{90}	0,08 m	
	Strickler-Beiwert für Borsten	8,00 $m^{1/3}/s$	
	Gesamtabfluss Q_{FAA}	0,68 m^3/s	aus Bemessungs-sheet der Uni Kassel
<u>Bemessungsergebnisse:</u>			
	Wsp.-diff. OW/UW ΔH_{ges}	2,75 m	
	Wsp.-diff. je Riegel Δh_{bem}	0,145 m	$\leq 0,15$ m
	Beckenlänge L_B	4,50 m	
	Einstieg OW	68,50 m+NHN	
	Einstieg UW	65,75 m+NHN	
	hydr. Umfang der Gasse	1,60 m	
	Querschnittsfläche der Gasse	0,30 m^2	
	hydr. Radius der Gasse	0,19 m	
	Strickler-Beiwert, Sohle	39,6 $m^{1/3}/s$	
	Strickler-Beiwert, gesamt	10,56 $m^{1/3}/s$	
	mittlere Fließgeschwindigkeit	1,07 m/s	$< 1,3$ m/s in Barbenregion
	Abfluss in Gasse	0,32 m^3/s	
	Abflussanteil Gasse von Q_{FAA}	47,4 %	

Neubau eines Fischkanupasses
am Petriwehr

Bericht zur hydraulischen
2D-Modellierung

Juni 2018

17050-4



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung und Veranlassung	3
2 Hydronumerische Simulation	4
2.1 Grundlagen	4
2.2 Modellaufbau	5
2.3 Randbedingungen	6
2.4 Verifizierung des Modells	6
2.5 Nachweis des Hochwasserabflusses	7
3 Quellenverzeichnis	9

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Berechnete Wasserspiegellagen und Wasserstandsdifferenzen für den Lastfall HQ ₁₀₀ für den Ist- und Planzustand (mit und ohne Abtrag)	7
---	---

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Modellaufbau in HYDRO_AS-2D im Planzustand	6
Abb. 2.2: Darstellung der berechneten Wasserspiegellagen im Lastfall HQ ₁₀₀ für die Ist- und die Planzustände (mit und ohne Sohlabtrag)	8

1 Einleitung und Veranlassung

Zum Nachweis des Hochwasserabflusses wurden für den Ist- und Planzustand hydraulische Berechnungen der Oker durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden.

Die hydraulischen Berechnungen erfolgen mit dem Programmsystem HYDRO_AS-2D von der Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH und dem Ingenieurbüro Dr. Nujić.

2 Hydronumerische Simulation

2.1 Grundlagen

Die hydraulischen Berechnungen erfolgen mit dem Programmsystem HYDRO_AS-2D von Hydrotec und dem Ingenieurbüro Dr. Nujić. Das zweidimensionale hydrodynamische Modell des Programmsystems HYDRO_AS-2D basiert auf der Kontinuitätsgleichung und den Reynolds- bzw. Navier-Stokes-Gleichungen für inkompressible Fluide, die durch Integration aus den entsprechenden dreidimensionalen Gleichungen hervorgehen. Dieses Differentialgleichungssystem wird in HYDRO_AS-2D an diskreten Elementen durch einen Finite-Volumen-Ansatz näherungsweise gelöst.

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} + s = 0$$

mit:

$$w = \begin{bmatrix} H \\ uh \\ vh \end{bmatrix} \quad f = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + 0,5gh^2 - vh \frac{\partial u}{\partial x} \\ uvh - vh \frac{\partial v}{\partial x} \end{bmatrix}$$

$$s = \begin{bmatrix} 0 \\ gh(I_{Rx} - I_{Sx}) \\ gh(I_{Ry} - I_{Sy}) \end{bmatrix} \quad g = \begin{bmatrix} vh \\ uvh - vh \frac{\partial u}{\partial x} \\ v^2h + 0,5gh^2 - vh \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix}$$

und

- H: Wasserspiegel ($H = h+z$) [mNHN]
- u: Geschwindigkeitskomponente in x-Richtung [m/s]
- v: Geschwindigkeitskomponente in y-Richtung [m/s]
- I_{Rx}, I_{Ry} : Reibungsgefälle in x- bzw. y-Richtung [-]
- I_{Sx}, I_{Sy} : Sohlgefälle in x- bzw. y-Richtung [-]

Zweidimensionale hydronumerische Modelle geben u.a. Aufschluss über Wasserspiegellagen, Strömungsgeschwindigkeiten, Abflussaufteilungen im Fluss-schlauch und Überschwemmungsgrenzen. Als Grundlage für die Berechnungen in HYDRO_AS-2D dient ein digitales Geländemodell, das sich aus einem Berechnungsnetz mit Dreiecks- und Viereckselementen zusammensetzt. Zur Bearbeitung und Simulation des Modells ist HYDRO_AS-2D mit dem Programm SMS (Surface-water Modeling System) gekoppelt.

Durch die raue Struktur des Gewässers bzw. der Vorländer verursachte Streckenverluste werden mit Hilfe des Manning-Strickler-Beiwerts k_{St} berücksichtigt.

2.2 Modellaufbau

Für die hydraulischen Berechnungen wird ein hydronumerisches Modell der Oker zwischen Station 49+250 und 55+100 verwendet, das vom NLWKN zur Verfügung gestellt wurde. Das Modell wurde im Rahmen der Überschwemmungsgebietsberechnungen der Oker von HPI (2013) mit dem Programmsystem HYDRO_AS-2D erstellt. Das Petriwehr war in diesem Modell bereits genau aus den Bestandsdaten (Lagepläne, Quer- und Längsprofile) eingearbeitet worden.

Für den Planzustand wurden zwei Varianten betrachtet:

1. Planzustand mit Fischaufstiegsanlage (FAA)
2. Planzustand mit FAA und Profilaufweitung im Bereich der FAA

Für die Sohle des Fischkanupasses wurde im Planzustand eine Rauigkeit von $k_{St} = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ angesetzt, während für die Wände eine Rauigkeit von $k_{St} = 90 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ berücksichtigt wurde.

In nachfolgender Abbildung ist der Modellaufbau im Planbereich für den Zustand mit Fischaufstiegsanlage und Profilaufweitung dargestellt.

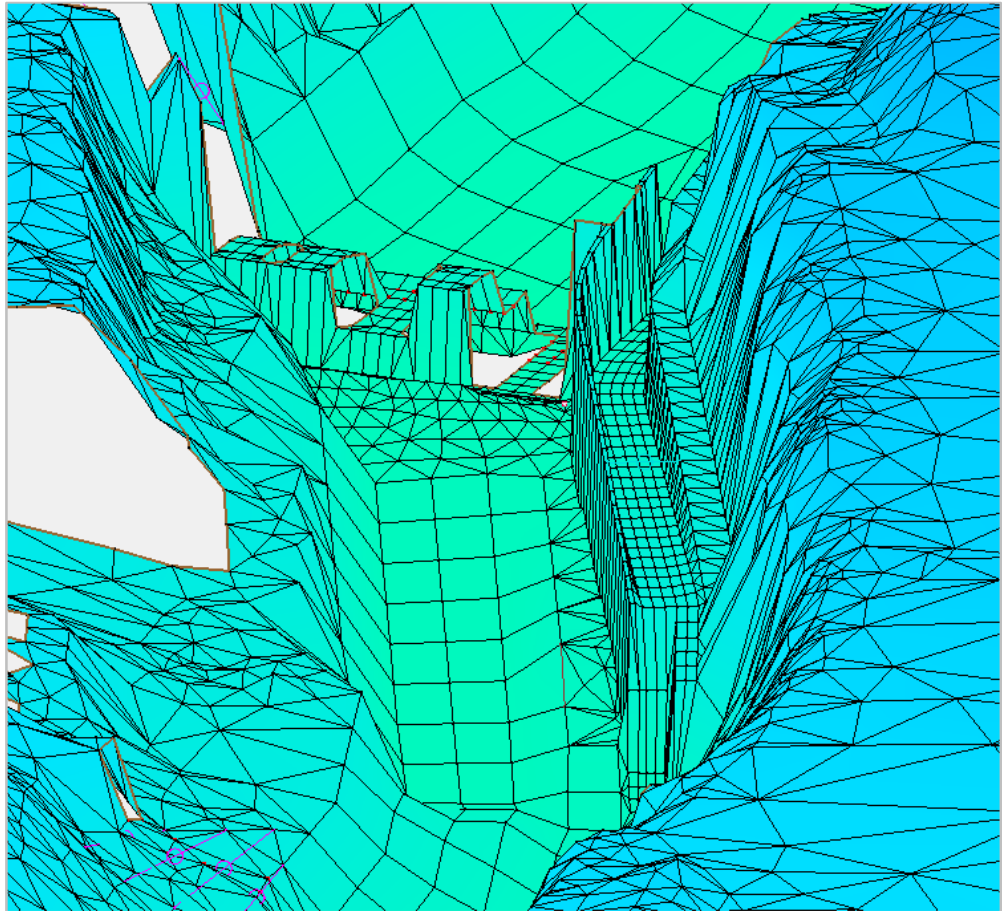


Abb. 2.1: Modellaufbau in HYDRO_AS-2D im Planzustand

2.3 Randbedingungen

Die Randbedingungen an den oberen und unteren Modellgrenzen stellen die Schnittstellen zu dem nicht mehr modellierten Gebiet dar. Am oberen Modellrand werden die entsprechenden Abflüsse als Eingangsparameter angesetzt. An der unteren Modellgrenze dient eine Q-h-Beziehung als Randbedingung.

Zur Berechnung der Auswirkungen der geplanten Maßnahmen werden die hydraulischen Berechnungen für den Lastfall HQ_{100} jeweils für den Ist- und den Planzustand durchgeführt.

Um Aussagen über die Abflussaufteilung im Flussschlauch treffen zu können, wurden im Planungsgebiet zudem Kontrollquerschnitte definiert.

2.4 Verifizierung des Modells

Zur Verifizierung des Modells wurde das Modell zunächst auf die aktuellen Programmversionen SMS 12.2.11 und HYDRO_AS-2D V 4.4.0 konvertiert, um ein lauffähiges Modell zu erhalten. Sämtliche Modellrandbedingungen wurden bei

der Konvertierung übernommen.

Nach Durchführung des ersten Berechnungslaufs zeigte sich, dass die Wasserspiegellagen im Lastfall HQ₁₀₀ mit den Wasserspiegellagen aus den Überschwemmungsgebietsberechnungen von HPI (2013) gut übereinstimmen.

2.5 Nachweis des Hochwasserabflusses

Durch den Neubau des Fischkanupasses ergeben sich für den Planzustand ohne Sohlanpassung der Oker bei Ablauf eines HQ₁₀₀ um bis zu 43 cm höhere Wasserstände im Oberwasser des Petriwehrs bei Station 51+124 (siehe Tab. 2.1 und Abb. 2.2). Die erhöhten Wasserstände im Planzustand sind im weiteren Verlauf bis oberstrom des Eisenbütteler Wehrs (Station 55+100) am oberen Modellrand wahrnehmbar.

Tab. 2.1: Berechnete Wasserspiegellagen und Wasserstandsdifferenzen für den Lastfall HQ₁₀₀ für den Ist- und Planzustand (mit und ohne Abtrag)

Station	Wasserspiegellagen bei HQ ₁₀₀			Differenz	
	W _{Ist} [mNHN]	W _{Plan} [mNHN]	W _{Plan,Abtrag} [mNHN]	W _{Plan} -W _{Ist} [m]	W _{Plan,Abtrag} -W _{Ist} [m]
51+124	69,74	70,17	69,62	0,43	-0,12
52+692	70,90	71,03	70,87	0,13	-0,03
55+100	71,97	72,00	71,96	0,03	-0,01

Aufgrund der erhöhten Wasserstände im Planzustand ist zur hochwasserneutralen Ausführung der Maßnahme der Abtrag der Sohle sowie die Anpassung der linksseitigen Böschung im Oberwasser des Petriwehrs (Station 51+006) bis etwa zum Einlauf des Fischpasses (Station 51+083) vorgesehen.

Durch die Erweiterung des Fließquerschnittes oberstrom des Petriwehrs stellen sich bei Station 51+124 im Vergleich zum Ist-Zustand um bis zu 12 cm geringere Wasserstände bei einem HQ₁₀₀ ein (siehe Tab. 2.1). Auch im hochwasserkritischen Bereich im Oberwasser der Brücke Cammannstraße (Station 52+692) sind um bis 3 cm geringere Wasserstände zu erwarten. Am oberen Modellrand (Station 55+100, Eisenbütteler Wehr) ist noch eine geringe Wasserstandsabsenkung von rd. 1 cm sichtbar. Eine Verschlechterung des Hochwasserabflusses ist im Zuge des geplanten Vorhabens demnach auszuschließen.

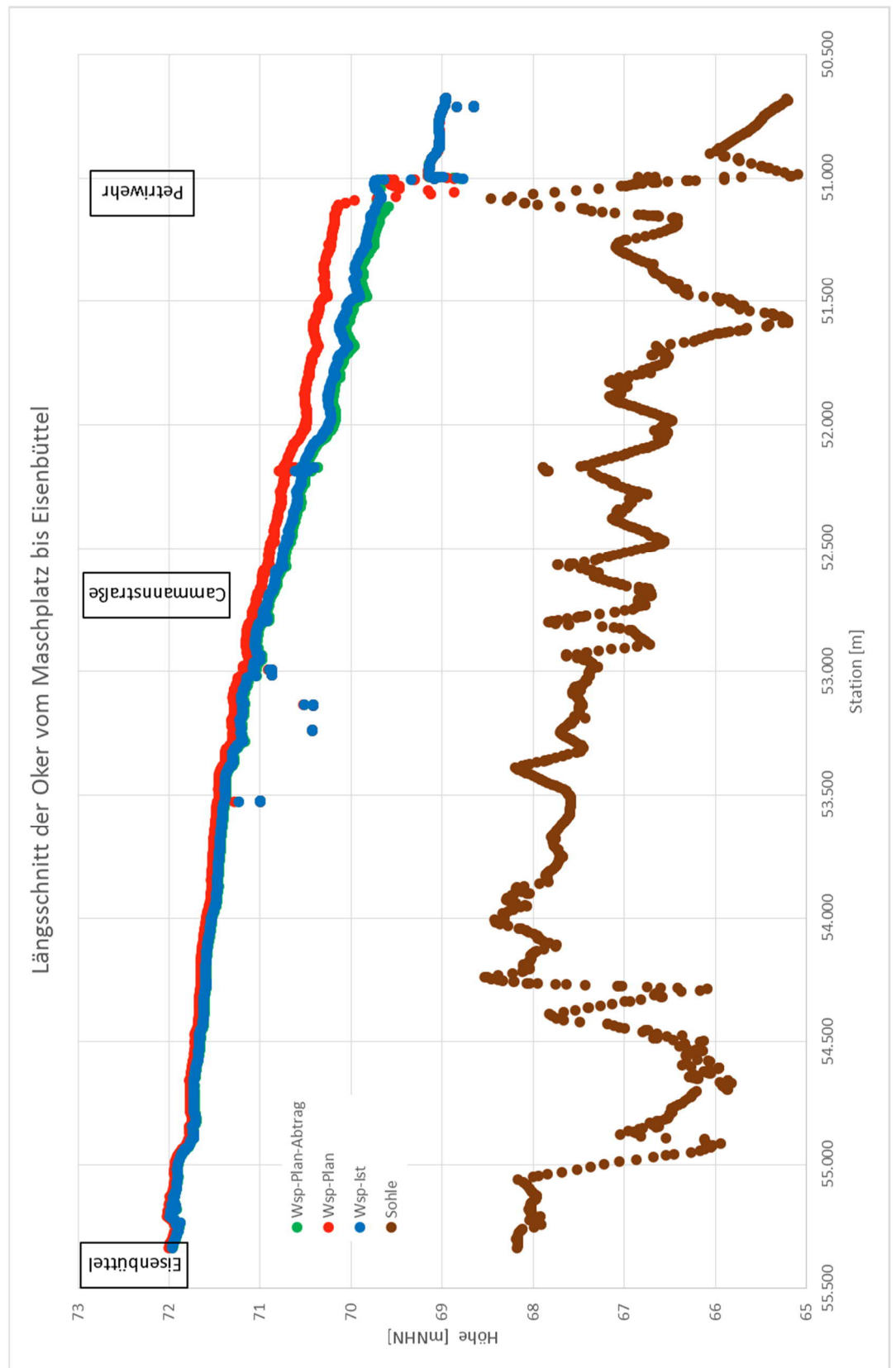


Abb. 2.2: Darstellung der berechneten Wasserspiegellagen im Lastfall HQ₁₀₀ für die Ist- und die Planzustände (mit und ohne Sohlabtrag)

3 Quellenverzeichnis

Bollrich, G. (2007): Technische Hydromechanik 1 - Grundlagen, 6 Auflage. – 456 S.; Berlin.

HPI - HYDROPROJEKT INGENIEURGESELLSCHAFT MBH (2013): Hochwasserschutzplan Oker - Hochwassergefahrenkarten–Erläuterungsbericht, 94 S. + Hydro_AS-2D-Modell; Weimar, übergeben vom NLWKN am 18.12.2017 [unveröffentlicht]