29.07.2026

Tagebausee Hambach
Ufersicherung gegen Windwellenerosion

Antrag auf Planfeststellung nach § 68 Abs. 1 WHG

Technischer Bericht
Anlage A-UST



Abbildung: Visualisierung des Endzustandes des gefüllten Tagebausees Hambach (RWE Power AG)

TRACTEBEL GmbH
Gotenstraße 12 | 20097 Hamburg
Tel: +49 40 259-4122
www.tractebel-engie.com

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS III

TABELLENVERZEICHNIS IV

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS V

GLOSSAR VI

1 ÜBERBLICK 1

2 GRUNDLAGEN 2

2.1 Lage des Planungsgebietes 3

2.2 Befüllkurve 4

2.3 Untersuchungsbereiche 4

2.3.1 Seequartier Elsdorf 5

2.3.2 Außenecke Manheimer Bucht 7

2.4 Alternativen und Variantenbetrachtung 10

3 TECHNISCHE BEMESSUNG DER UFERSICHERUNGSSYSTEME 11

3.1 Bemessungsparameter technisch-biologische Ufersicherung (TBU) 11

3.2 Bemessung von Schüttsteinen 12

3.2.1 Bemessung nach Hudson 12

3.2.2 Bemessung nach Van der Meer 13

3.2.3 Auswahl der Steinklasse 13

3.3 Bemessung nach Pilarczyk 13

3.4 Bemessung von geotextilen Sandcontainern 14

3.5 Bemessungsergebnisse 14

4 UFERSICHERUNGSMAßNAHMEN 16

4.1 Ufersicherung Seequartier Elsdorf Schnitt HAM SE1 16

4.2 Ufersicherung Außenecke Manheimer Bucht Schnitt HAM MB1 18

4.3 Ufersicherung Außenecke Manheimer Bucht Schnitt HAM MB2 18

4.4 Ufersicherung Außenecke Manheimer Bucht Schnitt HAM S112 19

4.5 Haltbarkeit, Instandhaltung und Wartung der Ufersicherungen 19

5 EXEMPLARISCHE BESCHREIBUNG VON BAUABLÄUFEN (BAULOGISTIK) 20

5.1 Prinzipieller Bauablauf 20

5.1.1 Lose Steinschüttung und geotextile Sandcontainer am Seequartier Elsdorf 20

5.1.2 Lose Steinschüttung mit Bodenabdeckung an der Außenecke Manheimer Bucht 21

5.2 Lager und Arbeitsflächen 21

5.3 Transportwege 21

5.3.1 Seequartier Elsdorf 22

5.3.2 Außenecke Manheimer Bucht 22

5.4 Bauzeitlicher Ablauf 22

5.4.1 Seequartier Elsdorf 23

5.4.2 Außenecke Manheimer Bucht 23

6 ERGEBNIS DER PLANUNG 24

LITERATURVERZEICHNIS 25

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Visualisierung des Tagebauendstand inkl. Referenzschnittlagen (RWE Power AG).....3

Abb. 2: Prognostizierte Wasserstände und Füllgrad im zeitlichen Verlauf (RWE Power AG).....4

Abb. 3: Ausdehnungsbereich des Seequartiers Elsdorf, Schnittlinie HAM SE1 (Anlage B-UST 1.1).....5

Abb. 4: Visualisierung des Seequartier Elsdorf aus dem 3D-Modell (RWE Power AG).....6

Abb. 5: Seequartier Elsdorf Schnitt HAM SE1, orange Linie umschließt den zu sichernden Bereich.....6

Abb. 6: Ausdehnungsbereich Außenecke Manheimer Bucht, Schnittlinien HAM MB1, HAM MB2 und HAM S112 (Anlage B-UST 1.1).....7

Abb. 7: Visualisierung der Außenecke Manheimer Bucht aus dem 3D-Modell (RWE Power AG) 8

Abb. 8: Flächeneinteilung der Außenecke Manheimer Bucht Schnittlinien HAM MB1, HAM MB2 und HAM S112 9

Abb. 9: Außenecke Manheimer Bucht Schnitt HAM MB1, orange Linie umschließt den zu sichernden Bereich 9

Abb. 10: Außenecke Manheimer Bucht Schnitt HAM MB2, orange Linie umschließt den zu sichernden Bereich 10

Abb. 11: Schematische Darstellung einer Fußvorlage einer Böschungssicherung (BAW, 2008).....17

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Untersuchungsbereiche.....5

Tab. 2: Eingangsdaten der Bemessung (Backhaus, Heyer, & Stamm, 2023; RWE Power AG).....11

Tab. 3: TBU Widerstandsparameter für Strömung und Wellenhöhe (bfg, 2018) 12

Tab. 4: Übersicht Bemessungsergebnisse 15

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BAW	*Bundesanstalt für Wasserbau*
GBB	*Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- & Sohlensicherung an Binnenwasserstraßen*
GD	*Geologischer Dienst*
GSC	*Geotextile Sandcontainer*
HAM	*Hambach*
IWD	*Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik*
KD	*Dimensionsloser Koeffizient in Hudson-Formel*
KFKI	*Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen*
KVBG	*Kohleverstromungsbeendigungsgesetz*
LMBV	*Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft GmbH*
MB	*Manheimer Bucht*
NRW	*Nordrhein-Westfalen*
NHN	*Normalhöhennull*
RfS	*Richtlinie für Standsicherheit*
RWTL	*Rheinwassertransportleitung*
TBU	*Technisch-biologische Ufersicherung*
WSP	*Wasserspiegel*

GLOSSAR

Begriff	Definition
Längsschnitt	Schnitt parallel zur Uferlinie
Querschnitt	Schnitt senkrecht zur Uferlinie
Unterwasserböschung	Böschungsbereich der komplett unterhalb der Wasseroberfläche liegt
Wellenschlagböschung	Uferböschung, die nach Erreichen des Zielwasserspiegels kontinuierlich durch Welleneinwirkung beeinflusst wird

1 Überblick

Für den Tagebau Hambach leitet sich gemäß des Stilllegungspfades des Kohleverstromungs-beendigungsgesetztes (KVBG) ein deutlich verminderter Braunkohlenbedarf ab, sodass die Braunkohlenförderung im Jahr 2029 endet. Der am 19.12.2024 vom Ministerium für Wirtschaft, Industrie, Klimaschutz und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen genehmigte Braunkohlenplan „Braunkohlenplan Hambach für das geänderte Tagebauvorhaben aufgrund des Kohleverstromungsbeendigungsgesetzes“ sieht vor, mit der Befüllung des Tagebausees Hambach ab dem Jahr 2030 zu beginnen und diese möglichst bis zum Jahr 2070 abzuschließen. Der Tagebausee Hambach ist ein wichtiger Baustein bei der finalen Wiedernutzbarmachung des Bergbaubetriebs und dient auch der Beschleunigung des natürlichen Wiederanstiegs des zu Bergbauzwecken abgesenkten Grundwasserspiegels.

Das zur Befüllung der Tagebaumulde benötigte Wasser wird dem Rhein bei Dormagen entnommen und über die bereits in Bau befindliche Rheinwassertransportleitung (RWTL) bis an den Tagebaurand geführt. Die Einleitung von bis zu 13,5 m³/s Rheinwasser in den Tagebausee erfolgt über ein nördlich von Elsdorf zu errichtendes Einleitbauwerk bestehend aus einer Kombination von erdverlegten Rohrleitungen und Kaskadengerinnen. Das Einleitbauwerk schließt an das Auslaufbauwerk der RWTL an. Dabei werden auch Wässer der nachlaufenden Sümpfung eingeleitet, mit der die laufende Grundwasserentnahme in reduziertem Umfang im Nahbereich des Tagebausees fortgeführt wird. Sie erzeugt einen hydraulischen Gradienten vom entstehenden See in das umliegende Gebirge, der während der Befüllung des Sees zur Standsicherheit der Böschungen beiträgt. Bei Erreichen des Zielwasserspiegels von +65 m NHN wird der Tagebausee eine Wasserfläche von rd. 3.530 ha und eine Tiefe von bis zu rd. 345 m aufweisen. Nach erfolgtem Grundwasserwiederanstieg unterstützt der Tagebausee durch den gewählten Zielwasserspiegel und zuströmendes Grundwasser die erforderlichen Niedrighaltungsmaßnahmen des Erftverbandes in der Erftniederung. Der Tagebausee wird über ein in einem separaten Planfeststellungsverfahren zu genehmigendes Ablaufgewässer mit Ableitung in Richtung Erft in den natürlichen Wasserhaushalt eingebunden.

Für die Umsetzung des Gesamtvorhabens „Tagebausee Hambach“ mit seinen Teilvorhaben

- Herstellung des Tagebausees, sowie
- nachlaufende Sümpfung

ist die Durchführung eines wasserrechtlichen Planfeststellungsverfahrens gemäß § 68 Abs. 1 WHG erforderlich. Eine ausführliche rechtliche Einordnung ist dem Erläuterungsbericht zu entnehmen.

Die Herstellung des Tagebausees Hambach schließt Maßnahmen des Uferausbaus, die limnologische Entwicklung des Tagebausees, das Einleitbauwerk sowie dessen Funktion in Natur und Landschaft einschließlich der Interaktion mit dem Grundwasser ein. Mit dem Einleitbauwerk werden das mittels der RWTL entnommene Wasser aus dem Rhein sowie eine Teilmenge der Wässer der nachlaufenden Sümpfung in die Seekubatur geführt. Die nachlaufende Sümpfung beinhaltet die zeitlich befristete Fortführung der Grundwasserentnahme zur Gewährleistung der

Standsicherheit. Eine ausführliche technische Beschreibung ist dem Erläuterungsbericht zu entnehmen.

Zum Schutz gegen Windwellenerosion wird das Böschungssystem der Seemulde auf Höhe des Zielwasserspiegels grundsätzlich mit einer flachen Wellenschlagzone mit einer Neigung von 1:25 bis 1:30 angelegt. Die Neigung der Wellenschlagzonen resultiert aus der Betrachtung des windinduzierten Wellenaufbaus und den zu erwartenden Wellenparameter. Kleinräumig wird es Uferbereiche auf Höhe des Zielwasserstandes innerhalb des künftigen Tagebausees Hambach geben, die mit Blick auf den zu erwartenden Windwellenangriff einer detaillierten Betrachtung dahingehend bedürfen, ob im Einzelfall bauliche Sicherungsmaßnahmen zur Vermeidung von rückschreitenden Erosionsprozessen und einer entsprechenden Verlagerung der Uferlinie erforderlich sind. Hierbei handelt es sich um Bereiche, in denen das Anlegen der flachen Wellenschlagzone nicht möglich sein wird oder die eine besonders windexponierte Lage aufweisen. Von der RWE Power AG wurden diese Bereiche identifiziert und es wurde anhand von Lage- und Schnittdarstellungen festgelegt, welche Teilbereiche sich nicht aufgrund von Windwellenerosionen verändern dürfen. In der vorliegenden Genehmigungsplanung wurden diese Bereiche von Tractebel untersucht (s. Anlage B-UST 1.1 und B-UST 2).

Es gibt kleinräumige Bereiche innerhalb des künftigen Tagebausees Hambach, die mit Blick auf den zu erwartenden Windwellenangriff einer detaillierten Betrachtung dahingehend bedürfen, ob im Einzelfall bauliche Sicherungsmaßnahmen zur Verringerung von Erosionsprozessen erforderlich sind. Hierbei handelt es sich um folgende Bereiche (s. Anlage B-UST 1.1):

- Seequartier Elsdorf: Der Wellenschlagbereich in der 1:2,5 geneigten Uferböschung muss zur Vermeidung von rückschreitender Erosion aufgrund von Windwellen baulich gesichert werden.
- Außenecke Manheimer Bucht: Zum Schutz vor einer rückschreitenden Erosion aufgrund der exponierten Lage im abknickenden Geländeverlauf zwischen der Böschung vor dem Hambacher Forst und der Böschung in der Manheimer Bucht ist die flache Wellenschlagzone baulich zu sichern.

Die gewählte Böschungsgeometrie berücksichtigt die gebirgsmechanischen Vorgaben und ist so bemessen, dass die Standsicherheit der Gesamtböschung als auch der Einzelböschungen der Tagebauseen für die Befüllungsphase sowie auch im dauerhaften Endzustand nachgewiesen ist. Die Grundlage für die geotechnischen Untersuchungen und Beurteilungen der Standsicherheit von Randböschungen und bleibenden Böschungen und der zugehörigen Hochkippen sowie Restseen (Tagebauseen) in Nordrhein-Westfalen (NRW) bildet die Richtlinie für die Untersuchung der Standsicherheit von Böschungen der im Tagebau betriebenen Braunkohlebergwerke („RfS“) der Bezirksregierung Arnsberg. Weiterführende Informationen zur Standsicherheit der Tagebauseeböschungen können der Anlage A-GTS entnommen werden. Für die zu untersuchenden Bereiche wurde die potenzielle Erosion resultierend aus Oberflächenwasserabfluss während der Seebefüllung berücksichtigt.

2 Grundlagen

Im Zuge der Herstellung des Tagebausees sind Ufersicherungen in ausgewählten Bereichen der zukünftigen Böschungen auf Niveau des Zielwasserspiegels vorzusehen. Hintergrund sind die durch

Windwellen- und Strömungsbelastungen entstehende Erosionsprozesse. Grundsätzlich werden die Tagebauseeuferböschungen mit einer flachen Wellenschlagzone von 1:25 bis 1:30 gestaltet, um der Belastung durch Wellenauflauf entgegenzuwirken. In den Uferbereichen, in denen dies nicht möglich ist, muss die Uferböschung gegen eine rückschreitende Erosion gesichert werden. Neben dem Wellenangriff sind bei der Wahl der Sicherungssysteme Setzungen im Untergrund im Bereich der Kippe und Hebungen aufgrund des Grundwasserwiederanstiegs, die sich beim Füllprozess einstellen werden, zu berücksichtigen.

Ziel des Bauvorhabens ist es, die Seeuferbereiche ohne flache Wellenschlagzone auf Höhe des Zielwasserspiegels und den exponierten abknickenden Böschungsverlauf im Übergang zur Manheimer Bucht vor rückschreitender Erosion durch geeignete Sicherungsmaßnahmen zu schützen.

2.1 Lage des Planungsgebietes

Das Rheinische Braunkohlerevier liegt in Nordrhein-Westfalen in der Niederrheinischen Bucht im Städtedreieck Aachen, Mönchengladbach und Bonn. Die RWE Power AG betreibt dort die 3 aktiven Tagebaue Inden, Hambach und Garzweiler. Der Tagebau Hambach liegt zwischen der Stadt Jülich (Kreis Düren) und Kerpen (Rhein-Erft-Kreis). Im Norden grenzt die Stadt Elsdorf an den Tagebau, südöstlich liegt der sog. Hambacher Forst. Südlich davon verläuft die Autobahn A4. Abb. 1 visualisiert den Tagebauentstand bevor die Befüllung des Tagebaurestloches beginnt inklusive den betrachteten Referenzschnittlagen. Die Lagen der Schnitte sind auch der Anlage B-UST 1.1 zu entnehmen.

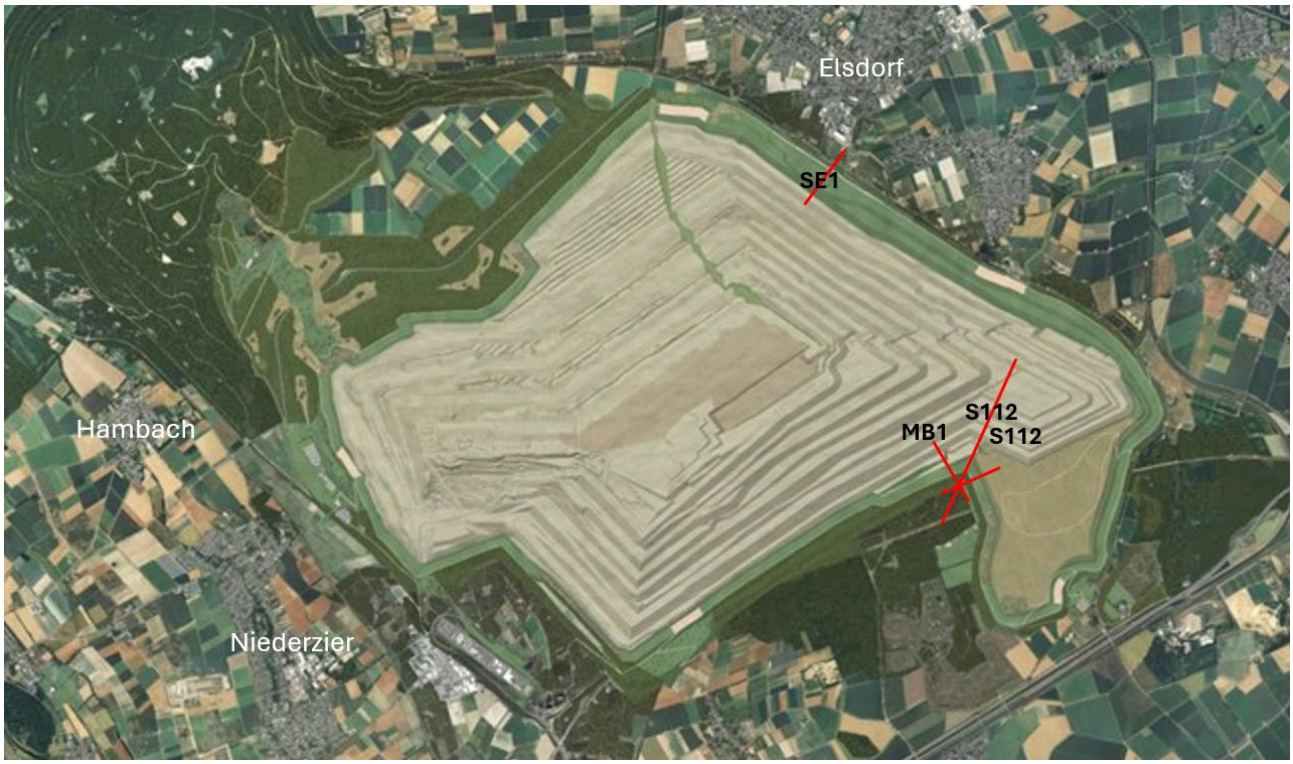


Abb. 1: Visualisierung des Tagebauendstand inkl. Referenzschnittlagen (RWE Power AG)

2.2 Befüllkurve

Der Beginn der Befüllung des Tagebausees ist im Jahr 2030 geplant. Der Zielwasserspiegel von +65 m NHN wird nach rund 40 Jahren erreicht. Zur Auffüllung der Grundwasserkörper wird nach Erreichen des Endwasserspiegels für einen begrenzten Zeitraum weiter Wasser in den Tagebausee zugeführt. Es wird davon ausgegangen spätestens im Jahr 2095 die Einleitung vollständig einstellen zu können (Anlage A-GWM).

Die prognostizierte Entwicklung des Seewasserstands, über den Befüllzeitraum hinweg, ist in Abb. 2 dargestellt. Die blaue Kurve zeigt den prognostizierten Wasserstandsanstieg während des Befüllvorgangs.

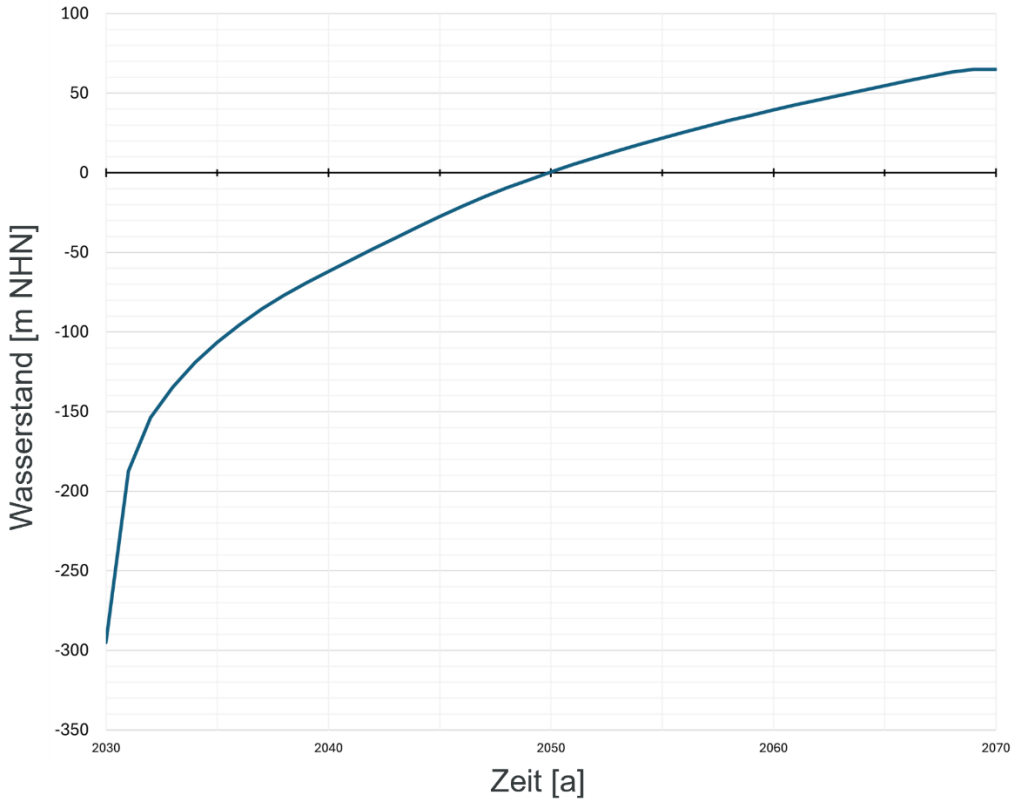


Abb. 2: Prognostizierte Wasserstände und Füllgrad im zeitlichen Verlauf (RWE Power AG)

Aus Abb. 2 ist ersichtlich, dass der Wasserstand des Tagebausees in den ersten Jahren der Befüllung sehr schnell ansteigt. Ursache dafür ist der wachsende Umfang des Sees mit zunehmender Höhe.

2.3 Untersuchungsbereiche

Wie in Kap. 1 beschrieben, wird es im Tagebausee Hambach Uferbereiche geben, in denen das Anlegen einer flachen Wellenschlagzone auf Höhe des Zielwasserspiegels mit einer Neigung von 1:25 bis 1:30 nicht möglich sein wird und Bereiche, die durch ihre Lage besonders exponiert sind. Im Rahmen dieser Genehmigungsplanung wurde geprüft, welche Bereiche zum Schutz vor einer rückschreitenden Windwellenerosion zu sichern sind. Dabei handelt es sich um das Seequartier Elsdorf und die Außenecke Manheimer Bucht (s. Anlage B-UST 1.1). In Tab. 1 sind die Untersuchungsbereiche mit ihrem Referenzschnitt und ihren topografischen Randbedingungen aufgelistet. Zur besseren Verortung wurde eine Stationierung entlang der finalen Uferlinie angesetzt,

diese kann dem Übersichtsplan (s. Anlage B-UST 1.1) entnommen werden. Bei den Angaben aus Tab. 1 handelt es sich um gerundete Werte.

Tab. 1: Untersuchungsbereiche

Schnitte	Sicherungs-bereiche	Stationierung [km]	Höhenlage Böschungsfuß [m NHN]	Böschungs-neigung	Böschungs-länge im Querschnitt [m]
Seequartier Elsdorf (HAM SE1)	Böschung Wellenschlag	14+290 - 15+910	+51	1:2,5	40
Außenecke Manheimer Bucht (HAM MB1)	Wellenschlag -zone	4+420 - 4+650	+63	1:30	120
	Unterwasser-böschung	4+420 - 4+650	+59	1:5	19
Außenecke Manheimer Bucht (HAM MB2)	Wellenschlag -zone	4+700 - 4+820	+63	1:25	99
	Unterwasser-böschung	4+700 - 4+820	+53	1:5	51
Außenecke Manheimer Bucht (HAM S112)	Wellenschlag -zone	4+650 - 4+700	+63	1:34	144
	Unterwasser-böschung	4+650 - 4+700	+53	1:7	70

2.3.1 Seequartier Elsdorf

Beim Seequartier Elsdorf ist die Uferböschung mit einer Neigung von 1:3 gegen eine rückschreitende Erosion aufgrund von Windwellenangriffen zu sichern. Der Schnitt „HAM SE1 Seequartier Elsdorf„ (s. Abb. 3) stellt einen repräsentativen Regelquerschnitt für den Uferbereich dar. Der Sicherungsbereich ist in der Grundrissdarstellung orange markiert. Der Ausdehnungsbereich ist ca. 1.620 m lang.

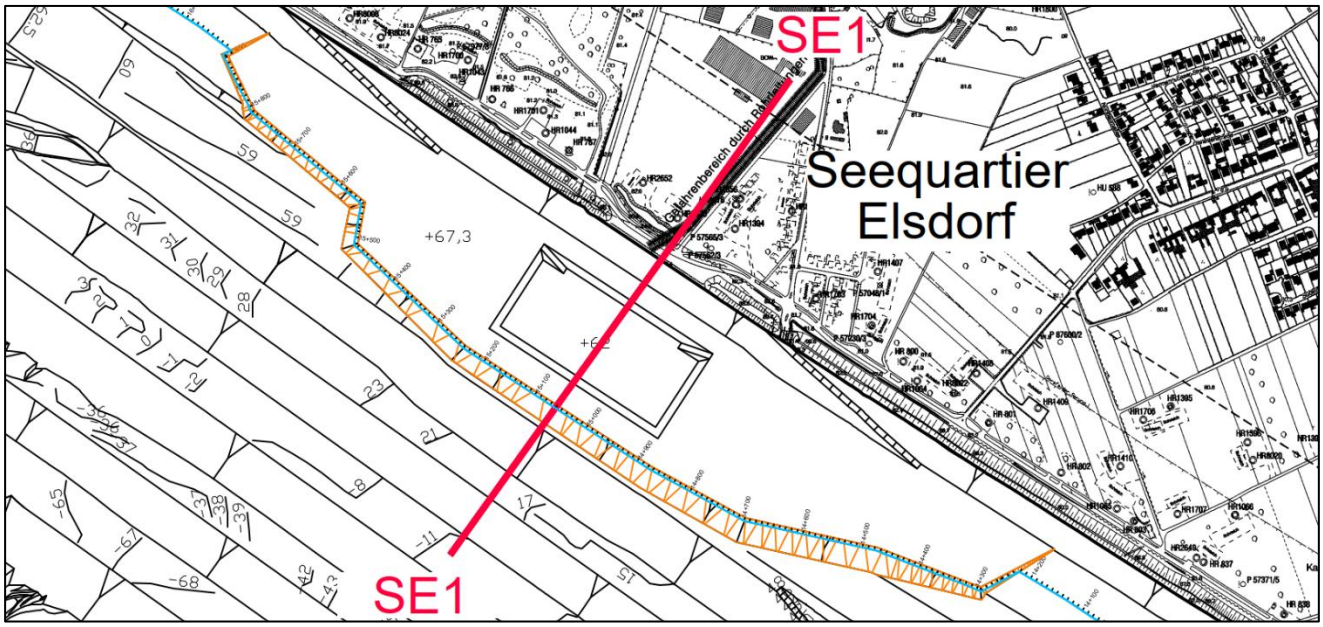


Abb. 3: Ausdehnungsbereich des Seequartiers Elsdorf, Schnittlinie HAM SE1 (Anlage B-UST 1.1)

Die dreidimensionale Ansicht in Abb. 4 visualisiert die Böschungsstruktur entlang des Seequartiers Elsdorf. Der zu sichernde Bereich verläuft einmal um das potentielle Hafenbecken des Seequartiers herum.



Abb. 4: Visualisierung des Seequartier Elsdorf aus dem 3D-Modell (RWE Power AG)

In Abb. 5 ist die Böschungsgeometrie in einem bemaßten Querschnitt entlang der Schnittlinie HAM SE1 dargestellt. Der zu sichernde Uferbereich ist orange und der Zielwasserstand des Tagebausees blau dargestellt. Der Fuß der betrachteten Böschung befindet sich in einer Höhe von +50 m NHN. Die Oberkante der Böschung liegt rd. 16 m höher in einer Höhenlage von +66 m NHN. Der zu sichernde Bereich hat eine Ausdehnung von rd. 40 m bei einer durchschnittlichen Neigung von rd.1:2,5. Die geometrischen Daten können der Tab. 1 entnommen werden. Die landseitig Vertiefung stellt ein optionales Hafenbecken dar, welches im Falle einer Realisierung durch die Region oder einen sonstigen Dritten technisch ausgebaut wird. Es ist kein Bestandteil dieser Untersuchung und wird lediglich nachrichtlich dargestellt. Sollte eine Realisierung nicht erfolgen, so wird das Becken auf einem Höhenniveau über dem Zielwasserspiegel von +65 m NHN verfüllt.

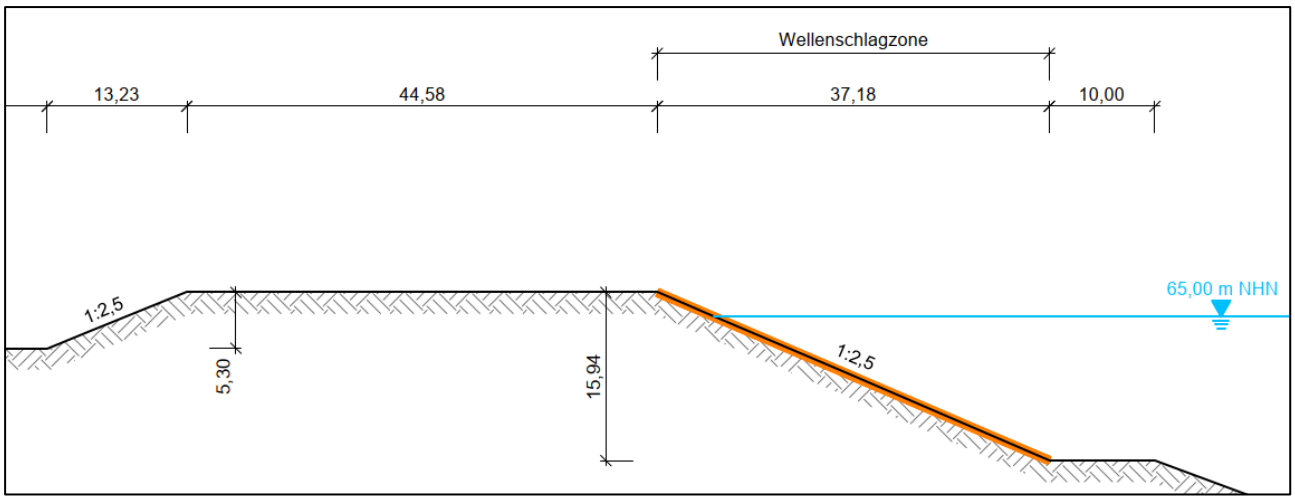


Abb. 5: Seequartier Elsdorf Schnitt HAM SE1, orange Linie umschließt den zu sichernden Bereich

2.3.2 Außenecke Manheimer Bucht

Eine gesonderte Betrachtung im Hinblick auf Wind- und Wellenangriff sowie möglicher Erosionsprozesse erfordert die exponierte Außenecke der Manheimer Bucht. Dieser Abschnitt im Tagebausee Hambach weist einen annähernd im rechten Winkel abknickenden Geländeverlauf auf, wodurch er durch den Strömungsabriss und Umlenkungseffekte in diesem Bereich besonders erosionsanfällig ist. Die ausgeprägte Topografie beeinflusst die lokalen Strömungsmuster und damit auch den Sedimenttransport. Um diesen Bereich ausreichend topografisch zu erfassen, wurden drei repräsentative Schnitte gewählt: HAM MB1, HAM MB2 und HAM S112 (s. Anlage B-UST 1.1), die zur Veranschaulichung in Abb. 6 dargestellt sind. Zur Vermeidung von Umlagerungen an den Übergangsbereichen von den Sicherungssystemen zu der ungesicherten Uferböschung wurde der zu sichernde Bereich ausreichend um die Außenecke der Manheimer Bucht ausgeweitet. Der gesamte Ausdehnungsbereich ist ca. 280 m lang. Die Außenecke Manheimer Bucht ist in einer dreidimensionalen Ansicht in Abb. 7 dargestellt.

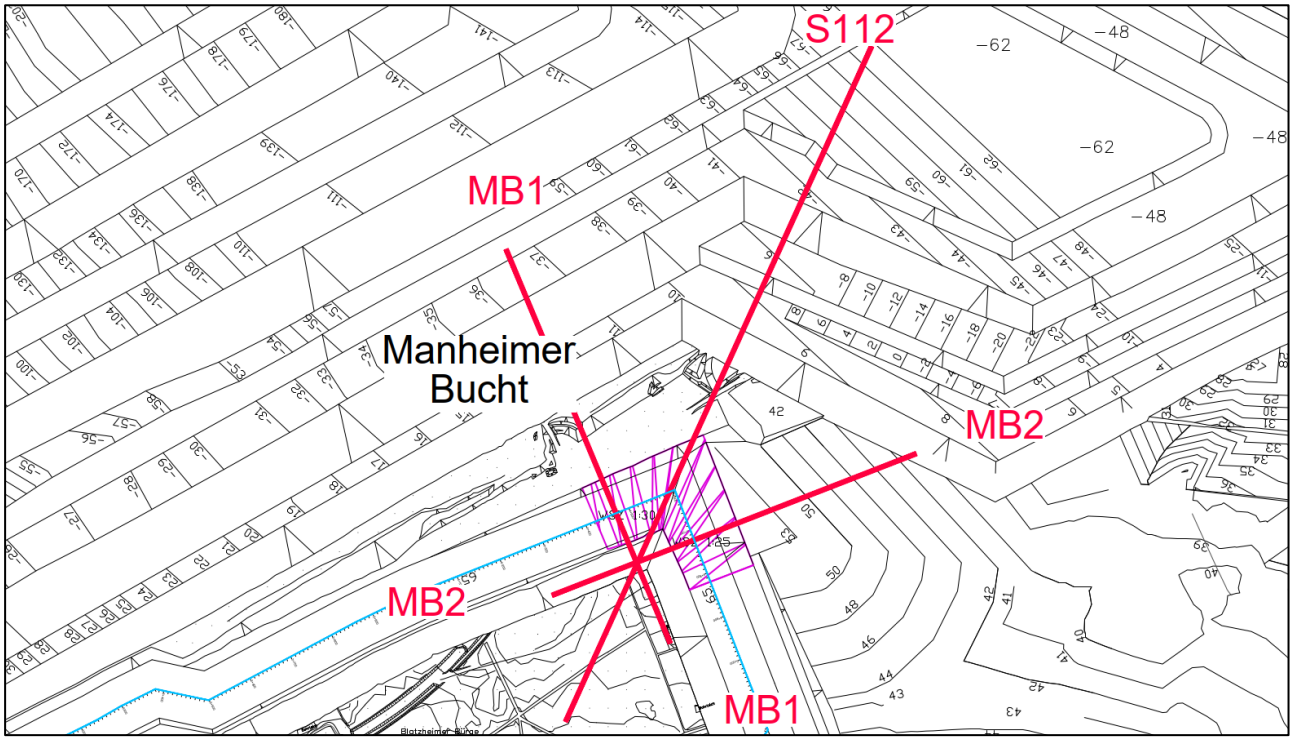


Abb. 6: Ausdehnungsbereich Außenecke Manheimer Bucht, Schnittlinien HAM MB1, HAM MB2 und HAM S112 (Anlage B-UST 1.1)

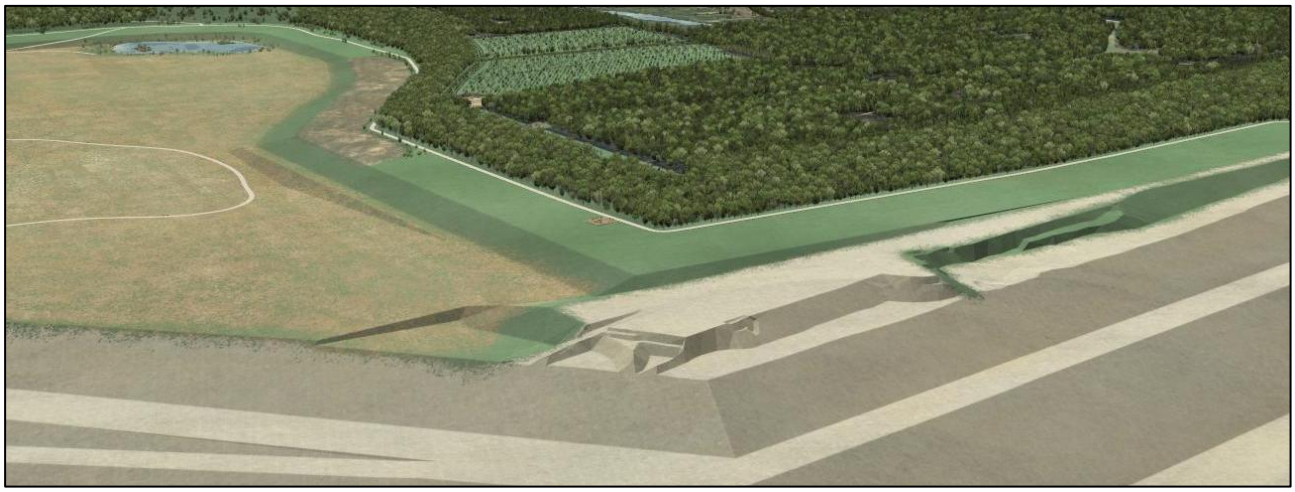


Abb. 7: Visualisierung der Außenecke Manheimer Bucht aus dem 3D-Modell (RWE Power AG)

Die Einteilung der Flächenbereiche zur Böschungssicherung an der Außenecke Manheimer Bucht ist in Abb. 8 dargestellt. Im Gegensatz zum Seequartier Elsdorf wird die Außenecke Manheimer Bucht mit einer Wellenschlagzone von 1:25 bis 1:30 hergestellt. Die Außenecke Manheimer Bucht ist jedoch aufgrund ihrer Form exponiert. Damit Umlagerungen vermieden werden können, wurde die Wellenschlagzone und zusätzlich die Unterwasserböschung, mit einer Neigung von 1:5, betrachtet. Die Abmessungen des Eckenbereiches sind Tab. 1 zu entnehmen. Im südöstlichen Abschnitt der Außenecke Manheimer Bucht sind die Belastungen aus Windwellen und Strömungen geringer als am westlichen Böschungsabschnitt der Außenecke Manheimer Bucht. Der Bereich in der Schnittlage HAM MB2 befindet sich im sog. Strömungsschatten, während der Böschungsabschnitt in der Schnittlage HAM MB1 sich in Hauptwindrichtung befindet. Der Schnitt HAM S112 der Außenecke Manheimer Bucht wurde aufgrund der Flächenaufteilung in die Bereiche der Schnitte HAM MB1 und HAM MB2 integriert. Aufgrund der unterschiedlichen Belastungen kommen unterschiedliche Ufersicherungen in Frage. Aus diesem Grund wird die Gesamtfläche der Manheimer Bucht in die Außenecke Manheimer Bucht HAM MB1, mit jeweils höheren Belastungsgrößen, und in die Außenecke Manheimer Bucht HAM MB2, mit geringeren Belastungsgrößen, aufgeteilt. Bei der Wahl der Flächenaufteilung spielt der Wellenauflauf und die gegebenen Böschungsneigungen ebenfalls eine Rolle, da diese Parameter einen maßgebenden Einfluss auf die Dimensionierung der Sicherungssysteme haben. Die steilere Unterwasserböschung wird an dem Eckpunkt getrennt, während die flache Wellenschlagzone noch um die Ecke Richtung Schnitt HAM MB2 gezogen wird.

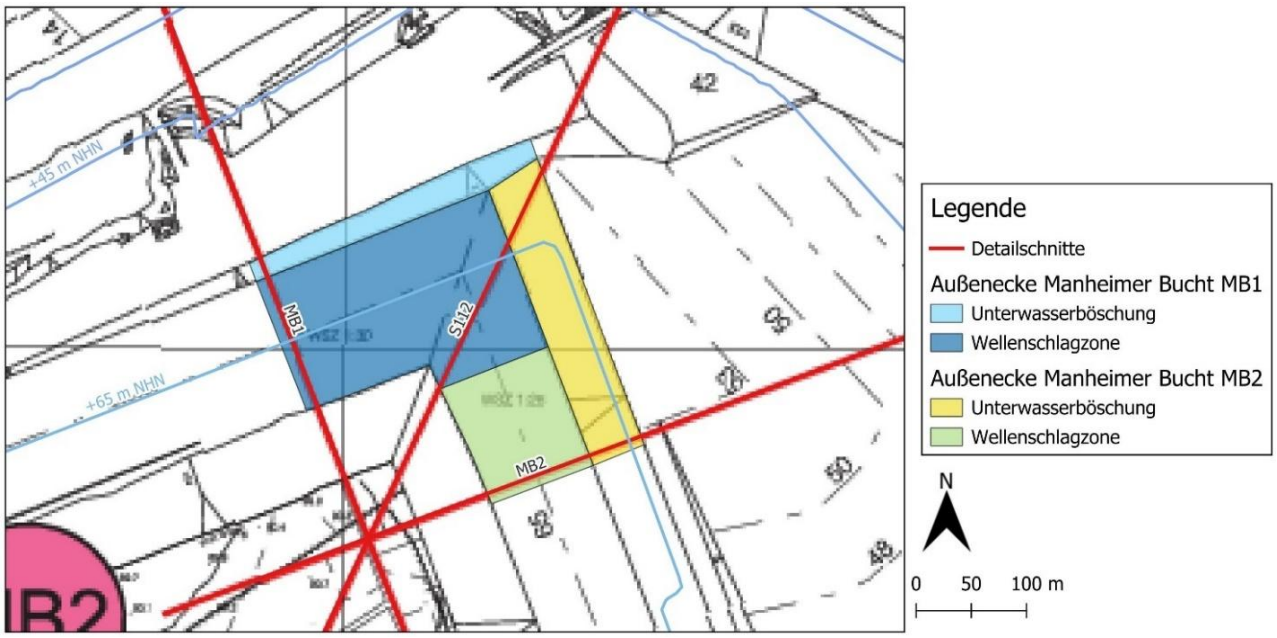


Abb. 8: Flächeneinteilung der Außenecke Manheimer Bucht Schnittlinien HAM MB1, HAM MB2 und HAM S112

Die Böschungsgeometrien der Außenecke Manheimer Bucht sind in Abb. 9 und Abb. 10 angegeben. Abb. 9 stellt den Querschnitt entlang der Schnittlinie HAM MB1 dar. Die orange hervorgehobene Böschung stellt den zu sichernden Bereich dar und beginnt in einer Höhenlage von +59 m NHN und endet rd. 11 m höher in einer Höhenlage von +70 m NHN. Die Böschung hat eine Gesamtlänge von 155 m mit variierenden Neigungen, die in einer Spanne von 1:5 bis 1:30 liegen. Der Zielwasserspiegel bei +65m NHN ist in der Zeichnung zur Orientierung blau hervorgehoben. Die geometrischen Daten können der Tab. 1 entnommen werden.

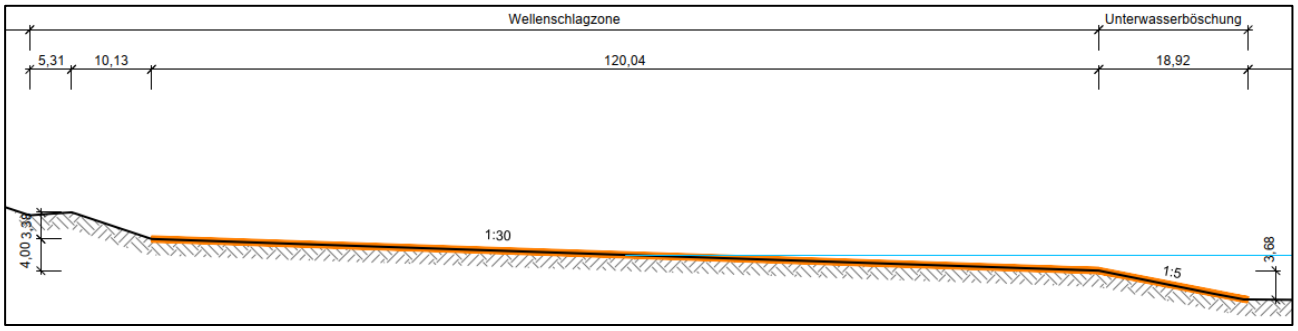


Abb. 9: Außenecke Manheimer Bucht Schnitt HAM MB1, orange Linie umschließt den zu sichernden Bereich

In Abb. 10 ist der Querschnitt entlang der Schnittlinie HAM MB2 dargestellt. Die orange hervorgehobene Böschung stellt den zu sichernden Bereich dar und beginnt in einer Höhenlage von +53 m NHN und endet 14 m höher in einer Höhenlage von +67 m NHN. Die Böschung hat eine Gesamtlänge von rd. 150 m mit einer Neigung von 1:5 im Bereich der Unterwasserböschung und einer Neigung von 1:25 in der Wellenschlagzone. Der Zielwasserspiegel ist in der Zeichnung zur Orientierung blau hervorgehoben. Die Böschungsgeometrie kann der Tab. 1 entnommen werden.

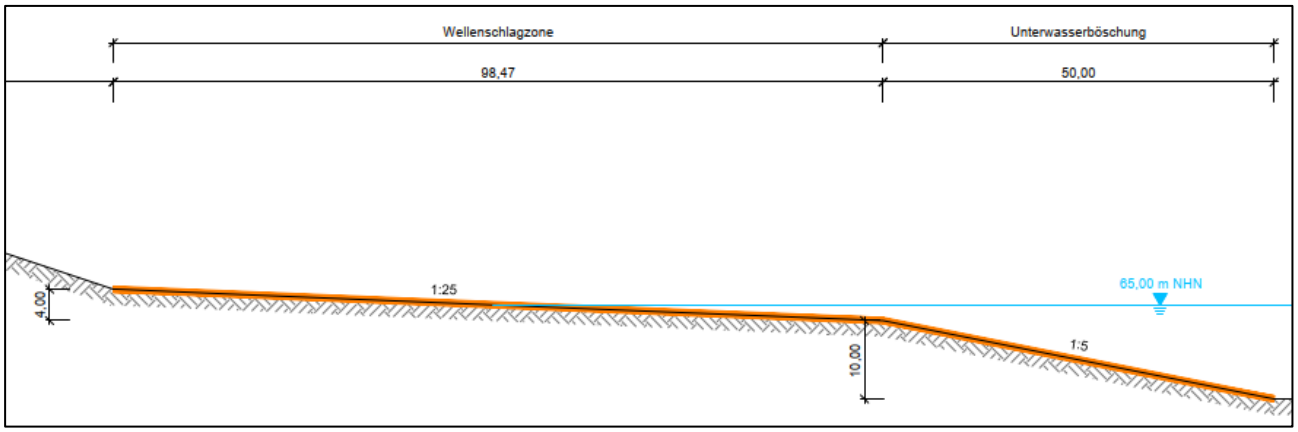


Abb. 10: Außenecke Manheimer Bucht Schnitt HAM MB2, orange Linie umschließt den zu sichernden Bereich

2.4 Alternativen und Variantenbetrachtung

Es wurden verschiedene Ufer- und Böschungssicherungen für die Umsetzung im Tagebausee Hambach herangezogen. Aufgrund von Randbedingungen, die im Tagebau vorherrschen, und den potentiellen Belastungen aus Sturmereignissen eignen sich nicht alle Ufersicherungssysteme. Neben den technisch-biologischen Sicherungen (TBU) gibt es technische Sicherungssysteme, wie verklammerte oder lose Steinschüttungen, ein Setzsteindeckwerk oder Betonsteindeckwerk. Zusätzlich wurden flächenhafte Sicherungen wie Geotextile, geotextile Sandcontainer (GSC) oder Drahtschottermatratzen betrachtet.

Bei den technischen Sicherungen werden flexible und starre Sicherungen unterschieden, d. h. flexible Sicherungen können sich den Verformungen des Untergrundes anpassen. Starre Sicherungen eignen sich aufgrund der prognostizierten Verformungen des Baugrundes nicht. Durch Verschiebungen infolge des Grundwasseranstiegs kann es zu relevanten Bodenbewegungen kommen (Lichtblau & Herle, 2022). Demnach sind starre Systeme wie die verklammerte Steinschüttung, das Setzsteindeckwerk und das Betonsteindeckwerk aufgrund der Setzungsempfindlichkeit ungeeignet für den dauerhaften Einsatz im Tagebau.

Flexible Sicherungssysteme wie die GSC oder Betonmatten mit Lücken fielen an vielen Bereichen aufgrund ihrer fehlenden Durchwurzelbarkeit aus (BAW, 2021). Um einen flexiblen Pflanzplan zu gewährleisten, müssen die ausgewählten Sicherungssysteme in der Wellenschlagzone eine ausreichende Durchwurzelung ermöglichen. Dies ist im Hinblick auf eine naturnahe und ökologische Gestaltung der Uferbereiche relevant.

Viele TBUs sind für die prognostizierten Wellenbelastungen nicht ausreichend widerstandsfähig (s. Tab. 3). Zudem erfordern sie eine permanente Lage oberhalb des Seewasserspiegels, da die Pflanzen sonst sukzessiv mit dem Anstieg des Wasserspiegels absterben. Das liegt hauptsächlich daran, dass in Deutschland keine geeigneten Pflanzen heimisch sind die sowohl an terrestrischen als auch an aquatischen Standorten gedeihen. Dadurch sind sie für den Schutz der unterhalb liegenden Bereiche sowie des Böschungsfußes ungeeignet.

3 Technische Bemessung der Ufersicherungssysteme

Im folgenden Kapitel werden die theoretischen Bemessungsgrundlagen, denen die Schichtdimensionierung der Ufersicherungssysteme zugrunde liegen, kurz erläutert. Eine ausführliche Darlegung der Bemessungsparameter ist in der Anlage A-UST-2 zu finden. Die Schichtdimensionierung beinhaltet die erforderlichen Mächtigkeiten und Zusammensetzungen des Sicherungssystems. Im Anschluss werden die Bemessungsergebnisse für die betrachteten Bereiche vorgestellt. Grundlagen für die Bemessung sind die numerischen Untersuchungen des Institutes für Wasserbau und Technische Hydromechanik (IWD) und die Gesellschaft für Wissens- und Technologietransfer (GWT) an der TU Dresden (Backhaus, Heyer, & Stamm, 2023). In der numerischen Simulation wurden verschiedene Sturmsimulationen durchgeführt. Die daraus gewonnenen Wellenparameter wie signifikante Wellenhöhe, mittlere Wellenperiode und mittlere Wellenlänge sind der Tab. 2 zu entnehmen. Für die technische Bemessung der Ufersicherungen wurden die maximalen Wellendaten, die an den Untersuchungsbereichen auftreten, gewählt.

Tab. 2: Eingangsdaten der Bemessung (Backhaus, Heyer, & Stamm, 2023; RWE Power AG)

Schnitt	Bereich	Wasser-spiegel [m NHN]	signifikante Wellenhöhe Hs [m]	mittlere Wellenperiode Tm [s]	mittlere Wellenlänge Lm [m]
Seequartier Elsdorf HAM SE1	Wellenschlag-böschung	65	2,10	3,80	18,00
Außenecke Manheimer Bucht HAM MB1	Wellenschlag-zone	65	0,80	2,40	6,20
Außenecke Manheimer Bucht HAM MB1	Unterwasser-böschung	65	0,80	2,40	6,20
Außenecke Manheimer Bucht HAM MB2	Wellenschlag-zone	65	0,30	1,50	2,50
Außenecke Manheimer Bucht HAM MB2	Unterwasser-böschung	65	0,30	1,50	2,50
Außenecke Manheimer Bucht HAM S112	Wellenschlag-zone	65	0,50	1,90	3,80
Außenecke Manheimer Bucht HAM S112	Unterwasser-böschung	65	0,50	1,90	3,80

3.1 Bemessungsparameter technisch-biologische Ufersicherung (TBU)

Bei technisch biologischen Ufersicherungen handelt es sich um naturnahe Ufersicherungsmaßnahmen, die entweder nur aus Pflanzen oder aus einer Kombination aus Pflanzen und technischen Komponenten bestehen, dazu zählen z.B. Pflanzmatten, Weidenspreitlagen und Röhrichtgabionen (DWA, 2020; DWA, 2016).

Entscheidender Bemessungsparameter der technisch-biologischen Ufersicherung (TBU) ist der maximale Widerstand gegen Strömungs- und Wellenbelastung. In Tab. 3 ist der maximale Widerstand für die Weidenspreitlagen, die vorkultivierten Pflanzmatten und die Röhrichtgabionen aufgelistet. Zu anderen technisch-biologischen Ufersicherungen gibt es zum aktuellen Stand der

Technik keine Angaben zum Widerstand gegenüber Strömungs- und Wellenbelastung. Ein Einsatz im Tagebausee scheidet demnach aus.

Tab. 3: TBU Widerstandsparameter für Strömung und Wellenhöhe (bfg, 2018)

TBU	Max. Widerstand (Strömungsgeschwindigkeit) [m/s]	Max. Widerstand (Wellenhöhe) [m]
Weidenspreitlage	1,0	0,3
Vorkultivierte Pflanzmatten	1,0	0,2
Röhrichtgabionen	2,6	1,0

3.2 Bemessung von Schüttsteinen

Die Bemessung eines Schüttsteindeckwerkes kann nach mehreren theoretischen Ansätzen erfolgen. Insbesondere die Berechnungsmethoden nach Hudson und Van der Meer haben sich als geeignet erwiesen und werden weit verbreitet in Planungsprozessen von Deckwerken verwendet (KFKI, 2020). Sie bilden somit den Stand der Technik. Im Folgenden werden die Berechnungsansätze vorgestellt. Diese wurden im Rahmen der Untersuchungen verwendet, um die notwendige Steingröße für ein Schüttsteindeckwerk zu dimensionieren.

3.2.1 Bemessung nach Hudson

Die Hudson-Formel basiert auf empirischen Untersuchungen und ist vor allem in der Küsteningenieurpraxis weit verbreitet. Die Formel basiert auf kleinmaßstäblichen Modellversuchen mit regelmäßigen Wellen. Sie dient der Dimensionierung von Böschungen mit Bruchstein- oder Formkörperabdeckungen und berücksichtigt folgende Parameter (KFKI, 2020):

- Erforderliches Gewicht eines Einzelblockes in der Deckschicht
- Dichte der Steine und des Wassers
- Erdbeschleunigung
- Bemessungswellenhöhe (Signifikante Wellenhöhe)
- Böschungsneigung
- Dimensionsloser Koeffizient KD

Der KD-Wert fasst Faktoren wie die Form der Deckschichtsteine und die Wellenform zusammen. Die Wellenhöhe geht mit der 3. Potenz in die Formel ein, wodurch die Dimensionierung stark von der Belastung infolge des zu erwartenden Seegangs abhängt (KFKI, 2020).

Mittels der Hudson-Formel wird die mittlere Steinwichte W der Deckschicht berechnet. Anschließend ist noch eine Umrechnung der Wichte zum mittleren Steingewicht erforderlich. Diese erfolgt nach BAW (Bundesanstalt für Wasserbau) Merkblatt „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen“ (BAW, 2011; KFKI, 2020).

Die Hudson-Formel setzt voraus, dass der Wellenauflauf (run-up) durch das Gewicht und die Neigung der Böschung kontrolliert wird. Sie hat den Vorteil, dass sie einfach anwendbar ist, da nur

wenige Eingangsgrößen erforderlich sind. Allerdings berücksichtigt sie nicht alle relevanten Faktoren wie Wellenbrechertyp oder Dauerbelastung (KFKI, 2020).

3.2.2 Bemessung nach Van der Meer

Der Ansatz von Van der Meer aus dem Jahr 1988 bietet eine detailliertere Berechnungsmethode als die Hudson-Formel. Hier werden mehrere Einflussgrößen berücksichtigt (KFKI, 2020):

- Wellensteilheit
- Durchlässigkeit der Deck- und Filterschicht
- Zulässiger Zerstörungsgrad
- Sturmdauer
- Stabilitätszahl NS

Da die Randbedingungen besagen, dass keine Umlagerungen stattfinden dürfen, wurde bei der Bemessung keine Zerstörung zugelassen. Und damit ein Zerstörungsgrad von 1 gewählt. *NS* wird verwendet, um das Verhältnis von angreifenden Kräften (Wellenhöhe) zu widerstehenden Kräften (Steindurchmesser) zu quantifizieren. Auch hier geht die Wellenhöhe mit der 3. Potenz in die Berechnungen ein (KFKI, 2020).

Die Van der Meer-Formel unterscheidet zwischen zwei Wasserbereichen:

1. Große Wassertiefe am Böschungsfuß: Keine Beeinflussung der Wellenhöhe durch Wellenbrechen.
2. Geringe Wassertiefe am Böschungsfuß: Wellenhöhe wird durch Wellenbrechen beeinflusst. Hier wird H_2% (Wellenhöhe mit 2 % Überschreitungswahrscheinlichkeit) statt der signifikanten Wellenhöhe verwendet.

Die Van der Meer-Formel unterscheidet explizit zwischen verschiedenen Typen des Wellenbrechens und Belastungsszenarien. Für die Anwendung sind präzise Angaben zu Faktoren wie der Porosität und der Sturmdauer erforderlich, die allerdings häufig mit Unsicherheiten behaftet sind. Zusammenfassend ermöglicht der Ansatz von Van der Meer eine differenzierte und genauere Dimensionierung als die Hudson-Formel, allerdings nur, wenn ausreichend genaue Daten für die Eingangsparameter zur Verfügung stehen (KFKI, 2020).

3.2.3 Auswahl der Steinklasse

Die Auswahl der erforderlichen Steinklasse erfolgt basierend auf DIN EN 13383-1:2002-08. Hier werden die Anforderungen an die Größenverteilung in den Standard-Steinklassen festgelegt. Diese bildet auch die Grundlage auf derer die notwendige Steinklasse ausgewählt wurde. Weitere Angaben sind der DIN 13383-1:2002-08 zu entnehmen (Deutsche Institut für Normung e.V., 2002).

3.3 Bemessung nach Pilarczyk

Deckwerke aus Schotter, Blöcken, Blockmatten, Matratzen und Asphalt sind im Wasser- und Tiefbau weit verbreitet. Granular- und geotextile Filter gehören heutzutage meist zur Standardkonstruktion.

Forschungen zur Stabilität von Steindeckwerken unter Wellenbelastung, wie beispielsweise von Hudson und Van der Meer, haben zu anerkannten empirischen Bemessungsansätzen geführt. Für einige weitere Deckwerkstypen fehlten jedoch lange Zeit geeignete Bemessungsmethoden.

Umfangreiche Untersuchungen wurden von Krystian W. Pilarczyk zur Gestaltung und Stabilität von Deckwerken durchgeführt. Seine Forschung fokussierte sich auf Materialien wie Blöcke, Gabionen, Blockmatratzen und Sandsäcke. Dabei entwickelte er empirische Formeln zur Bewertung der Stabilität dieser Bauwerke unter Wellen- und Strömungsbelastungen. Sein Buch “Dikes and Revetments: Design, Maintenance and Safety Assessment” bietet umfassende Anleitungen zur Konstruktion, Instandhaltung und Sicherheitsbewertung solcher Wasserbauwerke. Es enthält empirische Methoden und Fallstudien und gilt als Standardwerk im Wasserbau. Seine Untersuchungen sind Bestandteil des Rock Manuels (CIRIA, CUR, CETMEF, 2007). Nach den Formeln von Pilarczyk wurden die Schüttsteine in Abhängigkeit der Strömungsbelastung, sowie Gabionen und Drahtschottermatratzen bemessen.

3.4 Bemessung von geotextilen Sandcontainern

Für die Bemessung der geotextilen Sandcontainer (GSC) dient das Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern als maßgebliche Bemessungsgrundlage. Dieses Regelwerk stellt etablierte Empfehlungen für Planung, Entwurf und statisch-konstruktive Auslegung von GSC zur Verfügung und gilt als anerkannter Stand der Technik in Deutschland. Fokus der Bemessung sind das erforderliche Volumen der einzelnen GSC sowie deren Einbindelänge in der Böschung, um eine ausreichende Funktionalität gegen erosiven Kräften durch Wellen und Strömung zu gewährleisten. Die Einbindelänge ist dabei entscheidend für die Verankerung der GSC in der Böschung (MLUV M-V, 2012).

3.5 Bemessungsergebnisse

Für die jeweiligen Bereiche Seequartier HAM SE1 und Außenecke Manheimer Bucht HAM MB1, HAM MB2 und HAM S112 wurden die Bemessungsergebnisse tabellarisch aufgestellt (s. Tab. 4). Die Quellen, die für die Berechnungen als Grundlage dienen, sind Untersuchungen von Pilarczyk (CIRIA, CUR, CETMEF, 2007), das Regelwerk Küstenschutz des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern (MLUV M-V, 2012), das Rock Manuel (CIRIA, CUR, CETMEF, 2007), die DIN 13383 Wasserbausteine und die Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (BAW, 2011). Die Quellen sind den Ergebnissen in Tab. 4 zugeordnet. Die Bemessungsergebnisse der Gabionen und Blockmatratzen sind in Tab. 4 unter Flächensicherung, für die maßgebende Belastung aus Wellenangriff, gefasst. Die losen Steinschüttungen werden nach der Mindestdicke der Deckschicht und der erforderlichen Steinklasse dimensioniert. Für die geotextilen Sandcontainer (GSC) ist das erforderliche Volumen ausschlaggebend. Aus der Ergebnisübersicht lassen sich die maßgeblichen Größen für die Entscheidungsanalyse ableiten.

Tab. 4: Übersicht Bemessungsergebnisse

Abschnitt		Pilarczyk		GBB/DIN	Rock Manual	Regelwerk Küsten-schutz
Schnitt	Bereich	Flächensi-cherung Dicke [cm]	Drahtschotter matratzen Dicke [cm]	Steinklasse Schüttsteine	Mindestdicke Deckschicht [cm]	GSC Volumen [m^3]
Seequartier Elsdorf (HAM SE1)	Böschung Wellen-schlag	60,5	60	HMB 300/1000	175	2,23
Außenecke Manheimer Bucht (HAM MB1)	Wellen-schlagzone	4,0	17	CP 63/180	40	Nicht umsetzbar*
Außenecke Manheimer Bucht (HAM MB1)	Unterwas-serböschung	13,0	17	LMB 5/40	60	Nicht umsetzbar*
Außenecke Manheimer Bucht (HAM MB2)	Wellen-schlagzone	2,7	17	CP 45/125	30	Nicht umsetzbar*
Außenecke Manheimer Bucht (HAM MB2)	Unterwas-serböschung	5,0	17	CP 45/125	30	Nicht umsetzbar*
Außenecke Manheimer Bucht (HAM S112)	Wellen-schlagzone	2,0	17	CP 45/125	30	Nicht umsetzbar*
Außenecke Manheimer Bucht (HAM S112)	Unterwas-serböschung	6,2	17	CP 63/180	40	Nicht umsetzbar*

*Aufgrund der flachen Geländeneigung in diesen Bereichen ist keine wirtschaftliche Bemessung der GSC möglich.

4 Ufersicherungsmaßnahmen

Die Auswahl von geeigneten Maßnahmen zur Sicherung der benannten Böschungsbereiche wurde durch eine Analyse von technischen, ökologischen und monetären Aspekten unterschiedlicher Sicherungssysteme getroffen. Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Vorzugsvarianten repräsentieren die aus der Analyse hervorgegangenen optimalen Lösungen für jeden Böschungsbereich. Dabei ist die Hauptvoraussetzung für die Auswahl eines Sicherungssystems, dass dieses entsprechenden Schutz gegenüber der zu erwartenden Belastungen bietet. Die nachfolgend beschriebenen Varianten berücksichtigen alle genannten Aspekte und erfüllen deren Anforderungen an ein langlebiges Ufersicherungssystem. Eine Übersicht der berücksichtigten Böschungsbereiche ist in Tab. 1 und ihre Lage in der Endfigur der Tagebauseemulde in Anlage B-UST 1.1 zu finden.

Wenn die äußeren Belastungen infolge von Welle und Strömung zu hoch für naturnahe Sicherungen sind, kommen andere Sicherungsmaßnahmen, wie z.B. Steinschüttungen zum Einsatz. Um diese Sicherungen naturnah zu gestalten, werden sie im Untergrund als „schlafende“ Sicherungen eingebaut, mit kulturfähigem Boden überdeckt und nachfolgend gemäß Pflanzplan (s. Anlage A-PPL) und teilweise gemäß Abschlussbetriebsplan begrünt. Dabei wurde besonders darauf geachtet, dass die Sicherungen auch von Gehölzvegetation durchwurzelt werden können (DWA, 2016). Die Schichtdicke der Überdeckung dient nicht der technischen Stabilisierung und kann deswegen flexibel unter Berücksichtigung der konkreten Anforderungen an die Bepflanzung angepasst werden.

Bei der Auswahl der Produkte aus Geokunststoffen ist darauf zu achten, dass das Bauprodukt nach DIN EN 13253 geprüft wurde. Diese Prüfung wird von der BAW durchgeführt und fordert eine Mindestnutzungsdauer der Baustoffe von 50 Jahren. Im Rahmen dieser Prüfung der BAW wird zusätzlich die Abriebbeständigkeit nach DIN ISO 22182 untersucht. Die tatsächliche Lebensdauer der Geokunststoffe ist in erster Linie von dem bestimmungsgemäßen Gebrauch und den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Weitere Informationen zu geotextilen Filtern sind dem BAW Merkblatt MAG 2021 (BAW, 2021) zu entnehmen.

Bei allen Materialien, die für die Böschungssicherung eingesetzt werden, handelt es sich um Baustoffe welche sowohl an Bundeswasserstraßen als auch an Küstenabschnitten zum Einsatz kommen. Die Materialien werden dauerhaft in ihrem Einbaugebiet verbleiben und sind in Bezug auf die ökologische Entwicklung der gesicherten Bereiche und die Wasserbeschaffenheit unbedenklich (BAW, 2022; BAW, 2018).

Zum Schutz gegen Niederschlagserosion ist auf allen Sicherungsmaßnahmen mit einer Oberbodenabdeckung eine Erosionsschutzmatte vorgesehen. Die Erosionsschutzmatten stabilisieren die Oberfläche und verhindern eine oberflächennahe Muldenbildung durch das abfließende Niederschlagswasser. Zusätzlich fördern sie die Vegetationsentwicklung, die langfristig zur weiteren Festigung der Böschung beiträgt (Böhme, 2025).

4.1 Ufersicherung Seequartier Elsdorf Schnitt HAM SE1

Zur Sicherung der Uferböschung des Seequartiers ist ein Sicherungssystem aus einer Kombination von Geotextilen Sandcontainern und einer losen Steinschüttung vorgesehen. Ein Detaillageplan des betrachteten Bereichs befindet sich in Anlage B-UST 2.1. Bei diesem kombinierten Sicherungssystem werden die Geotextilen Sandcontainer vom Fuß der Böschung bis in eine Höhe

von 3,5 m unter dem Zielwasserstand in zweilagiger Ausführung eingebaut. Dadurch wird der dauerhafte hydraulische Widerstand des Systems sichergestellt. Abhängig vom Füllgrad der geotextilen Sandcontainer ist das ganzheitliche Verbundsystem in der Lage, den Verlust einzelner Elemente auszugleichen, indem Nachbarelemente sich an die entstandene Lücke anpassen (MLUV M-V, 2012). Der obere Teil der Böschung, beginnend 3,5 m unter dem Zielwasserspiegel, wird mit einer losen Steinschüttung der Klasse HMB 300/1000 gesichert. Durch diese Kombination aus Sicherungssystemen wird die Böschung langfristig abgesichert. Das gesamte Sicherungssystem wird mit ca. 0,5 m kulturfähigem Boden abgedeckt, welcher mit einer Erosionsschutzmatte bedeckt wird. Dadurch werden die Sandcontainer vor Umwelteinflüssen wie UV-Strahlung geschützt und die Abtragung des Bodens durch Regenereignisse vermieden. Zwischen den Sicherungssystemen und dem Untergrund ist ein Filtervlies vorgesehen. Durch den Filter wird sichergestellt, dass sich die Decksicht und der Untergrund nicht miteinander vermischen und dadurch sowohl die Wasserdurchlässigkeit der gesamten Sicherung als auch die Stabilität der Deckschicht dauerhaft erhalten bleibt. Der geplante Böschungsaufbau ist der Anlage B-UST 3.1 zu entnehmen. Für die Herstellung der Sicherung werden ca. 95.000 t Schüttsteine der Klasse HMB 300/1000, ca. 32.600 t Schüttsteine der Klasse LMB 5/40, ca. 23.200 geotextile Sandcontainer, ca. 75.400 m^2 Filtervlies und ca. 75.400 m^2 Erosionsschutzmatten benötigt. Die lokalen Standsicherheitsnachweise sind der Anlage A-UST 1.1 zu entnehmen.

Zusätzlich zum gesicherten Bereich entlang der Böschung werden eine Fuß- und eine Kopfvorlage vorgesehen (vgl. Anlage B-UST 3.1). Die Kopfvorlage dient dem Schutz vor Erosion infolge von Oberflächenabfluss und verhindert, dass die Ufersicherung unterspült wird, was die Stabilität des Deckwerks beeinträchtigen könnte. Die Fußvorlage verbessert die lokale Standsicherheit am Böschungsfuß und schützt vor Erosion in diesem besonders gefährdeten Bereich. Dadurch wird das Risiko eines Abrutschens der Deckschicht infolge punktuellen Versagens am Böschungsfuß deutlich reduziert (BAW, 2011; BAW, 2008). Zudem verhindert die Fußvorlage auch, dass rückschreitende Erosionen aus der Befüllphase auftreten und damit von einem tieferen Wasserstand aus die Erosionssicherung untergraben werden. Abb. 11 bietet eine schematische Darstellung der Fußvorlage einer Böschungssicherung. Die Kopfvorlage ist nach dem gleichen Prinzip aufgebaut, befindet sich allerdings am oberen Ende der Sicherung.

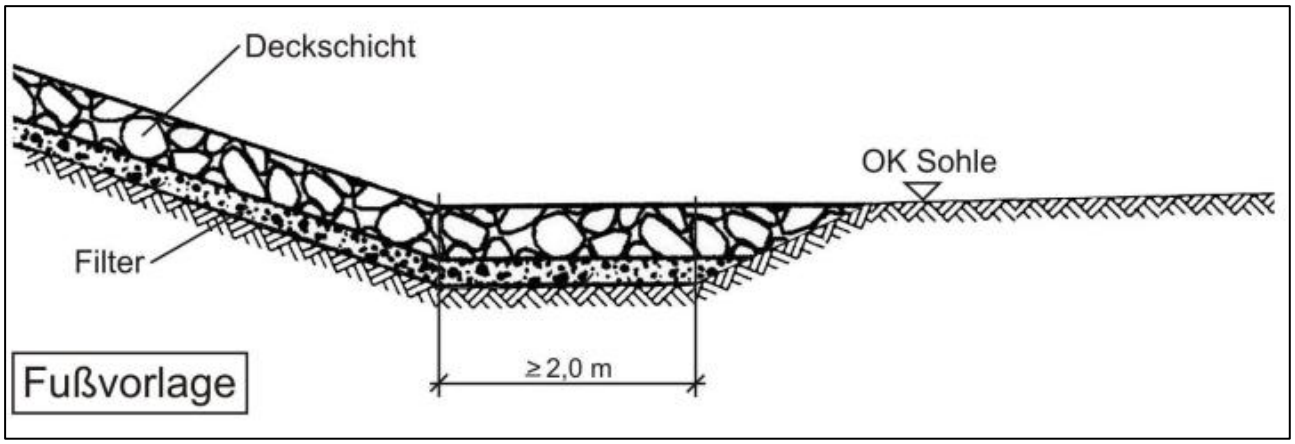


Abb. 11: Schematische Darstellung einer Fußvorlage einer Böschungssicherung (BAW, 2008)

4.2 Ufersicherung Außenecke Manheimer Bucht Schnitt HAM MB1

Für den Schnitt HAM MB1 der Außenecke Manheimer Bucht ist die Böschungssicherung sowohl der Wellenschlagzone als auch der Unterwasserböschung mittels einer losen Steinschüttung vorgesehen. Ein Detaillageplan des betrachteten Bereichs befindet sich in Anlage B-UST 2.2. An der Unterwasserböschung kommen die Schüttsteine LMB 5/40 mit einer Abdeckung aus kulturfähigem Boden zum Einsatz. Die Wellenschlagzone wird mit Schüttsteinen der Klasse CP 63/180 gesichert. Hier ist ebenfalls eine ca. 50 cm mächtige Abdeckungsschicht mit kulturfähigem Boden vorgesehen. Die Bepflanzung erfolgt gemäß Pflanzplan. Der gesamte Bereich wird mit einer Erosionsschutzmatte abgedeckt, welche gegen Regenerosion schützt und trotzdem eine Begrünung erlaubt. Zwischen der losen Steinschüttung und dem Untergrund ist ein Filtervlies vorgesehen. Durch den Filter wird sichergestellt, dass sich die Decksicht und der Untergrund nicht miteinander vermischen und dadurch sowohl die Wasserdurchlässigkeit der gesamten Sicherung als auch die Stabilität der Deckschicht dauerhaft erhalten bleiben. Der geplante Böschungsaufbau ist der Anlage B-UST 3.2 zu entnehmen. Für die Herstellung der Sicherung werden ca. 32.350 t Schüttsteine, ca. 36.900 m^2 Filtervlies und ca. 36.900 m^2 Erosionsschutzmatten benötigt. Die lokalen Standsicherheitsnachweise sind der Anlage A-UST 1.2 zu entnehmen.

Zusätzlich zum gesicherten Bereich entlang der Böschung werden eine Fuß- und eine Kopfvorlage vorgesehen (vgl. Anlage B-UST 3.2). Die Kopfvorlage dient dem Schutz vor Erosion infolge von Oberflächenabfluss und verhindert, dass die Ufersicherung unterspült wird, was die Stabilität des Deckwerks beeinträchtigen könnte. Die Fußvorlage verbessert die lokale Standsicherheit am Böschungsfuß und schützt vor Erosion in diesem besonders gefährdeten Bereich. Dadurch wird das Risiko eines Abrutschens der Deckschicht infolge punktuellen Versagens am Böschungsfuß deutlich reduziert (BAW, 2011).

4.3 Ufersicherung Außenecke Manheimer Bucht Schnitt HAM MB2

Für die Sicherung der Unterwasserböschung in der Schnittlage HAM MB2 der Außenecke Manheimer Bucht ist eine lose Steinschüttung der Klasse CP 63/180 vorgesehen. Ein Detaillageplan des betrachteten Bereichs befindet sich in Anlage B-UST 2.2. Die Sicherungsmaßnahme der Wellenschlagzone besteht aus einer losen Steinschüttung der Klasse CP 45/125. Die gesamte Sicherung wird mit einer ca. 50 cm mächtigen Schicht aus kulturfähigem Boden bedeckt, welche nach den Vorgaben des Pflanzplans begrünt wird. Auf diese Abdeckung wird zum Schutz gegen Regenerosion eine Erosionsschutzmatte aufgebracht. Die Erosionsschutzmatte steht dem Pflanzen von Gehölzen nicht entgegen, da sie sporadisch für entsprechende Gehölzpflanzungen geöffnet werden kann. Zwischen der losen Steinschüttung und dem Untergrund ist ein Filtervlies vorgesehen. Durch den Filter wird sichergestellt, dass sich die Decksicht und der Untergrund nicht miteinander vermischen und dadurch sowohl die Wasserdurchlässigkeit der gesamten Sicherung als auch die Stabilität der Deckschicht dauerhaft erhalten bleiben. Der geplante Böschungsaufbau ist Anlage B-UST 3.3 zu entnehmen. Für die Herstellung der Sicherung werden ca. 19.950 t Schüttsteine, ca. 28.000 m^2 Filtervlies und ca. 28.000 m^2 Erosionsschutzmatten benötigt. Die lokalen Standsicherheitsnachweise sind der Anlage A-UST 1.3 zu entnehmen.

Zusätzlich zum gesicherten Bereich entlang der Böschung werden eine Fuß- und eine Kopfvorlage vorgesehen (vgl. Anlage B-UST 3.3). Die Kopfvorlage dient dem Schutz vor Erosion infolge von

Oberflächenabfluss und verhindert, dass die Ufersicherung unterspült wird, was die Stabilität des Deckwerks beeinträchtigen könnte. Die Fußvorlage verbessert die lokale Standsicherheit am Böschungsfuß und schützt vor Erosion in diesem besonders gefährdeten Bereich. Dadurch wird das Risiko eines Abrutschens der Deckschicht infolge punktuellen Versagens am Böschungsfuß deutlich reduziert (BAW, 2011).

4.4 Ufersicherung Außenecke Manheimer Bucht Schnitt HAM S112

Der Schnitt HAM S112 der Außenecke Manheimer Bucht wurde aufgrund der Flächenaufteilung in die Bereiche der Schnitte HAM MB1 und HAM MB2 integriert und wird hier daher nicht gesondert beschrieben. Der geplante Böschungsaufbau an Schnitt HAM S112 ist Anlage B-UST 3.4 zu entnehmen. Die lokalen Standsicherheitsnachweise sind mit den Berechnungen der Schnitte HAM MB1 und HAM MB2 abgedeckt.

4.5 Haltbarkeit, Instandhaltung und Wartung der Ufersicherungen

Die Bemessung der Ufersicherungen wurde auf Grundlage eines Wind- und Wellengutachtens durchgeführt (Backhaus, Heyer, & Stamm, 2023). Bei diesem Gutachten wurde ein Sturmereignis mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 100 Jahren als maßgebende Belastung zu Grunde gelegt. Da die Bemessung der Sicherungen mit einem null Schaden Kriterium durchgeführt wurde, werden die Sicherungen selbst bei dem Auftreten des Bemessungsereignisses nicht beschädigt. Beim Auftreten eines Extremereignisses sind die gesicherten Uferbereiche zu untersuchen und es ist zu bewerten, ob eine Instandsetzung notwendig ist (CIRIA, CUR, CETMEF, 2007). Regelmäßige Wartungsarbeiten an den gesicherten Böschungen sind nicht erforderlich.

Während der Phase der Seebefüllung erfolgt die Kontrolle der mit Ufersicherungen belegten Böschungsbereiche im Rahmen des allgemeinen Böschungsmonitorings, welches in der Anlage A-MON nachrichtlich dargestellt wird. Die Regelung des Böschungsmonitorings im Rahmen eines Sonderbetriebsplans wird zurzeit zwischen RWE Power und Bez.-Reg. Arnsberg abgestimmt.

Grundsätzlich sind nach Erreichen des Zielwasserspiegels markscheiderische Überwachungen von Böschungsbereichen aus heutiger Sicht nicht mehr erforderlich. Vor Erreichen des Zielwasserspiegels wird jedoch auf Basis der dann vorliegenden Erfahrungswerte bewertet, ob und in welchem Umfang weiterführende Beobachtungen der Ufersicherungen zur Erkennung von möglicherweise auftretenden Umlagerungen erforderlich sind. Sollte die Erforderlichkeit festgestellt werden, wird ein entsprechendes Monitoring rechtzeitig in einem geeigneten Genehmigungsverfahren geregelt. Die Erkenntnisse des Böschungsmonitorings während der Seebefüllung werden dabei berücksichtigt.

Im Falle einer anstehenden Instandsetzung der Ufersicherung kann diese sowohl landseitig als auch über den betrieblichen Wasserzugang (s. Anlage A-BWZ) seeseitig erfolgen. Alle Maßnahmen zur Sicherung der Uferbereiche wurden so ausgelegt, dass sie nicht in absehbaren Intervallen nachgerüstet werden müssen.

5 Exemplarische Beschreibung von Bauabläufen (Baulogistik)

Vor dem eigentlichen Beginn der Bauphase der einzelnen Sicherungssysteme werden Bodenuntersuchungen an allen Standorten durchgeführt. Dadurch kann überprüft werden, ob der eingebaute Boden im Rahmen der bereitgestellten Sieblinie des M1 Bodens liegt (s. A-UST 1.1 – A-UST 1.4). Dies ist zwingend notwendig, um die einwandfreie Funktion der Filterschicht zu gewährleisten. Falls der Boden von den der Dimensionierung zu Grunde gelegten Sieblinien abweicht, wird eine erneute Dimensionierung der Filterschicht in Abstimmung mit den lokal ermittelten Parametern notwendig.

5.1 Prinzipieller Bauablauf

In diesem Kapitel wird der exemplarische Bauablauf von drei ausgewählten Sicherungssystemen grundlegend beschrieben. Die exemplarischen Bauabläufe lassen sich auf die anderen Sicherungsbereiche übertragen. Es wurde jeder Einbau der verschiedenen Sicherungssysteme mindestens einmal in den ausgewählten Bauabläufen beschrieben. In der Bauausführung kann es zu Abweichungen von den hier beschriebenen Bauabläufen kommen. Die prinzipiellen Bauablaufpläne sollen aufzeigen, dass die Herstellung der Systeme möglich ist und umweltverträglich umgesetzt werden kann (s. Anlage A-UVP).

5.1.1 Lose Steinschüttung und geotextile Sandcontainer am Seequartier Elsdorf

Die Herstellung des Sicherungssystems erfolgt in mehreren aufeinander abgestimmten Bauphasen. Zu Beginn wird das Planum mit M1 Boden als tragfähiger Baugrund vorbereitet (s. Anlage B-UST 4.1, Bauphase 1). Anschließend wird ein Filtervlies entlang der vorbereiteten Böschung von oben nach unten verlegt, um den Bereich für die geotextilen Sandcontainer vorzubereiten (s. Anlage B-UST 4.1, Bauphase 2). Darauf folgt der Einbau und die Abdeckung der ersten geotextilen Sandcontainer, beginnend am Fuß der Böschung. Um die weiteren Arbeiten zu ermöglichen, wird eine Hilfskonstruktion in Form einer Aufschüttung auf dem jeweils freien Planum errichtet, die als temporäre Unterstützung dient und anschließend rückgebaut wird. Diese Hilfskonstruktion wird aufgrund der großen Böschungslänge und der auf 10 m bis 15 m begrenzten Auslage der Hydraulikbagger benötigt. In den folgenden Schritten werden weitere geotextile Sandkörper streifenweise böschungsparallel eingebaut und abgedeckt. Beim böschungsparallelen Arbeiten wird ein Streifen entlang der Böschung mit geotextilen Sandkörpern, um die Böschung zu sichern oder zu befestigen. Der Bagger steht dabei außerhalb der Böschung, also auf dem höher gelegenen Gelände (Hilfsebene) oder einem Arbeitsstreifen neben der Böschung, und arbeitet parallel zur Böschungslinie, bis die Sicherung aus Sandcontainern vollständig hergestellt ist (s. Anlage B-UST 4.2, Bauphase 3).

Im Anschluss daran wird erneut ein Filtervlies entlang der Böschung verlegt, diesmal für den Bereich der losen Steinschüttung (s. Anlage B-UST 4.3, Bauphase 4). Daraufhin erfolgt das Aufbringen der Schutzschicht für das Geotextil sowie der Decksicht (s. Anlage B-UST 4.4, Bauphase 5). Die Steinschüttung wird anschließend mit kulturfähigem Boden abgedeckt, um eine spätere Begrünung und landschaftliche Einbindung zu ermöglichen. Abschließend wird entlang des gesamten Sicherungssystems eine Erosionsschutzmatte aufgebracht (s. Anlage B-UST 4.4, Bauphase 6), die den Schutz vor Abtragungen durch Wasser und Wind sicherstellt und die langfristige Stabilität der Maßnahme gewährleistet.

5.1.2 Lose Steinschüttung mit Bodenabdeckung an der Außenecke Manheimer Bucht

Die Ausführung des Sicherungssystems erfolgt in mehreren aufeinander abgestimmten Arbeitsschritten. Im ersten Schritt wird das Planum mit M1 Boden als tragfähiger Baugrund vorbereitet (s. Anlage B-UST 4.5, Bauphase 1). Daraufhin erfolgt das Verlegen eines Filtervlieses von oben nach unten entlang der vorbereiteten Böschung, um eine Trennung der Materialien und eine dauerhafte Filterwirkung sicherzustellen (s. Anlage B-UST 4.5, Bauphase 2). Im dritten Schritt beginnt streifenweise der Einbau der Deckschicht aus Schüttsteinen, ausgehend vom Fuß der Böschung und fortschreitend hangaufwärts. Anschließend wird die Sicherung mit kulturfähigem Boden überschüttet (s. Anlage B-UST 4.5, Bauphase 3), um eine spätere Begrünung und landschaftliche Einbindung zu ermöglichen. In einem weiteren Arbeitsschritt wird die Decksicht weiter Hang aufwärts eingebaut und ebenfalls mit kulturfähigem Boden bedeckt. Dieser Prozess wird so lange wiederholt, bis die Deckschicht aus Schüttsteinen und die Bodenabdeckung entlang der gesamten Böschung hergestellt sind. Abschließend wird entlang des gesamten Sicherungssystems eine Erosionsschutzmatte aufgebracht (s. Anlage B-UST 4.5, Bauphase 4), die den Schutz vor Abtragungen durch Wasser und Wind gewährleistet und die langfristige Stabilität der Maßnahme unterstützt.

5.2 Lager und Arbeitsflächen

Die Baustelleneinrichtungsflächen finden sich im direkten Nahbereich der Baumaßnahmen, sodass eine möglichst effiziente Andienung der Baustellen erfolgen kann. Für die Baustelleneinrichtungsflächen können Flächen innerhalb der zukünftigen Seefläche temporär genutzt werden. Somit geht mit der Baustelleneinrichtung keine weitergehende Flächeninanspruchnahme einher. Die Baustelleneinrichtungsflächen sind dem Übersichtsplan (B-UST 1.2.) zu entnehmen. Es wurde eine ausreichende Fläche von 10.000 m² gewählt. Die Fläche wurde so abgeschätzt, dass Baumaterialien für mindestens eine volle Arbeitswoche bereitgehalten werden können. Es wird davon ausgegangen, dass die benötigten Materialmassen, die in die Ufer eingebaut werden, schrittweise an die Baustelle geliefert werden. Zudem sind Wendemöglichkeiten und Baucontainer mitberücksichtigt. Im Rahmen einer Ausführungsplanung kann diese Fläche ggf. kleiner ausfallen, da die Baustelleneinrichtungsflächen konservativ i. S. eines Maximalansatzes abgeschätzt wurden und eine ausreichende Reservefläche inkludiert wurde. Jeder zu sichernden Uferbereich erhält seine eigene Baustelleneinrichtungsfläche, da dies einen schnelleren Bauablauf fördert.

5.3 Transportwege

Im Rahmen des Bauablaufs werden für den Tagebau Hambach Materialtransporte in großen Mengen notwendig. Diese Transporte wurden als LKW Fahrten abgeschätzt und sind auf die Bereiche Seequartier Elsdorf und die Außenecke Manheimer Bucht aufgeteilt. Im Tagebau sind entsprechende Wegesysteme vorhanden, die für die Zulieferung genutzt werden können. Sollten außerdem erdbautechnische Rampen zwischen den Bermenstrukturen notwendig sein, werden diese von der RWE Power AG baustellentauglich hergestellt. Ebenfalls können die Wege im Bedarfsfall, beispielsweise aufgrund besonders hoher Frequentierung, kurzfristig bergmännisch Instand gesetzt werden. Dies erfolgt durch das Aufbringen von Bergkies und anschließender

Verdichtung mittels Walzen. Eine Asphaltierung oder Vermörtelung der für die Herstellung des Uferverbaus erforderlichen Wegesysteme ist nach aktuellem Planungsstand nicht erforderlich. Ein Rückbau dieser Wege ist nicht vorgesehen und aus umweltfachlicher Sicht auch nicht erforderlich (s. A-LIM und A-UVP).

5.3.1 Seequartier Elsdorf

Das Seequartier Elsdorf kann über das Wegesystem innerhalb des Tagebaus, welches für das Einleitbauwerk genutzt wird (s. Anlage A-EBW), erreicht werden. Dieses befindet sich nordwestlich vom Elsdorfer Seequartier. Östlich vom Einleitbauwerk führen Straßenrampen in den Tagebau und auf die Berme, die sich auf der Höhe des Böschungsfußes des zu sichernden Ufers befindet (s. Anlage B-UST 1.2.).

Für den Transport von Baumaterialien wie Geotextile und Schüttsteine, die zur Herstellung der Ufersicherung benötigt werden, sind ca. 5330 LKW Fahrten (einfache Fahrten) notwendig. Während die Bauzeit ist mit ca. 13 LKW Fahrten pro Tag zu rechen. Die benötigten LKW-Fahrten pro Tag wurden überschläglich berechnet, indem die insgesamt benötigten LKW-Fahrten auf die Arbeitstage während des voraussichtlichen Bauzeitraums verteilt wurden. Der Antransport erfolgt über die A61, (AS Bergheim). Um die Ortschaft Elsdorf zu umgehen wird die B477 und B55 genutzt. Von der B55 wird auf die Licher Straße abgefahren die zu Betriebsstraßen führt, die die Tagebauzufahrt Nähe des Einleitbauwerks erschließen.

Außerdem wird Sand für die Befüllung der Geotextilen Sandcontainer benötigt, der vor Ort innerhalb des Tagebaus an das Seequartier Elsdorf geliefert werden kann. Dafür werden vorhandene Zuwegungen im Tagebau genutzt.

5.3.2 Außenecke Manheimer Bucht

Die Zuwegung zur Außenecke der Manheimer Bucht wird von der Tagebauzufahrt an der Ostrandstraße über Rampen auf das Liegende bzw. die Sohle der Manheimer Bucht erfolgen. Von da aus ist der Böschungsfuß des zu sichernden Uferbereichs in der Außenecke Manheimer Bucht erschließbar. Über eine vorhandene Rampe ist die Zuwegung zum westlichen Oberwasserbereich der Außenecke Manheimer Bucht möglich (s. Anlage B-UST 1.2.). Rampen die derzeit noch nicht hergestellt sind, werden für den Endzustand mit Erdbaumaßnahmen standsicher hergestellt.

Für den Transport von Baumaterialien wie Geotextile und Schüttsteine, die zur Herstellung der Ufersicherung benötigt werden, sind ca. 2190 LKW Fahrten (einfache Fahrten) notwendig. Es ist mit ca. 24 LKW Fahrten pro Tag während der Bauzeit zu rechnen. Die benötigten LKW-Fahrten pro Tag wurden überschläglich berechnet, indem die insgesamt benötigten LKW-Fahrten auf die Arbeitstage während des voraussichtlichen Bauzeitraums verteilt wurden. Der Antransport erfolgt über die A4 (AS Elsdorf). Über die B477 gelangt man auf die Ostrandstraße die zu Betriebswegen zum Tagebau führen.

5.4 Bauzeitlicher Ablauf

Bei den voraussichtlichen Bauzeiten wird davon ausgegangen, dass mehrere Kolonnen parallel an der Umsetzung eines Bereichs arbeiten. Die Bauzeit hängt daher von der Anzahl der Kolonnen ab

und kann entsprechend verlängert bzw. reduziert werden. Für die Außenecke Manheimer Bucht wird die Gesamtbauzeit für alle zu sichernden Bereiche betrachtet.

Die mit dem Vorhaben einhergehenden Immissionen sind der Anlage A-IMS und A-UVP zu entnehmen.

5.4.1 Seequartier Elsdorf

Ab Anfang der 2030er Jahre kann grundsätzlich mit der Umsetzung des Seequartiers Elsdorf nach der Erstellung des Bereichs im Tagebaubetrieb begonnen werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Umsetzung erst ab den 2050er Jahren erfolgt, damit der Region ausreichend Zeit für die Planung des möglichen Hafenbereichs innerhalb des Seequartiers eingeräumt wird. Die angenommene Bauzeit liegt bei etwa 2 Jahren. Dabei wird davon ausgegangen, dass mehrere Kolonnen gleichzeitig arbeiten.

5.4.2 Außenecke Manheimer Bucht

Für die Außenecke Manheimer Bucht ist mit einer Bauzeit von ca. 0,5 Jahren zu rechnen. Dabei wird davon ausgegangen, dass mehrere Kolonnen gleichzeitig arbeiten. Die Umsetzung für die Außenecke Manheimer Bucht kann ab Anfang der 2030er Jahre nach Erstellung der Böschung im Tagebaubetrieb erfolgen.

6 Ergebnis der Planung

Damit die langfristige Erosionssicherung der untersuchten Böschungsbereiche gewährleistet werden kann, kommen Sicherungssysteme, die entweder aus losen Schüttsteinen oder aus einer Kombination aus losen Schüttsteinen und geotextilen Sandcontainern bestehen zum Einsatz. Diese Sicherungen werden in allen Bereichen als sogenannte schlafende Sicherungen mit einer Abdeckung aus kulturfähigem Boden ausgeführt, wodurch eine Bepflanzung gemäß Pflanzplan und Abschlussbetriebsplanung ermöglicht wird. Damit die Deckschicht aus kulturfähigem Boden bereits direkt nach Einbau gegen Wind- und Regenerosion geschützt ist, kommen Erosionsschutzmatten zum Einsatz. Dadurch wird ein vorübergehender Schutz sichergestellt, bis der Boden ausreichend durchwurzelt ist und dadurch eine dauerhafte Schutzfunktion entsteht. Damit die genaue Lage der Baumaßnahmen nachvollziehbar ist, wurden katasterscharfe Detaillagepläne erstellt. Diese sind in den Anlagen B-UST 2.3 bis B-UST 2.4 enthalten.

LITERATURVERZEICHNIS

Backhaus, L., Heyer, T., & Stamm, J. (2023). *Numerische Untersuchungen zu Windwelleninduzierten Effekten an den Böschungen des zukünftigen Tagebausees Hambach im Plan-Zustand 2021.* TU Dresden, Gesellschaft füur Wissens- und Technologietransfer.

BAW. (2008). *Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR) .* Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

BAW. (2011). *Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB).* Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.

BAW. (2018). *Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen (TLG).* Bundesanstalt für Wasserbau.

BAW. (2021). *Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG).* Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

BAW. (2022). *Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine (TLW).* Bundesanstalt für Wasserbau.

bfg. (2018). Technisch-biologische Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen: Weidenspreitlagen.

Böhme, C. (2025). *Variantenuntersuchung der Ufersicherung des Hambacher Sees während des Befüllvorganges und dem Endzustand.* Braunschweig: Wasserbau und Gewässermorphologie, Technische Universität Braunschweig.

CIRIA, CUR, CETMEF. (2007). *The Rock Manual - The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition).* London: C683, CIRIA. doi:978-0-86017-683-1

Deutsche Institut für Normung e.V. (2002). *DIN EN 13383-1 Wasserbausteine Teil 1:Anforderungen.* Berlin: DIN Media GmbH.

DWA. (2016). *Merkblatt DWA-M 519, Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Binnengewässern.* Hennef, Deutschland: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA. (2020). *Merkblatt DWA-M 620-1 Ingenieurbiologische Bauweisen an Fließgewässern - Teil 1: Grundlagen und Bauweisenauswahl.* Deutsche Vereinigung füur Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall.

KFKI. (2020). Die Küste. (K. f. Küsteningenieurwesen, Hrsg.) *88*(EAK 2002, 3korrigierte Ausgabe). doi:https://doi.org/10.18171/1.088100

Lichtblau, G., & Herle, I. (2022). *Oberflächenverschiebungen verbunden mit der Seewassereinleitung im Tagebau Hambach.* Technische Universität Dresden, Institut für Geotechnik, Professur für Bodenmechanik und Grundbau, Dresden.

MLUV M-V. (2012). *Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern.* Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern.

Aufgestellt: Hamburg, 29.07.2026



Vivian Efthymiadou (M.Sc.)



Johannes Schattmann (M.Sc.)



Eckard Schmidt (Dr.-Ing.)

Projektleiter

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage A-UST 1: Lokale Standsicherheitsnachweise

A-UST 1.1 Schnitt HAM SE1

A-UST 1.2 Schnitt HAM MB1

A-UST 1.3 Schnitt HAM MB2

A-UST 1.4 Schnitt HAM S112

Anlage A-UST 2: Grundlagenbericht

Anlage B-UST 1: Übersichtspläne

B-UST 1.1 Übersichtsplan

B-UST 1.2 Übersichtsplan Baustelleneinrichtung

Anlage B-UST 2: Detaillagepläne

B-UST 2.1 Detaillageplan, Schnitt HAM SE1

B-UST 2.2 Detaillageplan, Schnitt HAM MB1, MB2 und S112

B-UST 2.3 Detaillageplan mit Flurstücken, Schnitt HAM SE1

B-UST 2.4 Detaillageplan mit Flurstücken, Schnitt HAM MB1, MB2 und S112

Anlage B-UST 3: Detailquerschnitte

B-UST 3.1 Detailquerschnitt, Schnitt HAM SE1

B-UST 3.2 Detailquerschnitt, Schnitt HAM MB1

B-UST 3.3 Detailquerschnitt, Schnitt HAM MB2

B-UST 3.4 Detailquerschnitt, Schnitt HAM S112

Anlage B-UST 4: Bauablaufpläne

B-UST 4.1 Bauablauf Systemquerschnitt, Schnitt HAM SE1 Bauphase 1 – 2

B-UST 4.2 Bauablauf Systemquerschnitt, Schnitt HAM SE1 Bauphase 3

B-UST 4.3 Bauablauf Systemquerschnitt, Schnitt HAM SE1 Bauphase 3 – 4

B-UST 4.4 Bauablauf Systemquerschnitt, Schnitt HAM SE1 Bauphase 5 – 6

B-UST 4.5 Bauablauf Systemquerschnitt, Schnitt HAM MB2