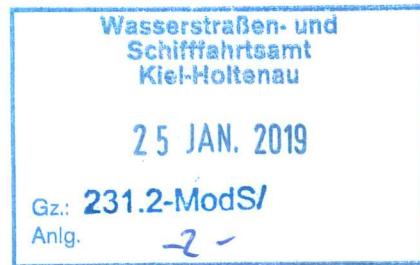


Bundesanstalt für Wasserbau · Postfach 21 02 53 · 76152 Karlsruhe

Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Kiel-
Holtenau
Fachbereich Investitionen NOK
Schleuseninsel 2
24159 Kiel



Ansprechpartner/in:
Frau Zelck
Geschäftszeichen:
K5-B3952.05.20.10387-Ze
Telefon: +49 (0)40 81908-311
Telefax: +49 (0)40 81908-373
cornelia.zelck@baw.de
www.baw.de

Ihr Zeichen:

Datum: 23. Januar 2019

Neubau der Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau, NOK-km 97,888

Stellungnahme zu den für den Leitungsdüker zu erwartenden Verformungen infolge des Schleusen-
neubaus

- /1/ Neubau eines Leitungsdükers Schleusenanlage Kiel-Holtenau, Geotechnischer Untersuchungs-
bericht, BAW-Nr. A39550110292, BAW Standort Hamburg, Ref. Geotechnik Nord (K1), Januar
2011
- /2/ Bestandszeichnung Alte Schiffschleusenanlage Kiel-Holtenau, Längsschnitt, Querschnitt A-A,
Querschnitt B-B, M 1 : 200, WSA Kiel-Holtenau, Mai 1987
- /3/ Planänderung, Rohr- und Kabeltunnelanlage Schleusengelände Kiel, Draufsicht, Längsschnitt –
Tunnel, M 1 : 500, Ingenieurgemeinschaft Leitungstunnel Kiel, Mai 2014
- /4/ Sensitivitätsbetrachtung, Übersicht Bauzustand, Baugrube Variante K5, M 1 : 500, WTM, 2018
- /5/ Sensitivitätsbetrachtung, Übersicht Endzustand, Massivbauwerk Variante K5, M 1 : 500, WTM,
2018
- /6/ Sensitivitätsbetrachtung, Bauphasenpläne (T0), Bauphasen 0 bis 9, M 1 : 1000, WTM, 2018
- /7/ Machbarkeitsstudie, Massivbau Vorstatik, Variantenuntersuchung, S. 1 bis 337, WTM,
13.08.2015
- /8/ Machbarkeitsstudie, Massivbau Vorstatik, Vorzugsvarianten mit Prüfvermerk, WTM, S. I bis IV
und 1 bis 93, Anhänge A bis L, WTM, 22.10.2015
- /9/ Lastenheft für die Machbarkeitsstudie zur Grundinstandsetzung, Sensitivitätsbetrachtung zum
Meeresspiegelanstieg, mit Prüfvermerk, Planungsgemeinschaft Kieler Schleusen, September
2017
- /10/ Triaxial- und KD-Versuche aus der Vorerkundung für den Neubau der Kleinen Schleuse Kiel-
Holtenau, BAW Standort Hamburg, Ref. Geotechnik Nord (K5), 2018
- /11/ Stellungnahme zur Auswirkung von Erschütterungen aus Ramm- und Bauarbeiten, BAW-G5,
21.04.2015
- /12/ Kleine Schleuse Kiel-Holtenau, Teilgutachten 1, Umschlagstelle Kiel-Wik, Geotechnischer Be-
richt, BAW-Nr. B3952.05.20.10387, BAW Standort Hamburg, September 2018

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt (WSA) Kiel-Holtenau plant den Neubau der Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau am Übergang des NOK in die Kieler Förde. Als voraus gehende Baumaßnahme wurde 2016 ein Leitungsdüker unterhalb der bestehenden Kleinen Schleuse hergestellt. Die neue Kleine Schleuse soll am Standort des vorhandenen Bauwerks errichtet werden. Im Zuge der zu realisierenden Bauphasen (z.B. Verfüllung der alten Schleusenammern, Herstellung Baugrubenumschließung sowie Grundwasserhaltungen) sind Setzungen und Hebungen des Baugrundes zu erwarten, deren Verträglichkeit für den neu errichteten Leitungsdüker untersucht werden soll.

Hierzu erfolgte eine zweidimensionale Untersuchung mit der Finite-Element-Methode (Programm Plaxis). Nachfolgend wird die Vorgehensweise erläutert und es werden die Ergebnisse vorgestellt.

2 Bauwerk

Die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen erfolgten für die Vorzugvariante K5 als U-Rahmen. Dabei wird die neue Kleine Schleuse im Schutz einer temporären Baugrubeneinfassung gebaut. Diese umfasst auf der Nord- und Südseite eine einfach rückverankerte Bohrpfehlwand und auf der West- und Ostseite einen Fangedamm. Von unten erfolgt die Abdichtung durch eine rückverankerte Unterwasserbetonsohle. Der Massivbau der Schleuse wird dann in einer trockenen Baugrube errichtet.

Der im Vorweg hergestellte Leitungsdüker hat eine Länge von 417 m, unterquert die gesamte Schleusenanlage und endet im Zielschacht auf der nördlichen Seite der Kleinen Schleuse. Der Innendurchmesser des Leitungsdükers beträgt 1,80 m, die Wanddicke 0,35 m. Das Bild 1 zeigt die Unterquerung der bestehenden Kleinen Schleuse durch den Leitungsdüker mit einem Gefälle von 0,5%.

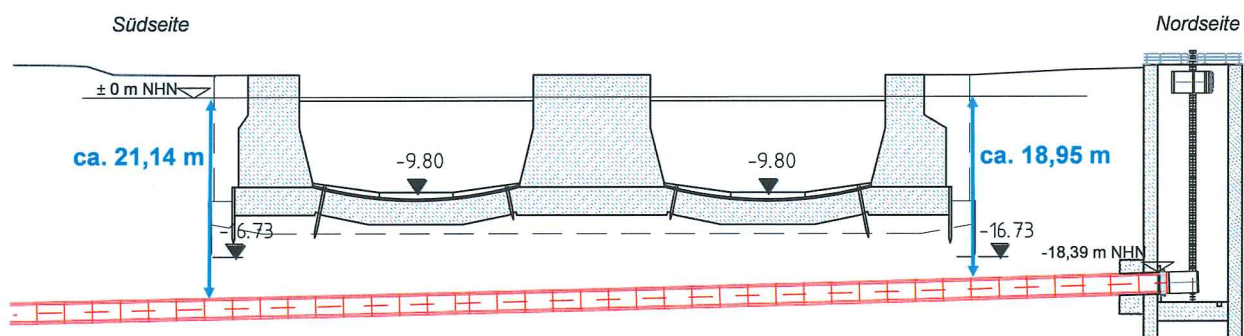


Bild 1: ungefähre Höhenlage des Leitungsdükers im Querschnitt der Kleinen Schleuse Kiel /3/

Im Zuge der vorbereitenden Arbeiten für den Schleusenneubau hat das WSA Kiel-Holtenau eine Stellungnahme zu den Auswirkungen von Erschütterungen aus Ramm- und Bauarbeiten /11/ bei der BAW in Auftrag gegeben. Darin wird ein Mindestabstand von 2 m zwischen den bestehenden Bauteilen und den neu zu errichtenden Bauelementen empfohlen. Für die temporären Baugrubenwände bedeutet dies, dass die Unterkante der südlichen Bohrpfehlwand nicht unterhalb von NHN -19,0 m und der nördlichen Bohrpfehlwand nicht unter NHN -17,0 m liegen darf.

Gleichzeitig schneidet die Auftriebssicherung der UW-Betonsohle den Düker (siehe Bild 2). Sie muss in diesem Bereich ausgespart und abweichend vom „Regelquerschnitt“ angeordnet werden. Aufgrund der geometrischen und statischen Besonderheiten wird dieser Bereich in den Machbarkeitsstudien /7/ und /8/ als Sonderbereich Düker betrachtet.

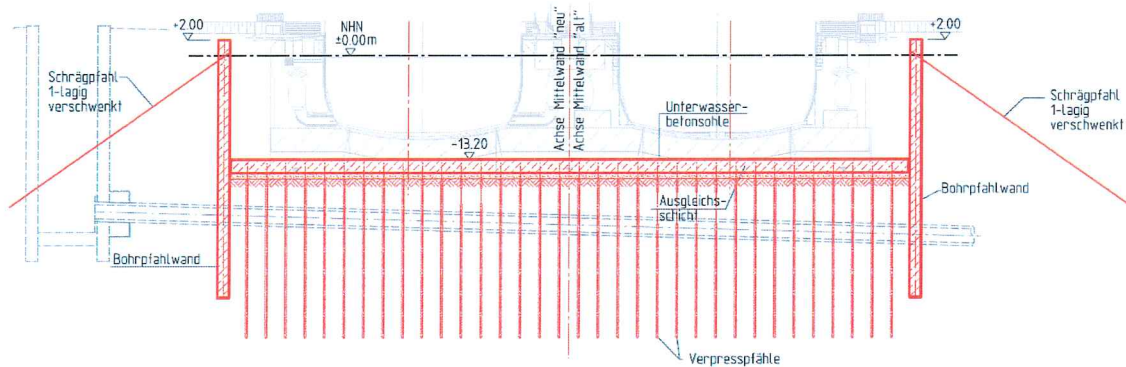


Bild 2: Querschnitt Kleine Schleuse Kiel im Bauzustand /4/

Der Nachweis der Baugrubenseitenwände erfolgt im Sonderbereich Düker /7/ über ein Gewölbe mit einer Spannweite von 9,6 m. Für den Lastabtrag des horizontalen Erd- und Wasserdrucks sind neben dem Dükerbereich je Seite zwei zweilagig bewehrte Bohrpfähle mit einem Durchmesser von 1,5 m vorgesehen (siehe Bild 3), auf denen der rechtwinklig zur Baugrubenachse wirkende Lastanteil des Gewölbes aufgelagert wird. Alternativ können je Seite auch ein zweilagig bewehrter Bohrpfahl mit einem größeren Durchmesser von 2 m konzipiert werden. Die Sonderpfähle werden jeweils zweilagig rückverankert.

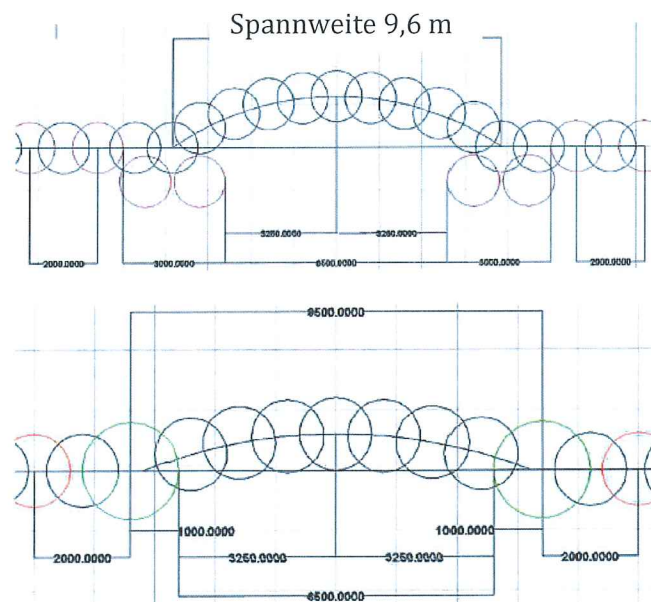


Bild 3: Bohrpfahlwand im Sonderbereich Düker /8/

Für die Unterwasserbetonsohle werden die Auftriebspfähle im Sonderbereich Düker über eine Breite von 7,2 m ausgespart /7/. Zur Gewährleistung des Auftriebsnachweises werden im daneben liegenden Bereich zusätzliche Auftriebspfähle in einem engeren Rasterabstand (1,2 m anstatt 2,4 m) angeordnet. Auch hier wird eine Gewölbewirkung angesetzt.

Die konstruktiven Abweichungen im Sonderbereich des Dükers und deren tragende Gewölbewirkung können mit einem ebenen Verformungsmodell (2D) weder im Querschnitt durch die Schleusenkammer noch im Längsschnitt (Düker im Querschnitt) realitätsnah abgebildet werden. Für eine Abschätzung ist es u. E. zulässig die aus dem Bau der neuen Kleinen Schleuse zu erwartenden Verformungen in einem Regelquerschnitt durch die Schleusenkammer (siehe Bild 4) mit einem ebenen 2D-Modell zu untersuchen. Damit soll abgeschätzt werden, welche Setzungen und Hebungen durch die einzelnen Bauphasen (Verfüllung der Kammern, GW-Haltungen, etc.) zu erwarten sind. Für genauere Betrachtungen wäre eine 3D-Modellierung zu empfehlen.

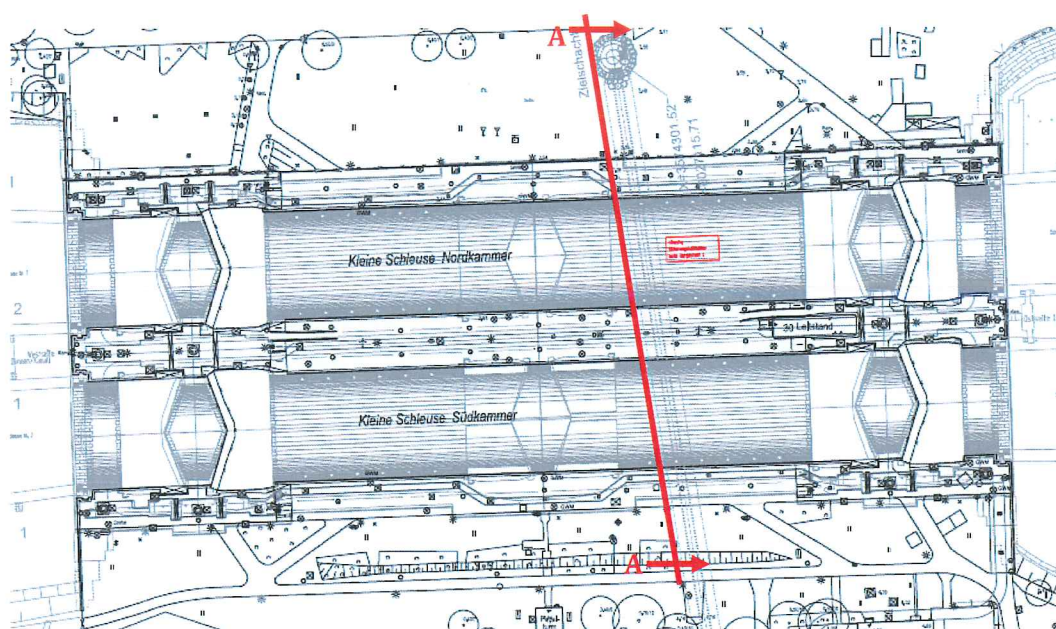


Bild 4: Berechnungsquerschnitt für das ebene 2D-Modell (neben dem Sonderbereich Düker)

3 Numerische Modellierung

Die numerischen Untersuchungen wurden mit dem FE-Programm Plaxis 2D der Version 2018 durchgeführt. Für die Modellierung des gesamten Baugrunds wurde das elasto-plastische Stoffgesetz Hardening-Soil (HS) verwendet. Dieses Stoffmodell berücksichtigt die Spannungsabhängigkeit der Bodensteifigkeiten sowie plastische Scherverformungen und Volumenänderungen bis zur Verfestigung (Hardening).

Das in der numerischen Berechnung abgebildete 2D-Modell wurde so gewählt, dass die Empfehlungen des Arbeitskreises Numerik eingehalten werden.

Das Baugrundmodell wurde auf der Grundlage des BAW-Gutachtens „Neubau eines Leitungsdükers Schleusenanlage Kiel-Holtenau“ /1/ erstellt. Der im Geotechnischen Längsschnitt im Bereich des Leitungsdükers (Anlage 2 in /1/) dargestellte Baugrundaufbau wurde etwas vereinfacht und auf der sicheren Seite liegend modelliert. Das Bild 5 zeigt einen Ausschnitt des zweidimensionalen FE-Modells mit dem Baugrundaufbau.

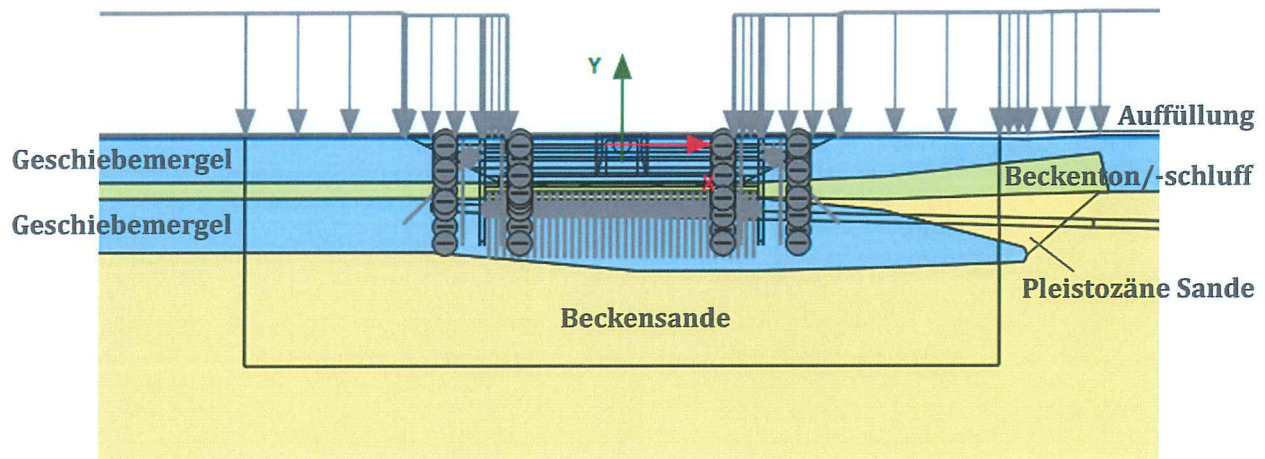


Bild 5: 2D-Modell und Baugrundaufbau im Ausschnitt

Die Materialparameter für die Wichten und Scherfestigkeiten der Bodenschichten wurden dem aktuell erstellten Geotechnischen Bericht zur Umschlagstelle Kiel-Wik /12/ entnommen. Für diesen Bericht wurden ergänzend zu /1/ weitere Laborversuche ausgewertet, so dass die Datengrundlage erweitert werden konnte. Die Parameter der Materialsteifigkeit der nichtbindigen Böden wurden nach Erfahrungswerten festgelegt. Für die bindigen Böden wurden drei Kompressionsversuche (Geschiebemergel: Labor-Nr. 20170148 und 20170154 sowie Beckenton/-schluff: Labor-Nr. 20170150 /10/) mit dem Soil-Test-Modul des FE-Programms Plaxis nachgerechnet und das Sekantenmodul E_{50} , Tangentenmodul E_{oed} und Wiederbelastungsmodul E_{ur} ermittelt. Da die im Labor ermittelten Steifemoduln des Geschiebemergels und Beckenton/-schluffs sehr ähnlich sind /12/, wurden für die Verformungsrechnungen für beide Bodenarten gleiche Steifemoduln (E_{50} , E_{oed} und E_{ur}) angesetzt. In Bild 6 ist das Spannungs-Dehnungs-Diagramm der Laborversuche mit der Kurve aus der Soil-Test-Auswertung dargestellt.

Die Ergebnisse der Soil-Test-Auswertung der Kompressionsversuche wurden mit den Triaxialversuchen aus dem Labor überprüft. Das Bild 7 zeigt, dass das Spannungsdehnungsverhalten des in Plaxis nachgerechneten Triaxialversuchs (mit den Steifeparameter der KD-Versuche) mit den im Labor ermittelten Kurven, auf der sicheren Seite liegend, gut übereinstimmt. Aufgrund der zu betrachtenden Setzungsproblematik liegt das Hauptaugenmerk jedoch auf den Volumenverformungen der Kompressionsversuche. Die maßgebenden Spannungsbereiche der Untersuchungen (siehe Abschnitt 5 Bild 15 bis 17) werden durch die Kompressionsversuche gut abgedeckt.

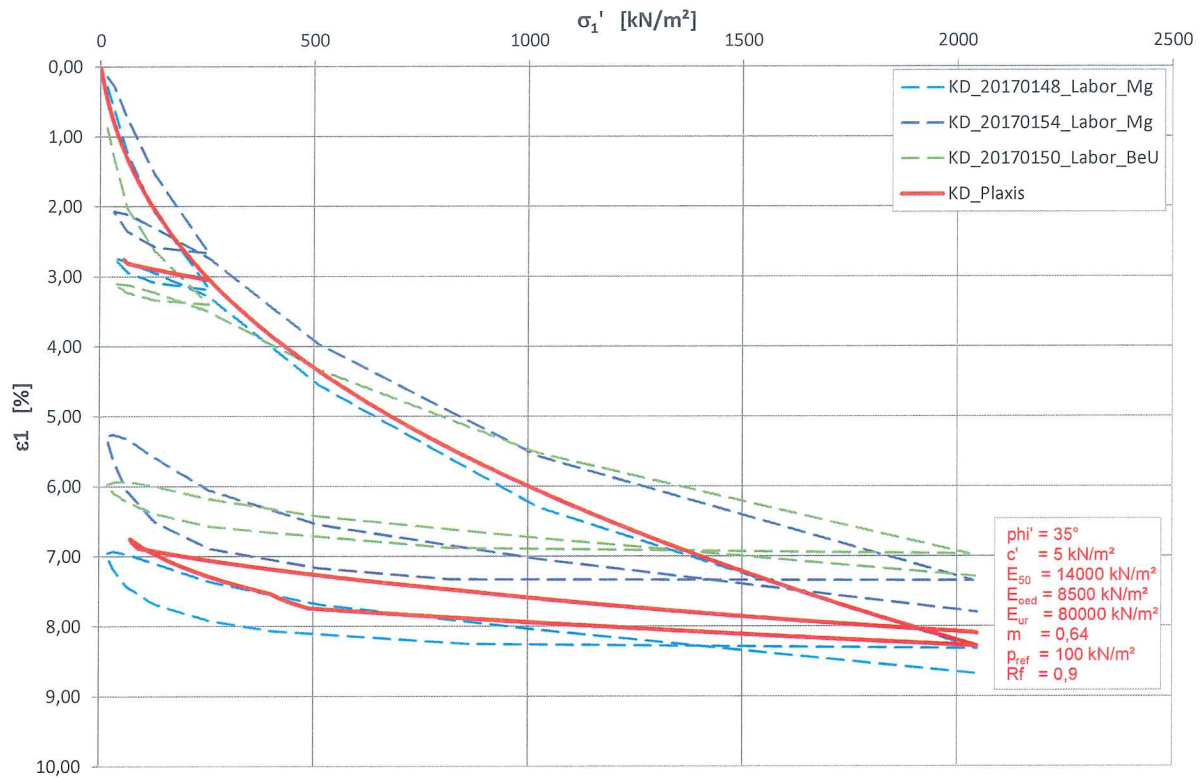


Bild 6: Vergleich der Spannungs-Dehnungs-Kurven im Kompressionsversuch

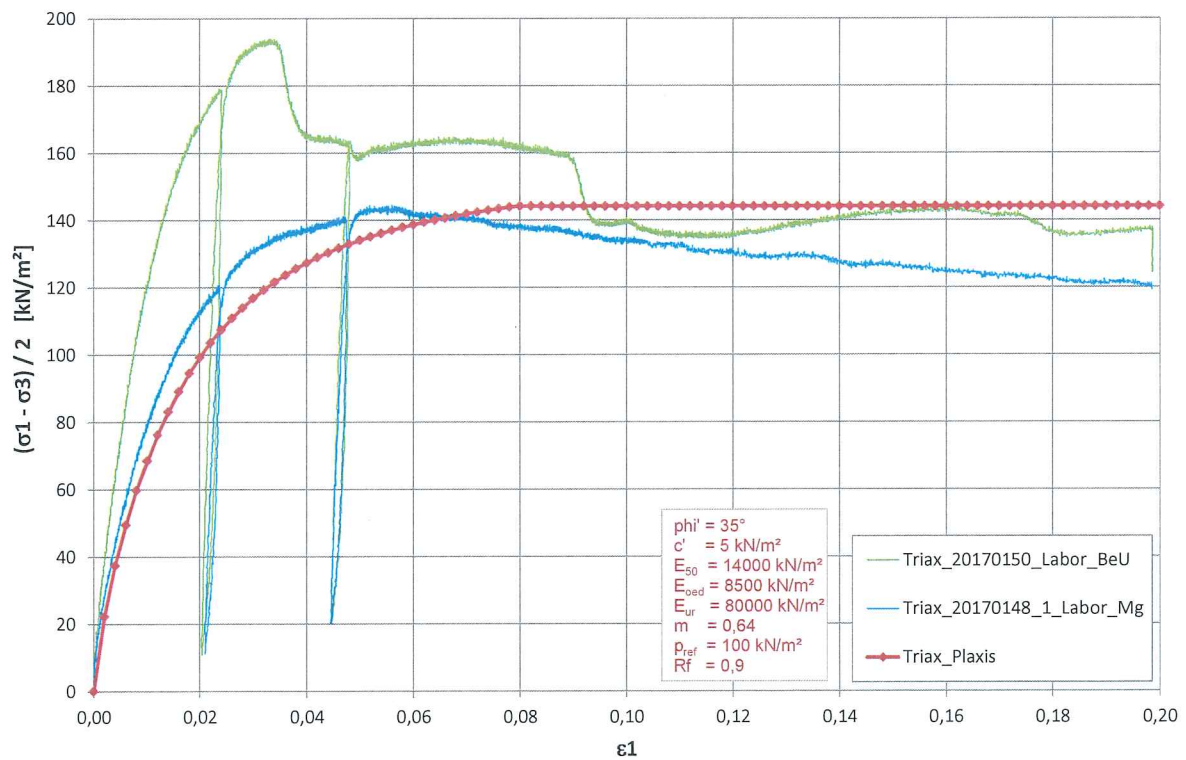


Bild 7: Vergleich der Spannungs-Dehnungs-Kurven im Triaxialversuch

Geologisch handelt es sich bei dem in Kiel erkundeten Geschiebemergel, Beckenton/-schluff, Beckensande und Pleistozäne Sande um eiszeitlich vorbelastete Böden. Nach Erfahrungen an anderen Projekten des NOK wurde ein Überkonsolidierungsgrad (Overconsolidation ratio) von $OCR = 2$ angenommen.

Die Bohrpfähle der Baugrubenumschließung reichen im Modell von $NHN +2,0$ m bis $NHN -30,5$ m. Sie wurden als Volumenelemente (Beton C30/37) mit einer Breite von $D = 1,5$ m sowie mit linear-elastischem Materialverhalten modelliert. An den Kontaktflächen zum Boden wurden Interface-Elemente angeordnet (siehe Bild 8).

Die Rückverankerung der Bohrpfahlwand wurde mit 35 m langen und 1 : 1 geneigten verpressten Mikropfählen simuliert, deren Ansatzpunkt bei $NHN \pm 0$ m liegt. Die Mikropfähle haben einen Durchmesser von $D = 0,2$ m und einen Abstand von $a = 2,4$ m. Im FE-Modell erfolgte die Simulation mit Embedded-Beam-Elementen, die über eine axiale und Biegesteifigkeit verfügen.

Die UW-Betonsohle aus Stahlbeton C20/25 reicht von $NHN -13,2$ m bis $NHN -14,9$ m. Sie wurde als Volumenelement mit linear-elastischem Materialverhalten modelliert. Die ca. 21 m langen Auftriebspfähle ($NHN -14,9$ m bis $NHN -36,0$ m) wurden ebenfalls mit verpressten Mikropfählen (Embedded-Beam-Elementen) im Durchmesser von 0,2 m und einem Rasterabstand von $a = 2,0$ m modelliert. Es ist anzumerken, dass es sich bei der Länge und ggf. Neigung der Rückverankerungselemente lediglich um Annahmen handelt.

Für alle Embedded-Beam-Elemente wurde nach /11/ eine Mantelreibung im Geschiebemergel bzw. Beckenschluff/-ton von $q_{s,k} = 100$ kN/m² berücksichtigt. Dafür wurde bezogen auf den Verpresskörperumfang der Mikropfähle ein Wert von 62,8 kN/m angesetzt (axial skin resistance table).

Die Massivbauwerke der alten und geplanten neuen Kleinen Schleuse wurden über Volumenelemente mit linear-elastischem Materialverhalten modelliert. Die Sohle der alten Kleinen Schleuse, die aus Stampfbeton besteht, wurde nach /9/ mit den Parametern eines Betons B5 simuliert. Der Überbau wurde als Mauerwerk (ohne Vorsatzschale) modelliert. Für die Sohlplatte, die Seitenwände sowie den Rahmen der Mittelwand der neuen Kleinen Schleuse wurde Stahlbeton C20/25 angenommen. Die Einbauten der Mittelwand wurden als Magerbeton simuliert.

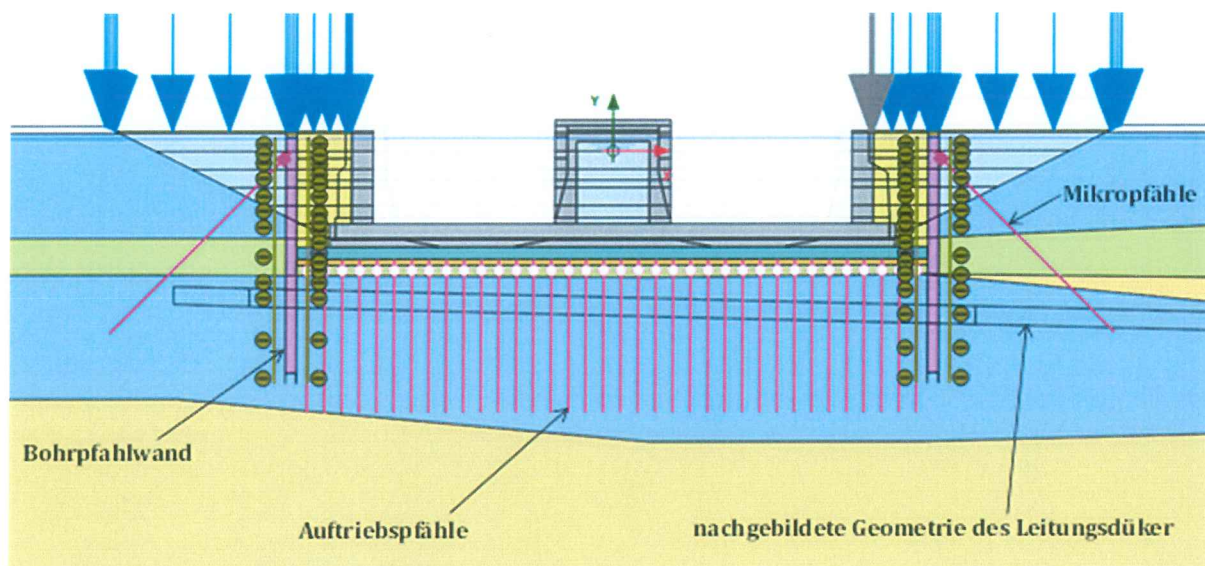


Bild 8: FE-Modell mit der Geometrie des Leitungsdükers

Die verwendeten Bodenparameter für das Hardening-Soil-Modell sowie die linear-elastischen Parameter der Pfähle und Massivbauelemente sind der [Anlage 1](#) zu entnehmen.

Im betrachteten Berechnungsquerschnitt der Schleusenanlage (Bild 4) wird der Leitungsdüker wie in Bild 8 dargestellt als Boden modelliert, um Verformungen an der Firste abfragen zu können. Das Steifigkeitsverhalten der Rohrsegmente des Dükers bleibt somit unberücksichtigt.

4 Bauablauf

Für die numerische Untersuchung wurde der Bau der alten und geplanten neuen Kleinen Schleuse entsprechend den Bauabläufen nach /6/ simuliert. Beginnend mit dem Ausgangszustand (Initial Phase) über die Herstellung der Baugrube mit GW-Haltung, dem Massivbau der alten Kleinen Schleuse, der Verfüllung der alten Kammern als vorbereitende Baumaßnahme und dem folgenden Abriss sowie Neubau der Kleinen Schleuse wurden alle maßgebenden Bauphasen abgebildet. Die simulierten Bauphasen sind tabellarisch in der [Anlage 2](#) dargestellt.

In der Bauphase 15 (siehe [Anlage 2](#)) wurden die rechnerischen Verformungen (aus der Errichtung der alten Kleinen Schleuse) auf Null gesetzt. Das dient als neuer Bezugspunkt zur Bewertung der Verformungen aus dem Schleusenneubau.

In den einzelnen Berechnungsphasen wurden die Grundwasserpotentiale über benutzerdefinierte Grundwasserlevel (Potentiallinien) definiert. Die Volumenelemente der Bohrfähle, UW-Betonsohle und die Massivbauwände der Schleuse wurden als undurchlässig angenommen.

Als Verkehrslast wurde ab Phase 14 eine Flächenlast von 10 kN/m^2 sowie bauzeitlich von Phase 17 bis 48 zusätzlich eine Streifenlast von 2,5 m Breite mit 50 kN/m^2 neben der Baugrube berücksichtigt.

5 Ergebnisse der Untersuchungen

Durch die Modellierung des Leitungsdükers als Boden wird die Geometrie des Dükers lediglich durch Linien abgebildet. In Höhe der Oberkante (Firste) des Leitungsdükers wurden in bestimmten Netzknoten die Verformungen des den Düker umgebenden Bodens ausgewertet. Hierfür wurden Netzknoten unter den Seitenwänden und der Mittelwand der Schleuse sowie in Achse der Schleusenkammern ausgewählt. Die betrachteten Netzknoten sind in Bild 9 dargestellt.

Das Diagramm im Bild 10 zeigt die Verformungen über alle simulierten Bauphasen. Dabei werden die Plaxis-Bauphasen nicht direkt über die Nummerierung der Phasen sondern über die jeweils gerechneten Berechnungsschritte ausgewiesen.

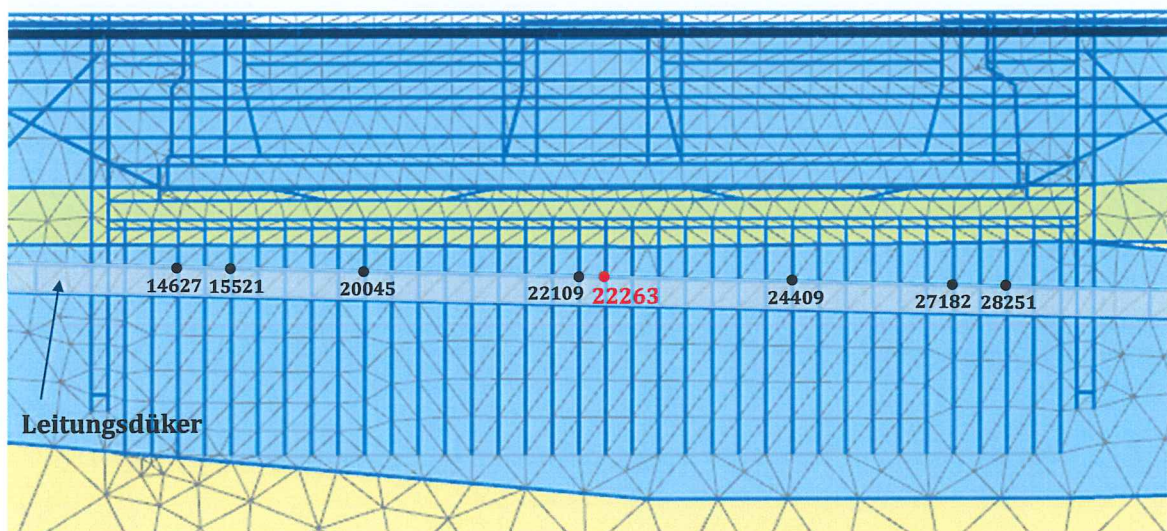


Bild 9: Lage der betrachteten Knotenpunkte in Höhe der Oberkante des Leitungsdükers

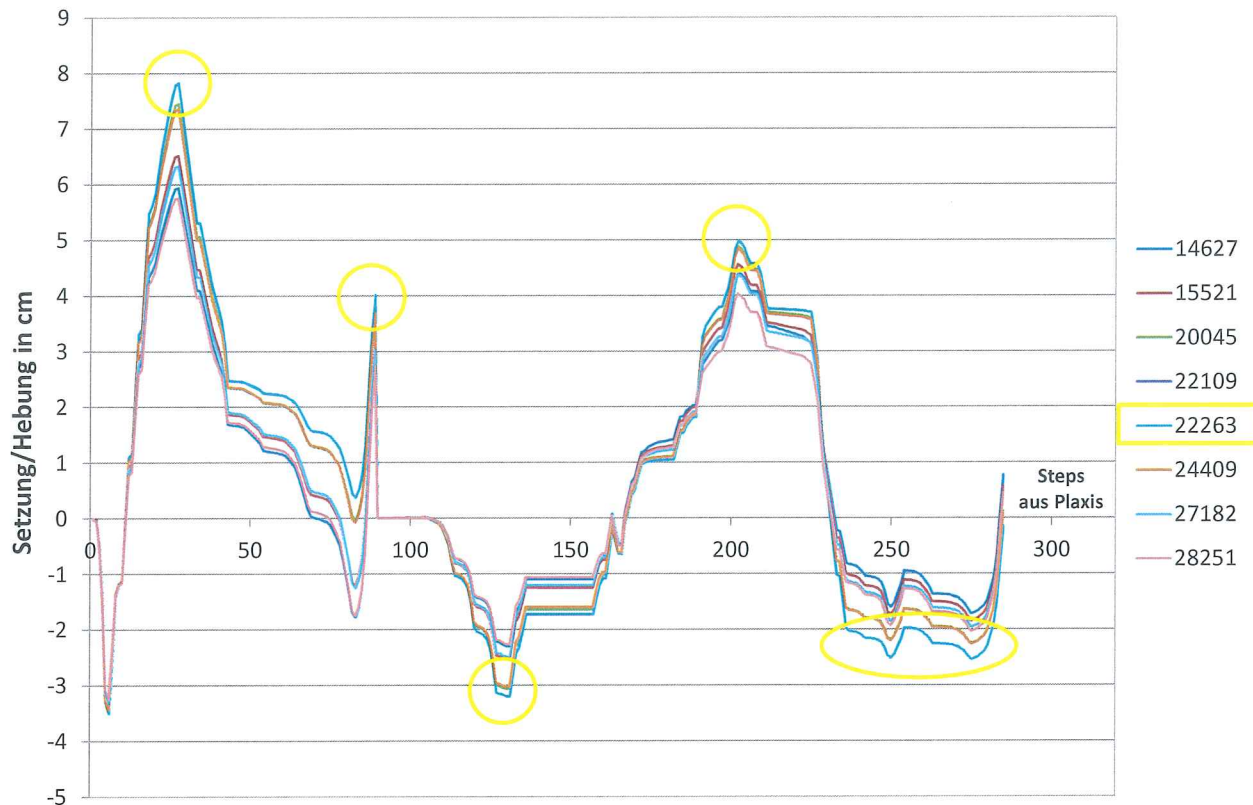


Bild 10: Setzungen und Hebungen für ausgewählte Netzknotten

Bei der Darstellung in Bild 10 wird deutlich, dass die größten Setzungen und Hebungen im Netzknotten 22263 zu verzeichnen sind. Dieser Netzknotten liegt unter der Mittelwand der neuen Kleinen Schleuse (siehe Bild 9).

Die Grafik im Bild 11 zeigt die Einzelauswertung für den Netzknotten 22263. Zur besseren Orientierung werden dabei die Nummern aller Bauphasen gemäß [Anlage 2](#) angegeben. Für maßgebliche Phasen werden nachfolgend Verformungsbilder der vertikalen Verformungen (u_y) dargestellt.

Beginnend mit der Grundwasserabsenkung auf NHN -13 m beim Bau der alten Kleinen Schleuse traten Setzungen von ca. 3,5 cm auf. In den folgenden Bauphasen kam es durch den großflächigen Aushub der Baugrube zu signifikanten Hebungen von etwa 8 cm (bezogen auf die Ausgangshöhe). Mit der Errichtung des Massivbaus der Schleuse und der nachfolgenden Verfüllung der Baugrube kam es wieder zu Setzungen. Im Zuge der Beendigung der Grundwasserhaltung und der Flutung der Schleusenkammern traten Hebungen auf (Phase 14). Nach Fertigstellung der alten Kleinen Schleuse wurden in der Bauphase 15 alle bisherigen Verformungen (aus der Errichtung der alten Kleinen Schleuse) auf Null gesetzt.

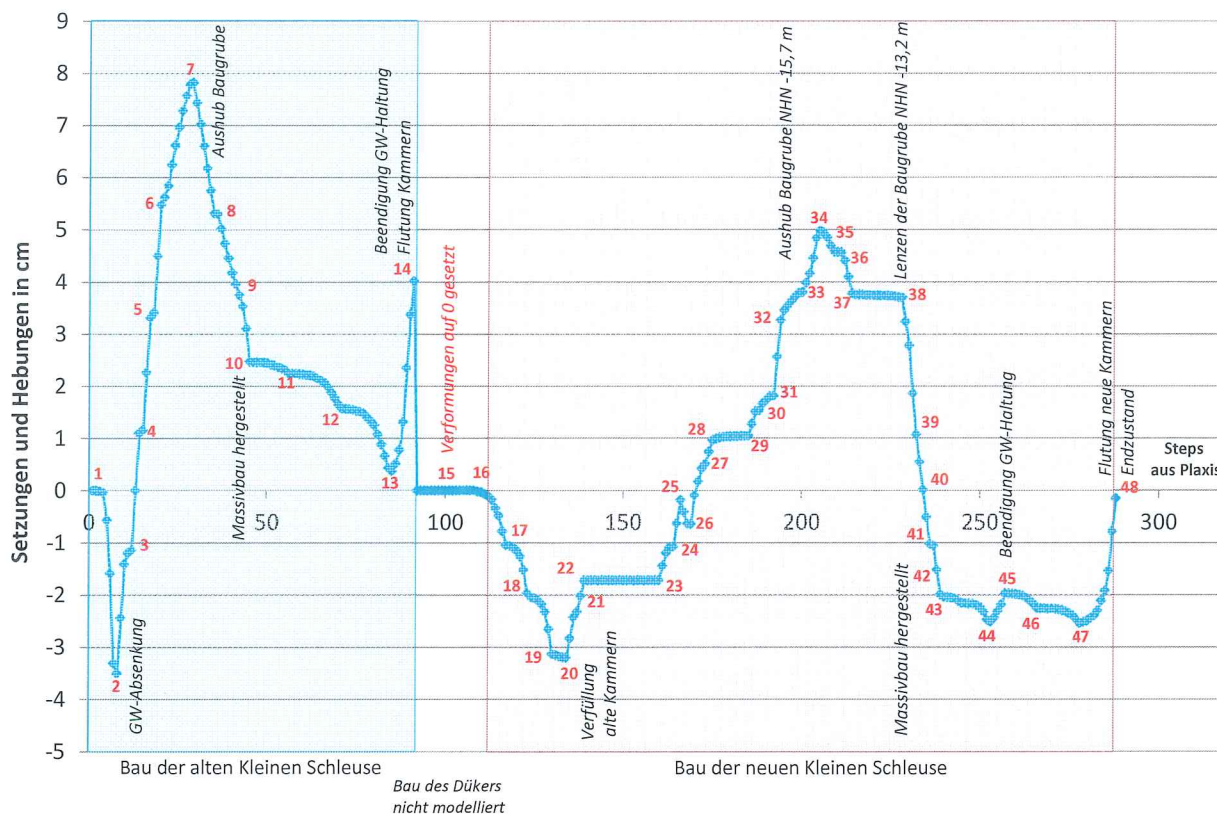


Bild 11: Setzungen und Hebungen für den Netzknoten 22263

Ab Bauphase 17 beginnt der geplante Neubau der Kleinen Schleuse Kiel. In den Phasen 17 bis 19 werden die bestehenden Schleusenkammern mit Sand verfüllt. Dies zeigt sich durch Setzungen von ca. 3 cm. In der Phase 20 werden die Baugrubenseitenwände (Bohrpfähle) hergestellt. Das Bild 12 zeigt die vertikalen Verformungen in der Phase 20.

Nach den folgenden Bauphasen (GW-Haltungen, Abbruch des Massivbaus der alten Schleuse und Aushub bis NHN -15,7 m) kommt es in der Phase 34 zu Gesamthebungen von ca. 8 cm in Höhe des Dükerfirstes. Das Bild 13 zeigt die vertikalen Verformungen aus der Plaxisberechnung.

Nach dem Lenzen der Baugrube, der Herstellung des Massivbaus der neuen Schleuse und der parallelen Verfüllung der Arbeitsräume der Baugrube treten in den Phasen 44 und 47 wiederum Setzungen von ca. 7,5 cm (bezogen auf die Phase 34) auf. Die Vertikalverformungen der Phase 47 zeigt das Bild 14.

Nach Beendigung der Grundwasserabsenkung außerhalb der Baugrube und der Flutung der Schleusenkammern ist mit der Phase 48 der Endzustand erreicht. Aus der Flutung der Kammern resultieren nochmals Hebungen von ca. 2,5 cm gegenüber der Phase 47.

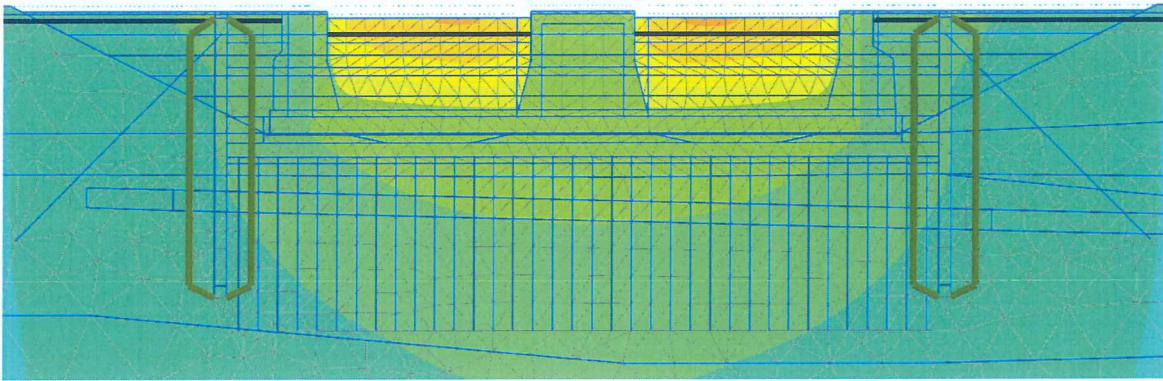


Bild 12: Vertikalverformungen in Phase 20 (nach Verfüllung der Schleusenammern)

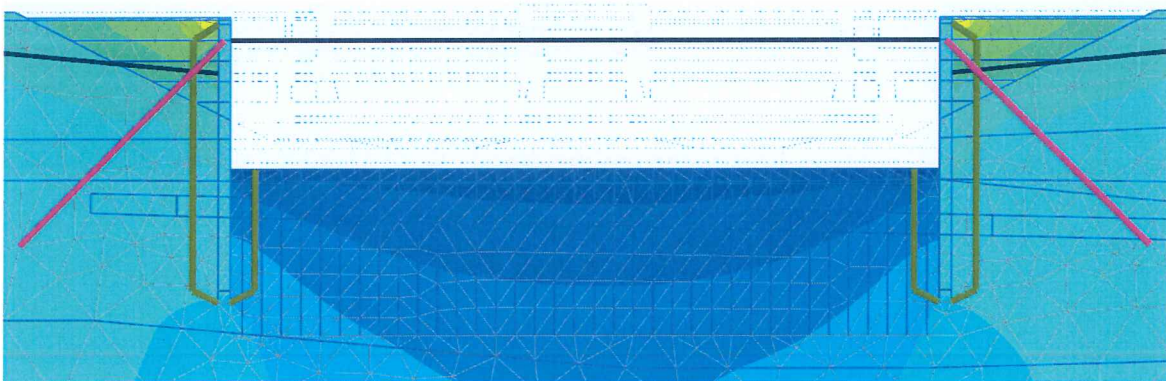


Bild 13: Vertikalverformungen in Phase 34 (nach Aushub der Baugrube bis NHN -15,7 m)

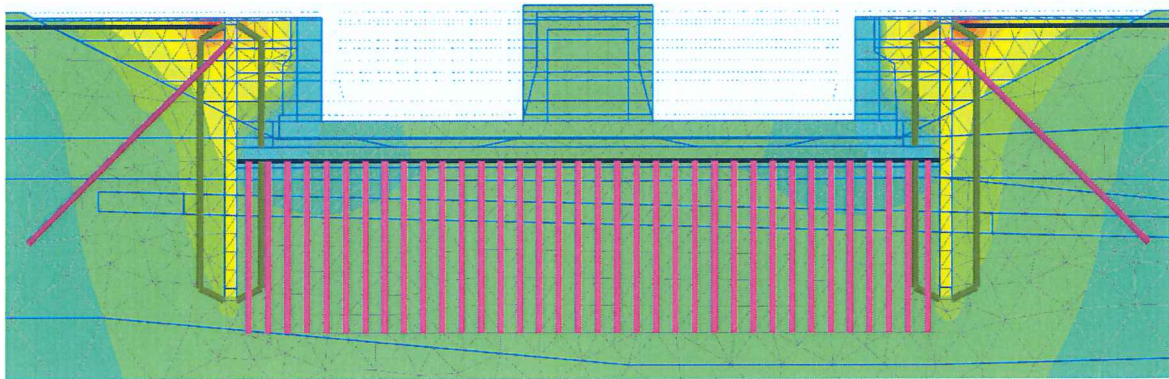
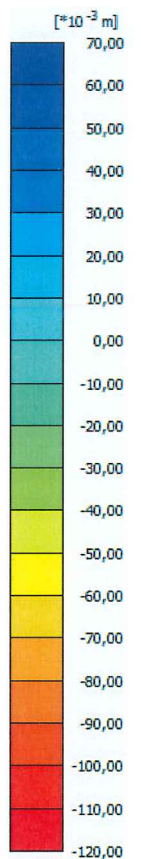


Bild 14: Vertikalverformungen in Phase 47 (nach Massivbau und Verfüllung Baugrube)



Ergänzend zeigen die folgenden Bilder die vertikalen Spannungen σ_1 (Druck: negativ) für die eben genannten Phasen 20, 34 und 47.

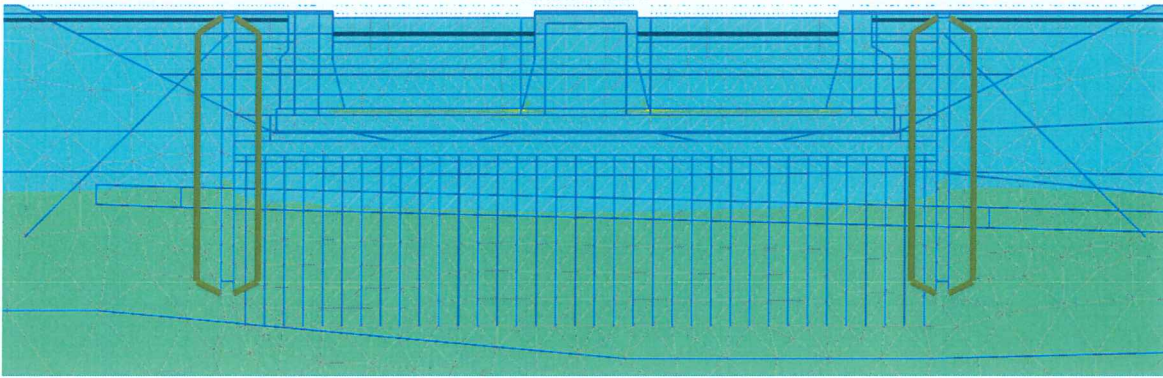


Bild 15: Spannungen in der Phase 20

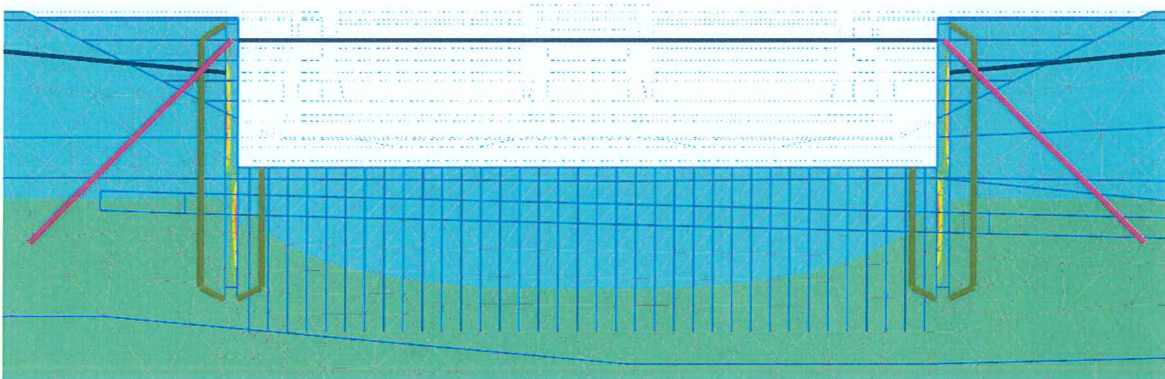


Bild 16: Spannungen in der Phase 34

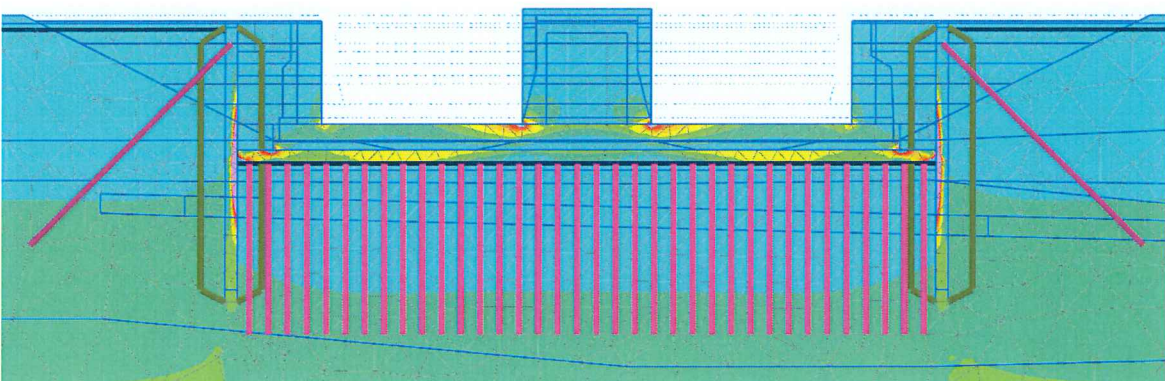
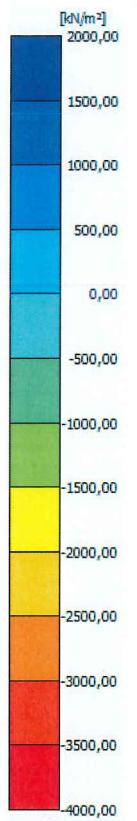


Bild 17: Spannungen in der Phase 47



6 Fazit

In der numerischen Simulation mussten einige Vereinfachungen getroffen werden, um das reale 3D-Problem zweidimensional abbilden zu können (Aussparungen Bohrpfahlwand, Auftriebspfähle sowie Steifigkeit des Dükers). Ferner gibt es gewisse Unsicherheiten in den Materialparametern der bestehenden Kleinen Schleuse.

Die vorliegenden Simulationsergebnisse liefern dennoch ein Kriterium für die Bewertung der Verträglichkeit des Schleusenneubaus für den Düker. Demzufolge ist durch den Neubau mit Setzungen in der Größenordnung von 3 cm und Hebungen von 5 cm bei einer Verformungsdifferenz von 8 cm auszugehen.

Im Zuge der weiteren Planungen ist zu entscheiden, ob die Größenordnung der Verformungen schadlos vom Leitungsdüker aufgenommen werden kann. Gegebenenfalls sind weitere Untersuchungen mit einem dreidimensionalen FE-Modell zu empfehlen.

Für Rückfragen stehen wir zur Verfügung.

Im Auftrag



Dr.-Ing. Pohl

Bearbeiterin



Dipl.-Ing. (FH) Zelck

Anlagen

- | | |
|----------|--|
| Anlage 1 | Tabellarische Zusammenstellung der Materialparameter |
| Anlage 2 | Simulation der Bauphasen in Plaxis |



Neubau der Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau, NOK-km 97,888

Stellungnahme zu den für den Leitungsdüker zu erwarteten Verformungen

Tabellarische Zusammenstellung der Materialparameter

Auftr.: B3952.05.20.10387

Datum: Januar 2019

Anlage: 1

Identification	Auffüllung	Auffüllung(Mg)	Beckensande	Beckenton/-schluff	Geschiebemergel	Pleistozäne Sande	Sandauffüllung	Sand-Ausgleichsschicht
Identif. number	1	2	6	5	3	4	16	13
Material model	Hardening soil Drained	Hardening soil Drained	Hardening soil Drained	Hardening soil Drained	Hardening soil Drained	Hardening soil Drained	Hardening soil Drained	Hardening soil Drained
Drainage type								
γ_{unsat}	kN/m ³ 18	22	18,5	21	22	19	18,5	19
γ_{sat}	kN/m ³ 19	22	20,5	21	22	21	20,5	21
E_{50}^{*ref}	kN/m ² 20000	14000	50000	14000	14000	80000	50000	80000
E_{oed}^{*ref}	kN/m ² 20000	8500	50000	8500	8500	80000	50000	80000
E_{ur}^{*ref}	kN/m ² 60000	80000	150000	80000	80000	240000	150000	240000
power (m)	0,5	0,64	0,5	0,64	0,64	0,5	0,5	0,5
c_{ref}	kN/m ² 2	5	0	2	5	0	0	0
$\phi(\phi)$	° 25	35	35	28	35	38	35	38
$\psi(\psi)$	° 0	5	5	0	5	8	5	8
v_{ur}	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
p_{ref}	kN/m ² 100	100	100	100	100	100	100	100
$K_{0^{*}nc}$	0,5774	0,4264	0,4264	0,5305	0,4264	0,3843	0,4264	0,3843
R_f	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
R_{inter}	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
OCR	1	1	2	2	2	2	1	1
k_x	m/day 0,864	8,64E-03	6,05	8,64E-04	8,64E-03	51,84	8,64	8,64
k_y	m/day 0,864	8,64E-03	6,05	8,64E-04	8,64E-03	51,84	8,64	8,64

Identification	Beton	Beton B5_ alte Schl	Magerbeton	UW-Beton	Mauerwerk_ alte Schl	Bohrpfähle
Identif. number	10	7	14	11	8	15
Material model	Linear elastic Drained	Linear elastic Drained	Linear elastic Drained	Linear elastic Drained	Linear elastic Drained	Linear elastic Drained
Drainage type						
γ_{unsat}	kN/m ³ 25	20	18	23	18	24
γ_{sat}	kN/m ³ 25	20	18	23	18	24
E	kN/m ² 30000000	22000000	25000000	30000000	22000000	33000000
$\nu(\nu)$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
G	kN/m ² 12500000	9167000	10420000	12500000	9167000	13750000
E_{oed}	kN/m ² 33330000	24440000	27780000	33330000	24440000	36670000
R_{inter}	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Bau- phasen WTM	Plaxis- Phasen	Bauausführung Kleine Schleuse Kiel	Water- Level	Wasserstand						Verkehrslast kN/m²
				GW (global) m NHN	Baugrube_alt m NHN	Kammer_alt m NHN	GW_hinter Baugrubenw. m NHN	Baugrube m NHN	Kammer_neu m NHN	
	0	Initial	global	1,7						
	1	(Systemstabilisierung)	global	1,7						
	2	GW-Absenkung und Aushub Baugrube Kleine Schleuse bis NHN +0 m	1	1,7	-13					
	3	Aushub Baugrube Kleine Schleuse bis NHN -2,5 m	1	1,7	-13					
	4	Aushub Baugrube Kleine Schleuse bis NHN -5 m	1	1,7	-13					
	5	Aushub Baugrube Kleine Schleuse bis NHN -7,5 m	1	1,7	-13					
	6	Aushub Baugrube Kleine Schleuse bis NHN -10 m	1	1,7	-13					
	7	Aushub Baugrube Kleine Schleuse bis NHN -13,2 m	1	1,7	-13					
	8	Herstellung Sohle	1	1,7	-13					
	9	Herstellung Kammerwände bis NHN -5 m	1	1,7	-13					
	10	Herstellung Kammerwände bis OK	1	1,7	-13					
	11	Hinterfüllung Kleine Schleuse bis NHN -7,5 m	1	1,7	-13					
	12	Hinterfüllung Kleine Schleuse bis NHN -2,5 m	1	1,7	-13					
	13	Hinterfüllung Kleine Schleuse bis GOK	1	1,7	-13					
	14	Beendigung GW-Absenkung	2	1,7		-0,2				10
	15	Verformungen auf Null	2	1,7		-0,2				10
	16	Null-Step	2	1,7		-0,2				10
0	17	Verfüllung der alten Schleusenammern bis NHN -5 m	3	1,7				0		10 + 50
0	18	Verfüllung der alten Schleusenammern bis NHN -1 m	3	1,7				0		10 + 50
0	19	Verfüllung der alten Schleusenammern bis NHN +2 m	3	1,7				0		10 + 50
2	20	Einbau der Baugruben-Bohrpfahlwand	3	1,7				0		10 + 50
3	21	GW-Absenkung außerhalb der Baugrube auf NHN +0 m, Wasserhaltung in der Baugrube auf NHN -2 m, Aushub Baugrube bis NHN -1 m	4	1,7			0	-2,0		10 + 50
3	22	Abbruch Seitenwände und Mittelwand alte Kammer bis auf NHN +0 m	4	1,7			0	-2,0		10 + 50
3	23	Rückverankerung Bohrpfahlwand	4	1,7			0	-2,0		10 + 50
4	24	Wasserhaltung in der Baugrube auf NHN -5 m, Aushub der Baugrube bis NHN -4 m	5	1,7			0	-5,0		10 + 50
4	25	Abbruch Seitenwände und Mittelwand alte Kammer bis auf NHN -4 m	5	1,7			0	-5,0		10 + 50
5	26	GW-Absenkung außerhalb der Baugrube auf NHN -4 m	6	1,7			-4,0	-5,0		10 + 50
6	27	Flutung der Baugrube auf NHN +0 m, Aushub der Baugrube bis NHN -7,5 m	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
6	28	Aushub der Baugrube bis NHN -10 m	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
6	29	Aushub der Baugrube bis NHN -12 m	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
6	30	Abbruch Seitenwände und Mittelwand alte Kammer bis auf NHN -7,5 m	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
6	31	Abbruch Seitenwände und Mittelwand alte Kammer bis auf NHN -9,2 m	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
6	32	Abbruch alte Kammersohle	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
6	33	Aushub Baugrube bis NHN -13,2 m	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
6	34	Aushub Baugrube bis NHN -15,7 m	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
7	35	Einbau Ausgleichsschicht OK NHN -14,9 m	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
7	36	Einbau Rückverankerung UW-Betonsohle	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
7	37	Einbau UW-Betonsohle OK NHN -13,2 m	7	1,7			-4,0	0		10 + 50
8	38	Lenzen der Baugrube auf NHN -13,2 m	8	1,7			-4,0	-14,9		10 + 50
8	39	Herstellung der neuen Schleusensohle	8	1,7			-4,0	-14,9		10 + 50
8	40	Herstellung der Kammer- und Mittelwand bis NHN -5 m	8	1,7			-4,0	-14,9		10 + 50
8	41	Herstellung der Kammer- und Mittelwand bis NHN +0 m	8	1,7			-4,0	-14,9		10 + 50
8	42	Herstellung der Kammer- und Mittelwand bis NHN +2,8 m und +4,3 m	8	1,7			-4,0	-14,9		10 + 50
8	43	Verfüllung der Arbeitsräume bis NHN -10,0 m	8	1,7			-4,0	-14,9		10 + 50
8	44	Verfüllung der Arbeitsräume bis NHN -5,0 m	8	1,7			-4,0	-14,9		10 + 50
8	45	Abschaltung der GW-Absenkung außerhalb der Baugrube (auf NHN 1,7 m)	9	1,7			1,7	-14,9		10 + 50
8	46	Verfüllung der Arbeitsräume bis NHN -1 m	9	1,7			1,7	-14,9		10 + 50
8	47	Verfüllung der Arbeitsräume bis NHN +2,8 m	9	1,7			1,7	-14,9		10 + 50
9	48	Flutung neue Schleusenkammer	10	1,7					1,5	10



Neubau der Kleinen Schleuse Kiel-Holtenau, NOK-km 97,888
Stellungnahme zu den für den Leitungsdüker zu erwarteten Verformungen

Simulation der Bauphasen in Plaxis

Auftr.: B3952.05.20.10387

Datum: Januar 2019

Anlage: 2