

**Hydraulische Berechnungen****Trog und Tunnel in offener Bauweise Bau-km 103,1+90 - Bau-km 103,4+75****Ausgangswerte und geometrische Verhältnisse:**

Gesamtdauer der Wasserhaltung ca.	T <sub>WH</sub>	=	44 Mon
größte Ausdehnung (O-W)	a	=	285 m
mittlere Ausdehnung (N-S) 15 m bis 28 m	b	=	22 m
Gesamtlänge der Umschließung ca.	U	=	614 m
Grundfläche ca.	A	=	6270 m <sup>2</sup>
GOK (523,0 müNN bis 524 müNN)			523,5 müNN
tiefste BGS (Ostende Tunnel in offener Bauweise)			506,0 müNN
OK-Tertiär (506,6 müNN bis 507,7 müNN)			507,2 müNN
Angenommene Mindestdicke feinkörniges Tertiär (Trogsohle)	d	=	1,0 m
Wasserstand Bauzeit HW <sub>Bau</sub> (517,15 müNN bis 516,75 müNN)			517,0 müNN
Bemessungswasserstand HW <sub>End</sub>			518,1 müNN
Absenkziel			505,5 müNN
Mindesttiefe Entspannungsbrunnen im Tieftteil ca.			493,9 müNN
Angenommene mittlere Gesamtdicke der zu entspannenden Tertiärsandlagen im Tieftteil gemäß Bodenaufschlüssen	m <sub>entsp</sub>	=	8,0 m
Gesamtabsenkung im Trog bei HW <sub>Bau</sub> (Mittel)	s	=	11,5 m
Absenkung innerhalb der Baugrube im Quartär bei HW <sub>Bau</sub> (Mittel)	s <sub>q</sub>	=	9,8 m
Absenkung innerhalb der Baugrube im Tertiär bei HW <sub>Bau</sub>	s <sub>t</sub>	=	1,7 m
Potential der Entspannungswasserhaltung bei Entspannung bis zum Niveau der Restwasserhaltung	s <sub>ent</sub>	=	11,5 m
UK Filter Versickerungsbrunnen Quartär (=OK Tertiär)			507,2 müNN
Stauhöhe im Sickerbrunnen Quartär (max. HW <sub>End</sub> )	z <sub>q</sub>	=	1,1 m
Stauhöhe in der Rigole	z <sub>rig</sub>	=	1,0 m
Brunnenradius (Quartär)	r <sub>q</sub>	=	0,30 m
benetzte Filterlänge Quartärversickerung	h' <sub>q</sub>	=	10,9 m
Sohlbreite einer Sickerrigole	b <sub>Rig</sub>	=	0,5 m
k-Wert feinkörniges Tertiär	k (tf)	<	1,0E-08 m/s
k-Wert Tertiärsand (Tertiärentspannung)	k (ts)	=	5,0E-05 m/s
k-Wert Quartärkies	k (q)	=	5,0E-03 m/s
k-Wert Quartärkies (Versickerung)	k <sub>sick</sub> (q)	=	1,3E-03 m/s
Quartäre Grundwassermächtigkeit HW <sub>End</sub> (Mittel)	H <sub>End</sub> (q)	=	10,9 m
Quartäre Grundwassermächtigkeit HW <sub>Bau</sub> (Mittel)	H <sub>Bau</sub> (q)	=	9,8 m
Entwässerbarer Porenanteil Quartär	n (q)	=	0,25
Entwässerbarer Porenanteil Tertiär (Mittel Ton/Sand)	n (t)	=	0,15
Bemessungsniederschlag mit 10-jähriger Häufigkeit	r <sub>15(0,1)</sub>	=	0,271 m <sup>3</sup> /(s ha)

**Hydraulische Berechnungen****Trog und Tunnel in offener Bauweise Bau-km 103,1+90 - Bau-km 103,4+75****I Berechnung der zu fördernden Wassermengen**

Die Abschätzung der zu fördernden Wassermengen der Restwasserhaltung des wasserundurchlässigen Baugrubentroges erfolgt für den hohen angenommenen Wasserstand  $HW_{Bau}$ .

**Trogwasser (vereinfacht zum erstmaligen Absenken)**

$$V_{Trog} = A \times [s(q) \times n(q) + s(t) \times n(t)] = 16960 \text{ m}^3$$

Zum Abpumpen dieser Wassermenge innerhalb von 14 Tagen ist eine Pumpleistung von etwa:

$$16960 \times 1000 / (14 \times 24 \times 3600) = 14,0 \text{ l/s erforderlich}$$

**Restwasser aus Umströmung der Umschließung:**

Infolge der Einbindung der Umschließung in feinkörnige Tertiärschichten sehr geringer Wasserdurchlässigkeit ist die von unten zuströmende Wassermenge gering. Sie kann bei Annahme einer  $d = 1,0 \text{ m}$  dicken Sohlschicht mit  $k(tf)$  folgendermaßen abgeschätzt werden. Nach Inbetriebnahme der Tertiärentspannung geht die Wassermenge weiter zurück:

$$Q_{\text{Sohle}} = A \times k(tf) \times s / d = 0,0007 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\text{Sohle}} = 0,72 \text{ l/s}$$

Bei einer Betriebszeit der Wasserhaltung von TWH ist entsprechend dieser Abschätzung voraussichtlich maximal mit folgendem Wasserzutritt aus der Sohle zu rechnen:

$$Q_{\text{Sohle}} \times (3600 \times 24 \times 365 \times TWH/12) = 83376 \text{ m}^3/\text{TWH}$$

**Wassermenge der Tertiärentspannung:**

Zur überschlägigen Abschätzung des Wasserandrangs einer Tertiärwasserentspannung wird von Tertiärsandlagen der Gesamtmächtigkeit  $m_{ent\text{sp}}$  ausgegangen, die im Tiefenbereich zwischen Baugrubensohle und erforderlicher Entspannungstiefe unterhalb der Baugrube anstehen. Die Tertiärentspannung wird auf ca.  $a' = 125 \text{ m}$  Länge der Baugrube erforderlich, wobei die Tiefe der Entspannungsbrunnen nach Osten zunimmt. Aus diesem Grund wird die halbe berechnete Wassermenge berücksichtigt.

Wasserandrang zur Baugrube (Ersatzbrunnen) bei gespanntem Grundwasser:

$$ARE = a' \times 0,195 + b \times 0,385 \text{ (für rechteckige Baugruben)}$$

$$ARE = a' / 3 \text{ (für langgestreckte Baugruben)}$$

$$ARE = 41,7 \text{ m}$$

$$R = 3000 \times s_{ent} \times \sqrt{k(ts)} = 244 \text{ m}$$

$$Q_{ent\text{sp}} = 0,5 \times (2 \times \pi \times k(ts) \times m_{ent\text{sp}} \times s_{ent} / (\ln R - \ln ARE)) = 0,0082 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{ent\text{sp}} = 8,2 \text{ l/s}$$

Bei einer Betriebszeit der Wasserhaltung von TWH fällt aus der Tertiärentspannung entsprechend dieser Abschätzung voraussichtlich etwa folgende Wassermenge an:

$$Q_{Ent\text{sp}} \times (3600 \times 24 \times 365 \times TWH/12) = 945519 \text{ m}^3/\text{TWH}$$

**Sickerwasser aus der Baugrubenumschließung:**

Zur Abschätzung der Sickerwassermenge wird  $q = 0,002 \text{ m}^3/\text{s}$  je  $1000 \text{ m}^2$  benetzter Fläche der Baugrubenumschließung angenommen. Die Berechnung erfolgt für die gesamte Mantelfläche der Umschließung unter  $HW_{Bau}$ . Es ergibt sich eine Sickerwassermenge von etwa:

$$Q_{Wand} = U \times s \times 0,002 / 1000 = 0,0141 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{Wand} = 14,1 \text{ l/s}$$

Bei einer Betriebszeit der Wasserhaltung von TWH ist entsprechend dieser Abschätzung mit folgender Wassermenge zu rechnen:

$$Q_{Wand} \times (3600 \times 24 \times 365 \times TWH/12) = 1632955 \text{ m}^3/\text{TWH}$$

**Hydraulische Berechnungen****Trog und Tunnel in offener Bauweise Bau-km 103,1+90 - Bau-km 103,4+75****Niederschlagswasser:**

Im dichten Baugrubentrog muß das anfallende Niederschlagswasser zeitlich verzögert von der Wasserhaltung gefördert werden. Beim 15-minütigen Bemessungsregen  $r_{15(0,2)}$  fällt in der Baugrube folgende Wassermenge an:

$$Q_{N15} = r_{15(0,2)} \times 15 \text{ min} \times 60 \text{ s} \times A \times 1/10000 \text{ m}^2 = \quad \quad \quad \mathbf{152,9 \text{ m}^3 / 15 \text{ min}}$$

Diese Niederschlagswassermenge kann bei einer zusätzlichen Pumpleistung von 14,2 l/s in etwa drei Stunden mit der Restwasserhaltung abgepumpt werden.

Bei einem Jahresniederschlag von ca. 950 mm fällt bei einer angenommenen Bauzeit von T<sub>WH</sub> bis zur Inbetriebnahme einer geordneten Oberflächenentwässerung folgende Wassermenge an:

$$Q_{N\text{Jahr}} = 0,95 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times A \times T_{WH}/12 = \quad \quad \quad \mathbf{21841 \text{ m}^3/T_{WH}}$$

Dies entspricht bei der Restwasserhaltung einer durchschnittlichen Förderrate von:

$$21841 \text{ m}^3 / (T_{WH} \times 24 \times 3600 \times 365/12) = \quad \quad \quad \mathbf{0,00019 \text{ m}^3/\text{s}} \quad \quad \mathbf{0,19 \text{ l/s}}$$

**Gesamtwassermengen für 8 Monate Wasserhaltungszeit:**Wasseranfall:

Trogwasser	16960 m <sup>3</sup>	14,0 l/s
Sohlwasser	83376 m <sup>3</sup>	0,7 l/s
Tertiärentspannung	945519 m <sup>3</sup>	8,2 l/s
Sickerwasser Baugrubenumschließung	1632955 m <sup>3</sup>	14,1 l/s
Niederschlagswasser (Starkregen)	153 m <sup>3</sup>	14,2 l/s
Niederschlagswasser (Mittel)	21841 m <sup>3</sup>	0,2 l/s
Gesamtwassermenge:	<b>2700651 m<sup>3</sup></b>	

Fördermengen:

Während des Leerpumpens des Troges	29,1 l/s
Wasserhaltungsbetrieb + Starkregen	37,2 l/s
Wasserhaltungsbetrieb	23,2 l/s

Während des Leerpumpens des Troges ist von folgender maximaler rechnerischer Wassermenge auszugehen:

$$Q_{\text{MAX Absenk}} = \text{Trogw.} + \text{Sohlw.} + \text{Sickerw.} + \text{Niederschlag} = \quad \quad \quad \mathbf{29,1 \text{ l/s}}$$

Nach Inbetriebnahme der Tertiärentspannung ist unter Berücksichtigung eines Starkregenereignisses von folgender maximaler rechnerischer Restwassermenge auszugehen:

$$Q_{\text{MAX Rest}} = \text{Sohlwasser} + \text{Entspannung} + \text{Sickerwasser} + \text{Starkregen} = \quad \quad \quad \mathbf{37,2 \text{ l/s}}$$

Ohne Berücksichtigung des Starkregens reduziert sich die rechnerische Restwassermenge nach dem Leerpumpen des Troges auf:

$$Q_{\text{MAX Rest}} = \text{Sohlwasser} + \text{Entspannung} + \text{Sickerw.} + \text{Niederschlagswasser} = \quad \quad \quad \mathbf{23,2 \text{ l/s}}$$

**Hydraulische Berechnungen****Trog und Tunnel in offener Bauweise Bau-km 103,1+90 - Bau-km 103,4+75****II Berechnung der Grundwasserversickerung:**

Im normalen Wasserhaltungsbetrieb fallen rechnerisch bis zu ca. 23,2 l/s  
und bei gleichzeitigem Starkregen bis zu ca. 37,2 an.

Es wird die Versickerung durch Brunnen oder Rigolen im Quartärkies untersucht.

Maximal zu versickernde Wassermenge  $Q_s =$  0,0372 m<sup>3</sup>/s

**Brunnenversickerung (Quartär ungespannt):**

Die rechnerische Abschätzung der Brunnenversickerung im Quartär wird für den ungünstigen Wasserstand  $H_{WBau}$  durchgeführt. Um den Einstau von Nachbargebäuden über natürliche Verhältnisse hinaus zu verhindern, wird der Aufstau im Brunnen für die Berechnung auf den Wasserstand  $H_{WEnd}$  beschränkt.

Reichweite  $R(q)$  des Aufstaukegels bei Versickerung im Quartärkies

$R(q) = 3000 \times z_q \times \sqrt{k_{sick}(q)} =$  119 m

Die benötigte Fläche nach Dupuit-Thiem (Ersatzradius):

$\ln ARE = \ln R(q) + \pi \times k_{sick}(q) \times [H_{Bau}^2 - (H_{Bau} + z_q)^2] / Q_s =$  2,28  
 $ARE =$  10 m

Der Aufstaukegel reicht je nach Versickerungsstandort unter Nachbargrundstücke, geht aber nicht über  $H_{WEnd}$  hinaus.

Vom Einzelbrunnen abströmende Wassermenge:

$Q_s = \pi \times k_{sick} \times [H_{Bau}^2 - (H_{Bau} + z_q)^2] / (\ln R - \ln r_q) =$  -0,0155 m<sup>3</sup>/s  
 $Q_s =$  -15,5 l/s

Fassungsvermögen eines Sickerbrunnens:

$q_s = 2 \times r_q \times \pi \times h'_q \times \sqrt{k_{sick}(q)} / 15 =$  -0,0494 m<sup>3</sup>/s  
 $q_s =$  -49,4 l/s

Der geringere Wert aus Abströmung und Fassungsvermögen ist maßgeblich:

rechnerische Mindestanzahl der Brunnen: 2,4 Stk

**Rigolenversickerung im Quartär:**

Die Abschätzung der Sickerleistung erfolgt in Anlehnung an ATV 138 für eine Rigole mit 0,5 m Breite, die 1 m hoch eingestaut werden kann.

$q_s = (b_{Rig} + z/2) \times k_{sick}(q) =$  -0,0013 m<sup>3</sup>/s je lfdm  
 $q_s =$  -1,30 l/s je lfdm  
 $L_{rig} = Q_s/q_s =$  28,6 lfdm

**Hydraulische Berechnungen****Trog und Tunnel in offener Bauweise Bau-km 103,1+90 - Bau-km 103,4+75****III Grundwasseraufstau Bauzeit:****Ausgangswerte und geometrische Verhältnisse:**

Baukörper im GW größte Ausdehnung (O-W)	a	=	368 m
Baukörper im GW größte Ausdehnung (N-S)	b	=	28 m
Winkel zwischen Richtung "a" und GW-	$\alpha$	=	85 °
max. angeströmte Bauwerkslänge	L	=	369 m
Grundwassergefälle bei HW <sub>Bau</sub> ca.	i	=	0,0034

Besonders bei hohen und sehr hohen Ständen wird der quartäre Grundwasserstrom durch das bis in das Tertiär reichende Bauwerk und die Baugrubenumschließung behindert. Hierdurch entsteht auf der Anströmseite (Süd) ein Aufstau und auf der Abströmseite (Nord) ein Sunk. Das Bauwerk kann in den Quartärkiesen umströmt werden. Die Berechnung erfolgt für den ungünstigsten Bauzustand BA1.

**Grundwasseraufstau aus Umströmung nach G. Schneider:**

Umströmung allein  
 $\Delta H_{um} = i \times L / 2 = 0,63 \text{ m}$

**IV Grundwasseraufstau Endzustand:****Ausgangswerte und geometrische Verhältnisse:**

Baukörper im GW größte Ausdehnung (O-W)	a	=	323 m
Baukörper im GW größte Ausdehnung (N-S)	b	=	28 m
Winkel zwischen Richtung "a" und GW-	$\alpha$	=	85 °
max. angeströmte Bauwerkslänge	L	=	324 m
Grundwassergefälle bei HW <sub>End</sub> ca.	i	=	0,0034

Besonders bei hohen und sehr hohen Ständen wird der quartäre Grundwasserstrom durch das bis in das Tertiär reichende Bauwerk und die Baugrubenumschließung behindert. Hierdurch entsteht auf der Anströmseite (Süd) ein Aufstau und auf der Abströmseite (Nord) ein Sunk. Das Bauwerk kann in den Quartärkiesen umströmt werden. Die Berechnung erfolgt für das Bauwerk mit dem im Baugrund verbleibende Umschließungsteil bei für HW<sub>200</sub>\*\*

**Grundwasseraufstau aus Umströmung nach G. Schneider:**

Umströmung allein  
 $\Delta H_{um} = i \times L / 2 = 0,55 \text{ m}$