WTM ENGINEERS

Bauherr:	Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen Amt für Landesplanung und Stadtentwicklung LP 33 Projektgruppe Deckel A7 Neuenfelder Straße 19 21109 Hamburg
Bauvorhaben:	**A7: Tunnel Altona** **Überprüfung Geländeneigung der Tunnelhinterfüllung**
Auftrag:	**15200**
Inhalt:	**Statische Berechnung**

Tragwerksplanung:	WTM ENGINEERS GMBH Beratende Ingenieure im Bauwesen Johannisbollwerk 6-8 20459 Hamburg Bearbeiter: Paul Biller, M. Sc. Telefon: 040 / 35 00 9 - 645 Telefax: 040 / 35 00 9 - 845 Mail: p.biller@wtm-hh.de

WTM ENGINEERS

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

1. Grundlagen 2
2. Veranlassung 2
3. Geometrie 4
4. Betrachtung 1: km 153+780,000 7
5. Betrachtung 2: km 155+055,000 9
6. Betrachtung 3: km 155+332,480 11
7. Ergebnis 12

1. Grundlagen

Bestandsunterlagen

[1] Übersichtslageplan Einbau Leichtbaustoffe Differenzen DGM, melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft, 15.01.2021

[2] Übersichtsplan Deckel A7 Altona, Überprüfung Geländeneigungen Seitenbereiche,10.08.2022

Normen und Vorschriften

[2] DIN EN 1997-1-1 inkl. NA

2. Veranlassung

Nördlich des Hamburger Elbtunnels wird die A7 mit einem Tunnelbauwerk überdeckt. Die Herstellung des Tunnels, Zufahrten und Hinterfüllung werden durch die DEGES geplant. Die Überschüttung, Kleingärten und Parkanlagen werden durch das Büro arbos Freiraumplanung für die Hamburger Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen geplant.
Für die Hinterfüllung des Altonatunnels über die A7 im Bereich Othmarschen/Bahrenfeld ist nach Vorgabe der DEGES in der aktuellen Planung keine Geländeneigungen angesetzt worden. In lokal begrenzten Bereichen sieht die Freiraumplanung eine höhere Hinterfüllung vor.

In diesem Dokument wird geprüft, ob eine höhere Hinterfüllung aus statisch-konstruktiver Sicht möglich ist und welche Maßnahmen zur Umsetzung ggf. ergriffen werden müssen.
Die Prüfung erfolgt auf Basis eines Lastvergleichs.
Auf Grundlage von Erfahrungswerten des Tunnelbauwerks in Schnelsen/Stellingen wurde eine Geländeneigung seitlich des Tunnels von 3 % durch die DEGES als unkritisch eingeschätzt. Im Bereich Othmarschen/Bahrenfeld werden durch arbos Freiraumplanung Geländeneigungen von ca. 5 % vorgesehen.
Für die Hinterfüllung wurde in der aktuellen Planung die Bodeneigenschaften $\gamma/\gamma' = 19/9$ kN/m^3, $\varphi = 30°$ und $\delta = \varphi/2$ angesetzt.

Betrachtet werden die folgend dargestellten drei Bereiche:

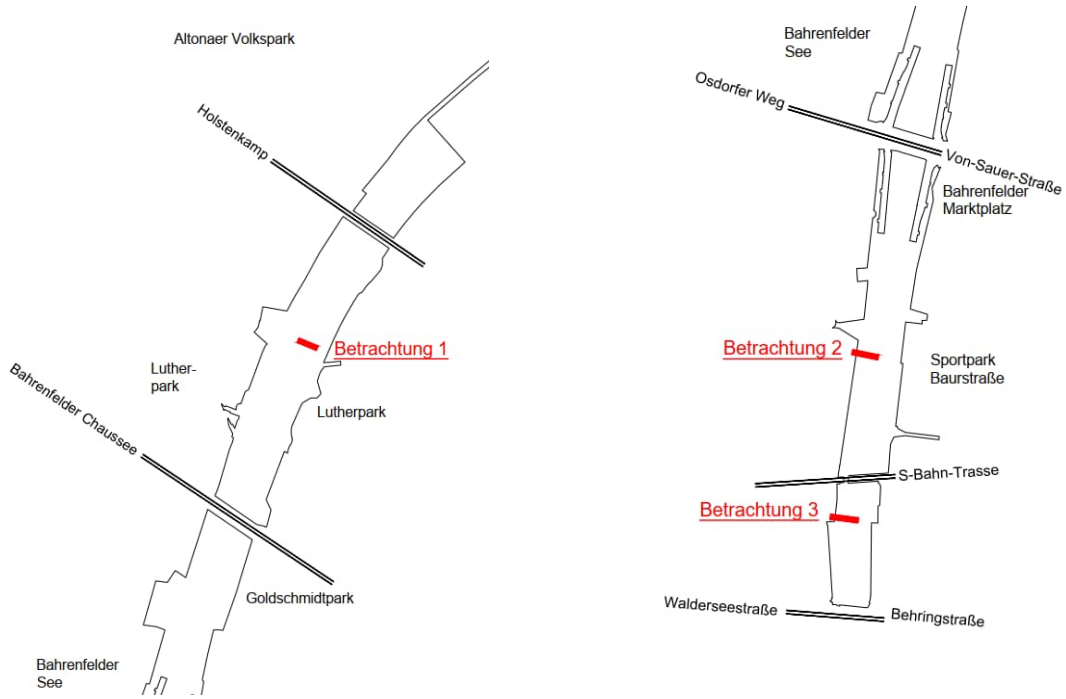


Abbildung 1 Draufsicht der betrachteten Bereiche

3. Geometrie

Betrachtung 1: km 153+780,000, Schnitt nördlich Lutherpark Ostseite

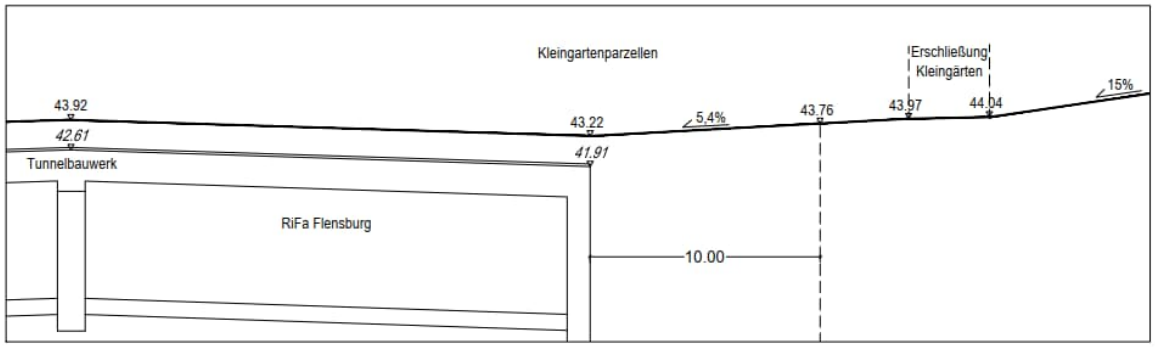


Abbildung 2 Endzustand Querschnitt km 153+780,000

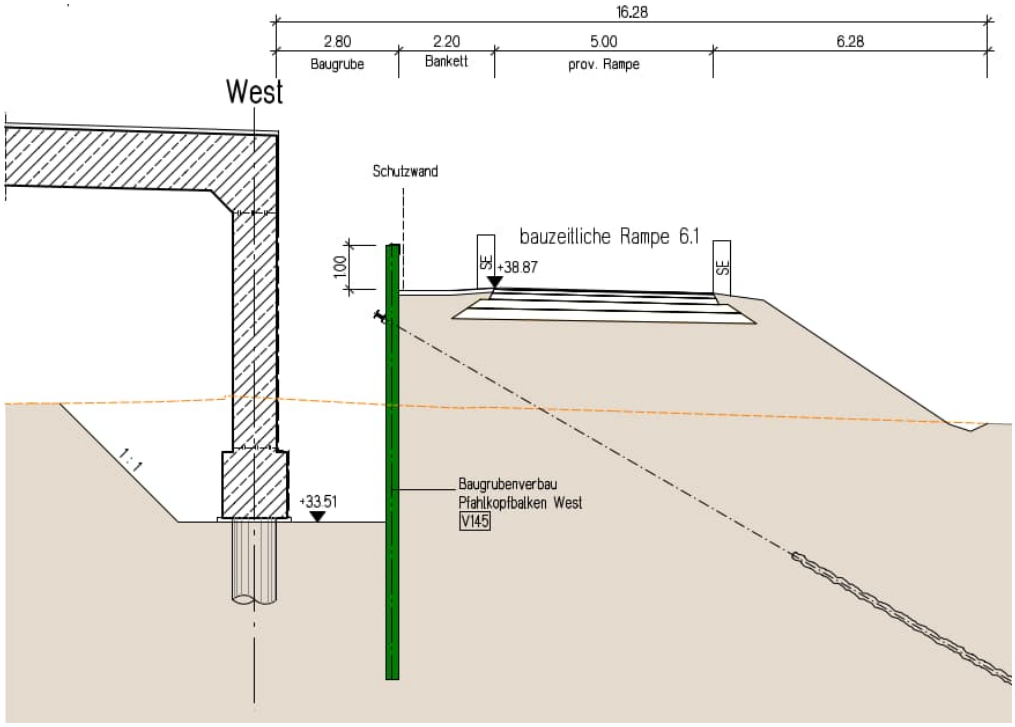


Abbildung 3 Bauzustand Querschnitt km 153+780,000 (qualitativ)

Betrachtung 2: km 155+055,000, Schnitt nördlich S-Bahn-Trasse Westseite

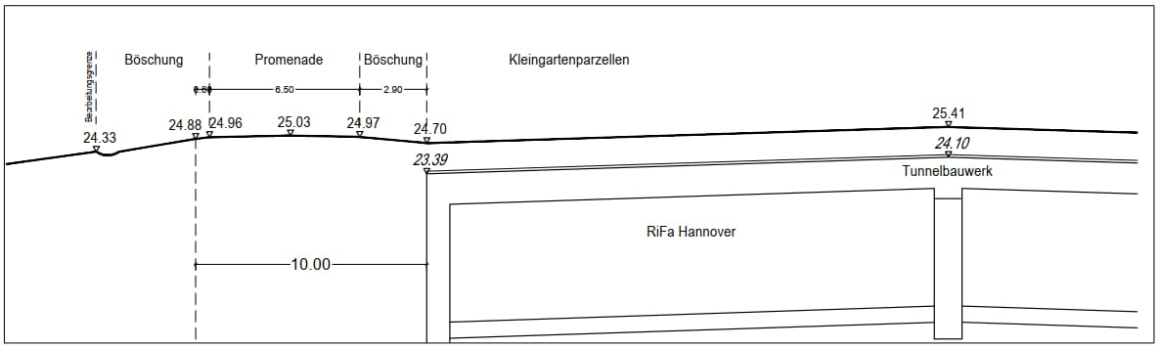


Abbildung 4 Endzustand Querschnitt km 155+055,000

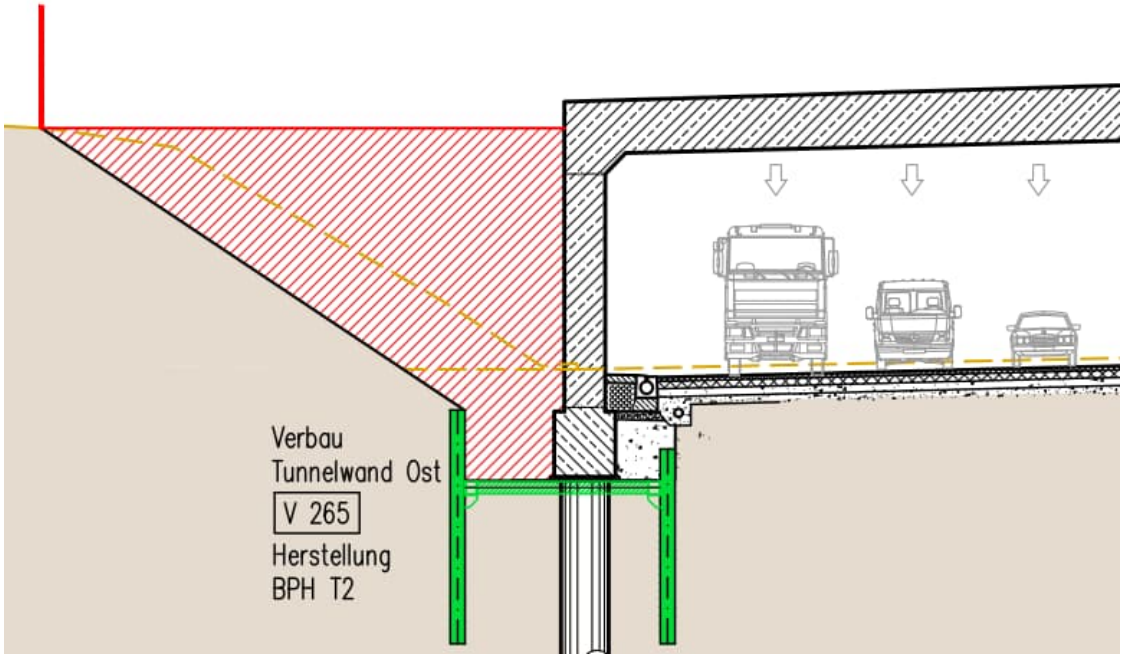


Abbildung 5 Bauzustand Querschnitt km 155+055,000 (qualitativ)

Betrachtung 3: km 155+332,480, Schnitt südlich S-Bahn-Trasse

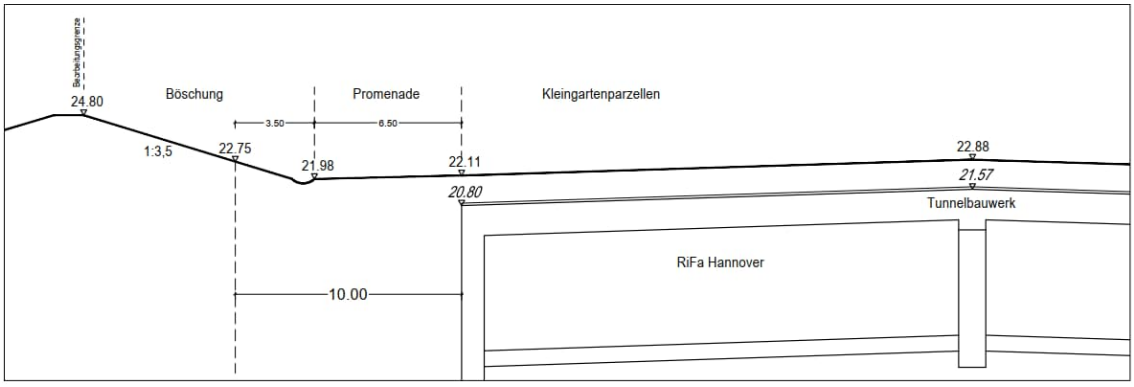


Abbildung 6 Endzustand Querschnitt km 155+332,480

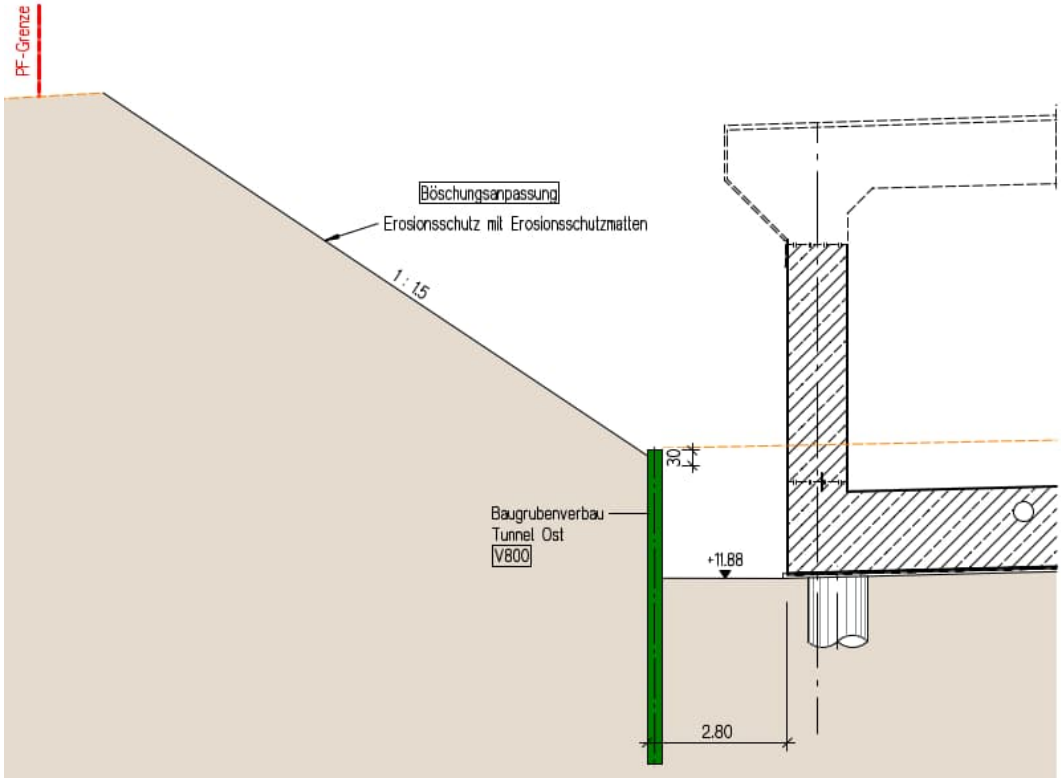


Abbildung 7 Bauzustand Querschnitt km 155+332,480 (qualitativ)

4. Betrachtung 1: km 153+780,000

Entsprechend folgender Darstellung wird das Gelände östlich des Tunnels in diesem Abschnitt mit 5,4 % geneigt hergestellt. Die Neigung überschreitet die Vorgabe von 0 % Geländeneigung aus der aktuellen Planung.
Der aktive Erddruckanteil liegt unter dem Ansatz $\vartheta \approx 60°$ überwiegend im Bereich der Hinterfüllung. Der Einfluss des gewachsenen Bodens ist gering und kann vernachlässigt werden.

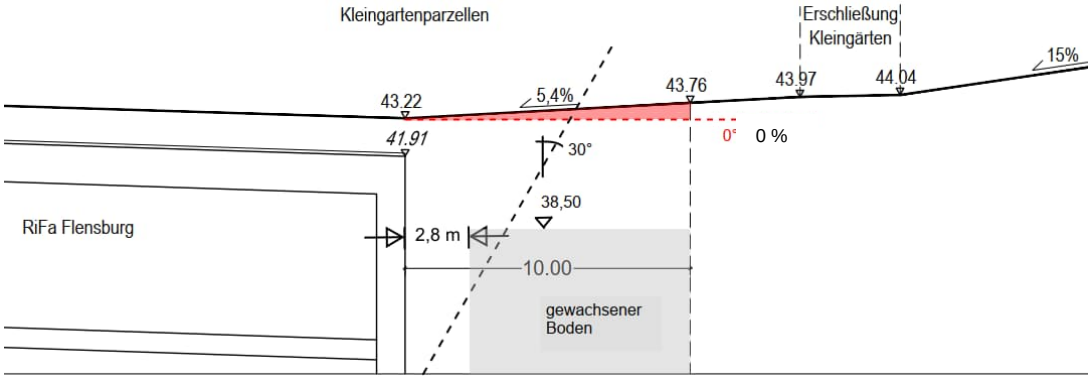


Abbildung 8 Skizze Querschnitt km 153+780,000

Folgend wird die prozentuale Erhöhung des Erddrucks durch die vergrößerte Geländeneigung berechnet. Gemäß ZTV-ING sind Tunnelbauwerke mit mindestens halbem aktiven Erddruck (f = 0,5) und maximal mit Erdruhedruck zu berechnen.

f ' [°]	b [°]	b [%]	k_{agh} [-]	k_{0gh} [-]	Erhöhung des aktiven Erddruckbeiwerts im Vergleich zu b=0° [%]	Erhöhung des Erdruhedruckbeiwerts im Vergleich zu b=0° [%]
30	0,0	0,0	0,2911	0,4204	100,0 %	100,0 %
30	1,7	3,0	0,2970	0,4296	102,0 %	102,1 %
30	3,1	5,4	0,3020	0,4377	103,7 %	104,1 %

Bei einer Geländeneigung von 0 % auf 3 % erhöht sich der Erdruhedruckbeiwert um 2,1 % und bei einer Geländeneigung von 0 % auf 5,4 % um 4,1 %. Ausgehend von 3 % zu 5 % Geländeneigung erhöht sich der Erdruhedruckbeiwert um 2,0 %.

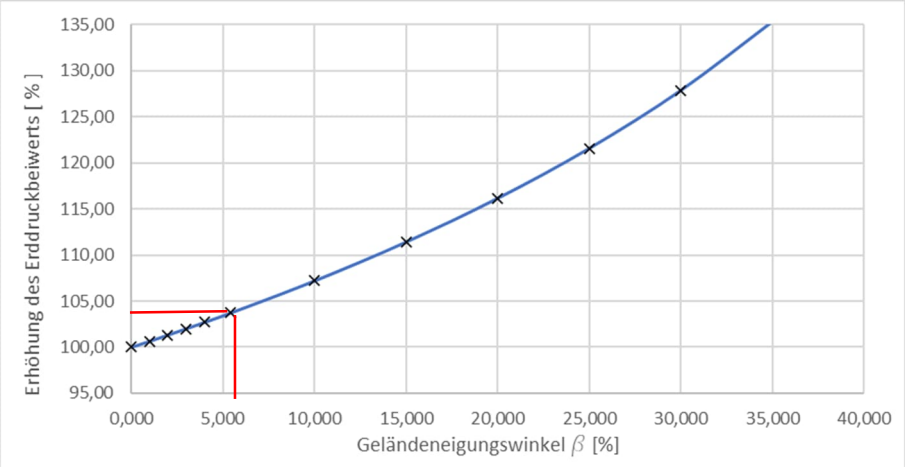


Abbildung 9 Erhöhung des aktiven Erddruckbeiwertes in Abhängigkeit der Geländeneigung

Die Lasterhöhung hat folgende Auswirkung auf den Tunnel:

- Geringere Verformung der Decke
- Umverteilung der Deckenbewehrung in die Stützbereiche (äußere Ecke)
- Geringfügig größere erf. Wandbewehrung in Feld- und Stützbereichen
- Auswirkung auf Pfahlbewehrung ist boden- und systemabhängig

Die Laststeigerung dieser Größenordnung wird als unkritisch eingestuft und kann durch eine Anpassung der Bewehrung in der Ausführungsplanung berücksichtigt werden. Sollte eine Anpassung nicht möglich sein, kann durch eine der folgenden Maßnahmen eine erhöhte Einwirkung durch Bodenauflast auf den Tunnel rechnerisch vollständig ausgeschlossen werden:

1) Hinterfüllung mit Boden mit erhöhtem Reibungswinkel verwenden:

   $\varphi_{Planmäßig} = 30{,}0°$

   Planmäßige Geländeneigung 0 %, Erhöhung auf 5,4 %: $\varphi_{erf} \geq 30{,}9°$

2) Einbau von leichterem Material zur Hinterfüllung

   $\gamma_{Planmäßig} = 19{,}0\ kN/m^3$

   Planmäßige Geländeneigung 0 %, Erhöhung auf 5,4 %: $\gamma_{erf} \leq 18{,}2\ kN/m^3$

5. Betrachtung 2: km 155+055,000

Entsprechend folgender Darstellung wird das Gelände westlich des Tunnels in diesem Abschnitt mit einer Kuppe hergestellt. Die Kuppengeometrie überschreitet die Vorgabe von 0 % Geländeneigung geringfügig. In folgender Skizze ist die Lasterhöhung durch die Kuppengeometrie in rot markiert.

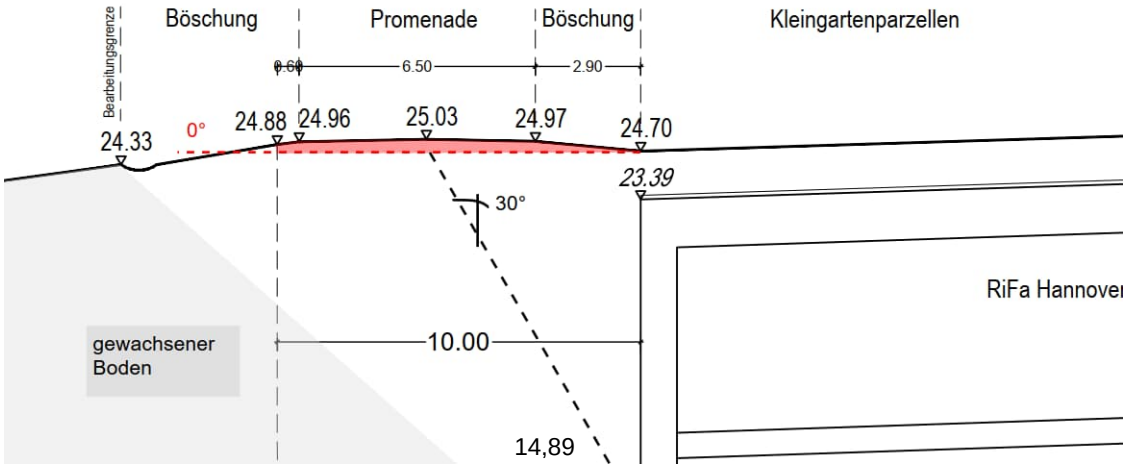


Abbildung 10 Skizze Querschnitt km 155+055,000

Die rot markierte Fläche ist ca. 2,6 m² groß. Der aktive Erddruckanteil liegt unter dem Ansatz $\vartheta \approx 60°$ ausschließlich im Bereich der Hinterfüllung. Rot markierte Bereiche, die einen Einfluss auf die Erddruckbelastung des Tunnels machen ca. 1,3 m² aus. Verschmiert über die Breite des Einflussbereiches des Erddrucks ergibt sich folgende zusätzliche Auflast aus der Aufschüttung:

$$h_{Kuppe(verschmiert)} = \frac{1{,}3\ m^2}{5{,}2\ m} = 0{,}25\ m$$

$$g_k = 0{,}25\ m * 19\frac{kN}{m^3} = 4{,}75\ kN/m^2$$

Ausgehend von einer Geländeneigung von 0 %:

	Höhe [mNN]	z [m]	Wichte [kN/m³]	kagh [-]	k0gh [-]	e_{agh} [kN/m²]
GOK	24,70	0	19	0,30	0,42	0,0
OK Tunnel	23,39	1,31	19	0,30	0,42	10,5
UK Fahrbahnaufbau	14,89	9,81	19	0,30	0,42	78,3

	E_{0gh}	384,0	kN/m
Zusätzliche Belastung aus Aufschüttung	E_{0gh}	19,6	kN/m
Laststeigerung		5,1	%

Durch die Herstellung der Kuppe erhöht sich der Erddruck um 5,1 % im Gegensatz zu der bisherigen Planung.

Die Lasterhöhung hat folgende Auswirkung auf den Tunnel:

- Geringere Verformung der Decke
- Umverteilung der Deckenbewehrung in die Stützbereiche (äußere Ecke)
- Geringfügig größere erf. Wandbewehrung in Feld- und Stützbereichen
- Auswirkung auf Pfahlbewehrung ist bodenabhängig

Die Laststeigerung dieser Größenordnung wird als unkritisch eingestuft und kann durch eine Anpassung der Bewehrung in der Ausführungsplanung berücksichtigt werden. Sollte eine Anpassung nicht möglich sein, kann durch eine der folgenden Maßnahmen eine erhöhte Einwirkung durch Bodenauflast auf den Tunnel rechnerisch vollständig ausgeschlossen werden:

1) Hinterfüllung mit Boden mit erhöhtem Reibungswinkel verwenden:

   $\varphi_{Planmäßig} = 30{,}0°$

   Planmäßige Geländeneigung 0 %, Erhöhung Kuppe: $\varphi_{erf} \geq 31{,}40°$

2) Einbau von leichterem Material zur Hinterfüllung

   $\gamma_{Planmäßig} = 19{,}0\ kN/m^3$

   Planmäßige Geländeneigung 3 %, Erhöhung Kuppe: $\gamma_{erf} \leq 18{,}0\ kN/m^3$

6. Betrachtung 3: km 155+332,480

Entsprechend folgender Abbildung liegt der für den Erddruck relevante Bereich der GOK unterhalb der in vorherigen Berechnungen angesetzten GOK.

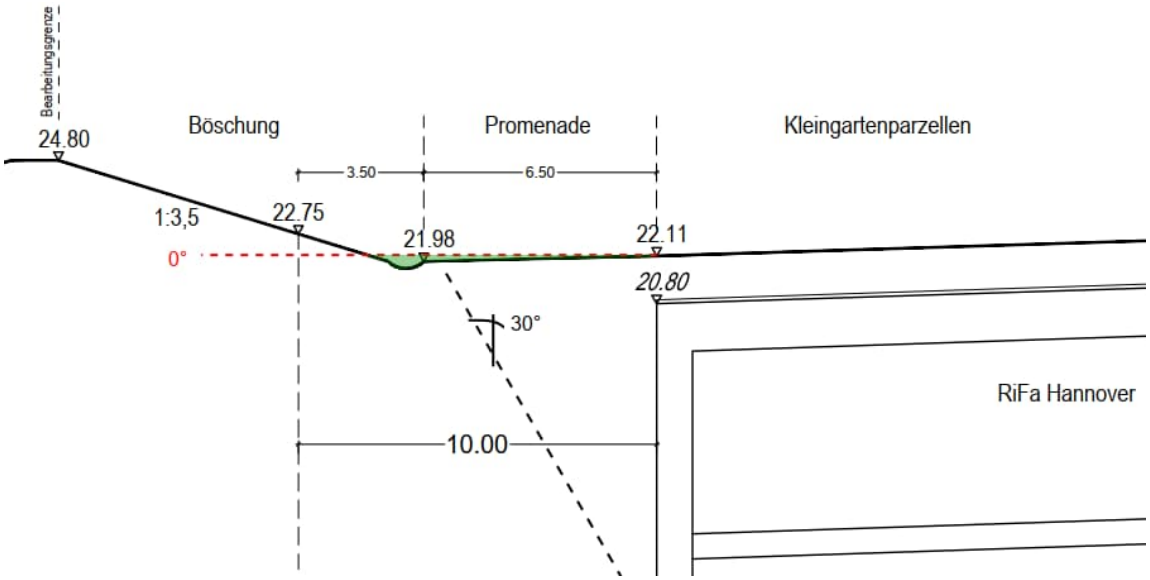


Abbildung 11 Skizze Querschnitt km 155+332,480

Die Böschung weiter westlich des Tunnels liegt außerhalb des rechnerisch relevanten Bereichs. Es sind keine Anpassungen erforderlich.

7. Ergebnis

In den zuvor aufgeführten Berechnungen konnte gezeigt werden, dass sich die Belastung für den Tunnel aus Erddruck für Betrachtung 1 + 2 begrenzt erhöht. Für Betrachtung 1 steigt die Belastung aus dem Erdruhedruck um 4,1 %. In Betrachtung 2 vergrößert sich der Erdruhedruck durch die Geländekurvatur um 5,1 %. Diese Vergrößerungen werden als unkritisch angesehen.
Für Betrachtung 3 konnte gezeigt werden, dass keine erhöhten Lasten durch die Bodengeometrie auf den Tunnel wirken.
Durch Anpassungen der Tunnelbewehrung in der Ausführungsplanung kann diese Laststeigerung berücksichtigt werden.

Bei Verwendung einer Hinterfüllung mit geringfügig abweichenden Eigenschaften kann alternativ vollständig ausgeschlossen werden, dass erhöhte Erddrucklasten auf den Tunnel aufgrund der Überschüttungsgeometrie entstehen.
In der aktuellen Planung wurde die Hinterfüllung mit folgenden Eigenschaften angenommen:

$\gamma / \gamma' = 19/9\ kN/m^3$ $\varphi = 30°$ $\delta = \varphi/2$

Es kann sowohl Material mit geringerer Wichte verwendet werden als auch Material mit einem größeren Scherwinkel.
Für Betrachtung 1 und 2: $\gamma \leq 18{,}0\ kN/m^3$ oder $\varphi \geq 31{,}4°$

WTM ENGINEERS

Diese statische Berechnung
für das Projekt

Bauvorhaben:	A7: Tunnel Altona Überprüfung Geländeneigung der Tunnelhinterfüllung
Auftrag:	15200
Seiten:	1 bis 13
wurde aufgestellt von:	WTM ENGINEERS GMBH Beratende Ingenieure im Bauwesen Johannisbollwerk 6-8 20459 Hamburg

Projektleiter/ Bearbeiter:

Digital signiert von biller
Datum: 22.09.2022

Paul Biller, M.Sc.

Hamburgische Ingenieurkammer-Bau
Dres.- Ing.
G. Zehetmaier Li-Nr. 620
T. Schadow Li-Nr. 619
A. Steffens Li-Nr. 417
S. Ehmann Li-Nr. 298
U. Jäppelt Li-Nr. 250
Beratende Ingenieure

Digital signiert von Gerhard Zehetmaier
DN: cn=Gerhard Zehetmaier, c=DE, email=g.zehetmaier@wtm-hh.de
Datum: 2022.09.22 17:50:57 +02'00'

Geschäftsführer

Hamburg, den 22. September 2022