

Modellversuche für den Wellenauflauf an den Böschungen des Knappensees infolge Rutschungen der Innenkippe



Abbildung 1: Seitenansicht Versuchsstand Hydrolabor Schleusingen

Abschlussbericht Version 1.05

Auftraggeber Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
01968 Senftenberg, Knappenstraße 1

Auftragnehmer Institut für Wasserwirtschaft, Siedlungswasserbau und Ökologie GmbH
99423 Weimar, Coudray-Straße 4

Projektleiter Konrad Thürmer

Bearbeiter Dipl.-Ing. Jens Sauerwein et.al.

Bestellnummer 45060325

Datum 30.11.2020

Inhalt

1	Einleitung	6
2	Das gegenständliche Modell.....	6
3	Auswertung	15
3.1	Grundlagen	15
3.2	Auswertung Impulskraft.....	18
3.3	Wellenauflaufhöhen	41
3.4	Risikobewertung - Zoneneinteilung	45
4	Ergebnisse	48
5	Risikobewertung und Diskussion	49
6	Hinweise und Empfehlungen	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Seitenansicht Versuchsstand Hydrolabor Schleusingen.....	1
Abbildung 2: Profilvergleich der Uferbereiche im Planzustand	9
Abbildung 3: Modellprofil D-West-West mit Wasserspiegellagen	10
Abbildung 4: Profil D-West-West Versuch M204 – grafische Auswertung.....	17
Abbildung 5: Impuls Profil D-West-West.....	19
Abbildung 6: Impuls D-West-Mitte	21
Abbildung 7: Impuls Profil D-West-Ost	22
Abbildung 8: Impuls Profil D-Ost.....	23
Abbildung 9: Impuls Profil E	24
Abbildung 10: Vergleich der Profile D-West und D-Ost bei Beibehaltung Knickpunkt flache Böschung 1:15 mit steiler Böschung 1:3.....	25
Abbildung 11: Impulsbelastung Profil D-Ost mit Schwelle – WSP 126,00 m NHN.....	27
Abbildung 12: Impulsvergleich Wellenhöhe D-West-West 1,08 m mit und ohne Schwellen.....	28
Abbildung 13: Vergleich Impulsbelastung WSP 126,00 m NHN Profil D-Ost mit und ohne Schwelle	29
Abbildung 14: Impulsbelastung Profil D-Ost mit Schwelle – WSP 125,50 m NHN.....	30
Abbildung 15: Vergleich Impulsbelastung WSP 125,50 m NHN Profil D-Ost mit und ohne Schwelle	31
Abbildung 16: Impulsbelastung Profil D-West-West mit drei WSP-Lagen	34

Abbildung 17: Vergleich Impulsbelastung Profil D-West-West mit WSP 126,00 m NHN mit und ohne Schilfgürtel	35
Abbildung 18: Impulsbelastung Profil D-West-West mit WSP 125,50 m NHN mit und ohne Schilfgürtel	36
Abbildung 19: Impulsbelastung Profil D-West-West mit WSP 124,20 m NHN mit und ohne Schilfgürtel	37
Abbildung 20: Impulseintrag worst case Betrachtung Profil D-West-West bei 126,00 m NHN.....	39
Abbildung 21: Impulskraft Profil D-West-West mit konkavem Wellenumlenker und WSP 126,00 m NHN	40
Abbildung 22: Zoneneinteilung Profil D-West-West.....	46
Abbildung 23: AgF - Grundgerüst Sohle Wellenkanal	52
Abbildung 24: AgF - Schließung Wellenkanal.....	52
Abbildung 25: AiF - Fertigteile Profil D-Ost	53
Abbildung 26: AgF - Wellenkanal mit Wellengenerator (Einmalwelle) und seitlicher Beobachtungsraum	53
Abbildung 27: AgF - Wellenkanal mit eingesetztem linken und rechten Profilteil	54
Abbildung 28: AgF - Wellenkanal mit Uferprofil und Messtechnik.....	54
Abbildung 29: Seitenansicht – Profil D-Ost mit Schwelle bei überlaufender Welle 126,00 mNHN WSP	55
Abbildung 30: Seitenansicht – Worst-case Modellerweiterung auf 131,00 mNHN - Profil D-West-West	55
Abbildung 31: Seitenansicht – konkaver Wellenumlenker am Betriebsweg Profil D-West-West	56
Abbildung 32: AiF – eingebauter techn. Schilfgürtel Profil D-West-West.....	56
Abbildung 33: AgF – eingebauten techn. Schilfgürtel mit Widerstandsstäben (Ausschnitt) und Höhenmarkern	57
Abbildung 34: Seitenansicht - verlängerte Buhne 1,0 m Profil D-West-West.....	57
Abbildung 35: Seitenansicht – aufgelöste Buhnen 1,0 m Profil D-West-West	58
Abbildung 36: Seitenansicht auflaufende Welle	58
Abbildung 37: Seitenansicht auflaufende Welle – steile Wellenfront	59
Abbildung 38: Seitenansicht auflaufende Welle – überschlagende Wellenfront mit Ausbildung Tunnel	59
Abbildung 39: Seitenansicht auflaufende Welle – zusammenbrechender Tunnel	60
Abbildung 40: Seitenansicht auflaufende Welle – herausschießender Wasserkeil aus zusammengebrochenem Wellentunnel	60
Abbildung 41: M236 WSP 125,50 mNHN	61

Abbildung 42: Lageplan Auszug Profile D-West-West Station 5+107, D-West-Mitte Station 4+591, D-West-Ost Station 4+446	63
Abbildung 43: Lageplan Auszug Profile D-Ost Station 2+975.....	64
Abbildung 44: Lageplan Auszug Profile E17/2009.....	65

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Nullpunktverschiebung Modell - Natur.....	10
Tabelle 2: Modelluntersuchungen Knappensee – Messprogramm der ausgewerteten Versuche.....	14
Tabelle 3: Versuch M204 - Tabellarische Auswertung Versuch D-West-West mit WSP 126,00 m NHN und 1,08 m Wellenhöhe.....	17
Tabelle 4: Impulsbelastung mit Schilfgürtel Profil D-West-West	33
Tabelle 5: Vergleich der Auflaufhöhen und Überlaufhöhen: Berechnung LMBV (AST 2020) – Modellversuch IWSÖ.....	42
Tabelle 6: maximale Impulsbelastung in den Profilzonen oberhalb der jeweiligen Uferlinien (Ruhewasserspiegel).....	47

Tabelle 1: Nullpunktverschiebung Modell - Natur.....	10
Tabelle 2: Modelluntersuchungen Knappensee – Messprogramm der ausgewerteten Versuche.....	14
Tabelle 3: Versuch M204 - Tabellarische Auswertung Versuch D-West-West mit WSP 126,00 m NHN und 1,08 m Wellenhöhe.....	17
Tabelle 4: Impulsbelastung mit Schilfgürtel Profil D-West-West	33
Tabelle 5: Vergleich der Auflaufhöhen und Überlaufhöhen: Berechnung LMBV (AST 2020) – Modellversuch IWSÖ.....	42
Tabelle 6: maximale Impulsbelastung in den Profilzonen oberhalb der jeweiligen Uferlinien (Ruhewasserspiegel).....	47

Abkürzungsverzeichnis

124.2 - Z(x)	Impulsvektor WSP124,20 mNHN in Zone(x)
125.5 - Z(x)	Impulsvektor WSP125,50 mNHN in Zone(x)
126.0 - Z(x)	Impulsvektor WSP126,00 mNHN in Zone(x)
AG	Auftraggeber
AgF	Ansicht gegen die Fließrichtung bzw. Wellenlaufrichtung
AiF	Ansicht in Fließrichtung bzw. Wellenlaufrichtung
AN	Auftragnehmer
BOK	Böschungsoberkante
BUK	Böschungsunterkante
Impulskraft	aus dem Wellenimpuls resultieren Kraft
mNHN	Normalhöhennull mNHN im Deutschen Haupthöhennetz (DHHN)
ProfilDOst, DOst	Zuordnungsabkürzung in der Auswertung für Profil D-Ost
ProfilDWMitte, DWestMitte	Zuordnungsabkürzung in der Auswertung für Profil D-West-Mitte
ProfilDWOst, DWestOst	Zuordnungsabkürzung in der Auswertung für Profil D-West-Ost
ProfilDWWest, DWestWest	Zuordnungsabkürzung in der Auswertung für Profil D-West-West
ProfilE	Zuordnungsabkürzung in der Auswertung für Profil E
WH	Wellenhöhe am Gegenufer vor Beeinflussung durch die Böschung
WSP	Wasserspiegel
WSP-Lagen	Wasserspiegellagen

Quellenverzeichnis

AST, 2020: Aufgabenstellung für Durchführung von Modellversuchen für den Wellenauflauf an den Böschungen des Knappensees infolge Rutschungen der Innenkippe, LMBV 11.03.2020, Projekt 712-051

Anlagenverzeichnis

Fotodokumentation	10 Seiten
Lagepläne	3 Seiten
Messprotokoll	3 Seiten

1 Einleitung

Die Inseln im Knappensee bestehen aus dem Abraum des ehemaligen Tagebaus. Vertiefende bodenkundliche Untersuchungen ergaben, dass die verkippten Massen aus locker gelagertem, zur Verflüssigung neigendem Sand bestehen. Zahlreiche Rutschungen, die bereits im aktiven Bergbau sowie während der Sanierungsarbeiten stattfanden, bestätigen die Verflüssigungsneigung des Materials. Aus der Rutschungsgefährdung folgt eine Gefährdung des Uferbereiches durch Schwallwellen. Diese Gefährdung durch den Wellenauflauf ist Gegenstand der hier vorliegenden Untersuchungen. Die Wellenauflaufhöhen infolge von Rutschungen wurden mit Formeln berechnet, welche für ebene Böschungen mit horizontaler Grundsohle und ohne Bermen gelten. Deshalb ist es für eine fundierte Aussage über den Wellenauflauf notwendig, die tatsächliche Ufergestaltung bei der Ermittlung der Welleneigenschaften in einem physikalischen Modell zu berücksichtigen. Die Ermittlung der Wellenhöhen am Entstehungsort sowie ihre Verringerung bis zum Auftreffen auf das Gegenufer sind nicht Gegenstand der Versuche.

2 Das gegenständliche Modell

Der Bau des Modells soll in erster Linie für hydraulische Versuchsreihen dienen und eine möglichst genaue Abbildung der Aufbausituation einer Schwallwelle auf die verschiedenen Uferprofile ermöglichen. Der Schwerpunkt liegt auf der detailgetreuen Abbildung der Uferbereiche des Knappensees mit seinen dazugehörigen hydraulisch wirksamen Komponenten, wie zum Beispiel die Böschungsneigungen, die Böschungsknickpunkte usw. Der aus der Aufgabenstellung abgeleitete Maßstab, wird in erster Linie durch die Umsetzung der hydraulischen Übertragbarkeit bestimmt. Die Modellierung des Knappensees erfolgte für den Zustand nach der Sanierung!

Jedes Modell muss ähnlich den Naturbedingungen sein. Dazu werden Modellgesetze definiert, welche diese Ähnlichkeit unter Berücksichtigung der physikalischen Prozesse beschreiben. Grundlage für das gegenständliche Modell des Knappensees ist das Froudeschen Ähnlichkeitsgesetz. Im Froudeschen Modell herrschen turbulente Strömungen vor, in denen die Verluste überwiegend auf internen Mischvorgängen beruhen. Die darin mitwirkenden Kräfte sind die Trägheit und die Schwere. Die Zähigkeitseinflüsse beschränken sich auf eine dünne

wandnahe Schicht und werden deshalb vernachlässigt. Das Froudesche Ähnlichkeitsgesetz besagt, dass die Froudezahl der Strömung in Natur und Modell gleich sein muss.

Der Übertragungsmaßstab aus der Natur zum Modell bestimmt die Größe des Modells. Für das Modell „Knappensee“ wurde ein Modellmaßstab von 1:20 festgelegt. Mit einer Länge von 250 m und einer Breite von 43 m ist das Modell 12,5 m x 2,15 m groß. Die aus dem Höhenmaßstab 1:20 sich ergebenden Wassertiefen, sind für die Übertragbarkeit der Modellergebnisse und die Einhaltung der Modellgesetze maßgeblich. Bei einer maximalen Wassertiefe von 4 m im See, ergibt sich eine Wassertiefe von 20 cm im Modell. Die Beibehaltung der Übertragungsgrenzen des Froudeschen Modells (Reynoldsgrenze) bleibt damit erhalten.

Das Froudsche Modell wird als ein nicht-überhöhtes Modell ausgeführt. Eine Überhöhung des Modells zur Vergrößerung der Wassertiefen würde zu einer Verzerrung der Wellenformen führen. Des Weiteren müssen im Wellenaufbaubereich die komplexen Strömungsbereiche nachgebildet werden. Überhöhte Modelle sind daher für Wellenuntersuchungen bei auftreten auf Böschungen ungeeignet.

Die Froudezahl für Natur und Modell wird wie folgt bestimmt:

$$Fr = \frac{v_N}{\sqrt{g \cdot l_N}} = \frac{v_M}{\sqrt{g \cdot l_M}}$$

Fr	Froudezahl	Index N	Natur
v	Geschwindigkeit [m/s]	Index M	Modell
g	Erdbeschleunigung [m/s ²]		
l	Längen [m]		

Die Festlegung des Übertragungsmaßstabes der Längen $M_L = 20$ erfolgte bereits in der Modellkonzeption. Hierbei wurden die räumlichen Verhältnisse und die realisierbaren maximalen Wellenhöhen beachtet. Aus dem Froudeschen Modellgesetz resultieren die nachfolgend aufgeführten wichtigsten Übertragungsverhältnisse:

Maßstab der Länge, Breite und Höhe

$$M_L = M_H = \frac{L_N}{L_M} = 20$$

L	Länge [m]	Index N	Natur
M _L ; M _H	Längen- Höhenmaßstab	Index M	Modell

Maßstab der Geschwindigkeit

$$M_v = M_L^{1/2} = \frac{v_N}{v_M} = 4.667$$

v	Geschwindigkeit [m/s]	Index N	Natur
M _v	Geschwindigkeitsmaßstab	Index M	Modell

Maßstab des Abflusses

$$M_Q = M_L^{5/2} = \frac{Q_N}{Q_M} = 1788.8$$

Q	Abfluss [m ³ /s]	Index N	Natur
M _Q	Abflussmaßstab	Index M	Modell

Für die Wellenerzeugung ist im Versuchsbecken ein Verdrängungskörper eingebaut worden, mit dem die in den Vorversuchen ermittelten Einzelwellen erzeugt wurden. Der Wasserkörper im Modell wird aus dem Ringkanal in der Halle 1 des Hydrolabor Schleusingen gespeist.

Abflüsse und Wasserspiegellagen

Nach der Vollfüllung des Wellenkanals wurde der stationäre Ruhewasserspiegel mittels einer Dosierpumpe eingestellt. Die Wasserspiegellage wurde mit einer Genauigkeit von 0,2 mm eingestellt, das entspricht einer *Genauigkeit von 4 mm in der Natur*. Durch die Dotierungspunkte unterhalb der Zwischenbodenkonstruktion im Becken des Modells ist die Vergleichmäßigung des Zuflusses auf die Uferprofile gewährleistet. Die Modellverluste während der Versuchszeiten wurden durch eine Sickerwasserführung aufgefangen und periodisch über eine Zirkulationspumpe zurückgeführt. Die einzustellenden Wasserspiegellagen sind:

- 126,00 m NHN (das ist das höchste Stauziel ZH)
- 125,50 m NHN (das ist das Stauziel ZS)
- 124,20 m NHN (das ist das Absenkziel ZA)

Lagemäßige Einordnung

Das Modell ist in drei Bereiche geteilt

Einlaufbereich zur Wellenerzeugung,

Ausbreitungsbereich der Welle mit konstanter Querschnittsgeometrie und

Wellenaufbauereich auf die modellierten Uferprofile.

Der Wellenkanal hat eine Breite von 2,15 m und bildet damit eine Uferbreite von 43 m ab.

Dem in der Halle befindlichen Festpunkt (FP) wurde eine Naturhöhenkote zugewiesen. Mit der Naturhöhe der Sohle im Ausbreitungsbereich der Welle wurde die Bezugshöhe des Nivellierbolzen des Modells auf $h_{FP} = 121,00$ m NHN festgelegt. Somit ergibt sich aus der Höhendifferenz des Modells (Höhe der maximalen Uferhöhe = 131,00 m NHN) ein Höhenunterschied von 10 m in der Natur und eine auf das Modell bezogene hydraulisch notwendige Höhe von 50 cm. Die Berandung des Modells wurde aus Siebdruckplatten, welche auf Querträgern ruhen, hergestellt. Die damit erreichte Höhe von 0,65 m über *Sohle Wellenkanal* stellt die Funktion des Modells auch bei starker hydraulischer Überlastung sicher. Als Höhensystem wurde das Deutsche Haupthöhennetz (DHHN) auf Normalhöhennull (m NHN) verwendet.

Modellbau

Die Uferabschnitte wurden entsprechend der Modellkonzeption profiliert. Das vom Auftraggeber übergebene Datenmaterial (Quer- und Längsschnitt) war dabei die Planungsgrundlage. Die Lage der Querprofile für die Modellierung wurde nach hydraulischen Gesichtspunkten festgelegt. Der Vergleich der Profile ist in Abbildung 2 zu sehen.

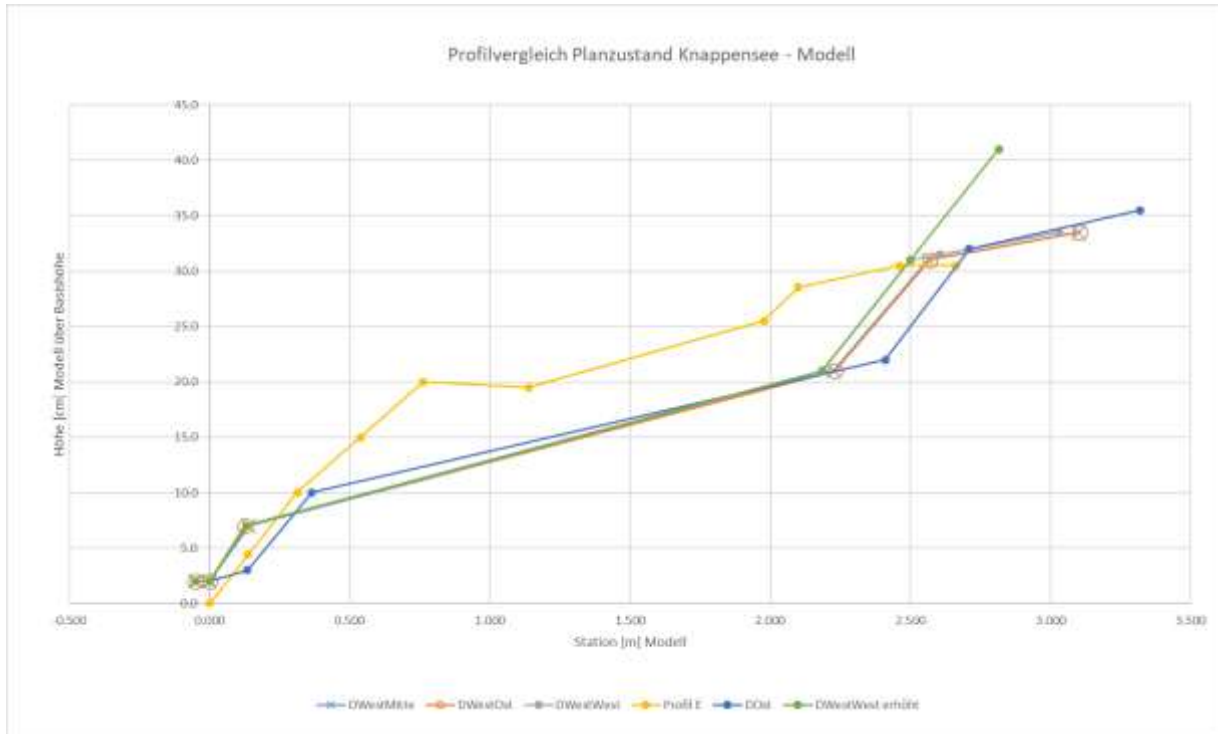


Abbildung 2: Profilvergleich der Uferbereiche im Planzustand

Für jedes Profil der Sanierungsbereiche D-West, D-Ost und Profil E wurde ein separates Grundmodell als Fertigteil zum Einbau in den Wellenkanal gebaut. Die Anpassung der D-West

Profile auf die unterschiedlichen Profilabschnitte (D-West-West, D-West-Mitte und D-West-Ost) erfolgte während des Umbaus. Im Modell wurden die Profile entsprechend dem geplanten sanierten Zustand hergestellt und eingebaut.

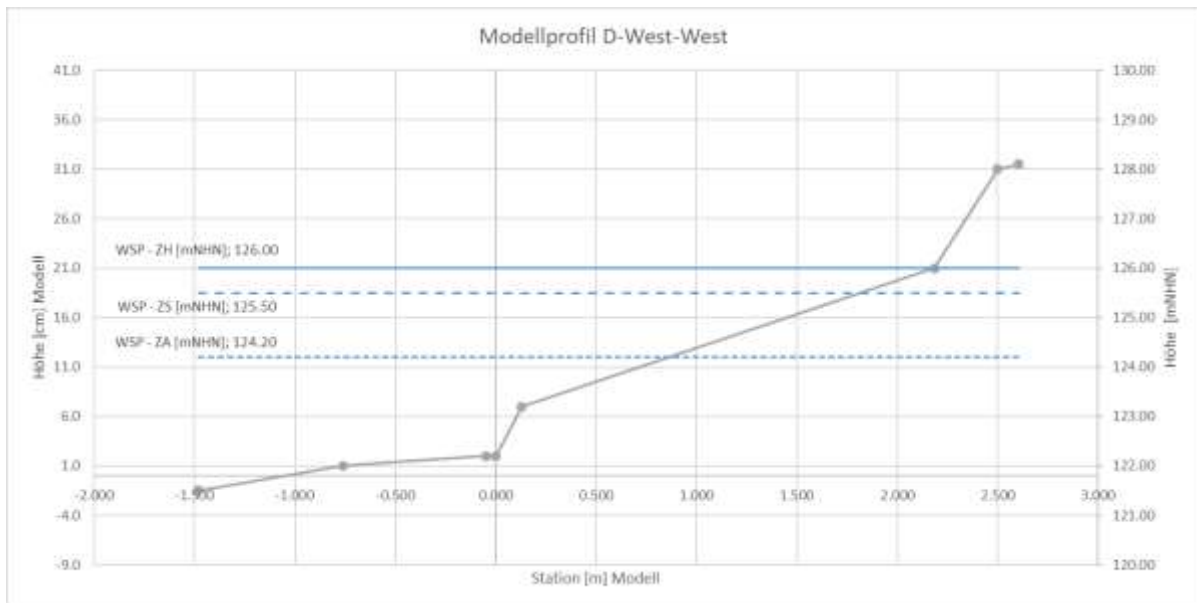


Abbildung 3: Modellprofil D-West-West mit Wasserspiegellagen

Die Station 0.000 m Modell (Abbildung 3) ist der Beginn des hergestellten Profils, die vorgelagerte flache Böschung wird jeweils nachträglich bei Fertigstellung der einzelnen Profile ergänzt.

Im vorhandenen Kanal wurde auf das Grundgerüst des Wellenkanals der Wellenerzeuger eingebaut (Abbildung 23). Die Querprofile der Ufer sind aus Verschleißbodenplatten paarweise verschraubt (Abbildung 25, Abbildung 26) und im Modell Lage- und Höhenkonform eingebaut (Abbildung 27) worden. Die Schließung der Oberfläche im Mittelteil erfolgte durch die Verplattung (Abbildung 28). Die Oberfläche wurde versiegelt. Zur Messung wurde eine profilabhängige Längsstationierung aufgetragen. Die Umrechnung der Stationierungsnullpunkte zwischen Modell und Natur ist in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Nullpunktverschiebung Modell - Natur

Profil	Station [km]	Station [m]
D-West-West	5+107	-4.80
D-West-Mitte	4+591	-0.30
D-West-Ost	4+446	1.50
D-Ost	2+975	-31.40
E	E17/2009	47.00

Messtechnik

Die Wasserspiegellagen, die Wellenhöhen, die Auflauflängen- und Auflauhöhen wurden mittels folgender Methoden bzw. Techniken aufgenommen:

- Stechpegel: Erfassung des statischen Ruhewasserspiegels am Beginn der Uferprofilierung
- Ultraschall-Doppler: Erfassung der Wellenhöhe und Wellenfortpflanzung an fünf Stationen innerhalb des Wellenkanals sowie des Ruhewasserstandes
- vertikale visuelle Aufnahme: Erfassung der Wellenausbreitung und -geschwindigkeit im Uferbereich
- geneigte visuelle Aufnahme: Erfassung der Wellenbrechung, Wellenhöhe, Wellengeschwindigkeit im Uferbereich
- horizontale visuelle Aufnahme: Erfassung der Wellenhöhe und Wellengeschwindigkeit an der Uferlinie und im Auflaufbereich der Wellen am Uferprofil

Messprogramm und Messziel

Das Messprogramm (Tabelle 2) berücksichtigt die verschiedenen Versuche entsprechend

- den Uferprofilen,
- den WSP-Höhen und den Wellenhöhen sowie
- mit den ggf. zusätzlichen Einbauten.

In der Versuchsnummerierung sind alle Vor- und Kalibrierungsversuche erfasst, auch wenn diese nicht zur Auswertung herangezogen wurden. Für die Versuche mit Buhnen (Profil D-West-West) wurden keine Geschwindigkeiten aufgenommen und damit keine weiteren Parameter bestimmt. Die hydraulische Wirkung und Wirksamkeit auf den Wellenauflauf im Profil D-West-west wurde aus der Videoanalyse ermittelt.

Das Messprogramm wurde während der Messdurchführung an die unterschiedlichen Versuche angepasst. Das betrifft insbesondere:

Schwellen

Zur Ermittlung der Wirkungsweise einer unter dem Wasserspiegel liegenden uferparallelen Schwelle wurde diese mit einer Höhe von 0,42 m und einer Breite von 0,42 m auf dem Uferprofil D-Ost bei Station 12,0 m (Achse der Schwelle) eingebaut (Abbildung 29), so dass die Oberkante der Schwelle eine Höhe von 125,20 m NHN erreichte und damit 30 cm bei einem Wasserspiegel von 125,50 m NHN bzw. 80 cm bei 126,00 m NHN überstaut wurde.

Worst-Case

In den „worst-case“-Versuchen wurde die maximale experimentell ermittelte Wellenaufbauhöhe mit der empirisch ermittelten Wellenaufbauhöhe verglichen. Dazu wurde im Profil D-West-West die Böschung (1:3,15) oberhalb des WSP-Lage 126,00 m NHN bis zur Höhe 131,00 m NHN verlängert (Abbildung 30).

Wellenumlenker

Bei der Überspülung des Betriebsweges (Impulsbelastung auf Objekte) wurde die Funktionsweise eines konkaven Wellenumlenkers am seeseitigen Rand des Betriebsweges untersucht. Im Profil D-West-West wurde ein 24 cm hoher Umlenker (Monolithisch) mit konkaver Seitenausformung der Anströmseite eingebaut (Abbildung 31). Die konkave Form des Wellenbrechers soll nicht das Überspülen des Betriebsweges verhindern, sondern als Impulsbrecher dienen. Konkave Wellenbrecher und -umlenker aus Formteilen sind im Talsperrenbau zur Sicherung der Überflutung aus windinduzierten Wellenaufläufen gebräuchlich; im Küstenschutz werden oftmals Natursteinpackungen aber auch künstliche Objekte verwendet (Tetrapoden, Dolosse, uferparallele Holzpalisaden).

Schilfgürtel

Die Modellübertragung des geplanten Schilfgürtels mit einer Breite von 7,5 m entlang der Uferlinie ist im Modell nur durch Anpassung der Modellgesetze möglich. Der Froude-Maßstab 1:20 mit der kumulativen Zusammenziehung des Schilfes auf eine Linie ergab eine zu hohe Modellfestigkeit des Schilfgürtels. Erst durch Anpassung des Schilfmaßstabes an die Impulskraft der Modellwelle ermöglichte die modelltechnische Abbildung des Schilfgürtels. In der Maßstabsanpassung des Halmwiderstandes des Schilfs wurden die statischen und dynamische Maßstabeffekte ausgeglichen und die dynamische Überhöhung berücksichtigt. Der Schilfgürtel im Modell wurde aus einer ultraleichten Sperrbarriere mit 2,0 m Höhe (Abbildung 32) und auf der gesamten Modellbreite mit 10 Widerstandsstäben (Durchmesser 0,8 mm) aufgebaut (Abbildung 33). Die Widerstandskraft der vordersten Modellfront ist damit statisch zu hoch ausgelegt, aber für die Wirkungsweise des gesamten Schilfgürtels entspricht das Modell der Übertragung aus der Naturausführung.

Buhnen

Die Versuche mit Buhneneinbauten (Profil D-West-West) wurden aufgrund der Lage und Wirkungsweise der Buhnen nicht im Einzelversuch ausgewertet. Auf dem Profil entstehen an jeder Uferstelle unterschiedliche Belastungen.

Für das Profil D-West-West sind vier Buhnenformen und -Größen eingebaut worden. Der Buhnenabstand untereinander ergibt sich aus der Buhnenlänge und der Auslenkung (30°):

- Buhne 0,60 m: Es wurde eine neigungsparallele Buhne mit 20 m Länge und 0,60 m Höhe auf dem Profil D-West-West mittig der Wasserspiegellinie 125,50 m unter einem Winkel von 30° Ablenkung zum Längsprofil eingebaut.
- Buhne 1,00 m: Die Buhnen wurden auf einer Gesamthöhe von 1,0 m über Profil erhöht, bei Beibehaltung von Lage und Ort.
- verlängerte Buhne 1,0 m: Die Buhne wurde auf 25 m Gesamtlänge in die oberhalb 126,00 m NHN liegende Böschung mit 1,0 m Buhnenhöhe über WSP-Lage 125,50 m NHN verlängert und verschoben (Abbildung 34).
- aufgelöste Buhnen 1,0 m: Die verlängerten Buhnen wurden in 5 m Abschnitte und Beibehaltung von Lage und Höhe (Abbildung 35) unterbrochen.

Tabelle 2: Modelluntersuchungen Knappensee – Messprogramm der ausgewerteten Versuche

Profil	WSP Höhe	Wellenhöhe am Gegenufer	Anzahl der ausgewerteten Versuche		
D-West-West	126,00 m NHN	1,08 m	3		
	125,50 m NHN	1,07 m	3		
	124,20 m NHN	0,87 m	3		
D-West-Mitte	126,00 m NHN	0,87 m	3		
	125,50 m NHN	1,01 m	3		
	124,20 m NHN	0,63 m	3		
D-West-Ost	126,00 m NHN	0,58 m	3		
	125,50 m NHN	0,56 m	3		
	124,20 m NHN	0,74 m	3		
D-Ost	126,00 m NHN	0,27 m	3		
	125,50 m NHN	0,28 m	3		
	124,20 m NHN	0,29 m	3		
E	126,00 m NHN	0,43 m	3		
	125,50 m NHN	0,42 m	3		
	124,20 m NHN	0,52 m	3		
D-Ost - Schwelle	126,00 m NHN	1,08 m	2		
		0,78 m	2		
		0,58 m	2		
		0,27 m	2		
	125,50 m NHN	1,07 m	2		
		1,01 m	2		
		0,56 m	2		
		0,28 m	2		
D-West-West		- worst-case Betrachtung	126,00 m NHN	1,08 m	3
		- konkaver Umlenker	126,00 m NHN	1,08 m	3
		- Schilf	126,00 m NHN	1,08 m	1
			125,50 m NHN	1,07 m	1
			124,20 m NHN	0,87 m	1
D-West-West		- Buhnen 0,60 m	126,00 m NHN	1,08 m	3
		- Buhnen 1,0 m	126,00 m NHN	1,08 m	3
			125,50 m NHN	1,07 m	3
			124,20 m NHN	0,87 m	3
			126,00 m NHN	1,08 m	3
		- verlängerte Buhnen 1,0 m	125,50 m NHN	1,07 m	3
			124,20 m NHN	0,87 m	3
			- aufgelöste Buhnen 1,0 m	126,00 m NHN	1,08 m
		125,50 m NHN		1,07 m	3
		124,20 m NHN		0,87 m	3

3 Auswertung

3.1 Grundlagen

Für die Versuchsauswertung wurden folgende Parameter verwendet:

- Wellengeschwindigkeiten,
- Wellenbrechung,
- Wellenhöhe,
- Wellenaufauflänge und
- Wellenaufauflhöhe.

Die Wellengeschwindigkeit (Wellenfront) wurde aus der Zeitschrittanalyse der Videodateien ermittelt, die Wellenhöhe aus der Differenzmessung zwischen dem Ruhewasserspiegel und dem Wellenpeak bzw. der Wellenhöhe über Profilssole. Die Wellenaufauflänge wurde durch die Stationierung auf dem Modellprofil erfasst und ergibt damit auch die Wellenaufauflhöhe. Die Wasserspiegellinie und die Lage des Brechungsbereichs wurden ebenfalls erfasst.

Die Berechnung des Abflusses (bewegte Wassermenge im eindimensionalen ebenen Modell) der Welle erfolgt nach

$$Q = v \cdot h \quad (1)$$

- v Wellengeschwindigkeit [m/s]
- h Wellenhöhe [m]
- Q Abfluss [m²/s].

Der Impuls der Welle wird durch

$$I = v^2 \cdot h \quad (2)$$

- v Wellengeschwindigkeit [m/s]
- h Wellenhöhe [m]
- I Impuls [m³/s²] definiert.

Die Energie der Welle ist nachfolgend

$$E = v^3 \cdot h \quad (3)$$

- v Wellengeschwindigkeit [m/s]
- h Wellenhöhe [m]
- I Energie [m⁴/s³].

Die Berechnung des Impulses zur Ermittlung der Einwirkung auf Personen bzw. Objekte im Uferbereich ergibt sich mit der Wasserdichte $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ nach (1)

$$I = v^2 \cdot h \cdot \rho \text{ [kN/m]} \quad (4)$$

Mit einer Uferbreite von $b = 1 \text{ m}$ ergibt sich damit eine Impulskraft

$$F_I = I \cdot b \quad (5)$$

F_I Impulskraft [kN]

Diese Impulskraft wirkt auf ein Objekt welches mit der Wellenhöhe h und einer Breite von 1 m an der entsprechenden Uferstationierung belastet wird. Bei einer geringeren Breite reduziert sich die Impulskraft äquivalent.

In der Tabelle 3 und der Abbildung 4 sind die Eingangsgrößen der Versuche sowie die tabellarische und grafische Auswertung beispielhaft angezeigt. Das untersuchte Profil mit Stationierung im Planzustand (Endzustand) sowie die Höhenlage und die Ruhewasserspiegellage sind ebenfalls in der Tabelle enthalten. Die Impulsauswertung wird durch den Vergleich der Einzelversuche untereinander und die Entwicklung im Bezug zum Ruhewasserspiegel und Uferlinie dargestellt.

- In der 1. Phase sind dabei die fünf Uferprofile mit den jeweiligen WSP-Lagen dargestellt.
- Die 2. Phase stellt die Ergebnisse der Profile mit Einbauten oder Veränderungen bei unterschiedlichen WSP-Lagen dar.
- In der 3. Phase erfolgt die Kreuzauswertung der unbeeinflussten Profile mit den Profilen mit Einbauten bzw. Veränderungen.

Die Abweichung (10 cm Naturwert entspricht 0,5 cm Modellwert) der Stationierungen zwischen „Geschwindigkeit“ und „Wellenhöhe“ in der Tabelle 3 resultiert aus dem Auswertungsalgorithmus. Für jede weitere Betrachtung (Risiko) sind nur die Stationierungen der Wellenhöhe und den daraus abgeleiteten Parametern maßgebend.

Tabelle 3: Versuch M204 - Tabellarische Auswertung Versuch D-West-West mit WSP 126,00 m NHN und 1,08 m Wellenhöhe

Profil:	D	West	West	Geschwindigkeits-, Impuls- und Energiediagramm													
WSP		126.00	[mNHN]														
Versuchsnummer	M	204		DWestWest 126.00mNHN - Versuch M 204 - Natur													
Wellenhöhe		1.08	[m]	Einbauten:	keine												
Wellenaufbauhöhe max.	Station	49.20	[m]	Bemerkung:	Modellende überspült												
Stationierung Geschw. [m]	27.00	30.00	31.70	34.00	36.50	38.70	41.20	43.70	45.70	46.70	48.20						
Geschwindigkeit [km/h]	41.4	24.1	11.5	41.4	16.1	34.5	23.0	34.5	10.1	11.5	11.5						
Station [m]	27.00	31.80	41.20	43.80	46.80												
Wellenhöhe über Sohle [m]	1.79	1.46	0.32	0.26	0.16												
Abfluss 204 [m ² /s]	20.57	4.65	2.04	2.49	0.51												
Impuls 204 [m ³ /s ²]	236.6	14.8	13.1	23.9	1.6												

Geschwindigkeits-, Impuls- und Energiediagramm DWestWest 126.00mNHN - Versuch M 204 - Natur

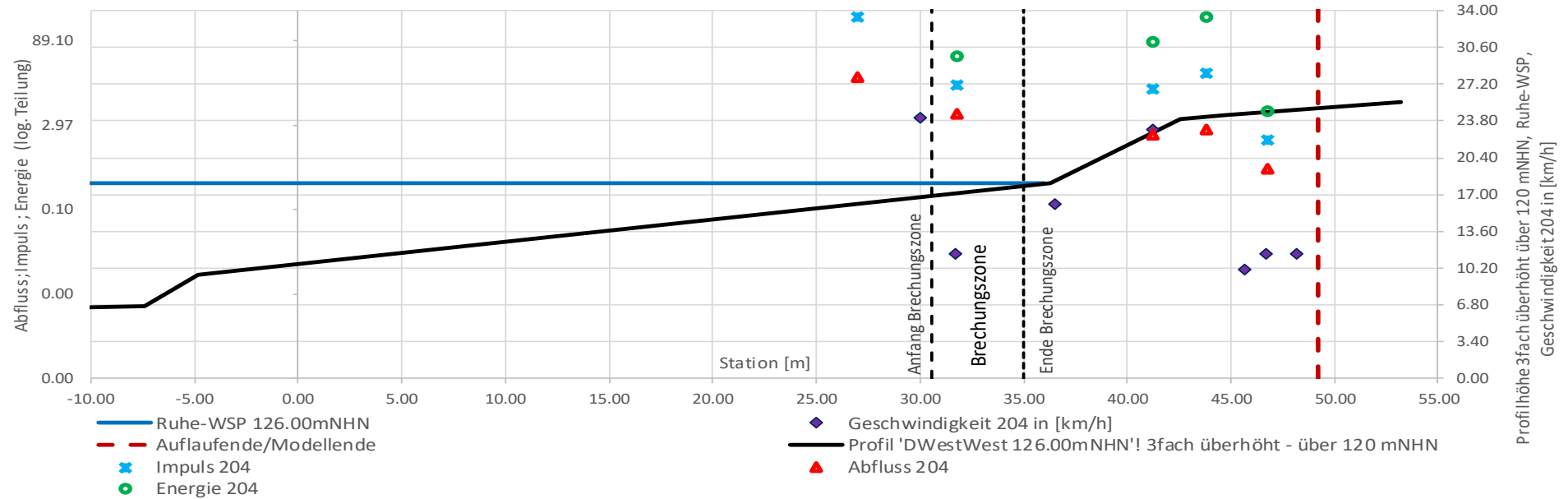


Abbildung 4: Profil D-West-West Versuch M204 – grafische Auswertung

3.2 Auswertung Impulskraft

Phase 1 - Uferprofilen ohne Einbauten

Die Impulsentwicklung beim Auflaufen der Welle auf das Uferprofil lassen sich in verschiedene Bereiche unterteilen. Vor Erreichen der Brechungszone ist eine intakte Welle vorhanden (Abbildung 36), die sich mit ihrer Geschwindigkeit gleichmäßig auf der Böschung vorwärtsbewegt. Dabei wird die Welle durch den flachen Uferabschnitt leicht abgebremst und die Wellenfront wird steiler (Abbildung 37). Nach dem Erreichen einer senkrechten Wellenfront erfolgt die Brechung mit Ausbildung eines zuschlagenden „Tunnels“ (Abbildung 38; Abbildung 39) und dem Herausstoßen des Wellenkeils (Abbildung 40). Dieser wird aus dem zusammenfallenden Wellentunnel beschleunigt. Der Brechungsprozess in der Brechungszone ist ein hochturbulenter Prozess. Der austretende Wasserkeil besteht aus einem Wasser-Luftgemisch mit reduzierter Dichte. Die Wellenfront des Brechungskeils wird durch das Gelände und ggf. Einbauten abgebremst und läuft dann auf dem Ufer aus (Geschwindigkeitsreduzierung und Abbau der Schwallhöhe). Die aufgeführten Impulskräfte sind entsprechend der Aufgabenstellung ab Uferlinie Ruhewasserstand ausgewiesen.

Die maximal auftretenden Impulsbelastungen, resultierend aus den größten Wellenhöhen, sind im Profil D-West-West zu verzeichnen. Die auf das Ufer auflaufende Welle bei der WSP-Höhe von 125,50 m NHN ist mit 1,07 m praktisch identisch mit der Wellenhöhe von 1,08 m (WSP 126,00 m NHN).

Die gemessenen Impulskräfte für 125,50 m NHN WSP sind aber deutlich größer als bei WSP 126,00 m NHN (Abbildung 5). Diese Unterschiede sind bedingt durch die Lage der Uferlinie, der Brechungszone und im Lagebezug zur steilen Uferböschung. Bei der WSP-Lage 126,00 m NHN wird die gebrochene Welle unmittelbar in die steile Böschung hinein transportiert. Es entsteht ein Rückstau mit Geschwindigkeits- und Impulsreduzierung.

Bei der WSP-Lage 125,50 m NHN kann sich die gebrochene Welle auf dem flachen Uferprofil (Böschungsneigung 1:15) vollständig ausbreiten und wird erst nach einer Lauflänge von 7,5 m durch die steile Böschung umgelenkt und abgemindert. Am Beginn der steilen Böschung sind die Impulskräfte annähernd gleich groß (20 kN bis 10 kN) und reduzieren sich am Böschungsende auf kleiner 5 kN. Bei der WSP-Lage 124,20 m NHN sind nach der Brechung maximale Belastungen von 25 kN bis 15 kN gemessen worden, diese verringern sich auf einer Lauflänge von 15 m auf 2 kN.

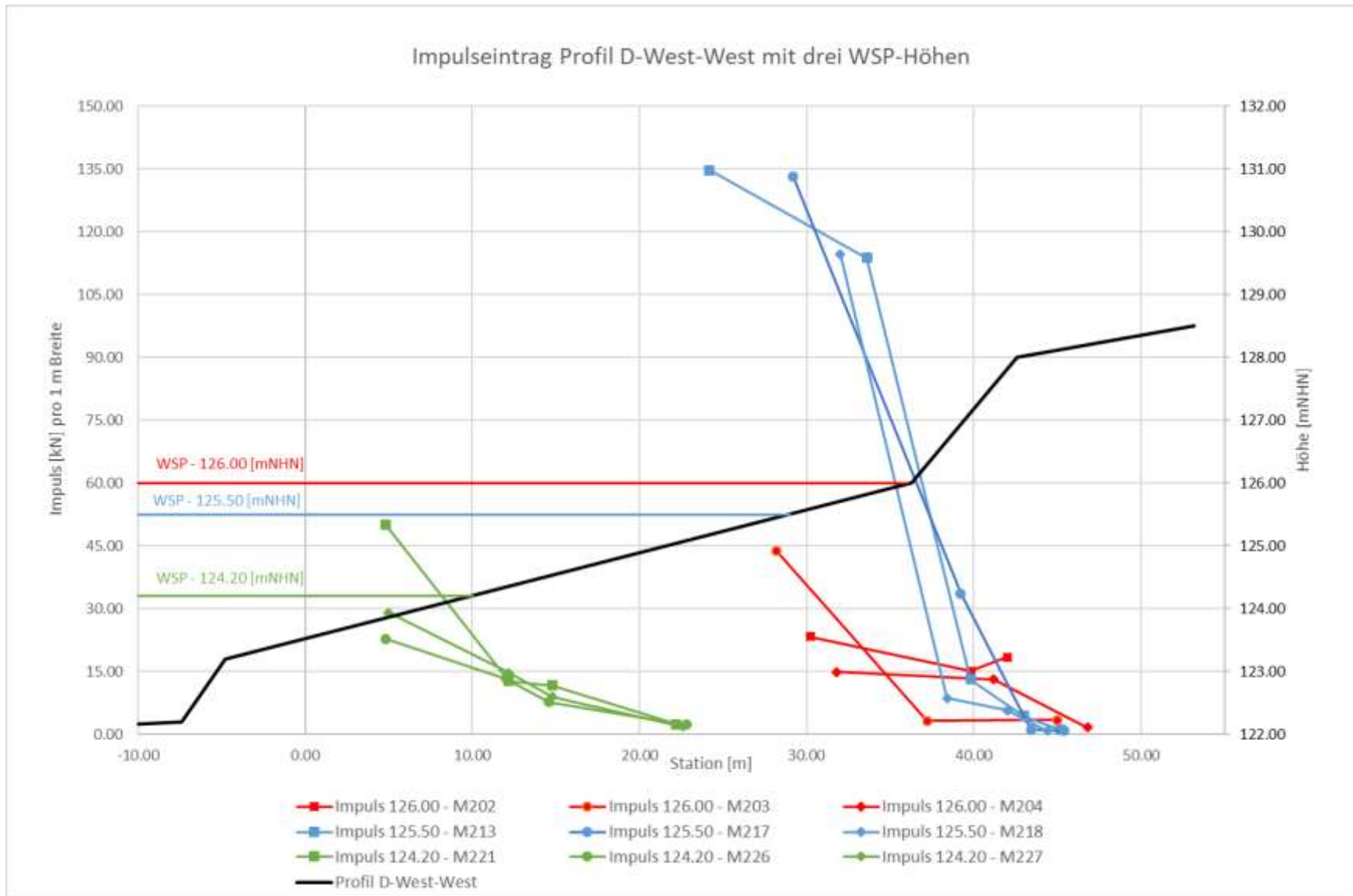


Abbildung 5: Impuls Profil D-West-West

Da die Profile D-West-Mitte und D-West-Ost sich in Böschungsneigungen und Geländeknickpunkten nur minimal unterscheiden, ist das hydraulische Verhalten der auflaufenden Welle weitgehend ähnlich, die Belastungsunterschied resultieren nur aus den veränderten Wellenhöhen.

Für das Profil D-West-Mitte (Abbildung 6) betragen die maximalen Belastungen bei WSP 125,50 m NHN (bei einer deutlich größeren Wellenhöhe von 1,01 m gegenüber den anderen WSP-Lagen) 65 kN bis 90 kN, bei 126,00 m NHN zwischen 5 kN und 23 kN (WH 0,78 m) und bei einem Ruhewasserstand von 124,20 m NHN zwischen 34 kN und 15 kN (WH 0,63 m).

Während der Messung beim WSP von 126,00 m NHN trat eine große Streuung der Messwerte in der Brechungszone auf; da es sich um eine Risikoanalyse handelt ist auf die Eliminierung vom Messausreißern verzichtet wurden.

Für das Profil D-West-Ost (Abbildung 7) betragen die maximalen Belastungen bei WSP 125,50 m NHN (bei einer Wellenhöhe von 0,56 m) 5 kN bis 10 kN, bei 126,00 m NHN zwischen 23 kN und 13 kN (WH 0,58 m) und bei einem Ruhewasserstand von 124,20 m NHN zwischen 10 kN und 20 kN (WH 0,74 m).

Die maximalen Belastungen für das Profil D-Ost (Abbildung 8) bei einem WSP von 126,00 m NHN und einer Wellenhöhe von 0,27 m beträgt 2 kN, bei dem WSP von 125,50 m NHN und einer WH von 0,28 m betragen die Impulskräfte 3 kN bis 6 kN und bei dem Ruhewasserspiegel von 124,20 m NHN 2,5 kN bis 5 kN (WH 0,29 m).

Das Profil E mit seiner wesentlich anderen Geometrie gegenüber den D-Profilen hat ein anderes hydraulisches Verhalten.

Bei einer WSP-Höhe von 124,20 m NHN (WH 0,52 m) kommt es zu keiner Wellenbrechung, da die Uferlinie sich im anfänglichen Steilstück befindet. Der Wellenschwall wird nur auf den flachen Uferbereich transportiert und läuft dort aus. Die maximale Impulskraft beträgt 2 kN. Mit der Brechung der Welle auf dem flachen Uferabschnitt bei WSP-Lage 125,50 m NHN (WH 0,42 m) beträgt die Impulskraft der Welle 3 kN bis 5 kN und bei 126,00 m NHN (WH 0,43 m) zwischen 5,5 kN und 10,5 kN.

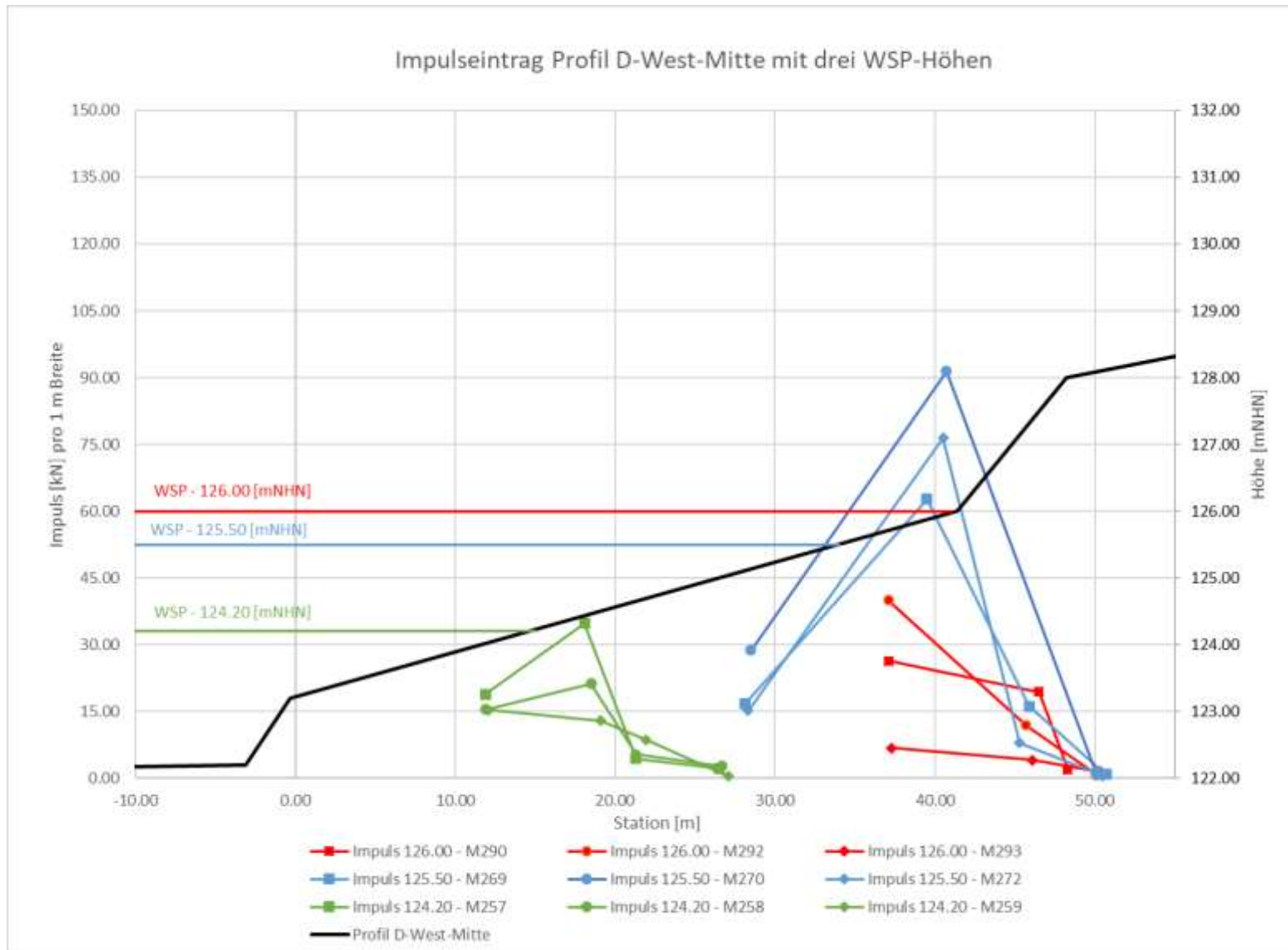


Abbildung 6: Impuls D-West-Mitte

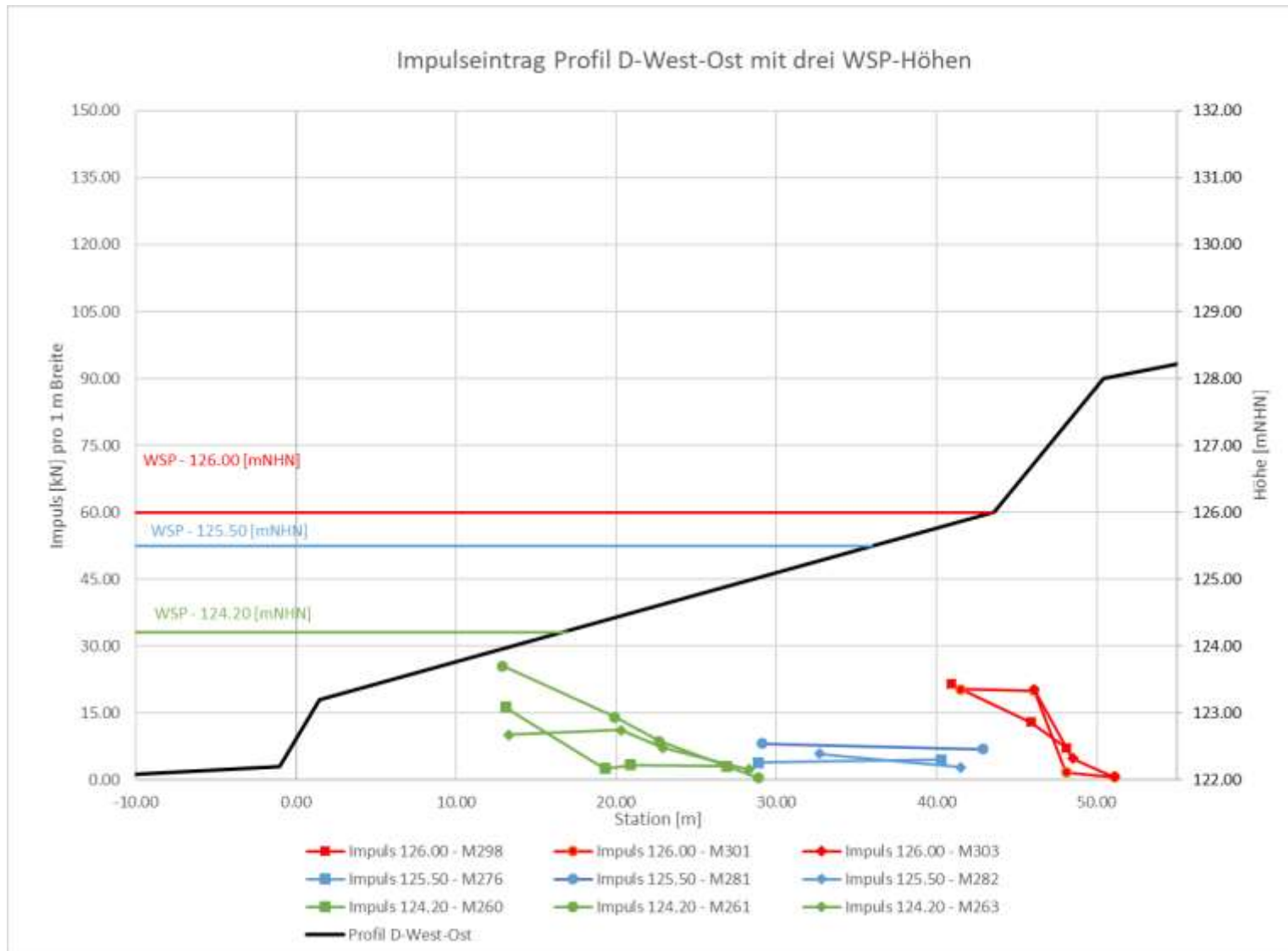


Abbildung 7: Impuls Profil D-West-Ost

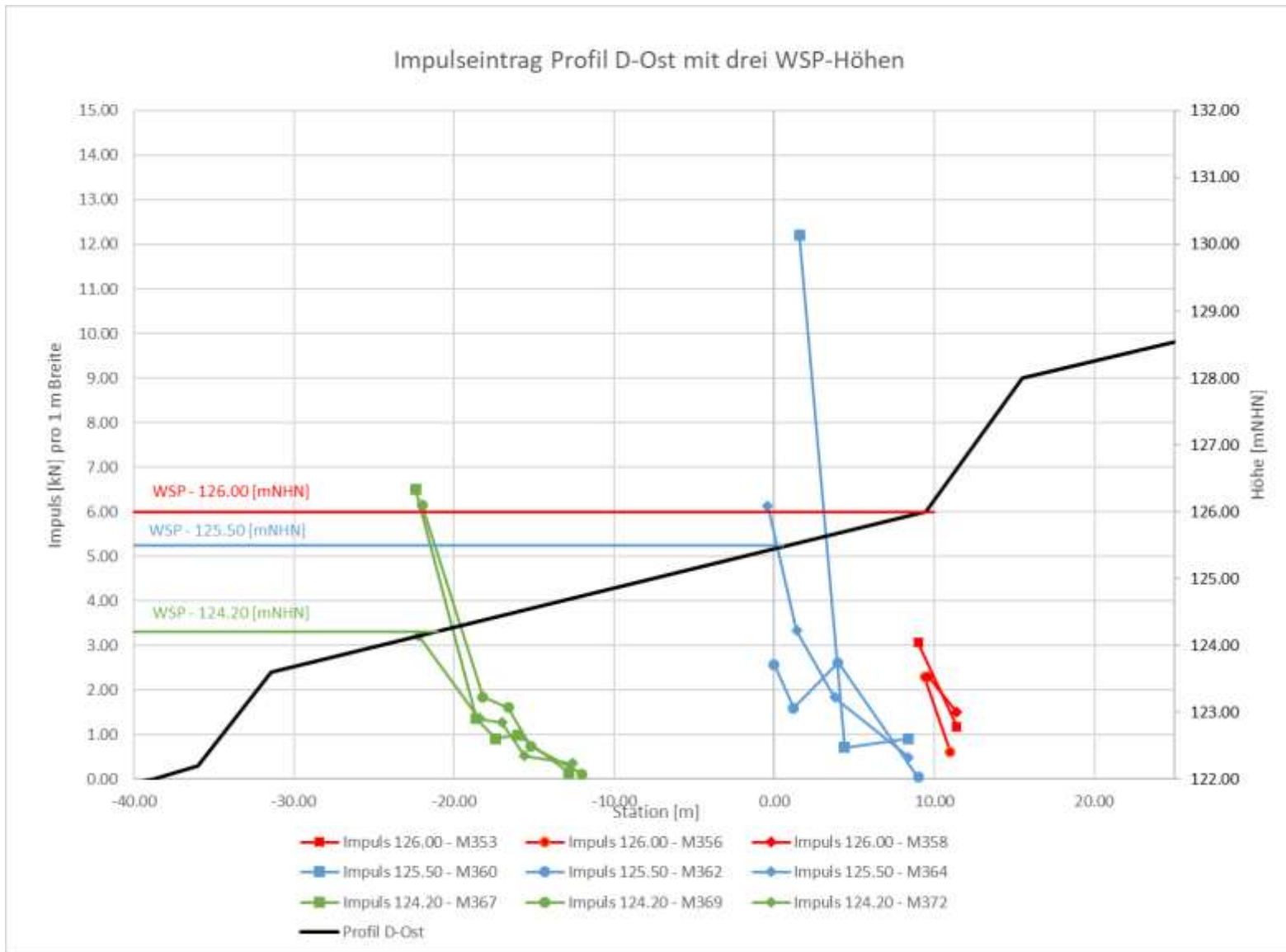


Abbildung 8: Impuls Profil D-Ost

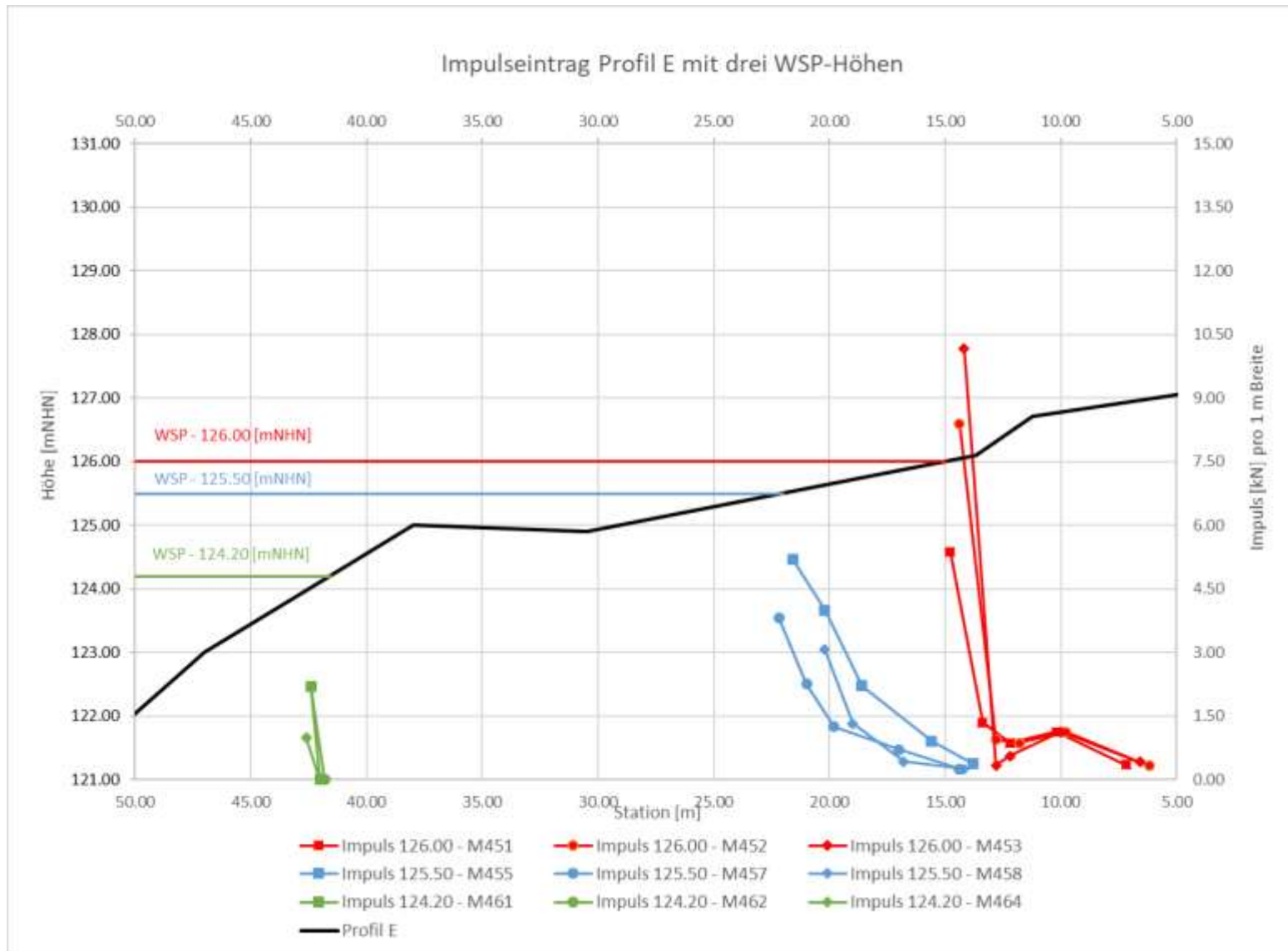


Abbildung 9: Impuls Profil E

Phase 2 - Uferprofilen mit Einbauten

Die betrachteten Uferprofile in dieser Untersuchungsphase wurden durch zusätzliche Maßnahmen zur Änderung des Energieeintrages auf der Böschung verändert. Durch die Ähnlichkeit der Uferprofile D-West und D-Ost sind die gewonnenen Ergebnisse entsprechend übertragbar (Abbildung 10).

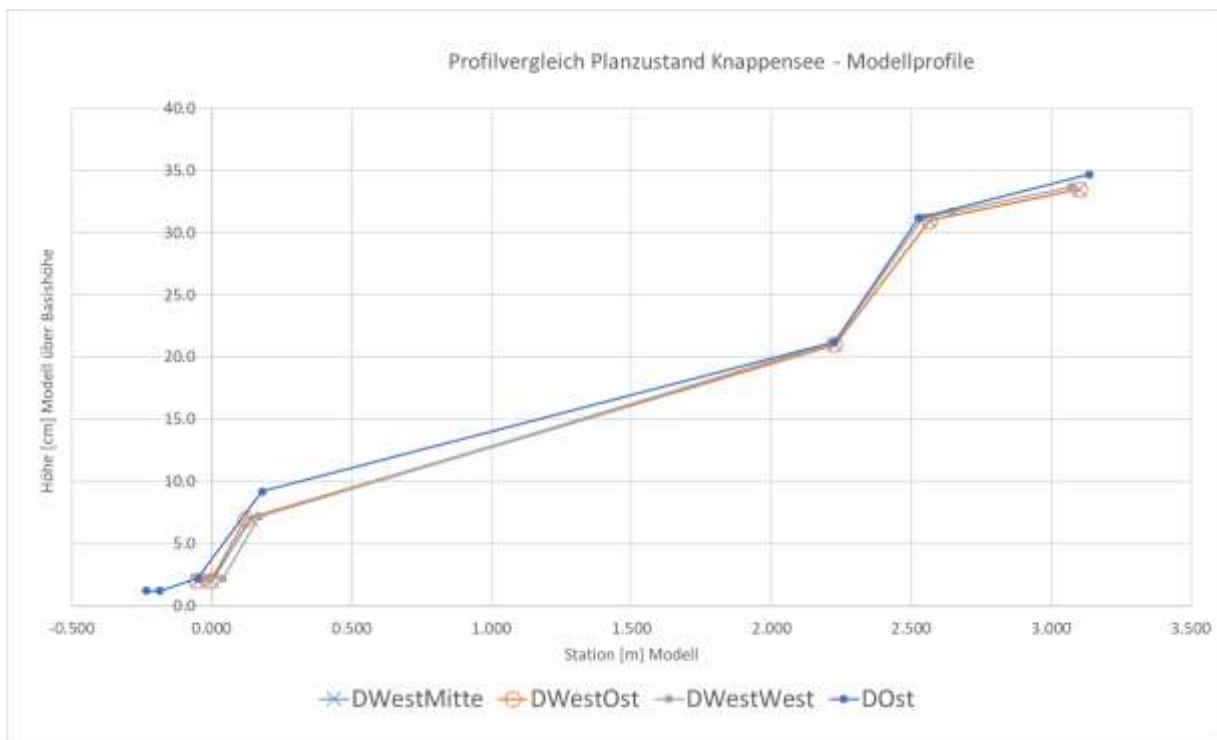


Abbildung 10: Vergleich der Profile D-West und D-Ost bei Beibehaltung Knickpunkt flache Böschung 1:15 mit steiler Böschung 1:3

Das Profil E darf wegen der Nutzung als Badestrand nicht durch den Einbau von Wellenbrechern oder ähnliches verändert werden. Um die maximale Wirkung der konstruktiven Veränderungen nachzuvollziehen, wurden deshalb die Parameter des Profils D-West-West auf das Profil D-Ost angewandt (höchste Wellenhöhe). Diese konstruktiven Veränderungen bestehen aus folgenden Umbauten:

- Schwellen

Die Belastung des Profils D-Ost bei der WSP-Lage 126,00 m NHN und der Wellenhöhe 1.08 m (aus D-West-West) beträgt maximal 70 kN. Bei abnehmender Wellenhöhe reduzieren sich die Belastung (Abbildung 11). Im Vergleich mit und ohne Schwelle sind keine maßgeblichen Veränderungen sichtbar (Abbildung 12), auch wenn die max. Impulskraft im Versuch 411 um

ca. 10 kN über dem Maximum der Versuche ohne Schwelle lagen. bei der hohen Turbulenz unmittelbar nach der Brechungszone sind Abweichungen von 15 % erwartbar.

Bei der Wellenbelastung des Profil D-Ost mit der Wellenhöhe 0,27 m und dem WSP 126,00 m NHN tritt eine Impulskraft von ca. 2,5 kN auf. Im Vergleich ohne Schwelle wurde eine Kraft von 5 kN ermittelt (Abbildung 13). Ein ähnliches Bild ergibt sich bei dem WSP 125,50 m NHN. Hier wurde eine Reduzierung von 6 kN bis 12 kN (ohne Schwelle) auf 4 kN bis 9 kN gemessen (Abbildung 15). Eine Übersicht für diese WSP-Lage für verschiedene Wellenhöhen ist in Abbildung 14 aufgeführt.

Aus der Versuchsbeobachtung ist eine minimale Verzögerung im ansteigenden Wellenberg beim Überlaufen der Schwelle mit nachfolgendem Zusammenschluss des Wellenkörpers erkennbar.

Fazit:

Die hydraulische Wirkung der Schwellen ist vorhanden, allerdings ist diese gering. Für eine höhere Wirkung muss diese uferlinienparallele Schwelle deutlich erhöht werden, was eine praktische Verbauung des Ufers bedeutet, welche nur mit sehr hohem Aufwand durchzuführen ist.

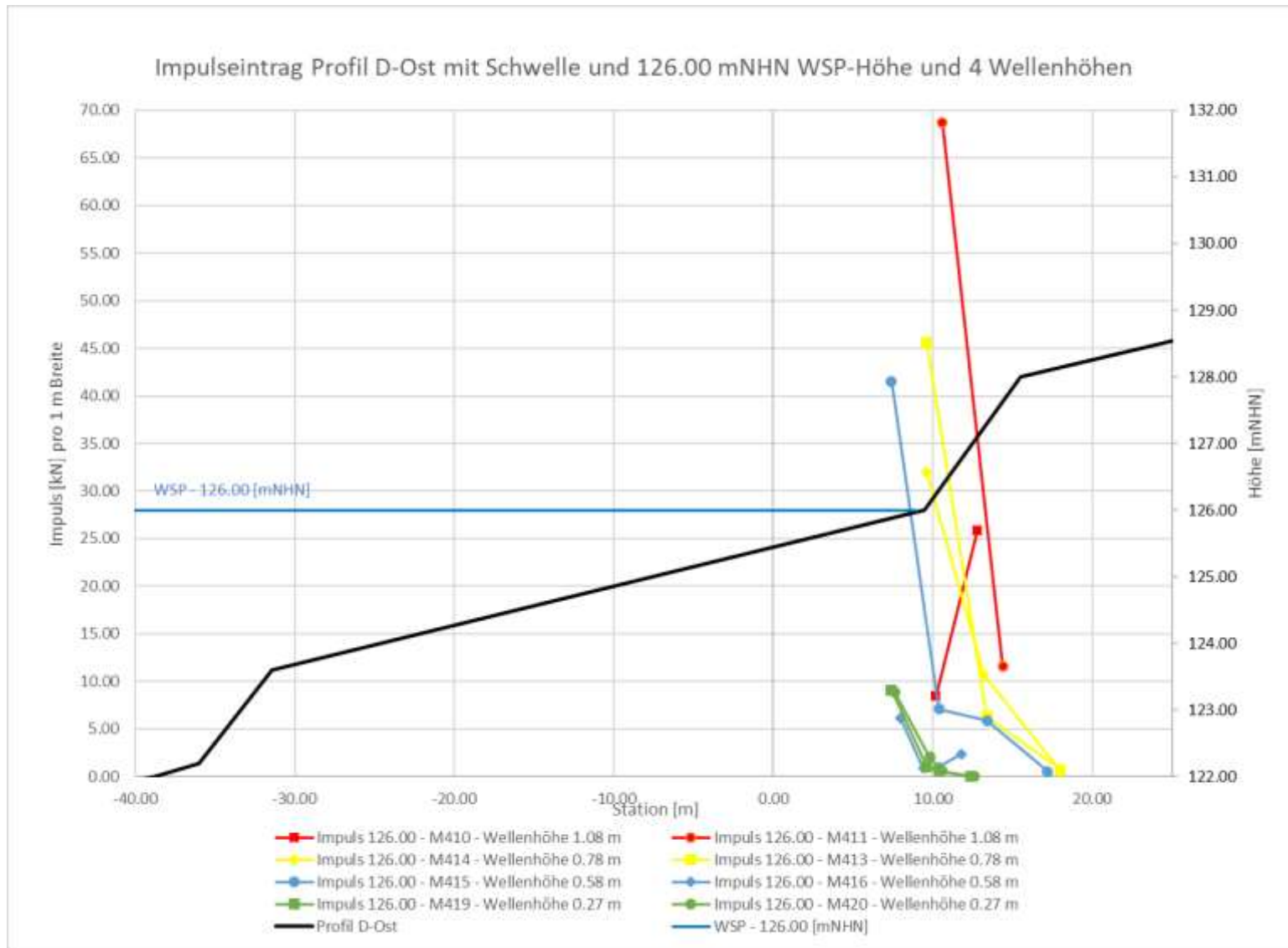


Abbildung 11: Impulsbelastung Profil D-Ost mit Schwelle – WSP 126,00 m NHN

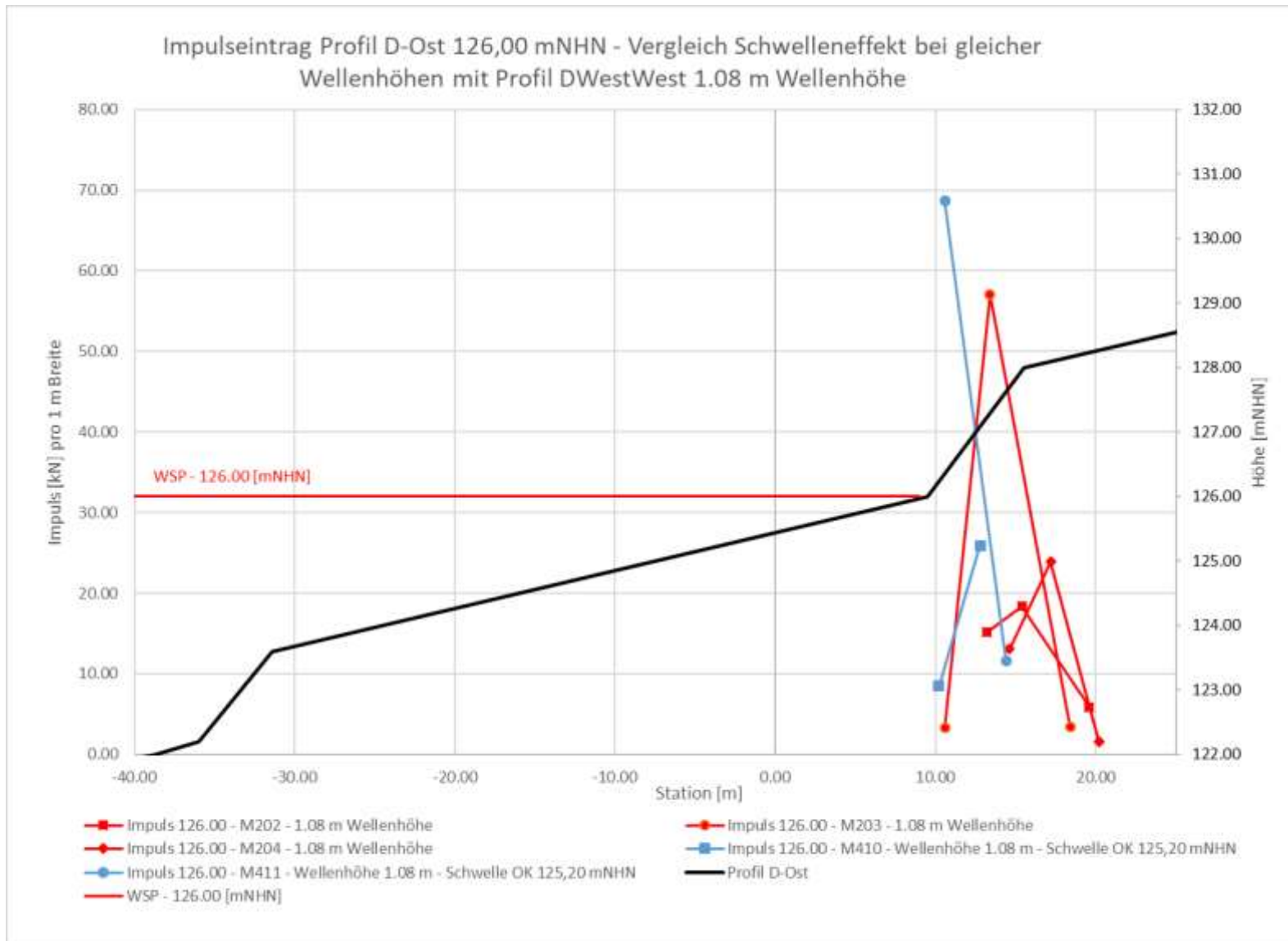


Abbildung 12: Impulsvergleich Wellenhöhe D-West-West 1,08 m mit und ohne Schwellen

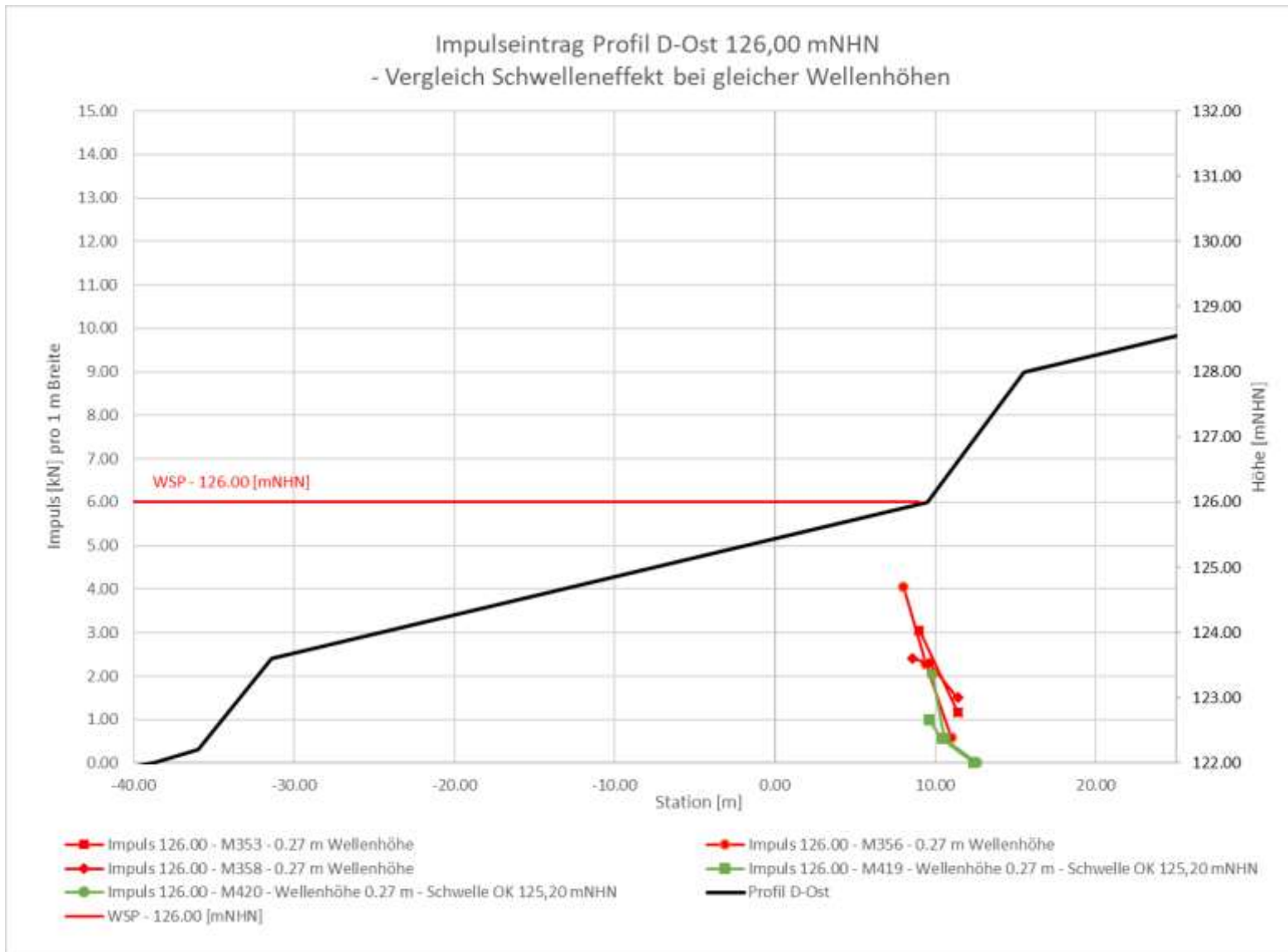


Abbildung 13: Vergleich Impulsbelastung WSP 126,00 m NHN Profil D-Ost mit und ohne Schwelle

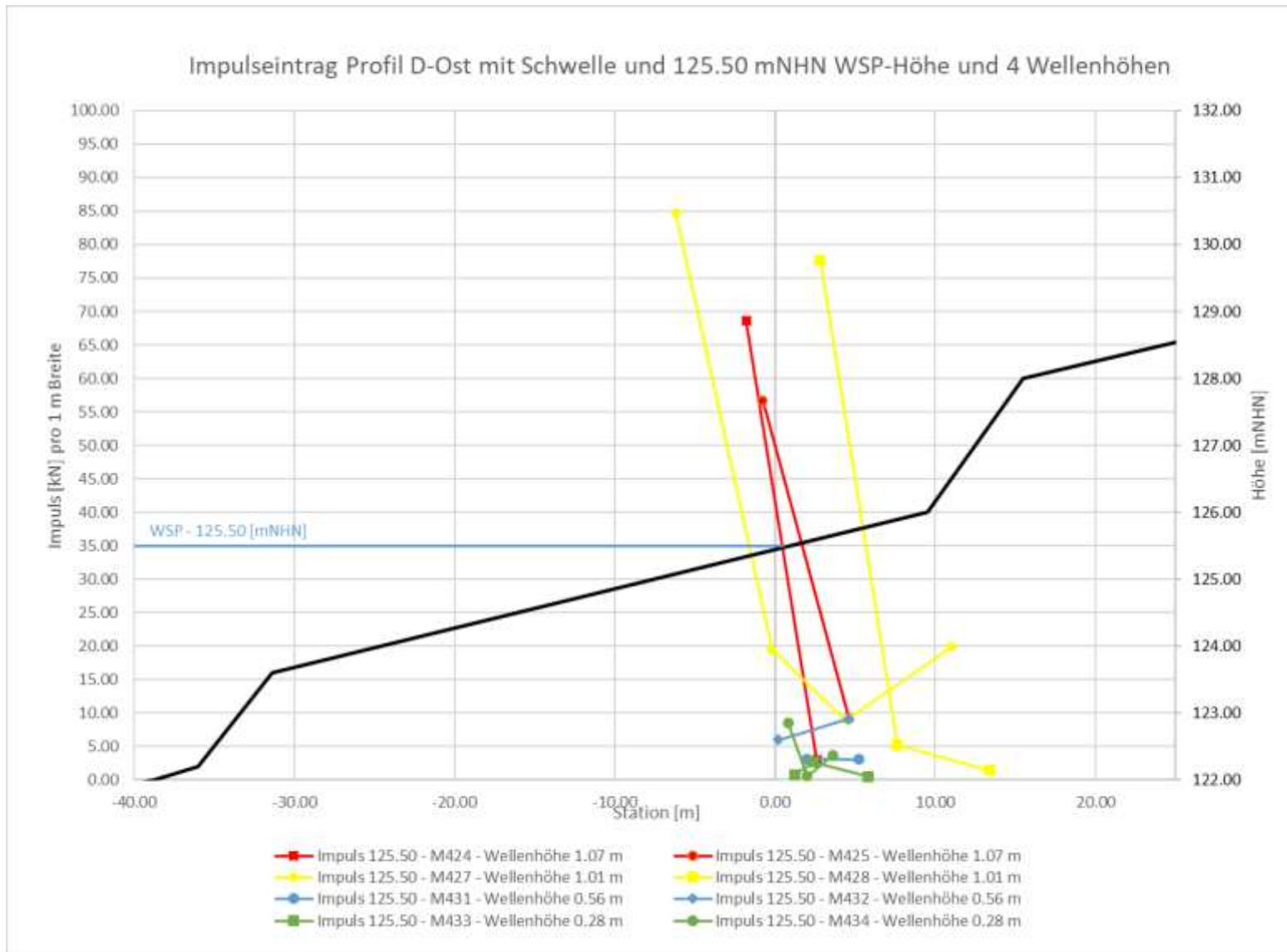


Abbildung 14: Impulsbelastung Profil D-Ost mit Schwelle – WSP 125,50 m NHN

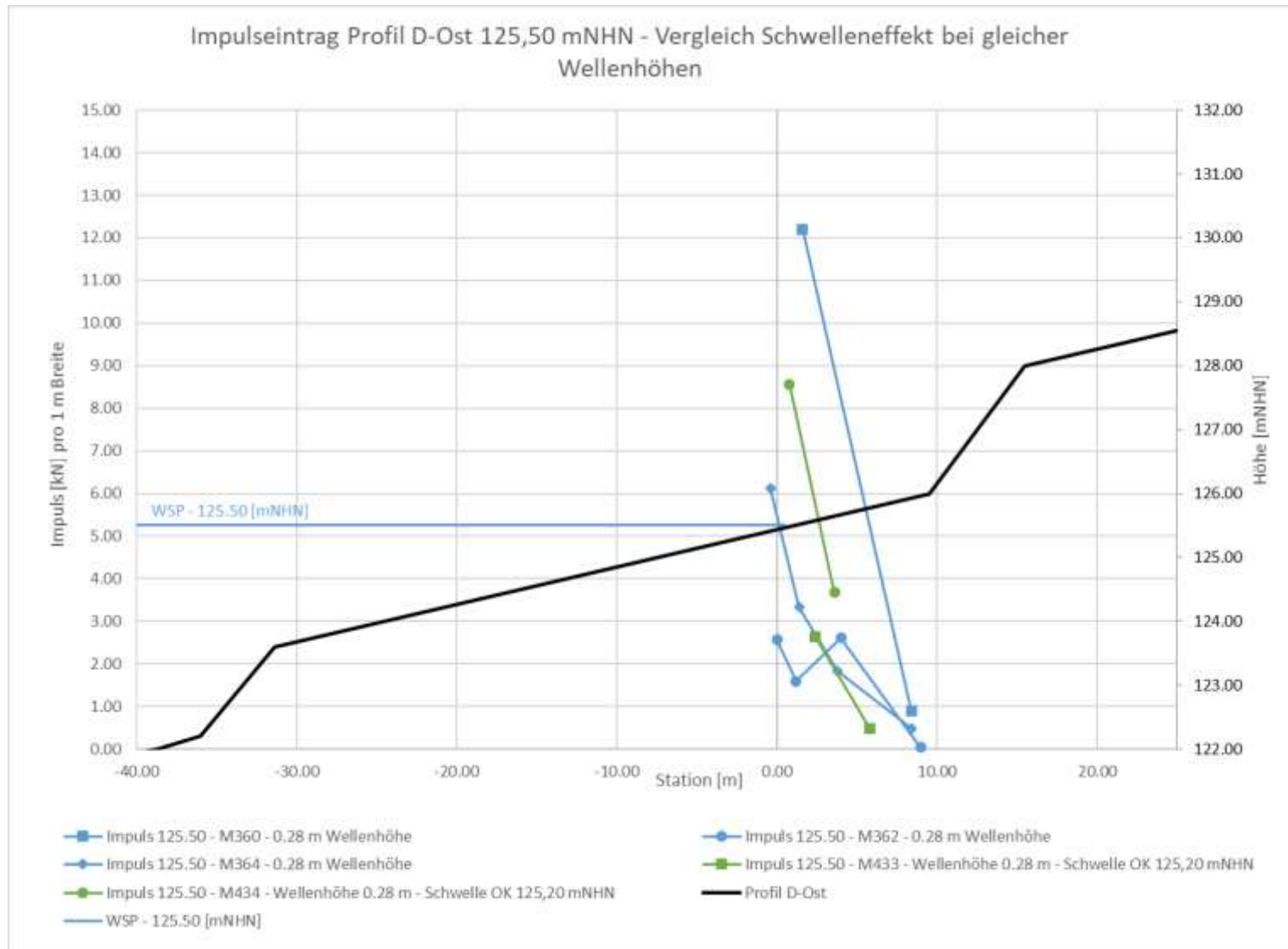


Abbildung 15: Vergleich Impulsbelastung WSP 125,50 m NHN Profil D-Ost mit und ohne Schwelle

- Buhnen

Die Wirkung der Buhnen auf die Impulsbelastung ist nicht durchgehend vorhanden. In Bereichen, die im direkten Schatten der Buhnen liegen, wird dieser deutlich verringert. Dafür entsteht hohe Schwallhöhen in jenen Bereichen, bei denen sich der lichte Querschnitt verringert (Abbildung 41).

Unabhängig von den Schwallwellen, kommt es an den Buhnen zu zusätzlichen Turbulenzen, die zu einer Sohlbelastung führen und die Standsicherheit der Böschungsprofils gefährden. Für höhere Ruhewasserspiegel müssten zur Verbesserung der Wirkung die Buhnen deutlich erhöht und enger positioniert werden (Verbauung des Ufers).

Fazit:

Eine Belastungsverringerung durch den Einbau der Buhnen auf den Uferprofilen ist nicht gegeben, es können sogar lokale höhere Belastungen auftreten.

- Schilfgürtel

Für den Schilfgürtel mit einer Breite von 7,5 m sind die gemessenen Impulskräfte entsprechend ihrem Ruhewasserstand in Tabelle 4 und Abbildung 16 aufgeführt.

Tabelle 4: Impulsbelastung mit Schilfgürtel Profil D-West-West

WSP [m NHN]	Wellenhöhe [m]	Impuls max [kN]	Impuls max [kN] ohne Schilfgürtel
126,00	1,08	26,3	45
125,50	1,07	6,1	115
124,20	0,87	40	15

Durch die Lage des Schilfgürtels zwischen der Uferlinie 125,50 m NHN und Uferlinie 126,00 m NHN ist die Wirkung auf den Wellenauflauf unterschiedlich.

Bei 126,00 m NHN WSP liegt der Schilfgürtel genau im Brechungsbereich der Welle, eine Veränderung der Impulsbelastung ist erkennbar (Abbildung 17), eine leichte Überspülung des Uferrandstreifen und des Betriebsweges kann nicht verhindert werden.

Bei einer WSP-Lage von 125,50 m NHN bricht die Welle vor dem Schilfgürtel, eine Veränderung der Impulsgröße ist erkennbar. Durch die Turbulenzen im Schilfbereich, an der vorher ohne Schilf die höchsten Impulskräfte ermittelt wurden, ist dieser Vergleich nur bedingt aussagefähig.

Der Abbau des Impulses beim Profil mit Schilfgürtel erfolgt früher (Abbildung 18), damit ist der Uferbereich, auf dem hohe Impulse auftreten, kleiner. In der Zone 5 ohne Schilf (Abbildung 41) wurde ein maximaler Impuls von 33,6 kN und mit Schilf von 0,1 kN ermittelt.

Beim WSP 124,20 m NHN wird der Schilfgürtel praktisch nicht wirksam, da die Welle den Schilfgürtel kaum erreicht (Abbildung 19). Die beim Versuch M530 festgestellt Verschiebung der Impulsbelastung um ca. 4 m ist nicht durch den Schilfgürtel bedingt und zeigt die Divergenz der vordersten Wellenfront einer Einzelwelle nach dem Überlaufen der Böschungskante.

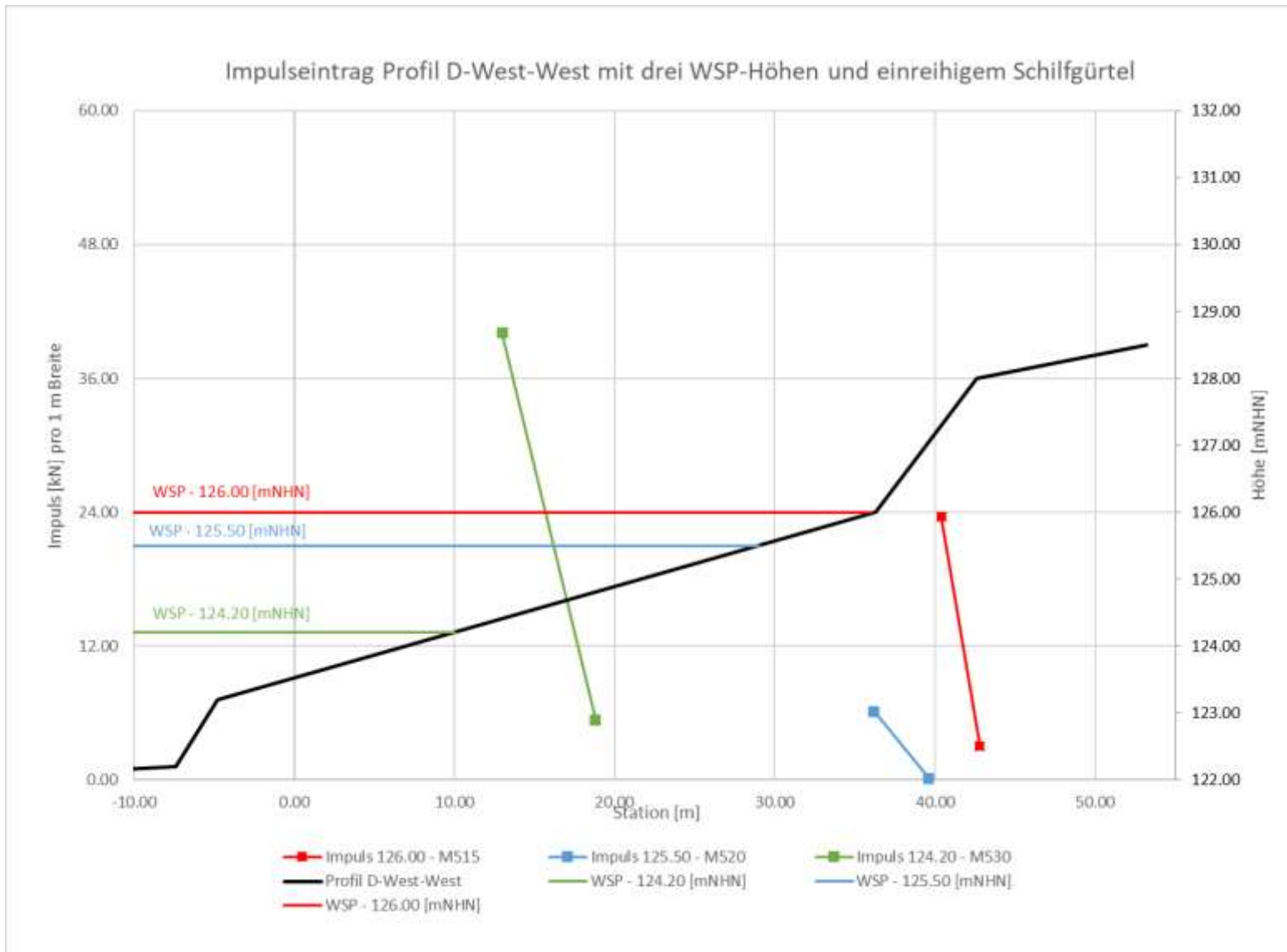


Abbildung 16: Impulsbelastung Profil D-West-West mit drei WSP-Lagen

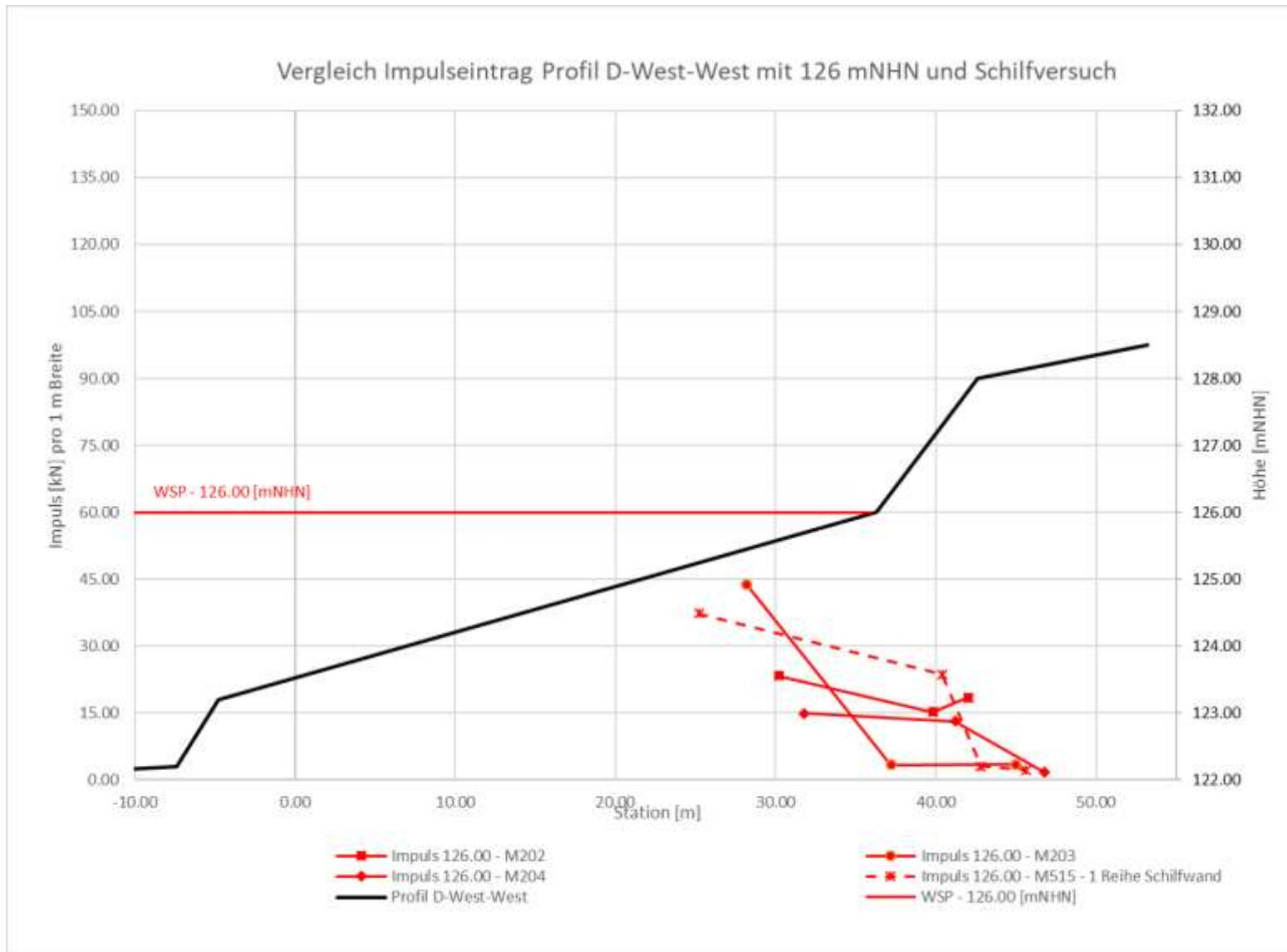


Abbildung 17: Vergleich Impulsbelastung Profil D-West-West mit WSP 126,00 m NHN mit und ohne Schilfgürtel

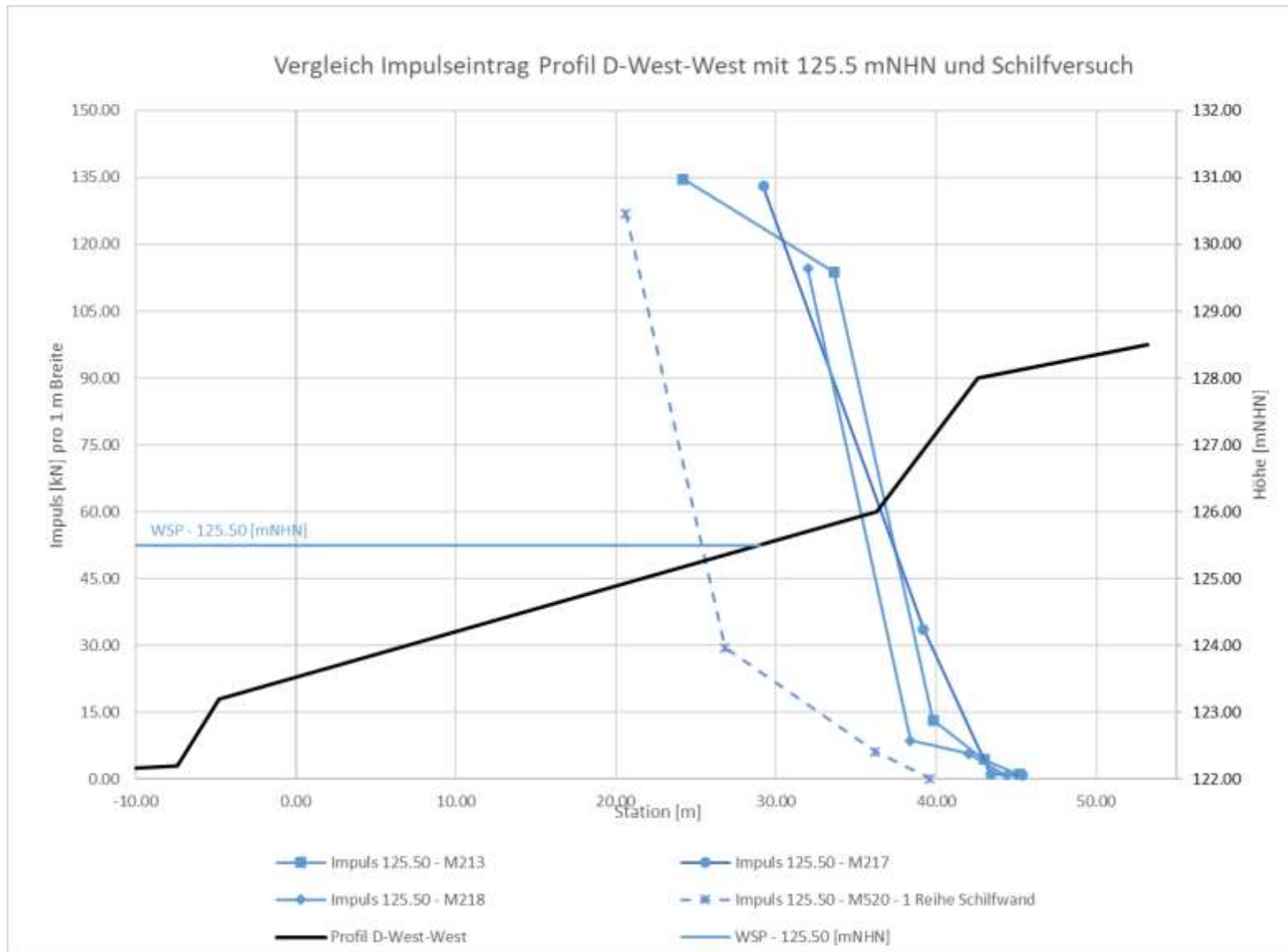


Abbildung 18: Impulsbelastung Profil D-West-West mit WSP 125,50 m NHN mit und ohne Schilfgürtel

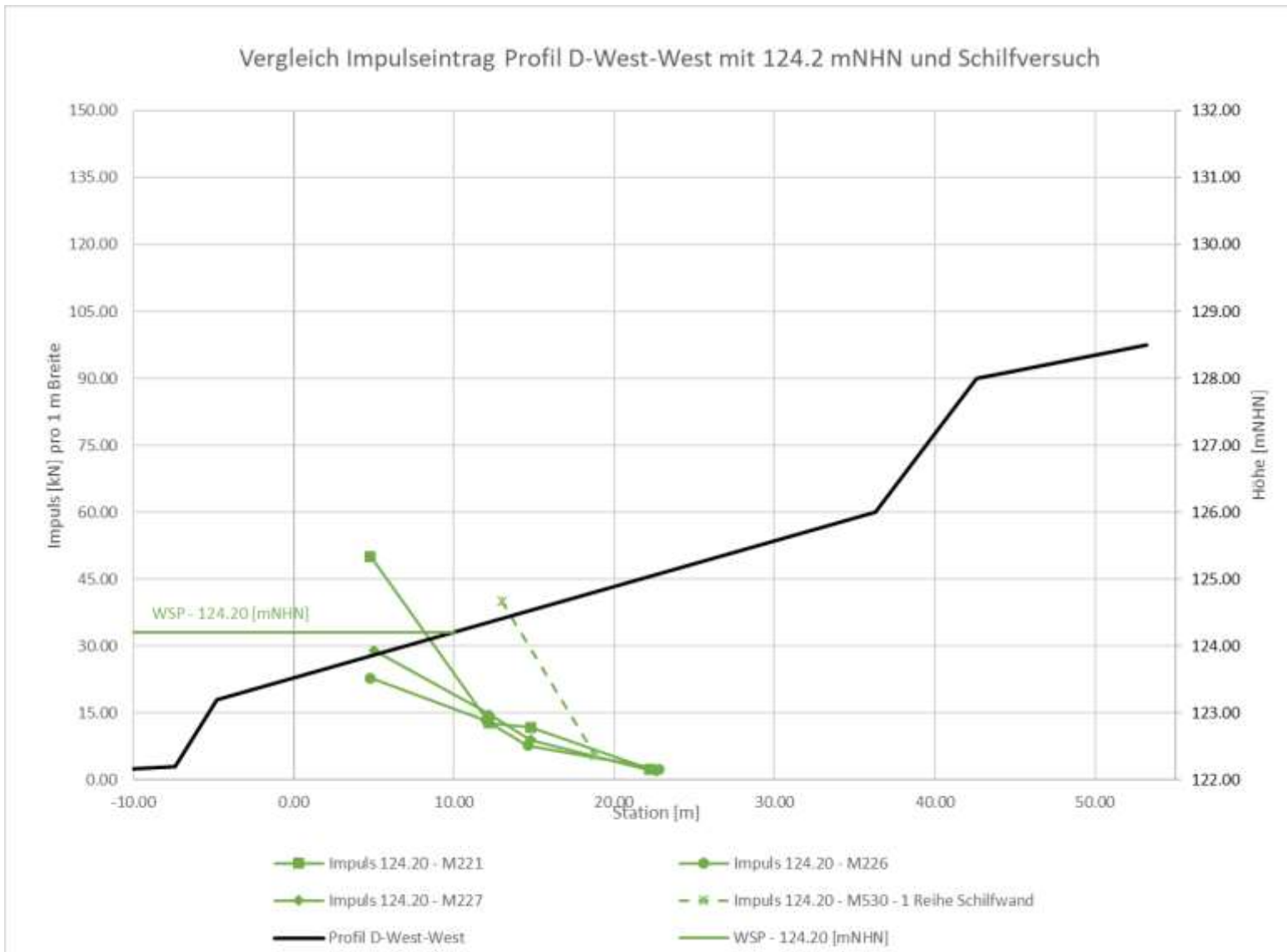


Abbildung 19: Impulsbelastung Profil D-West-West mit WSP 124,20 m NHN mit und ohne Schilfgürtel

Phase 3 - Ergänzende Untersuchungen

Es wurden zwei ergänzende Untersuchungen für die Beantwortung weiterer Fragestellungen durchgeführt.

- Worst-Case-Betrachtung

Die Wellenaufbauhöhe am Profil D-West-West mit einer Wellenhöhe von 1,08 m und einem Wasserspiegel von 126,00 m NHN erbrachte eine Wellenaufbauhöhe von 130,57 m NHN (+59 cm) bis 130,63 m NHN (+63cm) gegenüber der Berechnung mit 129,98 m NHN. Die Impulsbelastung beträgt dabei 11 kN bis 26 kN im Maximum (Abbildung 20).

Fazit:

Der Modellversuch ergab einen höheren Wellenaufbau, als mit den empirischen Formeln für „nicht brechende Wellen“ ermittelt wurde. Durch die Wellenbrechung auf dem Profil D-West-West erreicht eine auflaufende Wellenfront eines Wasser-Luft-Gemisches diese Höhe, welche mit der theoretisch berechneten Wellenaufbauhöhe nur bedingt vergleichbar ist.

- konkaven Umlenker

Der konkave Wellenumlenker führt zu keiner Veränderung der maximalen Impulsbelastung (Abbildung 20), da diese deutlich vor der Position des Wellenumlenkers auf dem Profil erfolgt. Der den Betriebsweg überspülende Impuls mit 2,5 kN bis 6 kN wird am konkaven Umlenker gebrochen bzw. nach oben abgelenkt. Damit entsteht ein Schwall, der an der konkaven Ausrundung nach oben gerichtet ist und wieder in sich zusammenfällt. Eine horizontale Krafteinwirkung auf Objekte und Personen auf dem Betriebsweg findet nicht mehr statt, ein Überspülung aus dem zusammenfallenden Schwall erfolgt weiterhin.

Fazit:

Der konkave Wellenumlenker ist eine zuverlässige bautechnische Maßnahme zur Verhinderung von horizontalen Krafteinwirkungen, welche durch Schwallwellen im Bereich des Betriebsweges hervorgerufen werden.

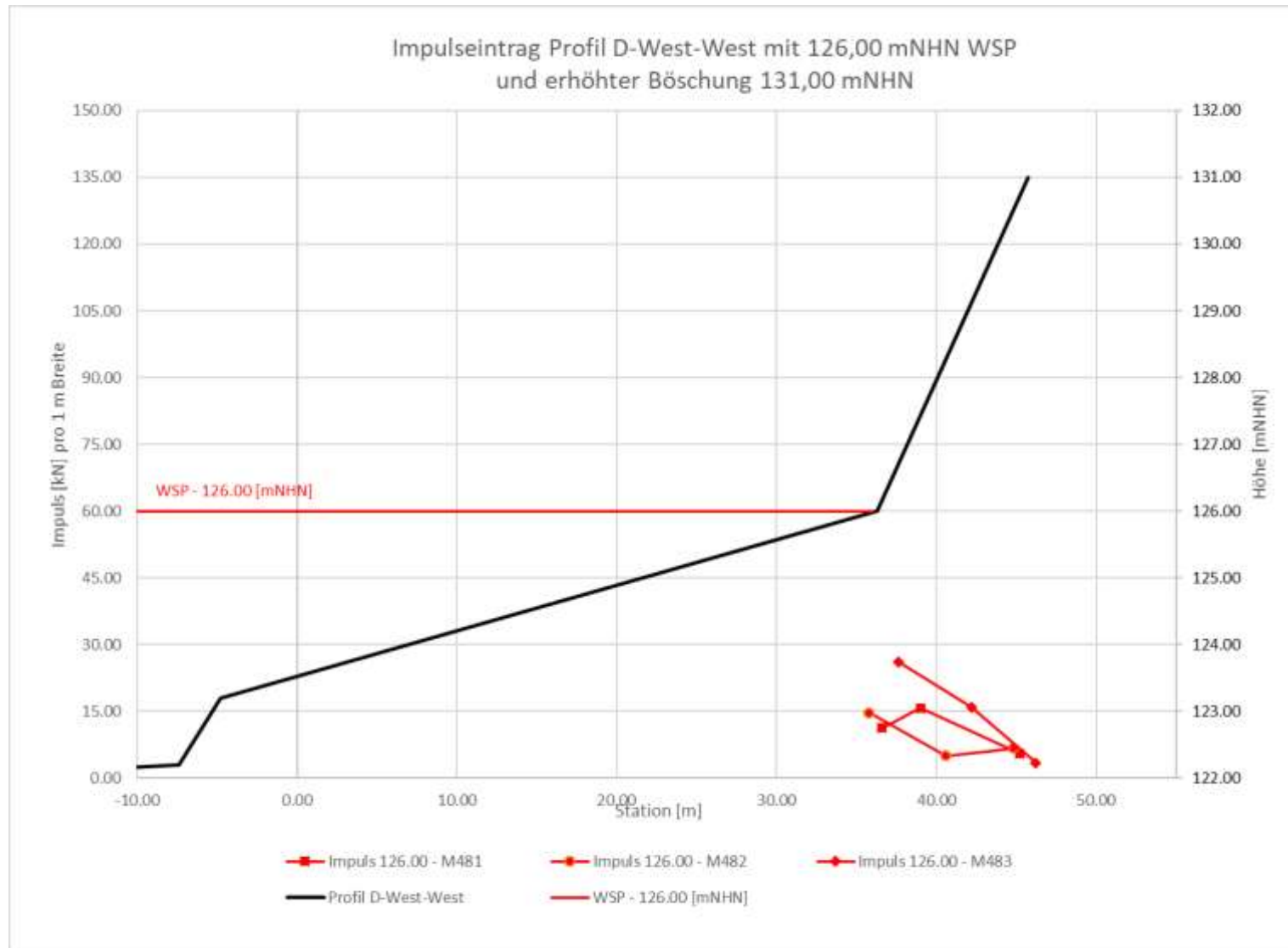


Abbildung 20: Impulseintrag worst case Betrachtung Profil D-West-West bei 126,00 m NHN

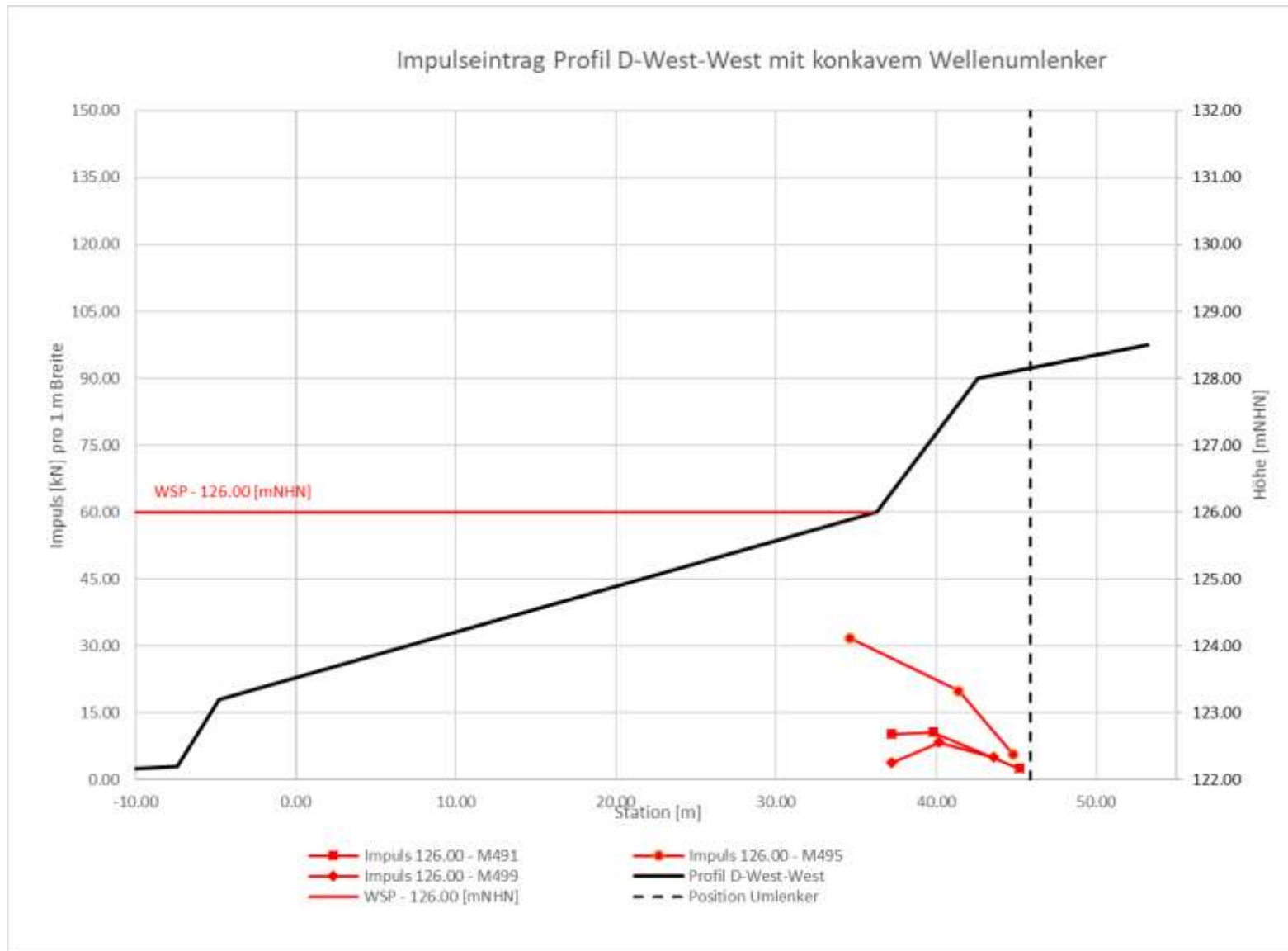


Abbildung 21: Impulskraft Profil D-West-West mit konkavem Wellenumlenker und WSP 126,00 m NHN

3.3 Wellenauflaufhöhen

Die Wellenauflaufhöhen der Berechnung im Vergleich zu den Wellenauflaufhöhen im Modell sind durch die Uferprofilierung und Brechung der Wellen hydraulisch nur bedingt vergleichbar. Die Berechnungen, die Ergebnisse der Modellversuche und der Vergleich sind in Tabelle 5 dargestellt.

Fazit:

Durch die Geometrie der Uferprofile und die Wellenbrechung sind die Ergebnisse aus dem Vergleich der Wellenauflaufhöhen nicht belastbar. Der Vergleich soll jedoch verdeutlichen, welche Unterschiede zwischen der empirischen sowie der experimentellen Ermittlung der Wellenauflaufhöhen auftreten können. Hierdurch wird der Bedarf verdeutlicht, für ähnliche Fragestellungen ebenfalls experimentelle Untersuchungen durchzuführen.

Tabelle 5: Vergleich der Auflaufhöhen und Überlaufhöhen: Berechnung LMBV (AST 2020) – Modellversuch IWSÖ

Profil			Ruhe-WSP	Wellenhöhe	Mess-nummer	Auflauflänge Modell		Bemerkung	Einbauten	LMBV - Berechnung		IWSÖ Modell		Differenz
										Auflaufhöhe	resultierende Höhe	Auf- bzw. Überlaufhöhe	resultierende Höhe	Ist - Soll
						Station	Einheit							
			[mNHN]	[m]	M					[m]	[mNHN]	[m]	[mNHN]	[m]
D	West	West	126.00	1.08	202	2.70	[m]	Modellende überspült		3.98	129.98			
			126.00	1.08	203	2.70	[m]			3.98	129.98			
			126.00	1.08	204	2.70	[m]			3.98	129.98			
D	West	West	125.50	1.07	213	2.68	[m]	Weg überspült		4.02	129.52	2.76	128.26	-1.26
			125.50	1.07	217	2.70	[m]			4.02	129.52	2.78	128.28	-1.24
			125.50	1.07	218	2.66	[m]			4.02	129.52	2.74	128.24	-1.28
D	West	West	124.20	0.87	221	2.10	[m]			3.34	127.54	2.12	126.32	-1.22
			124.20	0.87	226	2.07	[m]			3.34	127.54	1.93	126.13	-1.41
			124.20	0.87	227	2.07	[m]			3.34	127.54	1.93	126.13	-1.41
D	West	Mitte	126.00	0.78	290	2.70	[m]	Weg überspült		2.62	128.62	2.32	128.32	-0.30
			126.00	0.78	292	2.65	[m]			2.62	128.62	2.27	128.27	-0.35
			126.00	0.78	293	2.67	[m]			2.62	128.62	2.29	128.29	-0.33
D	West	Mitte	125.50	1.01	269	2.76	[m]			3.62	129.12	2.82	128.32	-0.80
			125.50	1.01	270	2.68	[m]			3.62	129.12	2.74	128.24	-0.88
			125.50	1.01	272	2.72	[m]			3.62	129.12	2.78	128.28	-0.84
D	West	Mitte	124.20	0.63	257	1.78	[m]			2.15	126.35	1.44	125.64	-0.71
			124.20	0.63	258	1.76	[m]			2.15	126.35	1.41	125.61	-0.74
			124.20	0.63	259	1.75	[m]			2.15	126.35	1.40	125.60	-0.75

Profil			Ruhe-WSP	Wellenhöhe	Mess-nummer	Auflauflänge Modell		Bemerkung	Einbauten	LMBV - Berechnung		IWSÖ Modell		Differenz
						Station	Einheit			Auflauf-höhe	resultierende Höhe	Auf- bzw. Überlauf-höhe	resultierende Höhe	Ist - Soll
			[mNHN]	[m]	M					[m]	[mNHN]	[m]	[mNHN]	[m]
D	West	Ost	126.00	0.58	298	2.50	[m]			1.75	127.75	2.14	128.14	0.39
			126.00	0.58	301	2.50	[m]			1.75	127.75	2.14	128.14	0.39
			126.00	0.58	303	2.50	[m]			1.75	127.75	2.14	128.14	0.39
D	West	Ost	125.50	0.56	276	2.17	[m]			1.73	127.23	0.91	126.41	-0.82
			125.50	0.56	281	2.22	[m]			1.73	127.23	1.20	126.70	-0.53
			125.50	0.56	282	2.30	[m]			1.73	127.23	1.67	127.17	-0.06
D	West	Ost	124.20	0.74	260	1.98	[m]			2.52	126.72	1.69	125.89	-0.83
			124.20	0.74	261	2.00	[m]			2.52	126.72	1.72	125.92	-0.80
			124.20	0.74	263	2.00	[m]			2.52	126.72	1.72	125.92	-0.80
D	Ost		126.00	0.27	353	2.21	[m]			0.66	126.66	1.07	127.07	0.41
			126.00	0.27	356	2.21	[m]			0.66	126.66	1.07	127.07	0.41
			126.00	0.27	358	2.21	[m]			0.66	126.66	1.07	127.07	0.41
	Ost		125.50	0.28	360	2.11	[m]			0.69	126.19	0.89	126.39	0.20
			125.50	0.28	362	2.13	[m]			0.69	126.19	1.02	126.52	0.33
			125.50	0.28	364	2.13	[m]			0.69	126.19	1.02	126.52	0.33
	Ost		124.20	0.29	367	1.22	[m]			0.76	124.96	0.79	124.99	0.03
			124.20	0.29	369	1.26	[m]			0.76	124.96	0.83	125.03	0.07
			124.20	0.29	372	1.25	[m]			0.76	124.96	0.82	125.02	0.06

Profil			Ruhe-WSP	Wellenhöhe	Mess-nummer	Auflauflänge Modell		Bemerkung	Einbauten	LMBV - Berechnung		IWSÖ Modell		Differenz	
						Station	Einheit			Auflaufhöhe	resultierende Höhe	Auf- bzw. Überlaufhöhe	resultierende Höhe	Ist - Soll	
			[mNHN]	[m]	M					[m]	[mNHN]	[m]	[mNHN]	[m]	
E			126.00	0.43	451	2.21	[m]			1.21	127.21	1.09	127.09	-0.12	
			126.00	0.43	452	2.25	[m]			1.21	127.21	1.12	127.12	-0.09	
			126.00	0.43	453	2.24	[m]			1.21	127.21	1.12	127.12	-0.09	
			125.50	0.42	455	1.80	[m]			1.21	126.71	0.87	126.37	-0.34	
			125.50	0.42	457	1.80	[m]			1.21	126.71	0.87	126.37	-0.34	
			125.50	0.42	458	1.80	[m]			1.21	126.71	0.87	126.37	-0.34	
			124.20	0.52	461	1.26	[m]	keine Brechung		1.64	125.84	1.46	125.66	-0.18	
			124.20	0.52	462	1.27	[m]			1.64	125.84	1.47	125.67	-0.17	
			124.20	0.52	464	1.28	[m]			1.64	125.84	1.49	125.69	-0.15	
D	West	West	126.00	1.08	481	2.74	[m]	erhöhte Böschung	Worst Case	3.98	129.98	4.57	130.57	0.59	
			126.00	1.08	482	2.74	[m]			3.98	129.98	4.57	130.57	0.59	
			126.00	1.08	483	2.75	[m]			3.98	129.98	4.63	130.63	0.65	
D	West	West	126.00	1.08	491	2.63	[m]		konkaver Umlenker			2.27	128.27	+ Schwall ca. 1 m Höhe	
			126.00	1.08	495	2.63	[m]					2.27	128.27		
			126.00	1.08	499	2.63	[m]					2.27	128.27		
D	West	West	126.00	1.08	515	2.70	[m]	Modellende minimal/kaum überspült	1 Reihe Schilfwand			2.33	128.33		
D	West	West	125.50	1.07	520	2.28	[m]						1.90	127.40	
D	West	West	124.20	0.87	530	2.10	[m]						2.12	126.32	

3.4 Risikobewertung - Zoneneinteilung

Die Bewertung der Risiken für Person oder Objekte, die sich auf den jeweiligen Uferprofilen befinden, ist direkt mit dem Bezugsort der Person verbunden. Zur Klassifizierung ist die Einteilung der Profile in relativ gleichmäßig große Abschnitte (hier Zonen) notwendig (Abbildung 22).

Die Zonen sind:

Zone 1: BOK erste steile Böschung (Beginn der Modellstationierung) bis WSP 124,20 m NHN (Zone liegt immer unter Wasser)

Zone 2 und 3: Bereiche auf der flachen Böschung oberhalb der Uferlinie 124,20 m NHN bis Uferlinie 125,50 m NHN mit Zwischenpunkt auf halber Strecke zwischen den Uferlinien

Zone 4: oberhalb Uferlinie 125,50 m NHN bis Knickpunkt (BUK) zur steilen Böschung (1:3) (auch WSP 126,00 m NHN)

Zone 5: oberhalb BUK bis BOK steile Böschung (1:3)

Zone 6 und 7: Gewässerrandstreifen mit Betriebsweg oberhalb BOK steile Böschung bis Modellende mit Zwischenpunkt bei dem wasserseitigen Beginn des Betriebsweges

Die Einteilung dieser Zonen und die Zuordnung der max. Impulskräfte erfolgt oberhalb der Uferlinie (WSP-Lage) und ist in Tabelle 6 aufgeführt.

Zoneneinteilung Profil D-West-West mit drei Ruhewasserspiegeln

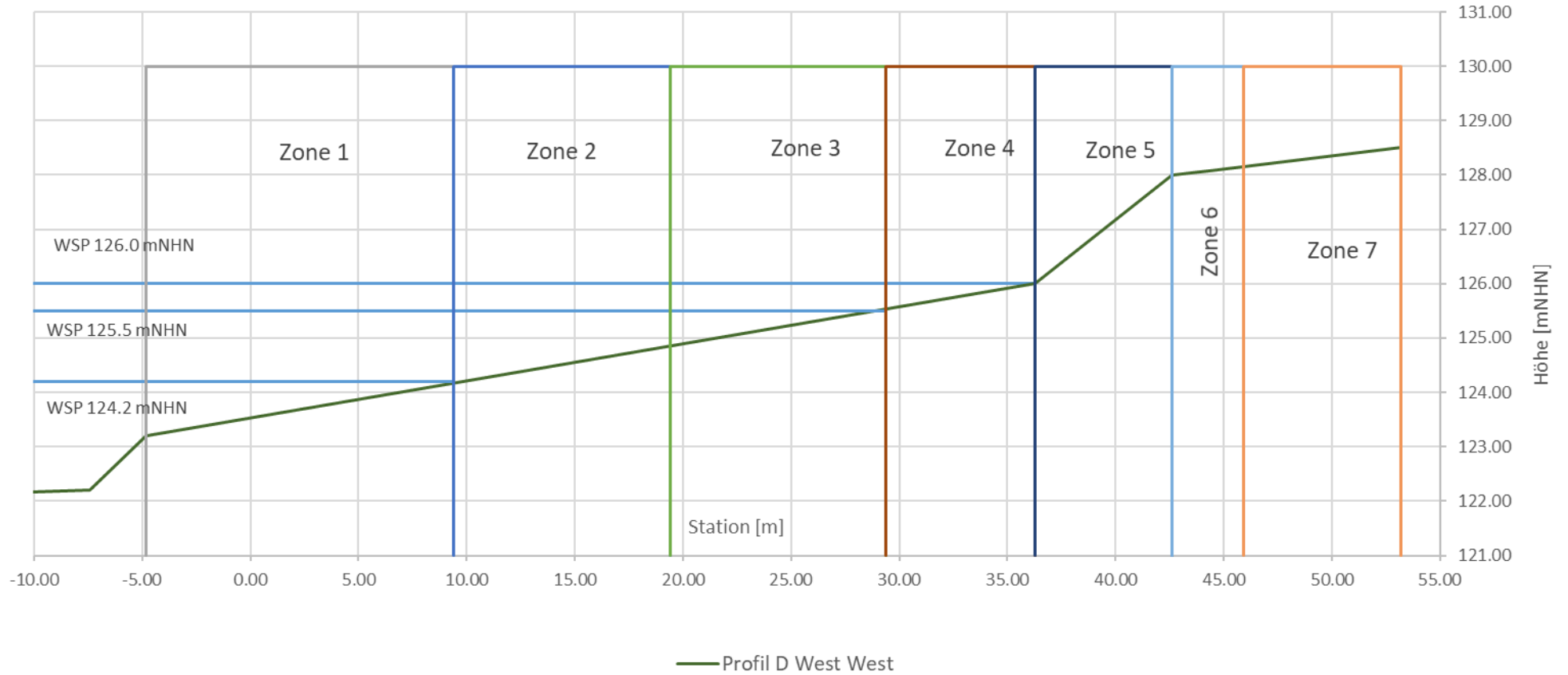


Abbildung 22: Zoneneinteilung Profil D-West-West

Tabelle 6: maximale Impulsbelastung in den Profilzonen oberhalb der jeweiligen Uferlinien (Ruhewasserspiegel)

Impuls max. [kN]	WSP	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7
	[m NHN]						
Profil D-West-West	126.00				57.1	23.9	5.9
	125.50			114.5	33.6	4.3	
	124.20	14.7	2.4				
Profil D-West-Mitte	126.00				19.3	1.9	
	125.50			91.4	16.1	0.8	
	124.20	34.7	2.7				
Profil D-West-Ost	126.00				20.2	0.6	
	125.50			6.9	1.5		
	124.20	14.1	3.0				
Profil D-Ost	126.00				2.3		
	125.50			2.6			
	124.20	1.8					
Profil E	126.00				1.4	1.1	
	125.50			14.4	0.4		
	124.20	2.2					
Profil D-Ost - Schwellen Wellenhöhe D-West-West	126.00				68.7		
	125.50			9.1			
Profil D-Ost - Schwellen Wellenhöhe D-Ost	126.00				2.0		
	125.50			3.7			
Profil D-West-West Worst-Case-Untersuchung	126.00				26.1	6.6	
Profil D-West-West Konkaver Wellenumlenker	126.00				24.5	5.7	
Profil D-West-West Schilf	126.00				23.6	3.0	
	125.50			6.1	0.1		
	124.20	40.1					

Die Farbcodierung ist nachfolgend definiert:

<ul style="list-style-type: none"> Zonen die durch den Ruhewasserspiegel überstaut sind blau unterlegt.
<ul style="list-style-type: none"> Zonen mit Benässung.
<ul style="list-style-type: none"> Zonen die nicht von der Welle überflutet werden, sind grün hinterlegt.
<ul style="list-style-type: none"> Zonen mit Belastungen größer 30 kN sind rot hervorgehoben.

Die festgelegte Grenze von 30 kN resultiert aus der Annahme, dass eine Belastung von 10 kN (ca. 1 t) auf den menschlichen Körper (ca. 0,3 m Belastungsbreite) wirkt.

4 Ergebnisse

Grundlegende Ergebnisse werden in den nachfolgenden Aussagen zusammengefasst (die Aufzählung unterliegt nicht einer Rangfolge):

- Die stärkste Belastung für den Betriebsweg sowie die steile Böschung findet im Profil D-West-West, resultierend aus der maximalen Wellenhöhe, statt.
- Für die untersuchten Profile lässt sich für den Bereich D-West-West und den Wasserstand von 125,5 m NHN der höchste Impulseintrag ableiten.
- In der steilen Böschung tritt eine Belastung von 57,1 kN pro lfd. m Uferlinie (Profil D-West-West) bei einem WSP von 126,00 m NHN auf.
- Für Personen, die sich auf der wasserseitig zugewandten Seite des Betriebsweges befinden, wirkt eine maximale Impulskraft von 23,9 kN (pro 1,0 m Wellenbreite) im Profil D-West-West. Auf dem Betriebsweg in Zone 7 verringert sich die Impulskraft auf 5,9 kN. Für die anderen Profile liegt die Belastung am wasserseitigen Beginn des Betriebswegs unter 4,3 kN. Für einige Profile und Wasserstände treten keine Belastungen auf, da die Welle nicht so weit reicht.
- Für Profil D-West-West und WSP 125,50 m NHN erfolgt eine starke Verringerung der Impulskraft von Zone 4 nach Zone 5. Die Schwallwelle überflutet den Uferstrandstreifen sowie den Betriebsweg leicht.
- Die größte Belastung im Profil D-West-West tritt bei WSP 125,50 m NHN zwischen Uferlinie und BUK der Böschung 1:3 auf (114,5 kN pro m Uferlinie).
- Der Schilfgürtel zwischen Uferlinie 125,50 m NHN und Uferlinie 126,00 m NHN ist nicht ausreichend, um im Profil D-West-West die Welle aufzuhalten. Es findet jedoch bei einem Wasserstand von 125,5 m NHN ein Impulsabbau im Schilfgürtel statt, so dass in der Zone 4 und in den folgenden Zonen deutlich niedrigere Impulse auftreten (z.B. bei WSP 125,5 m NHN).
- Für das Profil E wurden die höchsten Impulseinträge bei einem Wasserstand von 125,50 m NHN (max. 14,4 kN) ermittelt. Für die Wasserspiegellagen 124,2 m NHN liegen die Impulseinträge im unmittelbaren Uferbereich bei max. 5,5 kN. Bei einem WSP von 126,0 m NHN wird eine Belastung in Zone 5 und Zone 6 von max. 1,4 kN erreicht.

- Ein Einfluss der Schwallwelle (Impuls) auf den Betriebsweg lässt sich nur für den Bereich D-West bei einem Wasserstand von 126,00 m NHN und ohne Schilfgürtel bestimmen.
- Es findet mit der Lauflänge der Welle ein Energieabbau statt, welcher an der steilen Böschung schneller vonstattengeht als an der flachen Böschung (Abbildung 17: Profil D-West-Mitte, Wasserstand 125,5 m NHN und 126,0 m NHN). Das Brechen der experimentell erzeugten Wellen konnte, mit einer Ausnahme, an allen Profilen beobachtet werden. Am Profil E und einem Wasserstand von 124,2 m NHN brach die Welle nicht.
- Die empirisch ermittelten Wellenaufbauhöhen werden modelltechnisch in der Größenordnung bestätigt.
- Die Entstehung einer Schwallwelle mit hohem Sedimentanteil wird nicht erwartet, da die erzeugte Welle primär aus der Verdrängung der Rutschmassen resultiert. Daher wird für die Auswertungen der Wellen die Dichte von Wasser vorausgesetzt.
- Der Einbau einer unter Wasser befindlichen Schwelle wird aufgrund der experimentell ermittelten unzureichenden Wirkung nicht empfohlen.

5 Risikobewertung und Diskussion

Die Belastung durch die Welle entspricht nicht der Belastung durch einen festen Körper. Für die Beurteilung sind nachfolgende Einflüsse zu beachten:

- Nach der Brechung wird ein Wasser-Luft-Gemisch transportiert, welches eine geringere Dichte und damit eine verringerte Impulsübertragung hat.
- Die Belastung auf eine am Ufer befindliche Person durch den Impuls wird durch Form und Verhalten der betroffenen Person beeinflusst.
- Im Bereich des Badestrandes (Profil E) werden Personen auch vor der Uferlinie durch die horizontale Belastung der ungebrochenen Welle sowie dem anstehenden Auftrieb beeinflusst. Sie sind aber nicht gefährdet, wenn keine Einbauten (z. B. Bühnen) vorhanden sind.
- Der Impuls führt zu statischer Instabilität von Personen, auch wenn sie nur Flächenproportional von der Impulskraft getroffen werden.
- Vom Impuls getroffene Personen werden durch den nachfolgenden Wellenkörper mitgerissen und können geschädigt werden.
- Durch das Anlegen eines Schilfgürtels (Uferlinie 125,50 m NHN und Uferlinie 126,00 m NHN) kann der mögliche Aufenthalt von Personen im Gefährdungsbereich (Zone 4) minimierte werden.

- Der konkave Wellenbrecher im Profil D-West-West verringert die Gefährdung auf dem Betriebsweg.
- Die Untersuchungen in einem gegenständlichen Modell zur Klärung der Krafteinwirkung von Schwallwellen auf Anlagen und Personen im Uferbereich sind ein notwendiges Mittel um die aufgeworfenen Fragen zu beantworten.
- Die Wirkung einer Schwallwelle am Ufer steht im direkten Zusammenhang mit der Wellenhöhe sowie der Böschungsgeometrie.

6 Hinweise und Empfehlungen

Allgemein

Der Bereich D-West zwischen Uferlinie und Wirtschaftsweg ist mittels Bepflanzung für die Öffentlichkeit unzugänglich zu gestalten.

Der Knappensee ist im Fall der Hochwasserentlastung (Einstau bis +126,0 m NHN) temporär für die öffentliche Nutzung zu sperren.

Die größte Gefährdung auf Personen besteht demnach im Bereich des Badestrandes (Bereich E) in unmittelbarer Ufernähe, v. a. bei einem Wasserstand von 125,5 m NHN.

Widerstandsverhalten von Schilf

Einen besonderen Fall stellen die Biegesteifigkeit und die Haftkraft des Schilfes dar. Im Allgemeinen wird das Widerstandsverhalten des Schilfes bei stationären und gleichförmigen Abflüssen bestimmt. Im vorliegenden Fall ist die Belastung instationär (In einem sehr kurzen Zeitraum!). Hier sollten durch in-Situ-Messungen die angenommenen Parameter überprüft werden.

Kraftwirkung von Wasser

Trotz der visuellen Auswertung von Unfällen in Bezug auf Wellen, sind keine bezogenen Kräfte auf die Extremitäten und den Rumpf von Menschen im Sinne der Risikobetrachtung möglich. Hier sollte die tatsächliche „Stoßbelastung“ einer Solitärwelle ermittelt werden. In einer „Weißen Wanne“ sollte eine Folie kontrolliert platzen gelassen und die Kraft auf einem 10 cm x 10 cm großen Körper gemessen werden.

Wellenwirkung unterhalb des Wasserspiegels

Personen, welche teilweise im Wasserkörper stehen, sind den Wellenkräften ausgesetzt. Diese Kräfte sollten gemessen und in der Risikobetrachtung berücksichtigt werden.

Anlage 1: Fotodokumentation

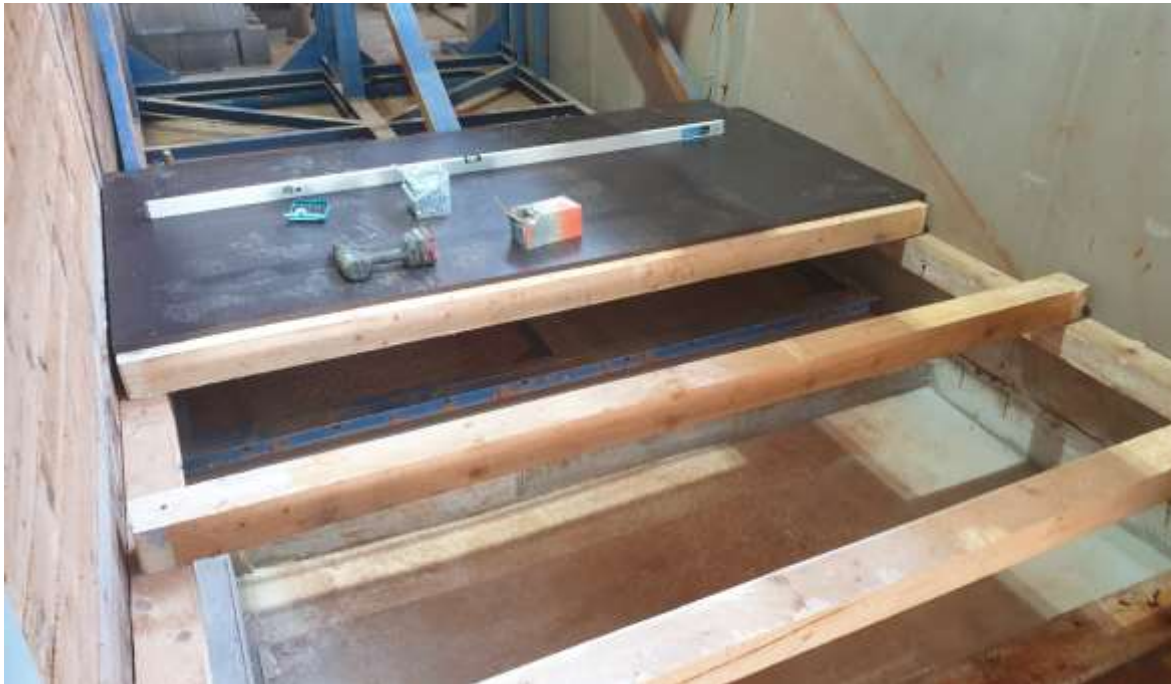


Abbildung 23: AgF - Grundgerüst Sohle Wellenkanal



Abbildung 24: AgF - Schließung Wellenkanal



Abbildung 25: AiF - Fertigteile Profil D-Ost



Abbildung 26: AgF - Wellenkanal mit Wellengenerator (Einmalwelle) und seitlicher Beobachtungsraum



Abbildung 27: AgF - Wellenkanal mit eingesetztem linken und rechten Profilteil

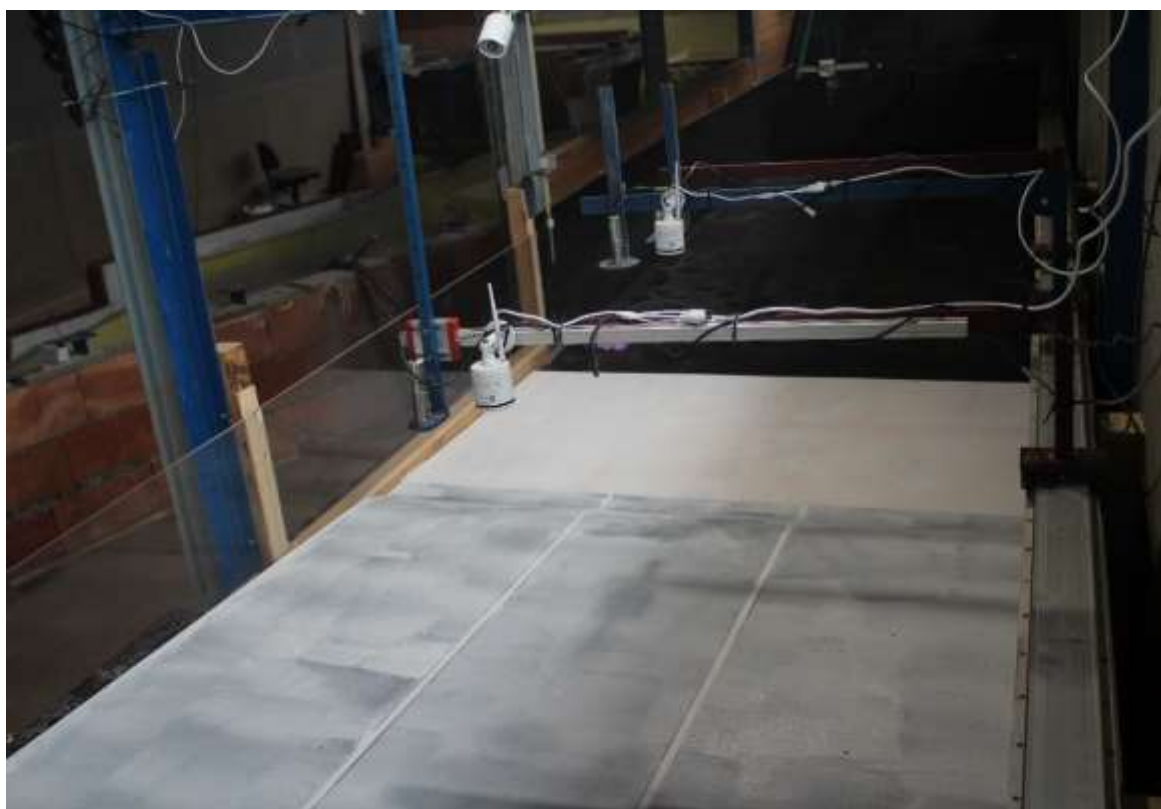


Abbildung 28: AgF - Wellenkanal mit Uferprofil und Messtechnik



Abbildung 29: Seitenansicht – Profil D-Ost mit Schwelle bei überlaufender Welle 126,00 mNHN WSP



Abbildung 30: Seitenansicht – Worst-case Modellerweiterung auf 131,00 mNHN - Profil D-West-West



Abbildung 31: Seitenansicht – konkaver Wellenumlenker am Betriebsweg Profil D-West-West

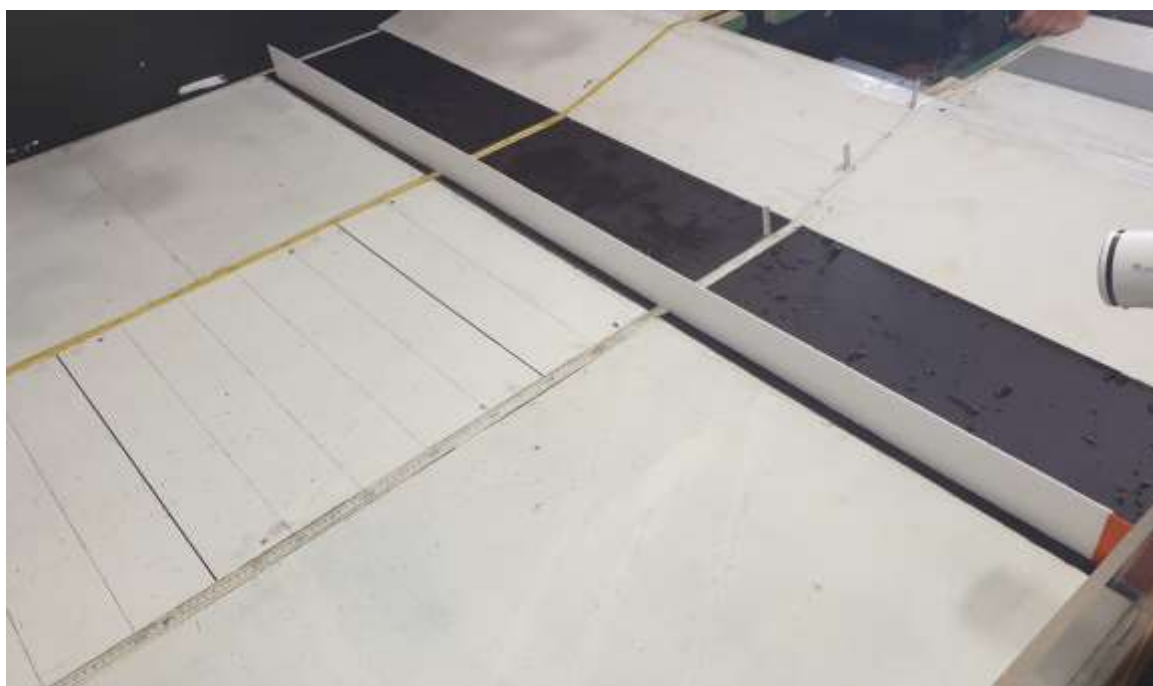


Abbildung 32: AiF – eingebauter techn. Schilfgürtel Profil D-West-West



Abbildung 33: AgF – eingebauten techn. Schilfgürtel mit Widerstandsstäben (Ausschnitt) und Höhenmarkern



Abbildung 34: Seitenansicht - verlängerte Bühne 1,0 m Profil D-West-West



Abbildung 35: Seitenansicht – aufgelöste Bühnen 1,0 m Profil D-West-West



Abbildung 36: Seitenansicht auflaufende Welle



Abbildung 37: Seitenansicht auflaufende Welle – steile Wellenfront



Abbildung 38: Seitenansicht auflaufende Welle – überschlagende Wellenfront mit Ausbildung Tunnel



Abbildung 39: Seitenansicht auflaufende Welle – zusammenbrechender Tunnel



Abbildung 40: Seitenansicht auflaufende Welle – herausschießender Wasserkeil aus zusammengebrochenem Wellentunnel

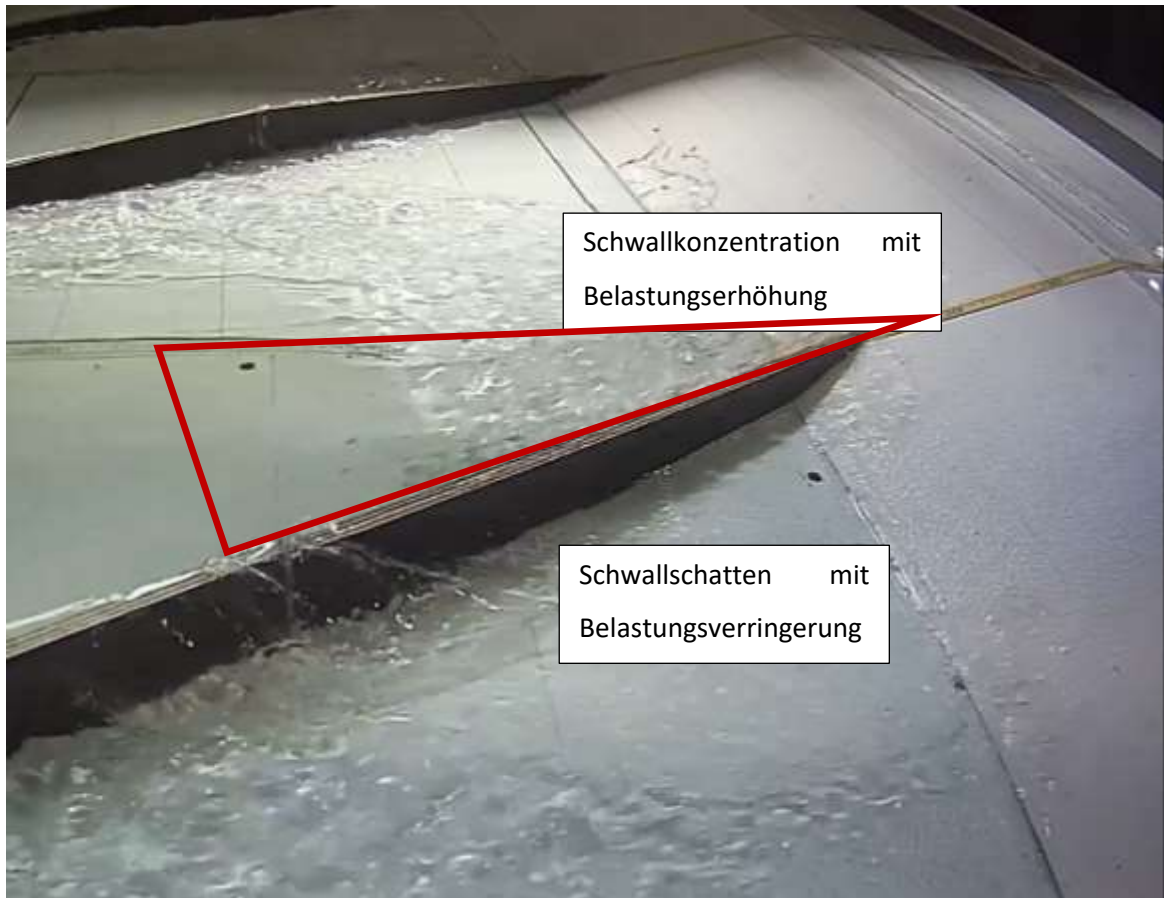


Abbildung 41: M236 WSP 125,50 mNHN

Anlage 2: Lagepläne

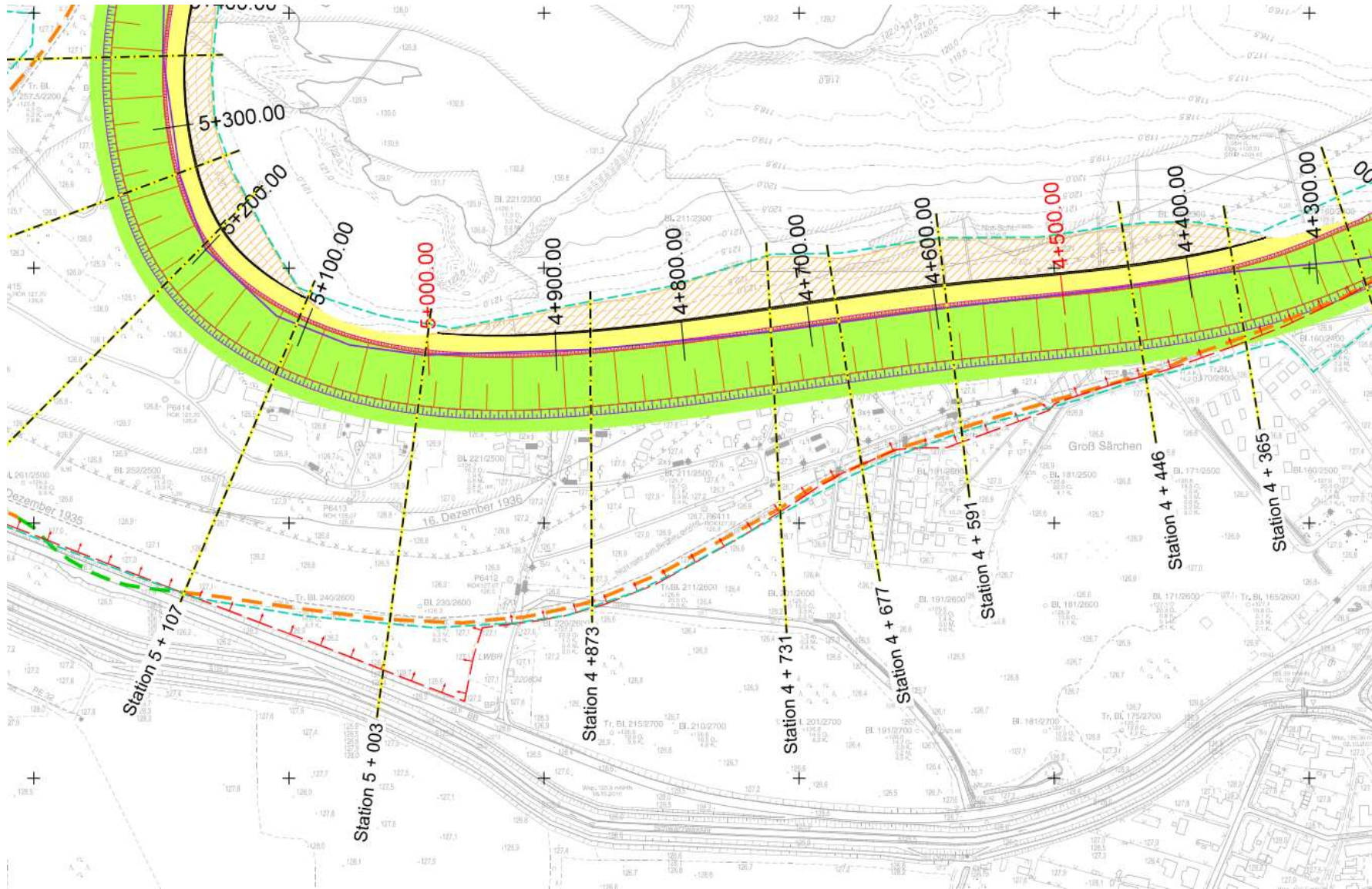


Abbildung 42: Lageplan Auszug Profile D-West-West Station 5+107, D-West-Mitte Station 4+591, D-West-Ost Station 4+446

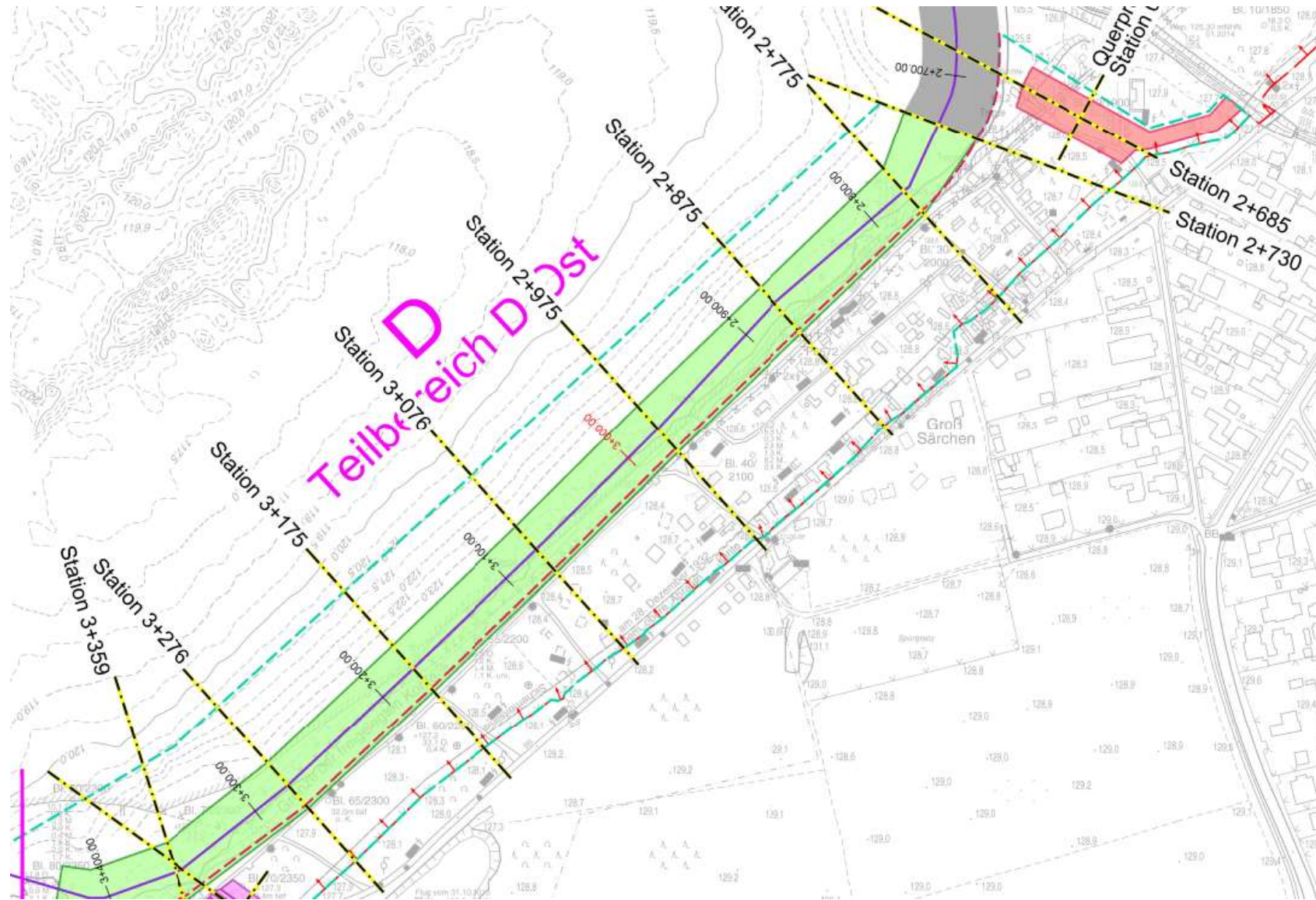


Abbildung 43: Lageplan Auszug Profile D-Ost Station 2+975

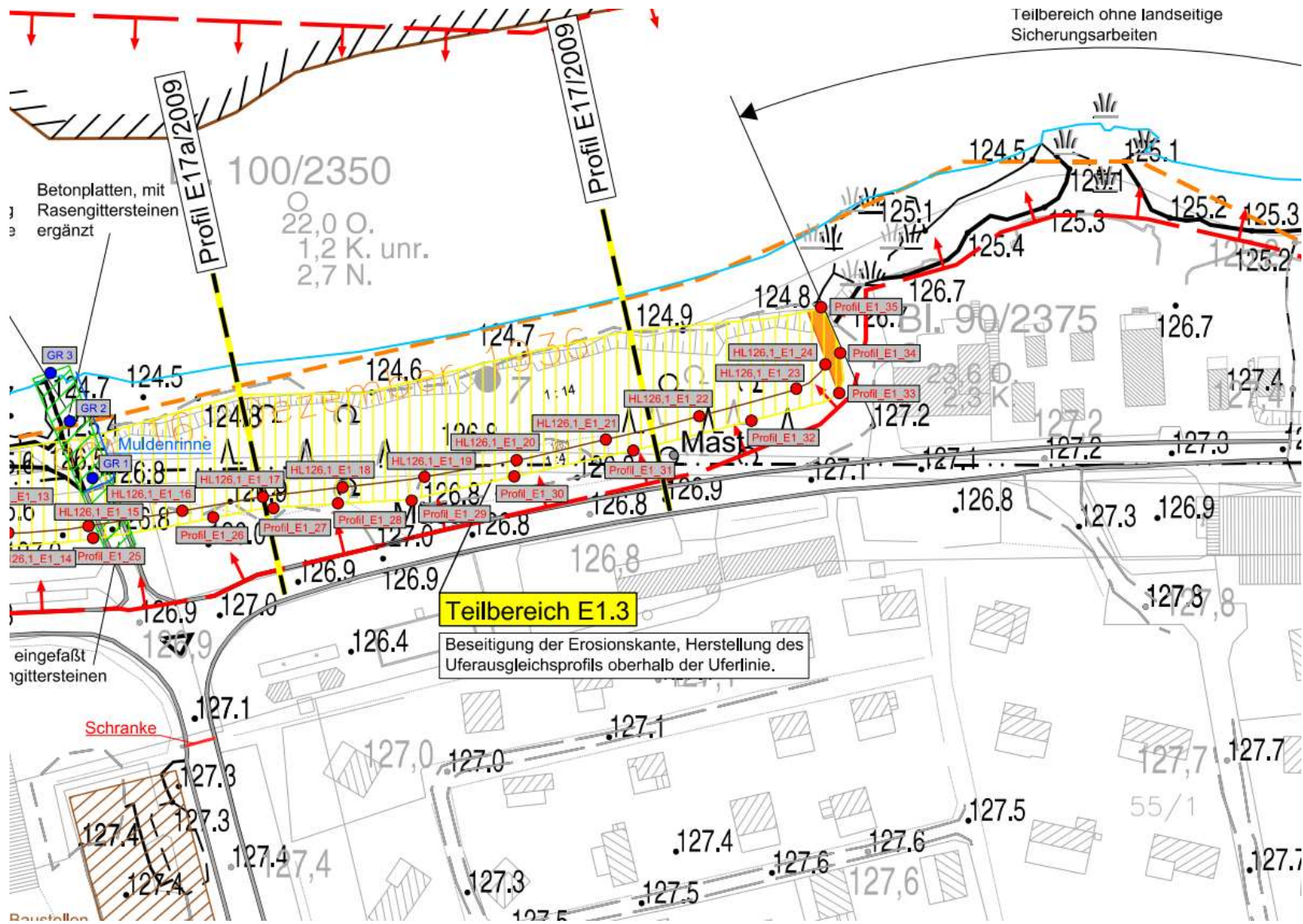


Abbildung 44: Lageplan Auszug Profile E17/2009

Anlage 3: Messprotokoll

Mess- nummer	Profil			WSP Ruhewasserstand			Wellen- höhe cm	Anzahl Video
				min	mittel	max		
				124.20	125.50	126.00		
				mNHN	mNHN	mNHN		
	Einbau Profil D-West-West							
202	D	West	West			126.00	5.4	3
203	D	West	West			126.00	5.4	3
204	D	West	West			126.00	5.4	3
213	D	West	West		125.50		5.35	4
217	D	West	West		125.50		5.35	4
218	D	West	West		125.50		5.35	4
221	D	West	West	124.20			4.35	2
226	D	West	West	124.20			4.35	2
227	D	West	West	124.20			4.35	2
	Umbau auf Bühnen mit 1 m Höhe über 125,50 mNHN							
228	D	West	West	124.20			4.35	5
230	D	West	West	124.20			4.35	5
231	D	West	West	124.20			4.35	5
232	D	West	West			126.00	5.35	3
233	D	West	West			126.00	5.35	3
234	D	West	West			126.00	5.35	3
236	D	West	West		125.50		5.4	5
237	D	West	West		125.50		5.4	4
238	D	West	West		125.50		5.4	5
	Umbau auf aufgelösten Bühnen in 5 m Abschnitten. Mit Bühne auf 125,50 1 m hoch.							
240	D	West	West			126.00	5.4	5
241	D	West	West			126.00	5.4	5
243	D	West	West			126.00	5.4	5
246	D	West	West		125.50		5.35	3
247	D	West	West		125.50		5.35	3
248	D	West	West		125.50		5.35	3
249	D	West	West	124.20			4.35	5
250	D	West	West	124.20			4.35	5
251	D	West	West	124.20			4.35	5

257		D	West	Mitte	124.20			3.15	5
258		D	West	Mitte	124.20			3.15	5
259		D	West	Mitte	124.20			3.15	5
	Umbau auf Profil D-West-Ost								
260		D	West	Ost	124.20			3.7	2
261		D	West	Ost	124.20			3.7	2
263		D	West	Ost	124.20			3.7	2
	Umbau auf Profil D-West-Mitte								
269		D	West	Mitte		125.50		5.05	6
270		D	West	Mitte		125.50		5.05	6
272		D	West	Mitte		125.50		5.05	6
	Umbau auf Profil D-West-Ost								
276		D	West	Ost		125.50		2.8	1
281		D	West	Ost		125.50		2.8	1
282		D	West	Ost		125.50		2.8	1
	Umbau auf Profil D-West-Mitte								
290		D	West	Mitte			126.00	3.9	3
292		D	West	Mitte			126.00	3.9	3
293		D	West	Mitte			126.00	3.9	3
	Umbau auf Profil D-West-Ost								
298		D	West	Ost			126.00	2.9	3
301		D	West	Ost			126.00	2.9	3
303		D	West	Ost			126.00	2.9	3
	Umbau auf D-Ost ohne Einbauten								
353		D	Ost				126.00	1.35	4
356		D	Ost				126.00	1.35	4
358		D	Ost				126.00	1.35	4
360		D	Ost			125.50		1.4	1
362		D	Ost			125.50		1.4	1
364		D	Ost			125.50		1.4	1
367		D	Ost		124.20			1.45	7
369		D	Ost		124.20			1.45	6
372		D	Ost		124.20			1.45	7

Einbau der Schwelle (0,42 m x 0,42 m, ca. 125,20 mNHN) auf D-Ost.								
410	D	Ost				126.00	5.4	4
411	D	Ost				126.00	5.4	4
413	D	Ost				126.00	3.9	4
414	D	Ost				126.00	3.9	4
415	D	Ost				126.00	2.9	4
416	D	Ost				126.00	2.9	4
419	D	Ost				126.00	1.35	4
420	D	Ost				126.00	1.35	4
424	D	Ost			125.50		5.35	5
425	D	Ost			125.50		5.35	5
427	D	Ost			125.50		5.05	5
428	D	Ost			125.50		5.05	5
431	D	Ost			125.50		2.8	5
432	D	Ost			125.50		2.8	5
433	D	Ost			125.50		1.4	5
434	D	Ost			125.50		1.4	5
Umbau auf Profil E								
451		E				126.00	2.15	2
452		E				126.00	2.15	2
453		E				126.00	2.15	2
455		E			125.50		2.10	6
457		E			125.50		2.10	6
458		E			125.50		2.10	6
461		E		124.20			2.60	3
462		E		124.20			2.60	3
464		E		124.20			2.60	3
Umbau auf DWestWest mit erhöhter Böschung auf 131,00 mNHN								
481	D	West	West			126.00	5.4	3
482	D	West	West			126.00	5.4	3
483	D	West	West			126.00	5.4	3
Umbau D West West, konkave Wellenbrechung auf dem Betriebsweg, 25 cm hoch								
491	D	West	West			126.00	5.4	4
495	D	West	West			126.00	5.4	4
499	D	West	West			126.00	5.4	4
Umbau D West West mit technischen Schilfgurtel 1 Reihen; 0,8 mm Stab								
515	D	West	West			126.00	5.4	3
520	D	West	West		125.50		5.35	4
530	D	West	West	124.20			4.35	4