Stadt Neustadt am Rübenberge

Hochwasserschutz für den Bereich Silbernkamp

in Neustadt am Rübenberge

Anlage 2.9.2:
Geohydraulische Nachweise, Nachweise der Standsicherheit und der Erosionsstabilität

11067-4

Heidt + Peters
Die Ingenieure
Sprengerstraße 38 c
29223 Celle

Projektbearbeitung

Ingenieurgesellschaft Heidt + Peters mbH

Projektleitung

DIPL.-ING. (FH) JAN BRENCHER

Projektbearbeitung

DIPL.-ING. (FH) RALF SCHUMACHER

Textbearbeitung

JACQUELINE WENDT

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Grundlagen 4
2 Nachweise zum Deich 5
2.1 Durchströmung von Deich und Untergrund 5
2.2 Standsicherheit 6
2.3 Gebrauchstauglichkeit 7
2.4 Sicherheit gegen Materialtransport 8
3 Quellenverzeichnis 11

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Ergebnisse der Sickerwassermengenermittlung 6

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Nachweiskriterien für Kontakterosion bei kohäsiven Böden 9
Abb. 2.2: Isolinien des hydraulischen Gradienten bei QP2 10

Anhang

Anhang 1 Grundwassermodellierung
Anhang 2 Böschungsbruchnachweise
Anhang 3 Nachweise gegen Aufschwimmen
Anhang 4 Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch
Anhang 5 Nachweise der Suffosionssicherheit
Anhang 6 Zuordnung der Bodentypen nach MAG

1 Grundlagen

Die Stadt Neustadt a. Rbge. plant den Hochwasserschutz für das Wohngebiet Silbernkamp. Bei einem einhundertjährlichen Hochwasser (HQ_{100}) werden weite Teile des Wohngebietes mit Wassertiefen bis zu über 1,0 m überflutet.

Der Hochwasserschutz ist in Form eines Hochwasserschutzdeiches geplant. Gemäß DIN 19712 sowie DWA-M507 sind die Nachweise der Unterströmung von Deich und Untergrund, der Standsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit sowie der Sicherheit gegen Materialtransport zu führen. Diese Nachweise werden im Folgenden erbracht.

Die HQ_{100}-Wasserstände wurden im Planungsraum im Rahmen der Ermittlung des Überschwemmungsgebietes der Leine zu 39,66 mNHN im Süden bis 39,30 mNHN im Norden berechnet (HGN, 2000).

Der geplante, 1.115 m lange Deich weist eine Höhe von bis zu 3,30 m über dem vorhandenen Gelände auf. Der Deich wird als Zwei-Zonen-Deich errichtet, wobei der homogene Deichkörper aus bindigem, gering durchlässigem Auelehmboden gleichzeitig eine stützende und eine dichtende Funktion übernimmt. Es ist vorgesehen, den Auelehmboden aus den geplanten Vorlandabgrabungen und aus der Bodenentnahmefläche zu gewinnen. Der dort anstehende Boden wurde auf seine Eignung als Baustoff in Anlehnung an die "Handlungsempfehlung zur Qualitätssicherung für den Auelehmeinbau" (NLWKN 2006) untersucht. Nach den Ergebnissen des Ingenieurbüros Marienwerder aus dem Jahr 2016 ist der anstehende Auelehm als Deichdichtungsmaterial geeignet. Zur Verbesserung der Verdichtbarkeit wird ein hydraulisches Bindemittel (Kalk) zugegeben.

Auf der Binnenseite ist ein Filterprisma aus einem Kies-Sand-Gemisch vorgesehen, der das Sickerwasser fasst und abführt. Am binnenseitigen Deichfuß wird ein Deichverteidigungsweg auf einer Berme angeordnet. Die Binnenentwässerung wird über eine Entwässerungsmulde gewährleistet.

Die Deichkrone ist 3,0 m breit und 2 % zur Wasserseite hin geneigt. Die Böschungen sind 1:3 geneigt.

2 Nachweise zum Deich

2.1 Durchströmung von Deich und Untergrund

Zur Ermittlung der Lage der Sickerwasserlinie und zur Ermittlung der Sickerwassermengen wurden zweidimensionale, vertikal-ebene Grundwassermodelle aufgestellt. Die Modellierung der Grundwasserströmung wurde an vier repräsentativen Querschnitten mit dem Programm SS-FFlow-2d, Version 10.07 durchgeführt:

+ QP 1: Stat. 0+169
+ QP 2: Stat. 0+502
+ QP 3: Stat. 0+724
+ QP 4: Stat. 0+830

Der Schichtaufbau des Untergrundes wurde aus den geotechnischen Untersuchungen des Dipl.-Ing. H. Bogon aus dem Jahr 2013, den geotechnischen Untersuchungen des Ingenieurbüros Marienwerder aus dem Jahr 2016 und der Bohrdatenbank des Landesamtes für Berbgau, Energie und Geologie (LBEG) entnommen. Die k_f-Werte der Böden wurden ebenfalls oben genannten geotechnischen Untersuchungen entnommen. Der prinzipielle Schichtaufbau stellt sich wie folgt dar:

1. Mutterboden / Auffüllung
2. fluviatiler Lehm (Auelehm): schwach durchlässig
3. fluviatiler Sand / Terrassensand: stark durchlässig
4. Kreideton: sehr schwach durchlässig

In den fluviatilen Sanden bildet sich ein Grundwasserleiter aus. Es muss davon ausgegangen werden, dass dieser Grundwasserleiter direkten Kontakt zum Wasserkörper der Leine hat. Bei entsprechend hohen Wasserständen in der Leine wird die Druckhöhe des Grundwassers über der Schichtunterkante des schwach durchlässigen Auelehms liegen, sodass dann gespannte Grundwasserverhältnisse bzw. teilweise sogar artesische Verhältnisse vorliegen.

Als Festpotenziale wurden in den Grundwassermodellen wasserseitig die HQ_{100}-Wasserstände angesetzt. Landseitig wurde ein Festpotenzial auf Höhe der Sohle des Entwässerungsgrabens und weiter landeinwärts auf Höhe der Geländeoberkante angesetzt.

In Anhang 1 liegen Grafiken der vier betrachten Grundwassermodelle mit einer Darstellung der Sicker- und der Potenziallinien vor. Im Rahmen der Grundwassermodellierung wurden folgende Sickerwassermengen, die dem Entwässerungsgraben zuströmen, ermittelt:

Querschnitt	Sickerwassermenge q
	[m³/(s x m)]
QP 1: Stat. 0+169	$1{,}5 \times 10^{-4}$
QP 2: Stat. 0+502	$6{,}5 \times 10^{-5}$
QP 3: Stat. 0+724	$1{,}7 \times 10^{-5}$
QP 4: Stat. 0+830	$8{,}8 \times 10^{-5}$

Tab. 2.1: Ergebnisse der Sickerwassermengenermittlung

In Summe ergibt sich über die gesamte Länge des Deiches von 1.115 m eine Sickerwassermenge von 0,12 m³/s.

2.2 Standsicherheit

Die Standsicherheit des Deiches wurde für den Querschnitt mit der größten Deichhöhe (QP2: Stat. 0+502) als Böschungs- und Geländebruchberechnung nachgewiesen. Die Berechnungen wurden mit dem Programm GGU-Stability, Version 11.18, durchgeführt. Die Ergebnisse der Nachweise sind im Anhang 2 grafisch dargestellt. Die Nachweise wurden für die folgenden Bemessungssituationen gemäß DWA-M 507 geführt:

+ Ständige Bemessungssituation: BS-P.1, BS-P.2 (Hochwasserzustand)
+ Vorübergehende Bemessungssituation: BS-T (Bau- und Revisionszustände)
+ Außergewöhnliche Bemessungssituation: BS-A.1, BS-A.2 und BS-A.3 (Besondere Belastungen und Situationen)

Die Standsicherheit des Deiches ist dann gegeben, wenn der Ausnutzungsgrad des maßgeblichen Gleitkreises (siehe Grafik) kleiner als 1,0 ist. Der Nachweis konnte für alle Bemessungssituationen erbracht werden.

Des Weiteren wurde der Nachweis geführt, ob die Sicherheit der landseitigen Auelehmdeckschicht gegen Aufschwimmen gegeben ist (Anhang 3). Für die Ermittlung der Auftriebskräfte wurde das maßgebliche Grundwasserpotenzial (Druckhöhe des Grundwassers) aus den Grundwassermodellen angesetzt. Der Nachweis wurde an den Querschnitten QP2, QP3 und QP4 geführt. QP1 muss nicht überprüft zu werden, da hier keine Auelehmdeckschicht vorhanden ist, die aufschwimmen kann. Die Ausnutzungsgrade für den Nachweis gegen Aufschwimmen liegen bei allen betrachteten Querschnitten über 1,0, so dass mit einem Aufschwimmen der Auelehmdeckschicht gerechnet werden muss. Da-

her werden zur Druckentlastung unterhalb des landseitigen Entwässerungsgrabens Sickerschlitze angeordnet, die ein nahezu druckloses Abfließen des zuströmenden Grundwassers ermöglichen. Die dadurch entstehenden Mehrmengen beim Sickerwasserzufluss wurden bei der Ermittlung der Sickerwassermenge bereits berücksichtigt. Der Auftriebsnachweis für den Sickerschlitz ist erfüllt (Anhang 4).

2.3 Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit des Deiches ist gegeben, wenn

1. er dauerhaft seine Form, hier insbesondere seine Höhe, behält und
2. durch seine Dichtigkeit die Sickerwassermenge dauerhaft auf ein vertretbares Maß reduziert wird.

Die Reduzierung der Sickerwassermenge wird dadurch erreicht, dass der Deichkörper aus einem wenig durchlässigen Boden hergestellt wird. Durch die Pflege der Deichoberseite (geschlossene Grasdecke, regelmäßiges Mähen) wird die "Dichtigkeit" des Deichkörpers dauerhaft erhalten.

Zum Nachweis der Dauerhaftigkeit der Deichgeometrie wurde eine Setzungsberechnung durchgeführt. Danach ist bei einer Stärke der Auelehmdeckschicht von 1,5 m mit Setzungen von bis zu 6 cm zu rechnen. Die Setzungen werden sich erst nach Konsolidierung der Auelehmdeckschicht unter der Last des Deichkörpers in vollem Umfang einstellen. Die mächtigste Auelehmdeckschicht wurde bei Station 0+870 (Sondierung RKS 4-13) angetroffen und hat eine Mächtigkeit von 1,70 m. Dementsprechend sind die maximalen Setzungen des Untergrunds mit bis zu 7 cm zu erwarten.

Wegen der zusätzlich zu erwartenden Sackung im Deichkörper wird der Deich mit entsprechender Überhöhung (Sackmaß) hergestellt. Als Sackmaß, welches die zu erwartenden Setzungen des Untergrunds und Sackungen des Deichkörpers beinhaltet, wird eine Überhöhung von 15 cm empfohlen.

2.4 Sicherheit gegen Materialtransport

Durch die hydraulische Belastung, dem der Baugrund und der Deich insbesondere im Hochwasserfall ausgesetzt sind, kann es zu Transportvorgängen im Boden kommen, bei den feinere Bodenanteile durch die Poren von grobkörnigem Boden transportiert werden. Durch diese Transportvorgänge kann die Standsicherheit des Deiches gefährdet sein. Folgende Formen des Materialtransportes können auftreten.

1. Suffosion: Materialtransport innerhalb einer Bodenschicht
2. Kontakterosion: Materialtransport senkrecht oder parallel zu Schichtgrenzen
3. Erosionsgrundbruch am landseitigen Böschungsfuß
4. Fugenerosion: Materialtransport zwischen Boden und Massivbauwerken

Zu 1. Suffosion

Im Deichuntergrund stehen im Wesentlichen Auelehm, also bindiger Boden, und fluviatile Sande, die nichtbindig sind, an. Gemäß (MMB 2013) muss bei gewachsenen bindigen Böden aufgrund der Kohäsion weder mit Suffosion noch mit Kontakterosion gerechnet werden. Auch beim Deichkörper, der aus dem örtlich anstehenden Auelehm hergestellt werden soll, ist aufgrund der Kohäsion keine Suffosion zu erwarten.

Bei den fluviatilen Sanden kann es aufgrund der auftretenden hydraulischen Gradienten zum Materialtransport innerhalb der Schicht kommen. Anhand der vorliegenden Siebanalysen aus den geotechnischen Untersuchungen, kann die Suffosionssicherheit nach (MMB 2013) überprüft werden. Die Suffosionssicherheit der fluviatilen Sande wurde an zwei repräsentativen Sieblinien betrachtet (siehe Anhang 5). Die Suffosionssicherheit konnte für beide betrachteten Sieblinien nachgewiesen werden.

Zu 2. Kontakterosion

Kontakterosion kann an der Schichtgrenze von fein- zu grobkörnigen Böden auftreten, wenn die Sickerströmung vom feinen zum groben Boden oder parallel zur Schichtgrenze verläuft. Diese Situation ist bei diesem Vorhaben in folgenden Bereichen gegeben:

a) Schichtgrenze von der Auelehmdeckschicht zu den fluviatilen Sanden.
b) Schichtgrenze vom Deichkörper zum Filterkörper.
c) Schichtgrenze von den fluviatilen Sanden zum Sickerschlitz.

Zu a) Da gemäß (MMB 2013) bei gewachsenen bindigen Böden aufgrund der Kohäsion nicht mit Kontakterosion gerechnet werden muss, sind hier weitere Nachweise entbehrlich.

Zu b) Bei kohäsiven d. h. bindigen Böden tritt keine Kontakterosion auf, wenn die Bedingungen gemäß folgender Abbildung erfüllt sind.

kohäsiver Boden oder Tondichtung	Kornfilter oder nicht kohäsiver Boden
$I_p < 0{,}15$ und $c_U \geq 10$ kN/m²	$d_{10} \leq 0{,}2$ mm und $d_{60} \leq 0{,}7$ mm
$I_p \geq 0{,}15$ und $c_U \geq 10$ kN/m²	$d_{10} \leq 0{,}6$ mm und $d_{60} \leq 2{,}0$ mm

Abb. 2.1: Nachweiskriterien für Kontakterosion bei kohäsiven Böden

Die zum Einbau im Deichkörper vorgesehenen Auelehme erfüllen die Grenzwerte der zweiten Zeile in obiger Abbildung, so dass für den Filterkörper die entsprechenden Kriterien gelten. Der landseitige Filterkörper soll, um eine ausreichende hydraulische Leitfähigkeit des Filterkörpers zu gewährleisten, aus einem Sand-Kies-Gemisch der Körnungslinie 1/16 hergestellt werden. Da dieses Material die Kriterien der Zeile 2 in Abb. 2.1 nicht einhält, wird zum Schutz vor Kontakterosion ein Filtervlies vorgesehen. Die Bemessung des Filtervlieses wird nach dem Bodentypenverfahren nach (MAG 1993) durchgeführt (Anhang 6). Aus der Bemessung ergibt sich, dass ein Geotextil als Filter erforderlich wird, das für den Rückhalt des Bodentyps 4 geeignet ist.

Zu c) Der Sickerschlitz soll, wie der landseitige Filterkörper, aus einem Sand-Kies-Gemisch der Körnungslinie 1/16 hergestellt werden, um auch hier eine ausreichende hydraulische Leitfähigkeit zu gewährleisten. An der Schichtgrenze von den fluviatilen Sanden bzw. dem Auelehm zum Sickerschlitz wird daher zum Schutz vor Kontakterosion ebenfalls ein geotextiler Filter vorgesehen. Gemäß der Bemessung nach dem Bodentypenverfahren (Anhang 6) wird für die fluviatilen Sande ein Geotextil für die Bodentypen 2 und 3 erforderlich. Um gleichzeitig die Erosionssicherheit gegenüber dem Auelehm zu gewährleisten, muss das Geotextil auch für den Bodentyp 4 geeignet sein. Insgesamt muss das Geotextil also in der Lage sein, Böden der Bodentypen 2 bis 4 zurückzuhalten.

<u>Zu 3. Erosionsgrundbruch am landseitigen Böschungsfuß</u>
Zum Erosionsgrundbruch kann es kommen, wenn hinter dem landseitigen Böschungsfuß Sickerwasser unkontrolliert an der Geländeoberfläche austritt. Da zum Schutz der landseitigen Auelehmdeckschicht gegen Aufschwimmen die Anordnung eines Sickerschlitzes vorgesehen ist (s. vorherige Kapitel), wird das Sickerwasser bereits kontrolliert abgeführt. Dadurch wird auch erreicht, dass sich der hydraulische Gradient (d.h. das Druckgefälle) hinter dem landseitigen Böschungsfuß verringert. Der hydraulische Gradient liegt an der Unterkante des Sickerschlitzes im Hochwasserfall unter dem kritischen Kontrollgradienten für Mittelsande von 0,15, der in (MMB 2013) als Nachweis für die Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch angegeben wird, siehe auch nachfolgende Abbildung 2.2. Die Sicherheit gegen Erosionsgrundbruch ist damit gegeben.

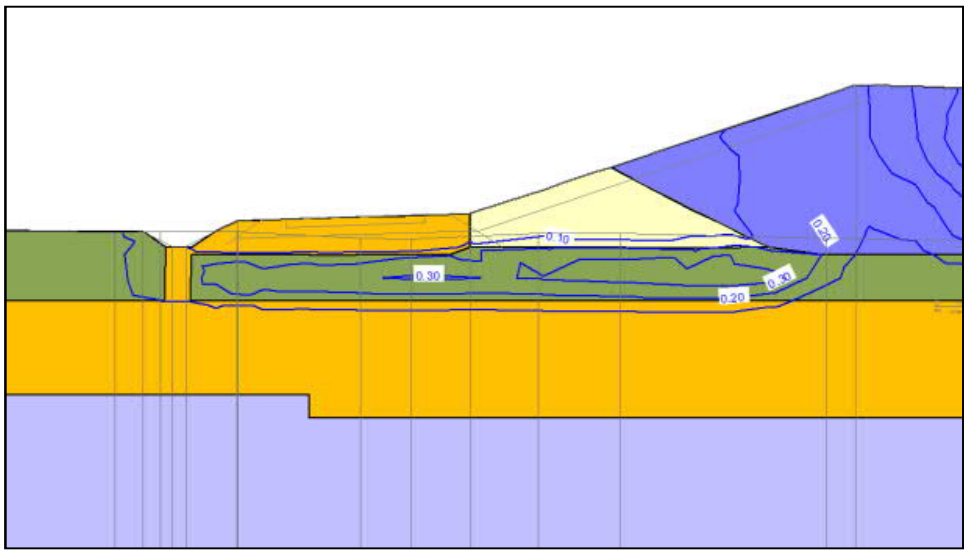

Abb. 2.2: Isolinien des hydraulischen Gradienten bei QP2

Zu 4. Fugenerosion

Fugenerosion tritt an der Grenzschicht zwischen Boden und Massivbauwerken auf. Um das Auftreten von Fugenerosion zu verhindern, werden bei Bauwerken, die im Deich geplant sind, Schleichwasserschilde, Sporne und ähnliche Wandelemente vorgesehen, die den Sickerweg effektiv verlängern.

Verfasst:
Ingenieurgesellschaft Heidt + Peters mbH
Celle, 13.05.2019

gez. Ralf Schumacher
.....
Ralf Schumacher / Dipl.-Ing. (FH)

3 Quellenverzeichnis

DIN 19712 - Deutsches Institut für Normung e.V. (2013): Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern. 67 S. Beuth-Verlag, Berlin.

DVWK M221 (1992) – DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK): Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. 25 S. und Anlagen; Bonn.

DWA-M507 - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (2011): Deiche an Fließgewässern. 108 S.; Hennef.

HGN – HYDROGEOLOGIE GMBH NORDHAUSEN (2000): Überarbeitung des festgesetzten Überschwemmungsgebiete der Leine in der Landeshauptstadt und im Landkreis Hannover, Bearbeitungsabschnitt 2. Gutachten im Auftrag der Bezirksregierung Hannover, Dez. 502, 56 S. + Anlagen [unveröffentlicht].

MAG (1993) – Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Merkblatt Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. 18 S. und Anlagen; Karlsruhe.

MMB (2013) – Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Merkblatt Materialtransport im Boden. 28 S. und Anlagen; Karlsruhe.

NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (2006): Handlungsempfehlung zur Qualitätssicherung für den Auelehmeinbau, eingeführt mit Schreiben vom 27.03.2006; Norden.

STADT-LAND-FLUSS INGENIEURDIENSTE GMBH (2003): Hochwasserschutz in der Region Neustadt a. Rbge., Grundlagenermittlung und Vorplanung, Schlussdokumentation, 62 S. + 16 Anlagen. Im Auftrag der Stadt Neustadt a. Rbge.; Hannover [unveröffentlicht].