



## **Machbarkeitsstudie zur Sicherung der Verfüllung Mühlenberg**

**Auftraggeber:** Hermann Nottenkämper GmbH & Co. KG  
Eichenallee 1  
46569 Hünxe

**Auftragnehmer:** ASMUS + PRABUCKI · INGENIEURE  
BERATUNGSGESELLSCHAFT MBH  
Carnaperhof 10  
45329 Essen

**Projektbearbeitung:** Herr Dr.-Ing. Marc-Joachim Prabucki

**Erstellungsdatum:** 21. Dezember 2023

**Redaktionelle  
Schlussbearbeitung:** 11. Januar 2024

**Verwaltungssitz:**

Eiland 3 - 45134 Essen  
HRB Essen 13501  
USt-IdNr.: DE200038500  
Steuer-Nr. 112/5760/1517

**Bankverbindungen:**

Sparkasse Essen  
IBAN DE10 3605 0105 0000 2597 70

**Geschäftsführung:**

Dr.-Ing. Marc-Joachim Prabucki  
Dipl.-Ing. Carsten Lesny

## Inhalt (1)

Blatt

0	Zusammenfassung .....	6
1	Veranlassung .....	9
2	Grundlagen und Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung .....	11
2.1	Standortsituation .....	11
2.2	Erkenntnisse zur Sickerwassersituation .....	12
2.2.1	Sickerwasser im Verfüllkörper .....	12
2.2.2	Sickerwasserneubildung .....	12
2.2.3	Sickerwasserspeichermenge im Verfüllkörper .....	13
2.2.4	Sickerwasserentnahmeeinrichtungen und Sickerwassermessstellen .....	14
2.2.5	Förderbare Sickerwassermenge .....	16
2.2.6	Hydraulische Kenndaten .....	17
3	Lösungsansätze zur Sickerwasserentnahme – Variantenvergleich .....	18
3.1	Kriterien für die Bewertung der Machbarkeit .....	18
3.2	Betrachtete Verfahren zur Sickerwasserentnahme .....	23
3.2.1	Überblick .....	23
3.2.2	Vertikalbrunnen als Schachtbrunnen .....	24
3.2.2.1	Sanierung der vorhandenen Schächte .....	25
3.2.2.2	Umbau der vorhandenen Schachtbrunnen .....	27
3.2.2.3	Neubau von Schachtbrunnen .....	28
3.2.3	Horizontalbrunnen mit vertikalem Zentralschacht .....	30
3.2.3.1	Verfahrensbeschreibung .....	30
3.2.3.2	Anwendbarkeit für die Verfüllung Mühlenberg .....	33
3.2.4	Bohrbrunnen .....	35
3.2.4.1	Verfahrensbeschreibung .....	35
3.2.4.2	Anwendbarkeit für die Verfüllung Mühlenberg .....	37
3.2.5	Brunnenbau mittels Horizontalspülbohrverfahren .....	38
3.2.5.1	Verfahrensbeschreibung .....	38
3.2.5.2	Anwendbarkeit für die Verfüllung Mühlenberg .....	41
3.2.6	Microtunneling - Schachtbrunnen .....	41
3.2.6.1	Verfahrensbeschreibung .....	42
3.2.6.2	Anwendbarkeit für die Verfüllung Mühlenberg .....	43
3.3	Variantenvergleich .....	45
3.4	Vorzugsvariante .....	53
4	Anforderungen an die Realisierung der Vorzugsvariante .....	56
4.1	Maßnahmen in der Phase 1 .....	56
4.1.1	Sickerwasserförderung .....	56
4.1.2	Sickerwasserreinigung .....	64
4.1.2.1	Sickerwasserbehandlungsanlage .....	64
4.1.2.2	Sickerwassermanagement in der Phase 1 .....	68
4.2	Maßnahmen in der Phase 2 .....	69
4.2.1	Simulation der Sickerwasserhaltung .....	70
4.2.2	Herstellung der Bohrbrunnen .....	81
4.2.3	Ausbau der Schachtbrunnen .....	87

## Inhalt (2)

	Blatt
4.3 Maßnahmen für das Sickerwassermonitoring .....	87
4.3.1 Sickerwassermonitoring in der Phase 1 .....	89
4.3.2 Sickerwassermonitoring in der Phase 2 .....	92
4.4 Betriebsbegleitende Überwachung .....	93
4.4.1 Betriebsbegleitende Überwachung in der Phase 1 (einschl. vorlaufender Vorerkundungs- und Planungsarbeiten) .....	93
4.4.1.1 Nutzung zusätzlicher Messtellen .....	95
4.4.1.2 Messtellennetz und Messdatenerhebung .....	96
4.4.1.3 Dokumentation in Jahresbetriebsberichten .....	97
4.4.1.4 Bewertungskriterien zur Einstufung der Messdaten .....	99
4.4.2 Betriebsbegleitende Überwachung in der Phase 2 .....	100
4.5 Erwartete Investitions- und Betriebskosten .....	101
5 Weitere bauliche Maßnahmen .....	103
5.1 Oberflächenentwässerung – Ableitung und Optimierungsansätze .....	103
5.1.1 Bereits vorgeschlagene Verbesserungen .....	105
5.1.2 Weitere Verbesserungsmöglichkeiten .....	106
5.2 Sickerwasserleitung bis zur Reinigungsanlage .....	108
5.3 Energieversorgung .....	109
6 Schlussfolgerung und Empfehlungen .....	110
Quellenverzeichnis .....	115

## Abbildungen (1)

	Blatt
Abbildung 1: Lage der Sickerwasserentnahmepunkte (Schächte A bis E) und Sickerwassermessstellen (B 2 bis B 7) aus [1] .....	14
Abbildung 2: Prinzipdarstellung eines Schachtbrunnens .....	24
Abbildung 3: Mögliche Anordnung neuer Schachtbrunnen (der Schachtbrunnen C wird erhalten) .....	29
Abbildung 4: Prinzipdarstellung Horizontalfilterbrunnen .....	31
Abbildung 5: Anordnung von Horizontalfilterbrunnen .....	34
Abbildung 6: Beispiel für Teleskopierung und Bohrrohre nach DIN 4918 .....	37
Abbildung 7: Horizontalbrunnen mittels HDD-Verfahren in einer Halden-Gruben-Formation .....	38
Abbildung 8: Arbeitsvorgänge bei der Herstellung von HDD-Dränagen .....	39
Abbildung 9: Anordnung der HDD-Brunnenstränge und Aufstellplatz für das Bohrgerät .....	41
Abbildung 10: Verfahrensprinzip bei Microtunneling-Verfahren .....	42
Abbildung 11: Systemskizze Microtunneling-Vortriebskopf AVN 300 (Bildquelle: Firma Herrenknecht AG, Schwanau) .....	43
Abbildung 12: Anordnung von Start- und Zielschächten beim Microtunneling-Verfahren .....	44
Abbildung 13: Änderung des rechnerischen Wasserandrangs .....	61

## Abbildungen (2)

	Blatt
Abbildung 14: Behandlungsstufen in der Sickerwasserreinigungsanlage (Quelle: WABE, 2020).....	65
Abbildung 15: Anordnung der vorhandenen Schachtbrunnen (Grün) mit Umbau in Rohrbrunnen sowie Neubau von Bohrbrunnen (aus Anhang 1) .....	71
Abbildung 16: Variante D: Standrohrspiegelhöhen – Schicht 1 .....	77
Abbildung 17: Variante D: Standrohrspiegelhöhen – Basis .....	78
Abbildung 18: Variante D: Standrohrspiegelhöhen – Schicht 2 .....	79
Abbildung 19: Variante D: Tracer-Laufwege und Fließzeiten mit Startpunkten an der Sickerwasseroberfläche.....	80
Abbildung 20: Pumpenkennlinie für eine 3 <sup>n</sup> -Unterwasserpumpe Typ Grundfos, SQE 2-50 .....	84
Abbildung 21: Hilfseinrichtung für das Ziehen der Unterwasserpumpen .....	85
Abbildung 22: Keramik-Diver für Messungen in aggressiven Medien (Quelle: CERA-Diver Typ DI 7012 der Firma van Essen Instruments, Messgenauigkeit $\pm 0,5$ cm) .....	89
Abbildung 23: Ableitung des Oberflächenwassers von der Verfüllung Mühlenberg zum Gartroper Mühlenbach sowie Steinbach (Einleitungspunkte siehe Tabelle 16) ...	103

## Tabellen

	Blatt
Tabelle 1: Zusammenstellung der notwendigen bautechnischen Sanierungsmaßnahmen aus [1].....	9
Tabelle 2: Kennzeichnende Daten zur aktuellen Sickerwasserfassung / Messstellen aus [1].....	15
Tabelle 3: Sickerwassererfüllte Mächtigkeit im Verfüllkörper nach [1].....	16
Tabelle 4: Kontinuierlich förderbare Sickerwassermenge bei Dauerbetrieb aller Pumpen nach Pumpversuchen [1] .....	16
Tabelle 5: Hydraulische Kennwerte der Verfüllung Mühlenberg .....	17
Tabelle 6: Kriterien für die Bewertung der Machbarkeit verschiedener Varianten .....	18
Tabelle 7: Punktebewertungen der Einzelkriterien .....	51
Tabelle 8: Aus Pumpversuchen in [1] dauerhaft erreichbare Förderraten für .....	57
Tabelle 9: Rechnerisch abgeleitete Förderraten aus den Schachtbrunnen A bis E.....	59
Tabelle 10: Rechnerischer Wasserandrang zu einem Brunnen DN 150 in der Verfüllung Mühlenberg .....	63
Tabelle 11: Simulation von Sickerwasserentnahmen – Variantenvergleich .....	72
Tabelle 12: Sickerwasserbilanz der Variantenbetrachtung.....	74
Tabelle 13: Förderraten und Förderanteile aus den Brunnen für die Varianten A bis D .....	75
Tabelle 14: Abschätzung der erforderlichen Leistungsfähigkeit der Brunnenpumpen für die Phase 2 .....	83
Tabelle 15: Schätzung der Investitionskosten für die Förderung und Ableitung des Sickerwassers aus der Verfüllung Mühlenberg .....	101
Tabelle 16: Ableitung der Oberflächenwässer und genutzte Vorfluter.....	104

---

## Anlagen

Anlage	Bezeichnung
1	Technische Daten Unterwasserpumpe Grundfos
2	STÜWA Brunnenfilter Bohrbedarf
3a	Lageplan und Abwicklung Sickerwasserfassung und -ableitung (Phase 1), M. 1 : 2.000
3b	Lageplan und Abwicklung Sickerwasserfassung und -ableitung (Phase 2), M. 1 : 2.000
4	Kostenschätzung Bohrbrunnen mit Förderanlagen und MSR-Technik

## Anhang

Anhang	Bezeichnung
1	CONSULAQUA, Hildesheim – Untersuchungen Mühlenberg Machbarkeitsstudie Sickerwasserhaltung Berechnungen mit dem Boxmodell, Mai 2023

## 0 Zusammenfassung

Die Machbarkeitsstudie untersucht die technischen Möglichkeiten, den im Rahmen der Gefährdungsabschätzung<sup>1</sup> ermittelten Einstau von Sickerwasser in der Verfüllung Mühlenberg abzubauen und langfristig auf einem sicheren Niveau von 37 m NHN zu halten.

Die Verfüllung Mühlenberg wurde in einer ehemaligen Tongrube errichtet und in Form einer oberflächenabgedichteten Gruben-Halden-Anschüttung auf einer Fläche von 21 ha realisiert. An der Sohle und den Böschungen der Tongrube stehen Schluffe und Tone des Tertiärs mit generell sehr geringer Wasserdurchlässigkeit an. Die oberflächennah vorhandenen quartären Lockergesteine werden durch einen umlaufenden Dichtkeil aus Ton abgesperrt. Das Sickerwasser wird heute über 5 Schachtbrunnen entnommen, allerdings fehlt an der Basis eine flächenhaft wirksame Dränage.

Die Untersuchungen im Rahmen der Gefährdungsabschätzung belegen einen Sickerwassereinstau, der über dem Grundwasserdruckspiegel in einer geringmächtigen Schicht aus feinsandigem Schluff, die in die tertiären Tone und Schluffe eingeschaltet und durch die Tongrube angeschnitten ist, liegt. Die im Umfeld der Verfüllung zur Überwachung installierten Grundwassermessstellen in der vorgenannten Schicht zeigen keine Sickerwasseraustritte an, dennoch ist eine solche Entwicklung langfristig nicht auszuschließen. Insoweit besteht die Forderung, den Sickerwasserspiegel in der Verfüllung auf ein unter dem Grundwasserspiegel liegendes Niveau abzusenken und dort dauerhaft zu halten.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wurden verschiedene Ansätze zur Entwässerung der Verfüllung betrachtet, die sich zunächst grob in horizontal wirksame Dränagen gegenüber vertikal angeordneten Förder-/Entnahmeeinrichtungen gruppieren lassen. Zur Gruppe der horizontal wirksamen Entwässerungen zählen Dränrohre, die entweder mittels Rohrvortrieb mit Pressen oder Vollschnittmaschinen über seitliche, außerhalb der Verfüllung liegende Schachtbauwerke in den Ablagerungskörper eingeführt oder mittels Horizontalbohrverfahren von der Geländeoberkante bogenförmig in den Verfüllkörper eingebracht werden. Zur Gruppe der vertikal angeordneten Entnahmesysteme gehören Einrichtungen, die von der Oberfläche der Verfüllung als Schachtbrunnen oder Bohrbrunnen sowie in Mischform als Horizontalfilterbrunnen bis zur Sohle des Ablagerungskörpers abgeteuft werden.

Als Hauptkriterium für die Auswahl der zu verfolgenden Lösungsstrategie wurde die Technologie unter den Aspekten der technischen Funktionalität, der komplexen Standortgegebenheiten, der Robustheit bei stark wechselnden Untergrundverhältnissen und vor dem Hintergrund einer notwendigen langfristigen Verfügbarkeit möglichst einfacher Reparatur-/Ersatzmaßnahmen bewertet. Weitere Kriterien waren die geschätzte Dauer der Baumaßnahmen, die Umweltauswirkungen, arbeitsschutzfachliche Gesichtspunkte, der betriebliche Aufwand für den Funktionserhalt sowie Fragestellungen in Verbindung mit Genehmigungserfordernissen. Weiterhin wurden auch die Investitions- und Betriebskosten beachtet.

---

<sup>1</sup> ahu GmbH Wasser Boden Geomatik, Aachen – Gefährdungsabschätzung, Februar 2023

In Abwägung verschiedener Lösungsoptionen wurde als Vorzugsvariante die Anordnung mehrerer, über die Plateauoberfläche der Verfüllung verteilter Vertikalbrunnen empfohlen. Es handelt sich um ein erprobtes Fördersystem aus einem mit Kies umgebenen Rohrbrunnen, aus dem das Sickerwasser mittels sickerwasserbeständiger Tauchpumpen kontinuierlich gepumpt werden kann. Die Brunnen sind mit einer langjährig erprobten Bauverfahrenstechnik herstellbar, die heute bei der Wassergewinnung weltweit eingesetzt wird. Die Bauteile wie Brunnenrohre, Tauchpumpen, Steuerungen etc. sind auch zukünftig mannigfaltig verfügbar, ein Engpass in der Ersatzteilversorgung oder bei Ersatzmaßnahmen ist nicht zu besorgen. Die gesamte Förderung kann mittels Fernwirkung über eine zentrale Leitwarte gesteuert und so rasch wechselnden Randbedingungen angepasst werden. Die Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten sind einfach und erfordern keine speziellen fachtechnischen Kenntnisse.

Konkret soll die Verfüllung zukünftig über 7 Vertikalbrunnen mit Tiefpumpen entwässert werden, dazu müssen 6 neue Brunnen bis zur Grubensohle (Teufe etwa 30 m NHN) gebohrt werden, eine weitere Entnahme erfolgt aus einem bereits vorhandenem Schachtbrunnen, der umgebaut wird. Sämtliche neu errichtenden Brunnen sind baugleich, Tauchpumpen und Steuerung sind austauschbar.

Die Vorgehensweise bei der Sickerwasserförderung aus der Verfüllung gliedert sich in zwei Phasen:

In der Phase 1 erfolgt die schrittweise Absenkung des Sickerwassereinstaus bis zu einem durch hydrogeologische Untersuchungen definierten Zielwert von 37 m NHN. Dazu müssen etwa 180.000 m<sup>3</sup> Sickerwasser abgepumpt und zur benachbarten Sickerwasserreinigungsanlage der Deponie Eichenallee gefördert werden. Für diese Maßnahmen wird unter Berücksichtigung der bereits heute laufenden Sickerwasserförderung von einem Zeitrahmen von 7 bis 10 Jahren ausgegangen. Ziel ist es, diese Phase bis zum Jahr 2032 abzuschließen.

In der Phase 2 wird der abgesenkte Sickerwasserspiegel dauerhaft auf dem Zielwert von 37 m NHN gehalten, dazu muss nur noch das über die oben genannte Schicht aus feinsandigen Schluffen seitlich in die Verfüllung sowie das ggfls. über Imperfektionen der vorhandenen Oberflächenabdichtungen einsickernde Wasser gefördert werden. Die Phase 2 ist anlagentechnisch auf einen dauerhaften Förderbetrieb ausgelegt.

Das geförderte Sickerwasser wird in der benachbarten Sickerwasserreinigung der Deponie Eichenallee behandelt. Die mehrstufige Anlage ist kapazitätsmäßig dafür ausgelegt, die Sickerwässer aus der Verfüllung Mühlenberg mit zu behandeln; sie ist bis zum planmäßigen Betriebsende der Deponie Eichenallee im Jahr 2037 und in der folgenden, mindestens 30-jährigen Nachsorgephase verfügbar.

In beiden Phasen wird die Entwicklung des Sickerwasserstandes laufend durch in der Verfüllung installierte Messgeber automatisch erfasst und an eine zentrale Leitwarte übermittelt. Die installierten Förderpumpen sind mittels Fernwirkung steuerbar und können in ihrer Fördermenge angepasst werden. Das Sickerwassermonitoring mit kontinuierlicher Messung der Einstauhöhe ist Bestandteil eines betrieblichen Überwachungsprogrammes, das in vom Betreiber jährlich zu erstattenden Jahresbetriebsberichten dokumentiert wird. Eventuell erforderliche Anpassungen – z. B. Veränderung der Fördermengen, Installierung eines intermittierenden Pumpbetriebes, Einrichtung zusätzlicher Messstellen – werden in jährlichen Fachgesprächen mit den Überwachungsbehörden festgelegt.

Der Umfang der Investitionen für die Maßnahmen zur Sickerwasserförderung, zum Monitoring und zur Ableitung zur benachbarten Reinigungsanlage einschließlich der Kosten für die infrastrukturelle Anbindung (Energie und Datentechnik) belaufen sich auf rund 2,55 Mio. € netto. Weitere Baumaßnahmen zur verbesserten Ableitung nicht behandlungsbedürftigen Oberflächenwassers sowie die Rekultivierung/Begrünung der Oberfläche sind in dieser Kostenschätzung nicht berücksichtigt.

Mit den vorgenannten Maßnahmen wird eine dauerhafte Entwässerung des Sickerwassers aus der Verfüllung gewährleistet und damit ein langfristig gesicherter Zustand für die Verfüllung Mühlenberg geschaffen.



## 1 Veranlassung

Die von der ahu GmbH Wasser Boden Geomatik, Aachen, im Februar 2023 erstellte Gefährdungsabschätzung [1] für die Verfüllung Mühlenberg der Firma Hermann Nottenkämper GmbH & Co. KG hat aufgezeigt, dass von der in Gruben-Halden-Form ausgeführten Verfüllung der ehemaligen Tongrube keine Gefährdung für die Umwelt ausgeht, wenn bestimmte bauliche und betriebliche Maßnahmen umgesetzt werden. Die folgende Tabelle 1 definiert diese Maßnahmen.

**Tabelle 1:** Zusammenstellung der notwendigen bautechnischen Sanierungsmaßnahmen aus [1]

laufende Nummer	bautechnische Sanierungs-Maßnahme	Maßnahmen-Ziele zur Aufrechterhaltung des gefahrlosen Zustandes
1	Herstellung eines langzeitwirksamen Sickerwasserentnahmesystems, mit dem eine ausreichende Absenkung des Sickerwasserspiegels gewährleistet werden kann.	Minimierung/Unterbindung eines Sickerwasserübertritts in das Grundwasser
2	Beseitigung der festgestellten baulichen Mängel (fehlende Anbindung der Oberflächenabdichtung an die Randabdichtung (Tonkeil) in zwei Teilbereichen	Unterbindung eines Sickerwasserübertritts in die Randgräben/Oberflächengewässer (aktuell nicht nachgewiesen) Minimierung der Sickerwassermenge
3	Ertüchtigung und Instandhaltung Randgraben und Ableitungen	

Die unter der Nummer 1 angesprochenen baulichen Maßnahmen betreffen die langfristige Sicherstellung der dauerhaften Absenkung des im Verfüllkörper vorhandenen und damit in der ehemaligen Tongrube eingestauten Sickerwassers. Das zu erreichende Absenkmaß orientiert sich dabei an der Vorgabe, dass hydraulisch kein Sickerwasser aus der Verfüllung in Zonen seitlich oder unterhalb der Verfüllung austreten darf.

Bei der Umsetzung dieser Forderung ist zu berücksichtigen, dass der Verfüllkörper allseitig mit einer natürlichen geologischen Barriere oder mit technischen, aus natürlichen Materialien hergestellten Abdichtungen umgeben ist. Dazu zählen eine Randabdichtung, die als technische Dichtschürze (Tonkeil) von der Oberkante der nicht abgebauten Tonschichten (geologische Barriere) bis zur Geländeoberfläche reicht sowie eine an den Dichtkeil anschließende mineralische Oberflächenabdichtung, die aus örtlich gewonnenem Ton zweilagig mit einer Mächtigkeit von 0,5 m eingebaut wurde.

Die Überprüfung der für die langfristige Sicherung wesentlichen Voraussetzung hat ergeben (siehe Nummer 2), dass die angesprochenen Barrieren flächendeckend vorhanden sind, auch wenn bei der Dichtschürze noch die an zwei Stellen festgestellten Ausführungsmängel beseitigt und für die Oberflächenabdichtung noch die abschließende Dokumentation der baubegleitenden Fremdprüfung fertiggestellt werden müssen.

Mit den baulichen Maßnahmen zur Absenkung des Sickerwasserspiegels werden im Rahmen der Machbarkeitsstudie alle Arbeiten definiert, die von der Entnahme des belasteten Sickerwassers aus dem Verfüllkörper über die Sammlung und Abführung bis zur Reinigung in einer dafür geeigneten Anlage reichen.

Eine solche Sickerwasserreinigungsanlage ist am Standort Eichenallee vorhanden und bereits für die Sickerwasserbehandlung der benachbarten Deponie DK I der Firma Nottenkämper erprobt. Für die Machbarkeitsstudie wird nach Prüfung der Verfahrenstechnik, den Auslegungsdaten und der Kapazitäten davon ausgegangen, dass diese Reinigungsanlage sowohl in Bezug auf ihre Leistung als auch kapazitätsmäßig in der Lage ist, die zusätzlich aus der Verfüllung Mühlenberg entnommenen Sickerwässer zu behandeln und auf die für den Anlagenablauf der Anlage vorbestimmte Qualität zu reinigen. Eine Genehmigung der Bezirksregierung Düsseldorf zur Mitbehandlung von Sickerwässern aus der Verfüllung Mühlenberg liegt bereits vor. Insoweit befasst sich die Machbarkeitsstudie nur mit der Zuführung des Sickerwassers zu dieser Anlage und einer dortigen Zwischenspeicherung vor der Einleitung in die Reinigungsanlage.

Unter der Nummer 3 wird die bautechnische Ertüchtigung der Randgräben und Ableitungen angesprochen, die für einen sicheren und ordnungsgemäßen Betrieb der Einrichtung erforderlich ist. Hierbei geht es einerseits um die geordnete Abführung des auf der rekultivierten Halde anfallenden, oberflächlich ablaufenden Niederschlagswassers und andererseits um die Sicherung der Rekultivierung, die bei Starkregenereignissen durch Erosionsvorgänge potenziell gefährdet wird.

Die Machbarkeitsstudie wird sich schwerpunktmäßig mit den verschiedenen Verfahren zur Entnahme von Sickerwasser aus der Verfüllung befassen. Bezüglich der Zielsetzung der Machbarkeitsstudie wird auf die Forderung aus der Gefährdungsabschätzung verwiesen. Danach wird gefordert:

*„Die bautechnischen Sanierungs-Maßnahmen .... sind im Rahmen der Machbarkeitsstudie zeitnah zu entwickeln, zu planen und umzusetzen. In der Machbarkeitsstudie muss ergebnisoffen geprüft werden, mit welchen (verhältnismäßigen) Maßnahmen ein langfristig gefahrloser Zustand sichergestellt werden kann.“ (Zitat aus [1])*

## **2 Grundlagen und Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung**

### **2.1 Standortsituation**

Die Verfüllung Mühlenberg wurde auf einer Fläche von rund 22 ha in Form einer Gruben-Halden-Auffüllung mit rund 6,6 Mio. m<sup>3</sup> abgelagertem Material angelegt. Die maximalen Ausdehnungen betragen etwa 650 m (SW-NE-Richtung) bzw. 350 m (NW-SE-Richtung). Die Geländeoberflächen im Umfeld der Verfüllung liegen im Westen etwa zwischen 47,5 m NHN bis 49,5 m NHN, während im Osten etwa 43 m NHN bis 44 m NHN erreicht werden.

Die Abgrabung erfolgte überwiegend bis zu einer Tiefe von 29,5 m NHN bis 30 m NHN. Bereichsweise wurde der Ton – vermutlich aus betrieblichen Gründen – aber nur bis auf 35 m NHN ausgeräumt. Eine genaue Verteilung der verschiedenen Abbautiefen über die Sohlfläche ist nicht bekannt.

Die Verfüllung wurde beginnend im Nordteil durch Aufbringen einer mineralischen Dichtung und einer Dränagematte über einen Zeitraum von mehreren Jahren bis zum Juli 2020 vollständig oberflächenabgedichtet. Die Rekultivierungsschicht wird derzeit aufgebracht.

Die Oberfläche der Verfüllung wird nach Abschluss der Rekultivierungsarbeiten an der Böschungskante etwa bei 74 m NHN und im Mittelgrat bei 78 m NHN liegen.

Der Grubenteil erstreckt sich über die oberflächlich anstehenden quartären Schichten (mittlere Tiefe bis etwa 45 m NHN) bis in die Lintforter Schichten, einem schluffigen, feinsandigen Ton, der bis etwa 14,5 m NHN (d. h. > 12 m unter der Basis der Verfüllung) ansteht.

Die Lintforter Schichten sind mit Ausnahme zweier Zwischenschichten sowie der Basalschicht mit Durchlässigkeitswerten von 10<sup>-9</sup> bis 10<sup>-10</sup> m/s als extrem geringleitend anzusprechen, die beiden wenige Dezimeter mächtigen Zwischenschichten weisen Durchlässigkeitsbeiwerte von  $\leq 1,6 \cdot 10^{-6}$  m/s und die basalen Schichten mit einer Mächtigkeit von 1,5 m bis 3 m im Bereich des Mühlenberges Durchlässigkeitsbeiwerte  $< 10^{-6}$  m/s auf.

Unter den Lintforter Schichten begrenzt der Ratinger Ton mit einer Mächtigkeit von 8 m jede vertikale Grundwasserbewegung, so dass die darunterliegenden Walsumer Sande als bestens geschützt anzusehen sind. Weitere Angaben sind der Gefährdungsabschätzung zu entnehmen.

Im Bereich des Quartärs wurde eine umlaufende Dichtschürze [1] hergestellt, die über die Schichtmächtigkeit des Quartärs den Übergang von den Lintforter Schichten bis zur Oberfläche und dort den Anschluss an die Oberflächenabdichtung sichert.

Der allseitig um die Verfüllung angeordnete Randgraben sichert den Abfluss des Niederschlags von der Oberfläche des rekultivierten Körpers.

Aktuell wird Sickerwasser aus der Verfüllung über 5 Schachtbrunnen entnommen. Davon ist ein Brunnen (Schacht A) im Böschungsbereich an der Südseite, 3 weitere Brunnen (Schacht B, D, E) im Böschungsbereich entlang der Zufahrtsstraße Eichenallee und ein Brunnen (Schacht C) im westlichen Teil der Plateaufläche angeordnet.

Der Pumpbetrieb erfolgt aktuell diskontinuierlich in mobile Tankbehälter, die arbeitstäglich zur Sickerwasserreinigungsanlage der Deponie Eichenallee transportiert werden.

## **2.2 Erkenntnisse zur Sickerwassersituation**

### **2.2.1 Sickerwasser im Verfüllkörper**

Die Verfüllung besteht aus einer größeren Zahl von sich im Hinblick auf die in chemischen und physikalischen Eigenschaften unterscheidender Materialien, deren Korngerüst, Dichte und hydraulische Eigenschaften stark variieren. Es ist zwar von einem innerhalb der Grube zusammenhängenden Sickerwasserkörper auszugehen, aber dennoch muss oberhalb dieser Zone mit lokal abgegrenzten Einstaubereichen („schwebende“ Sickerwasseransammlungen) gerechnet werden. Grundsätzlich wird jedoch von einem hydraulisch vernetzten System innerhalb des Verfüllkörpers ausgegangen.

Nach den Daten aus [1] ist der mittlere Ruhewasserspiegel bei 43,1 m NHN anzunehmen. Es gibt jedoch auch Messungen, die höhere Werte bis 48 m NHN zeigen, allerdings wird dieser Zustand mit den vorgenannten Ausführungen zu schwebenden, lokal begrenzten Einstauphänomenen erklärt. Es sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass die Verfüllung erst vor wenigen Jahren vollständig an der Oberfläche abgedichtet wurde und dementsprechend eingesickertes Niederschlagswasser die Passage bis zum wassererfüllten Bereich an der Basis des Körpers noch nicht abgeschlossen hat.

### **2.2.2 Sickerwasserneubildung**

Die Herstellung der Oberflächenabdichtung der Verfüllung Mühlenberg wurde im Juli 2020 abgeschlossen. Seit diesem Zeitpunkt wird die Sickerwasserneubildung im Wesentlichen durch 3 Vorgänge bestimmt:

#### a) Durchlässigkeit der Oberflächenabdichtung

Für die Oberflächenabdichtung wird eine flächenbezogene Abschätzung über die dem Verfüllkörper jährlich zutretende Niederschlagsmenge von 15 mm/a vorgenommen, um theoretisch mögliche Imperfektionen abzubilden. Daraus resultiert ein rechnerischer Zufluss von rund 3.200 m<sup>3</sup>/a über die Oberfläche.

b) Lateraler Zulauf über die Schicht 1

Ein etwa 0,7 m mächtiger Horizont (sog. „Schicht 1“) innerhalb der Lintforter Schichten liefert aufgrund der Druckhöhen bei Sickerwasserspiegelabsenkung und darauf basierenden hydraulischen Abschätzungen eine Zulaufmenge von rund 1.900 m<sup>3</sup> /a.

c) Zutritt über die Basis

Bei Absenkung des Sickerwasserspiegels innerhalb des Verfüllkörpers ist die Druckhöhe in der Basalen Schicht des Lintforter Tons größer als der Gegendruck in der Verfüllung, d. h. rechnerisch strömt Grundwasser ein. Die Menge liegt bei etwa 200 m<sup>3</sup>/a.

Für die Auslegung der Sickerwasserhaltung ist zusammenfassend festzuhalten, dass nach den Daten der Gefährdungsabschätzung jährlich etwa 5.100 m<sup>3</sup> bis 5.300 m<sup>3</sup> Niederschlags- und Grundwasser der Verfüllung zugeführt werden.

### **2.2.3 Sickerwasserspeichermenge im Verfüllkörper**

In der Verfüllung muss nach den Daten aus der Sickerwassermodellierung (Box-Modell) in [1] mit einer aus dem wassererfüllten Bereich förderbaren Sickerwassermenge von 330.000 m<sup>3</sup> gerechnet werden. Diese Abschätzung ergibt sich aus der Abschätzung eines nutzbaren Porenvolumens (d. h. das Porenvolumen, aus dem das Wasser entnommen werden kann) von 10 % des Gesamtvolumens, aus dem durch Messungen abgeleiteten Ansatz eines wassererfüllten Bereiches von 12,5 m bis 16,5 m (entsprechend einem Wasserstand von 43 m NHN bis 46 m NHN) über der Aufstandsfläche der Verfüllung (29,5 m NHN bis 30,5 m NHN) sowie einer mittleren Aufstandsfläche von 216.000 m<sup>2</sup>.

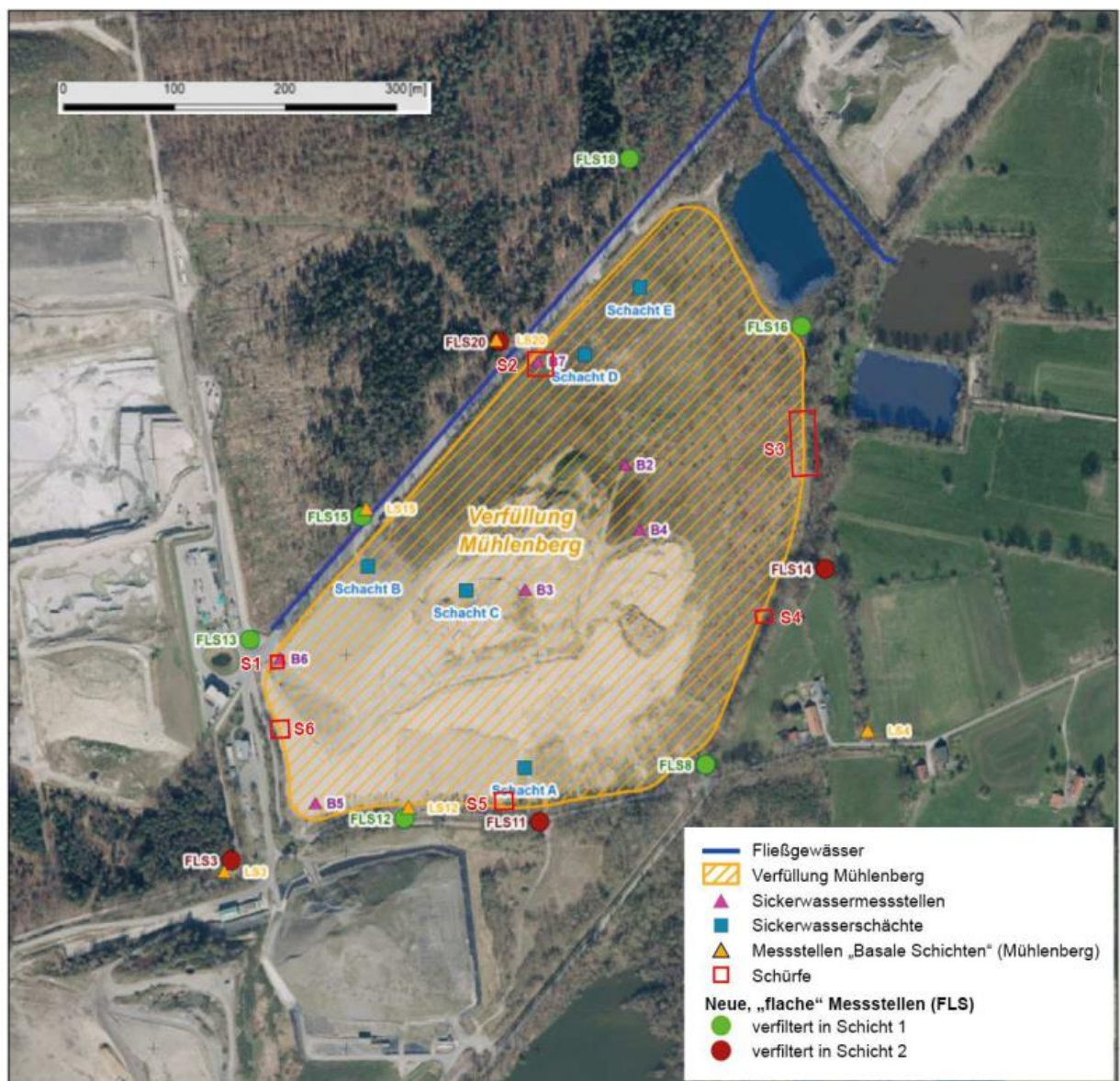
Hinzu kommen oberhalb der Sickerwasseroberfläche „schwebende“ Sickerwasservorkommen, die sich aufgrund geringer Durchlässigkeiten des abgelagerten Materials nur sehr langsam vertikal verlagern.

Der Sickerwasserspiegel soll auf 37 m NHN abgesenkt werden, die mittlere Tiefenlage der Aufstandsfläche wird mit 30 m NHN angegeben. Mithin sollten rund 150.000 m<sup>3</sup> Sickerwasser dauerhaft in der Verfüllung verbleiben, um dem lateralen und basalen Zustrom von Grundwasser in die Verfüllung entgegenzuwirken. Die Differenzmenge von 180.000 m<sup>3</sup> ist demzufolge möglichst rasch abzupumpen, um das oben genannte Absenkniveau zu erreichen.

## 2.2.4 Sickerwasserentnahmeeinrichtungen und Sickerwassermessstellen

In der Verfüllung sind mehrere Schachtbrunnen (A bis E) sowie einige ausgebaute Bohrungen (B2 bis B7) vorhanden. Die Schachtbrunnen dienen der Sickerwasserentnahme; die später gebohrten Brunnen sind primär als Messstellen zu sehen, können aber bei ausreichenden Filterdurchmessern auch für das Abpumpen von Sickerwasser genutzt werden.

Die Lage der Entnahme- und Messpunkte zeigt Abbildung 1.



**Abbildung 1:** Lage der Sickerwasserentnahmepunkte (Schächte A bis E) und Sickerwassermessstellen (B 2 bis B 7) aus [1]

Für die einzelnen Entnahme- bzw. Beobachtungsbauwerke sind die in Tabelle 2 zusammengestellten Daten bekannt. Die Bohrungen B2 bis B4 sind in der Plateaufläche angeordnet, erreichen aber alle nicht die tiefste Sohlage, die i. M. bei 30 m NHN liegt. Bei den Bohrungen B2 und B3 ist der Ausbaudurchmesser mit DN 80 nicht für die Aufnahme einer Pumpe geeignet, sie sind daher nur als Messstellen zu nutzen. Die Bohrungen B3 und B4 erreichen die Verfüllsohle bereits bei 35 m, der Brunnen B 2 reicht etwas tiefer. Die Bohrungen B5 bis B7 liegen im Randbereich der heutigen Halde, d. h. im früheren Böschungsbereich der ehemaligen Grube und können damit nicht die Basis der Verfüllung erreichen.

Für die Pumpversuche wurde in [1] der Sickerwasserstand für den Zeitraum 2019 bis 2021 als Mittelwert angegeben. Die Werte liegen zwischen 39,5 bis 48,0 m NHN, d. h. die sickerwassererfüllte Mächtigkeit im Bereich dieser Entnahmeeinrichtungen liegt zwischen 5 m und 12 m.

**Tabelle 2:** Kennzeichnende Daten zur aktuellen Sickerwasserfassung / Messstellen aus [1]

Bezeichnung	Rechtswert	Hochwert	MPH	Ausbautiefe	Filterbereich	Ausbautiefe = Sohle Verfüllung	Ausbau-durchmesser
			mNN	m u. GOK	m u. GOK	mNN	mm
B2	351090,9	5725393,9	77,82	45,4	41,4-45,4	32,42	DN80
B3	350986,8	5725266,8	77,327	42,0	37,5-42,0	35,94	DN80
B4	351105,8	5725327,6	77,94	42,3	38,3-42,3	35,027	DN150
B5	350768,6	5725049,3	52,592	7,5	46,6-48,8	46,60	DN125
B6	350731,6	5725196,5	52,334	6,5	1-6,5	45,5	DN125
B7	350999,7	5725499,1	53,26	9	7-9	45,7	DN125
Schacht A	350986,3	5725085,4	65,59	ca. 36	unbekannt	ca. 35	>DN1.000
Schacht B	350823,2	5725290,4	55,46	ca. 25	unbekannt	ca. 30	>DN1.000
Schacht C	350925,7	5725265,7	77,24	ca. 47	unbekannt	ca. 30	>DN1.000
Schacht D	351048,8	5725506,0	63,3	ca. 31	unbekannt	ca. 32,5	>DN1.000
Schacht E	351106,1	5725573,8	58,1	ca. 26	unbekannt	ca. 32,5	>DN1.000

MPH = Messpunkthöhe; Angaben m NN identisch mit m NHN

*Hinweis: In den Tabellen 2 und 3 wird für den Schacht C ein Ausbaudurchmesser > DN 1000 angegeben, allerdings wird an anderer Stelle in [1] von einem nachgewiesenen Durchmesser DN 2000 ausgegangen.*

**Tabelle 3:** Sickerwassererfüllte Mächtigkeit im Verfüllkörper nach [1]

Bezeichnung	MPH (mNN)	Basis Verfüllung = Ausbautiefe ca. (mNN)	Ausbautiefe (m. u. GOK)	Abschätzung Sickerwasserstand Wasserspiegel Mittelwert 2019-2021 (mNN)	Sickerwassererfüllte Mächtigkeit (m)	Ausbau-durchmesser (mm)
B4	77,94	35,027	42,3	ca. 42,7	ca. 11	DN150
B5	55,592	46,6	7,5	ca. 48,0	ca. 5 <sup>11</sup>	DN125
Schacht A	65,59	ca. 35	ca. 36	ca. 39,50	ca. 3,5	>DN1.000
Schacht B	55,46	ca. 30	ca. 25	ca. 42	ca. 12	>DN1.000
Schacht C	77,24	ca. 30	ca. 47	ca. 41,0	ca. 11	>DN1.000
Schacht D	63,3	ca. 32,5	ca. 31	ca. 40,9	ca. 8	>DN1.000
Schacht E	58,1	ca. 32,5	ca. 26	ca. 41,00	ca. 8	>DN1.000

*Hinweis: Für die Bohrungen B4 und B5 werden sickerwassererfüllte Mächtigkeiten von 11 m bzw. 5 m angegeben. Sofern die für die Brunnen angegebenen Ausbautiefen und abgeschätzten Sickerwasserstände zutreffend sind, ergeben sich für die Brunnen B4 und B5 andere Mächtigkeiten (B4 ca. 7 m, B5 ca. 2 m).*

### 2.2.5 Förderbare Sickerwassermenge

Aus den Pumpversuchen wurde die bei Dauerbetrieb aus den vorhandenen Schachtbrunnen maximal förderbare Sickerwassermenge zu rund 35.500 m<sup>3</sup>/a ermittelt. Dieser Wert stellt eine Augenblicksaufnahme für den jetzt gegebenen Ruhewasserstand dar, er wird sich dementsprechend mit stetiger Entnahme und Absenkung des Wasserstands reduzieren.

**Tabelle 4:** Kontinuierlich förderbare Sickerwassermenge bei Dauerbetrieb aller Pumpen nach Pumpversuchen [1]

Bauwerk	Kontinuierlich förderbare Sickerwassermengen		
	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /a
Schacht A	0,4	9,6	3.504
Schacht B	1	24	8.760
Schacht C	1,3	31,2	11.388
Schacht D	0,5	12	4.380
Schacht E	0,6	14,4	5.256
B4	0,1	2,4	876
B5	0,15	3,6	1.314
<b>Summe</b>	<b>4,05</b>	<b>97,2</b>	<b>35.478</b>



Für praktische Zwecke kann von einer maximal förderbaren Menge aus den Schachtbrunnen von 3,8 m<sup>3</sup>/h und bei Annahme von 8.000 Betriebsstunden/a von rund 30.000 m<sup>3</sup>/a ausgegangen werden.

Im Jahr 2021 wurden – allerdings bei einem diskontinuierlichen Betrieb – etwa 13.800 m<sup>3</sup>/a gefördert. Nach Angaben des Betreibers wurden die Pumpen wegen der betrieblichen Überwachungserfordernis primär während der Betriebszeiten der benachbarten Deponie Eichenallee betrieben. Insoweit dürfte bei einem Dauerbetrieb eine Förderung von 20.000 m<sup>3</sup>/a bis 30.000 m<sup>3</sup>/a realistisch zu erreichen sein.

### 2.2.6 Hydraulische Kenndaten

Aus den Pumpversuchen wurden in [1] u. a. hydraulische Kenndaten zum Verfüllkörper abgeleitet, die in der nachfolgenden Tabelle 5 mit Min-, Max- und Mittelwerten dargestellt sind.

**Tabelle 5:** Hydraulische Kennwerte der Verfüllung Mühlenberg

	<b>Minimalwert</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>Mittelwert</b>
Durchlässigkeit	$7,5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$	$2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	$6,2 \times 10^{-6} \text{ m/s}$
Transmissivität	$8 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$	$1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$4,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Feststellbar ist, dass die ermittelten Durchlässigkeitswerte einen weit gespannten Wertebereich abdecken und der Verfüllkörper demzufolge bereichsweise als schwach durchlässig bis durchlässig einzustufen ist.

### 3 Lösungsansätze zur Sickerwasserentnahme – Variantenvergleich

Die Aufgabe, zu verhindern, dass Sickerwasser aus dem Verfüllkörper in das Grundwasser außerhalb der Verfüllung übertritt, kann nur durch eine dauerhafte Absenkung des Wasserspiegels in der Verfüllung erreicht werden. Ziel der Machbarkeitsstudie ist es, Lösungen zu identifizieren, die sowohl für den Prozess der schrittweisen Absenkung als auch für die spätere, zeitlich unbefristete Erhaltung des erreichten, als unkritisch angesehenen Ruhewasserspiegels geeignet sind.

Idealerweise wäre ein Zustand im Gleichgewicht anzustreben, bei dem keine Störung auftritt, d. h. weder influente noch effluente Randbedingungen gegeben sind. Mit anderen Worten: Es dringt weder Grundwasser in die verfüllte Grube ein noch tritt in der Grube eingestautes Sickerwasser in grundwasserführende Schichten außerhalb der Grube aus. Realistisch ist ein solcher Zustand aufgrund der komplexen hydraulischen Randbedingungen nicht erreichbar, es wird daher Lösungen der Vorrang eingeräumt, bei denen mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden kann, dass aus der Verfüllung ausströmendes Sickerwasser das örtlich angrenzende Grundwasser kontaminiert. Weniger gravierend – wenn auch nicht wünschenswert – ist der Zustrom von unbelastetem Grundwasser in die Verfüllung, wodurch in der Folge behandlungsbedürftiges Sickerwasser entsteht.

#### 3.1 Kriterien für die Bewertung der Machbarkeit

Als Kriterien für die Beurteilung der verschiedenen Verfahren und Vorgehensweisen, die Absenkung des Sickerwasserspiegels und den dauerhaften Erhalt des abgesenkten Zustandes innerhalb der Verfüllung Mühlenberg zu erreichen, sollen die in Tabelle 6 aufgeführten Einzelaspekte betrachtet werden:

**Tabelle 6:** Kriterien für die Bewertung der Machbarkeit verschiedener Varianten

<b>Kriterien für die Bewertung der Machbarkeit</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Funktionalität</li> <li>➤ Realisierbarkeit</li> <li>➤ Robustheit</li> <li>➤ Reparierbarkeit</li> <li>➤ Realisierungsdauer</li> <li>➤ Umweltauswirkungen</li> <li>➤ Arbeitsschutz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Betriebliche Aspekte                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Dauerhafter Betrieb</li> <li>Ersatzbeschaffung</li> </ul> </li> <li>➤ Rechtliche Aspekte                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Genehmigungen</li> <li>Zustimmung Dritter</li> </ul> </li> <li>➤ Investitionskosten</li> <li>➤ Betriebskosten</li> </ul>

Die Reihenfolge der in der Tabelle 6 genannten Kriterien stellt keine Gruppierung nach deren Wichtigkeit / Bedeutsamkeit des Betrachtungsfeldes dar.

a) Technologische Machbarkeit: *Die Lösung muss technisch ausführbar sein.*

Die Beurteilung einer Lösungsvariante muss sich zunächst mit der Frage nach der *Funktionalität* beschäftigen, d. h. es muss geklärt werden, ob der Lösungsansatz überhaupt die gesetzten Ziele erreichen kann, ob es sich um ein anerkanntes Verfahren handelt, das bereits an anderer Stelle praktisch erprobt wurde, wo leistungsbezogene Abstriche oder Einschränkungen zu machen sind und welche besonderen technologischen Risiken auftreten können. In dieser Studie werden keine Lösungsansätze betrachtet, die funktional nicht in der Lage wären, das gesetzte Ziel der dauerhaften Absenkung des Wasserspiegels innerhalb des Verfüllkörpers zu leisten. Allerdings bestehen gegebenenfalls verfahrenstechnisch bedingte Einschränkungen der Funktionalität, die im Einzelnen dargelegt werden müssen.

Weiterhin muss auch die *Realisierbarkeit* geprüft werden, d. h. es ist zu klären, ob die örtlichen Randbedingungen (Platz, Zufahrt, Untergrund etc.) die baupraktische Umsetzung erlauben, ob die für die Durchführung erforderlichen Ressourcen wie Baufirmen, Spezialgeräte etc. (in genügender Zahl) am Markt verfügbar sind oder ob die Leistung nur von wenigen Spezialfirmen ausgeführt werden kann.

Ein weiterer Aspekt ist die *Robustheit* des Verfahrens, wenn die geplanten Abläufe gestört werden, z. B. bei der baulichen Umsetzung, wenn wichtige, das Gelingen unmittelbar beeinflussende Randbedingungen (z. B. heterogener Aufbau und Zusammensetzung des Verfüllkörpers, größere Blöcke im Ablagerungsgut, verfestigte, schwer zu durchörternde Zonen) nicht im Vorfeld präzise ermittelt werden können und dadurch im Bauprozess verfahrenstechnisch erhebliche Behinderungen oder im ungünstigsten Fall ein Abbruch ausgelöst werden können.

Zu betrachten ist auch die *Reparierbarkeit* (dies schließt auch die Wartung mit ein) des Gesamtsystems unter dem Aspekt der langfristig zu erhaltenden Funktionsfähigkeit. Wenn der sickerwassererfüllte Bereich durch Dränelemente aufgeschlossen wird, müssen diese Filterrohre langfristig einem Verschluss der Filterschlitze widerstehen und Regenerationsmaßnahmen möglichst einfach zu realisieren sein. Pumpen, die das unterhalb der Geländeoberfläche anstehende Sickerwasser heben, müssen leicht erreichbar bzw. austauschbar sein.

b) Zeitliche Machbarkeit: *Die Lösung muss in einem definierten Zeitraum umzusetzen sein.*

Derzeit ist die Verfüllung Mühlenberg abgedichtet und der Zutritt von Niederschlags- und Grundwasser auf ein Minimum reduziert. Dennoch befindet sich in der ehemaligen Grube eine Einstauhöhe, die rechnerisch zu einem stetigen, wenn auch sehr langsamen Schadstoffaustrag führt. Eine rasche Durchführung der Maßnahmen zur Absenkung des Sickerwasserspiegels ist aus Gründen des Grundwasserschutzes zu fordern. Vor diesem Hintergrund ist zu bewerten, ob ein Projekt innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens – hier wird als Kriterium ein Abschluss innerhalb von 18 Monaten nach Genehmigung eingeführt – umgesetzt werden kann.

Unmittelbar Einfluss hat hier auch die zeitliche Verfügbarkeit von Ressourcen mit Fachpersonal, Spezialgeräten und Material. Hinzu kommen auch die Abhängigkeiten von anderen Teilaufgaben, die möglicherweise erst realisiert werden müssen, bevor die hier betrachteten Lösungen angegangen werden können.

- c) Umweltbezogene Machbarkeit: *Die Lösung sollte möglichst geringe Umweltauswirkungen aufweisen.*

Die Auswirkungen auf die Umwelt sind unter den Gesichtspunkten der Emissionsminderung bzw. -vermeidung zu bewerten. Dies schließt insbesondere die mit der Variante kurzzeitig sowie langfristig verbundenen Emissionen durch die Handhabung kontaminierter Stoffe (Verfüll-/Bohrgut und Sickerwasser) ein. Der durch den Bauprozess entstehende Abfall ist nach Menge, Qualität und Entsorgungsmöglichkeit einschließlich der Frage nach einer Vermeidung bzw. Minimierung sowie einer gegebenenfalls erforderlichen Abfallaufbereitung zu beurteilen.

Auch die Frage, ob sich aus der Lösung neue Risiken für die Umwelt ergeben können, d. h. das Verfahren löst zwar das Problem der möglichen flächenhaften Sickerwasseraustritte über die Sohle oder Seitenbereiche der Tongrube, führt aber gleichzeitig zu einer lokalen, unkontrollierbaren Schwächung/Beeinträchtigung der geologischen Barriere oder der Abdichtungselemente, ist zu berücksichtigen.

Vorzugsweise sollten mit der Variante möglichst wenige potenzielle Beeinträchtigungen für die am Standort vorhandenen natürlichen und technischen Schutzeinrichtungen verbunden sein. Konkret bedeutet diese Forderung, dass z. B. bestehende Dichtungssysteme an möglichst wenigen, gut erreichbaren Stellen perforiert werden und unvermeidbare Eingriffe in solchen Zonen möglichst sicher und umfassend repariert werden können. Damit kommt auch der Kontrollierbarkeit der Wiederherstellungsarbeiten eine besondere Bedeutung zu.

- d) Arbeitsschutzfachliche Aspekte: *Die Lösung sollte möglichst wenige Erschwernisse für das eingesetzte Personal beinhalten.*

Eingriffe aller Art in die Verfüllung führen zur Freilegung von potenziell das Personal gefährdenden Stoffen; sie unterliegen damit der TRGS 524 – Arbeiten in kontaminierten Bereichen. Dementsprechend sind bei direkter Kontaktmöglichkeit Schutzmaßnahmen zu ergreifen und ein Arbeits- und Sicherheitsplan zu erstellen.

Dieser Aspekt ist bereits beim Bau zu berücksichtigen, in besonderem Maße aber auch bei Arbeiten, die wiederholend durchzuführen sind (wie Wartung, Funktionskontrollen etc.), soweit hierfür zusätzliche Schutzmaßnahmen wie spezielle Schutzanzüge, Atemschutz, u.ä. erforderlich werden. Auch schwere körperliche Arbeiten sollten durch technische Hilfsmittel wie Krane, Seilzüge, etc. vermieden bzw. vermindert werden.

- e) Betriebliche Aspekte: *Der Betrieb der Sickerwasserhaltung muss dauerhaft gesichert bleiben.*

Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist die Sicherung des Betriebes der Sickerwasserfassung über einen unbegrenzten Zeitraum. Die baulichen Einrichtungen müssen eine möglichst hohe Nutzdauer haben. Die eingesetzten Geräte, Maschinen und Materialien müssen daher auch unter dem Aspekt der langfristigen Betriebbarkeit bzw. Lebensdauer bewertet werden.

Unter der Prämisse einer dauerhaften, möglichst unterbrechungsfreien Betriebsweise muss die Wartung, die Reparatur und die Ertüchtigung zur Aufrechterhaltung des kontinuierlichen Betriebes möglichst schnell und einfach durchführbar sein. Dazu gehört auch der Ersatz und die zugehörige Ersatzteilbevorratung wichtiger Systemkomponenten. Allgemein verfügbaren Bauteilen geringerer Effizienz, aber langfristig gesicherter Verfügbarkeit ist der Vorrang vor speziell angefertigten Bauteilen mit ungesicherter Verfügbarkeit einzuräumen.

Auch die Gefahr eines Systemausfalls/Verlustes zentraler Gesamtanlagen bzw. wesentlicher Teile davon bei Eintritt außergewöhnlicher Betriebszustände mit der Gegenoption einer Aufspaltung der Gesamtanlage in mehrere unabhängige und gleichzeitig redundant wirksame Teilanlagen sollte in die Betrachtungen eingeschlossen werden.

f) Rechtliche Aspekte: *Die Lösung muss genehmigungsseitig abgesichert sein.*

Sowohl die öffentlich-rechtliche Genehmigungsfähigkeit als auch das mögliche Erfordernis privat-rechtlich wirksamer Zustimmungen Dritter sollte im Rahmen der Machbarkeit bewertet werden. Komplexe Genehmigungsverfahren mit erheblichen Eingriffen erfordern erfahrungsgemäß längere Laufzeiten, so dass neben dem Zeitaufwand für die technische Realisierung (siehe Punkt b) auch die vorlaufende Genehmigungsdauer zu beachten ist.

Im vorliegenden Fall ist eine weiterhin bereits genehmigte Mitbehandlung der in der Verfüllung anfallenden Sickerwässer in der Sickerwasserreinigungsanlage der benachbarten Deponie Eichenallee beabsichtigt. Die Zwischenspeicherung vor der Anlage in dort vorhandenen Speicherbecken sowie die Transportleitungen von der Verfüllung Mühlenberg zur Reinigungsanlage Deponie Eichenallee liegen zum Teil im Deponiebereich. Solche Baumaßnahmen bedürfen im Deponiebereich der Genehmigung nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) und den darauf aufbauenden Rechtsvorschriften.

Zuständig für die Abgrabung/Verfüllung und damit für die Genehmigung von Maßnahmen zur Sickerwasserfassung ist der Kreis Wesel. Die bei den Arbeiten anfallenden Abfälle wie Bohrgut oder Bohrschlamm sind schadstoffbelastet und dementsprechend zu entsorgen.

Für die Inanspruchnahme von externen Flächen für den Bauprozess müssen Zustimmungen der Grundeigentümer eingeholt werden. Dies gilt insbesondere für Verfahren, bei denen außerhalb der Verfüllung Geräte aufgestellt werden sollen oder dauerhafte Einrichtungen geschaffen werden. Das Risiko der Versagung solcher Zustimmungen kann die einzelne Lösungsvariante deutlich abwerten.

g) Investitionskosten

Die betriebswirtschaftlich abzuleitenden Erkenntnisse, dass im Regelfall einmalige Investitionskosten gegenüber langdauernden jährlichen Betriebskosten zu bevorzugen sind, gilt in besonderem Maße auch für den zeitlich unbefristeten Betrieb der Sickerwasserhaltung. Allerdings darf nicht übersehen werden, dass die technische Lebensdauer der eingesetzten Materialien und Aggregate Ersatzinvestitionen in ferner Zukunft erfordern wird.

Insoweit sind einfachere technische Lösungen, die erkennbar und vorhersehbar mit geringeren Ersatzinvestitionen verbunden sind, deutlich gegenüber komplexeren oder aufwendigeren Verfahren zu bevorzugen. Dies kann selbst dann gelten, wenn damit eine geringere Effizienz in Kauf genommen werden muss, solange der monetäre Abstand zum komplexeren Verfahren in einer akzeptablen Größenordnung liegt.

#### h) Betriebskosten

Bei den Betriebskosten stehen vor allem die zukünftigen personellen Aufwände für die operative Betreuung der Maßnahmen, insbesondere auch Wartung und Kontrollaufgaben, im Fokus. Hier sind Lösungen, welche Möglichkeiten zur Automatisierung bieten, durch die damit erzielbare Reduktion der personellen Auslastung von Vorteil, wobei der Grad der Automatisierung eben nicht zu einer Übertechnisierung der Mess-, Regel- und Steuerungsaufgaben und damit zu einer komplexen Anlagenstruktur führen sollte. Insoweit besitzt der Grundsatz, bei der Anlagenauslegung darauf zu achten, dass bei Bedarf der Rückfall auf eine manuelle Steuerung möglich sein muss, eine hohe Priorität.

Im Zusammenhang mit der Bewertung der Lösungsmöglichkeiten wird häufig auch der Aspekt der Kosten-Nutzen-Relation bemüht. Nach allgemein anerkannten, rechtsstaatlich verankerten Prinzipien muss die ausgewählte Maßnahme erforderlich sein, was durch die Gefährdungsabschätzung in [1] bereits hinreichend nachgewiesen und damit nicht mehr Gegenstand der Machbarkeitsstudie ist. Die Notwendigkeit einer Sickerwasserhaltung wird damit als richtig unterstellt, die Auswirkungen einer sogenannten Null-Variante wird nicht mehr untersucht.

Die ausgewählte Maßnahme zur dauerhaften Absenkung des in der Verfüllung gespeicherten Wassers in Relation zu den seitlich anstehenden Grundwasserspiegelhöhen muss geeignet sein, was durch Betrachtung der unter a) bis f) aufgeführten Kriterien zu prüfen und im Vergleich zu bewerten ist, wobei die grundsätzliche Eignung der betrachteten Verfahren bereits bei den folgenden Ausführungen als gegeben vorausgesetzt wird. Lösungen, die über den Maßnahmenkatalog der Forderungen aus der Gefährdungsabschätzung [1] hinausgehen, werden ebenso wie die Null-Variante nicht in die Betrachtungen einbezogen.

Die auszuwählende Maßnahme muss letztendlich auch verhältnismäßig sein, d. h. der Aufwand für den zur Durchführung der Maßnahmen Verantwortlichen soll und muss sich in einem angemessenen und leistungsbaren Rahmen bewegen. Dabei findet in der finalen Bewertung der unterschiedlichen Lösungsansätze am Ende auch der Wirtschaftlichkeitsaspekt Eingang, d. h. bei zwei vergleichbar guten Alternativen wird am Ende der Lösung mit der höheren Wirtschaftlichkeit der Vorzug einzuräumen sein. Insoweit steht der Kostenaspekt am Ende des Variantenvergleichs.

## **3.2 Betrachtete Verfahren zur Sickerwasserentnahme**

### **3.2.1 Überblick**

Grundsätzlich sind zur Förderung des Sickerwassers Dränagen oder Brunnen erforderlich. Bei den bestehenden Sickerwasserständen unterhalb der Geländeoberfläche ist aber eine Hebung, d. h. ein Pumpbetrieb, in jedem Fall erforderlich.

Unterschieden werden können Entnahmeeinrichtungen nach ihrer Herstellungsart (vertikale oder horizontale Bauweise):

- Ein Vertikalbrunnen besteht aus einem senkrechten Rohr/Schacht, das/der im Bereich der wasserführenden Schicht mit Öffnungen versehen und meist mit einem außenliegenden Kiesfilter ausgerüstet ist. Der Wasserandrang erfolgt im Wesentlichen durch radialsymmetrische Anströmung des im Fußbereich gelochten bzw. geschlitzten Vertikalelementes, in welchem der Wasserspiegel gegenüber dem Ruhewasserspiegel auf ein bestimmtes Maß abgesenkt werden kann. Zu den Vertikalbrunnen zählen klassisch Schacht-, Ramm- und Bohrbrunnen.
- Horizontalbrunnen bestehen hingegen aus weitgehend horizontal angeordneten gelochten oder geschlitzten Filterrohren, die entweder in Schachtbauwerke entwässern oder über in die horizontalen Filterrohre direkt eingebaute Pumpen das gesammelte Wasser zum Rohrende pumpen. Zu den Horizontalbrunnen zählen die Horizontalfilterbrunnen, die horizontal gesteuerten Bohrbrunnen (HDD) sowie Horizontaldränagen, die mit Hilfe von Microtunneling-Vortriebverfahren errichtet werden.

Für die Machbarkeitsstudie wird ferner unterschieden in Sickerwasserentnahmeeinrichtungen, die vollständig innerhalb der Verfüllung ausgeführt werden können und solchen, bei denen wesentliche Anlagenteile auch außerhalb des Verfüllkörpers (d. h. im Regelfall seitlich neben der Verfüllung) angeordnet werden:

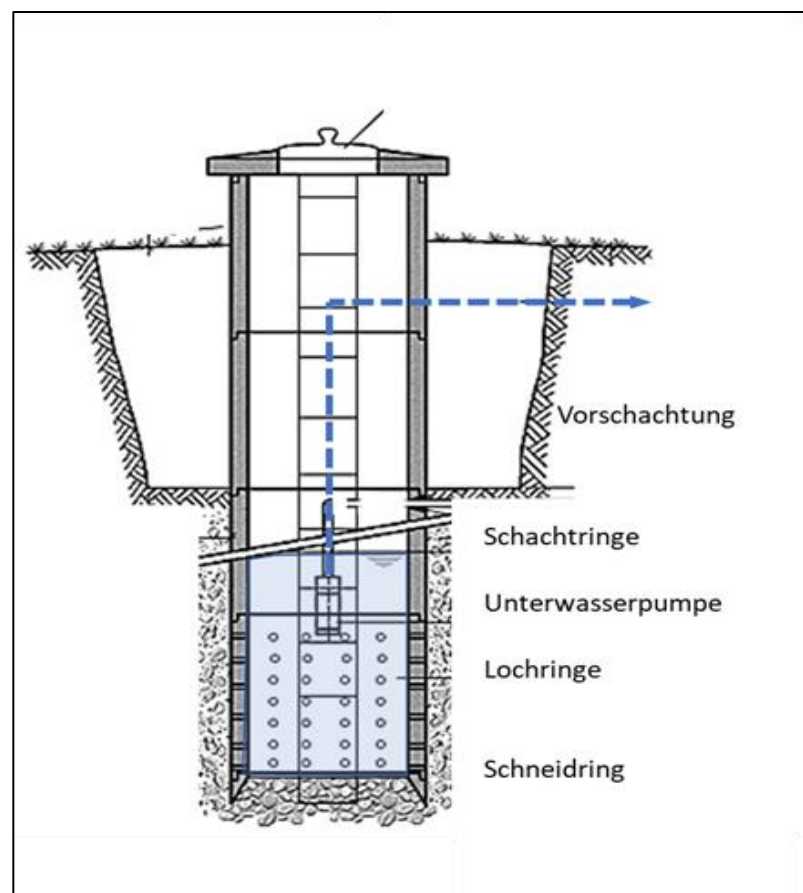
- a) Fördereinrichtungen, die ausschließlich innerhalb des Verfüllkörpers realisiert werden können, sind:
  - Vertikalbrunnen als Schachtbrunnen
  - Horizontalfilterbrunnen mit vertikalem Zentralschacht
  - Vertikalbrunnen als Bohrbrunnen
- b) Fördereinrichtungen, bei denen Teile auch außerhalb des Verfüllkörpers liegen, sind:
  - HDD- („Horizontal Directional Drilling“)-Brunnen mit Start- und Endpunkt jeweils außerhalb der Verfüllung
  - Microtunneling-Vortriebs-Verfahren mit Anfangs- und Endschächten außerhalb der Verfüllung

Zwischen den dargestellten Verfahren gibt es zudem noch Kombinationsmöglichkeiten, so z. B. beim HDD-Verfahren, das gegebenenfalls auch mit einem zentralen Schacht im Schwerpunkt der Verfüllung kombiniert werden kann.

### 3.2.2 Vertikalbrunnen als Schachtbrunnen

Die Herstellung von Schachtbrunnen stellt eine „alte“ Bauweise zum Aufschluss von Grundwasservorkommen dar, die in vorindustriellen Zeiten mittels Handschachtung, heute aber im Wesentlichen mittels Bagger und Greifer ausgeführt wird. Sie werden üblicherweise als sehr ergiebig angesehen und eignen sich daher auch gut für die bedarfsgesteuerte Entnahme größerer Wassermengen, bei denen der Brunneninnenraum zusätzlich auch noch eine Speicherfunktion übernimmt.

Für die Herstellung kommt heute insbesondere das Absenkverfahren in Frage, bei dem spezielle Schachtringe in den Untergrund eingetrieben werden (siehe Abbildung 2). Dazu wird jeweils der Schachttinnenraum ausgebagert und das unterste, mit einem Schneidring versehene Schachtsegment unter dem Eigengewicht, gegebenenfalls zuzüglich einer Auflast in den Untergrund eingetrieben. Limitierender Faktor ist hier die Mantelreibung mit dem umgebenden Boden sowie verfestigte Schichten, die einen Spitzenwiderstand für den Schneidring darstellen.



**Abbildung 2:** Prinzipdarstellung eines Schachtbrunnens



Durch Bentonitzugabe in die Grenzfläche zwischen Betonring und umgebendem Verfüllmaterial kann der Gleitwiderstand, d. h. die Mantelreibung, vermindert werden.

Verfestigte Schichten können durch schlagende oder meißelnde Verfahren aufgebrochen werden.

Grundsätzlich ist das Absenkverfahren geeignet, um bei geeigneten Baugrundverhältnissen – gut lösbare, homogene Bodenschichten – auch tiefere Horizonte im Untergrund zu erreichen. Im vorliegenden Anwendungsfall ist aufgrund der erforderlichen Tiefenvorgabe von 45 m von einem Mindestdurchmesser von DN 1500 auszugeben.

Oberhalb des Sickerwasserspiegels kommen prinzipiell auch Vorschachtungen in Frage, um die im Absenkverfahren zu durchörternde Tiefe zu reduzieren. Unterhalb des Wasserspiegels muss entweder nass gebaggert oder bei stärkerem Wasserandrang eine begleitende Grundwasserabsenkung realisiert werden.

Der Zulauf erfolgt über die Sohle des Schachtbrunnens, wobei durch Einbau von abgestuften Filterkies Suffusion vermieden werden muss. Seitliche Lochungen in den Schachtringen sind in begrenztem Umfang (Statik) möglich, müssen aber nach Erreichen der Endtiefe freigespült werden.

### **3.2.2.1 Sanierung der vorhandenen Schächte**

Gegenwärtig sind für die Entnahme des Sickerwassers 5 Schachtbrunnen mit einem Durchmesser > 1,0 m vorhanden, wobei ein Brunnen auf der Plateaufläche und vier Brunnen innerhalb der Böschungen des Haldenkörpers angeordnet sind. Dementsprechend ist die Zugänglichkeit der Brunnen in den geeigneten Böschungsbereichen als schlecht einzustufen.

Kennzeichnend für diese bestehenden Schachtbrunnen ist deren Entstehung, weil sie nicht von der Oberfläche aus abgeteuft wurden, sondern vermutlich von „unten“ nach „oben“ aufgebaut wurden. Das Schachtunterteil ist vermutlich auf der Sohlfläche der früheren Abgrabung aufgestellt, der Brunnen wurde dann schrittweise mit dem lagenweisen Einbringen der Auffüllungsmassen mit Schachtringen verlängert. Die heute vorhandenen Brunnen haben eine maximale Tiefe von etwa 45 m (Schacht C), die übrigen Brunnen sind etwa 30 m bis 35 m tief.

Die Erreichbarkeit der Brunnen in den Böschungen, die bei einem langfristigen Betrieb für die Kontrolle und Wartung der Pumpen von erheblicher Bedeutung ist, ist gegenwärtig nur fußläufig gegeben. Überfahrten über den Randgraben mit notwendigen Rohrleitungen können zudem Restriktionen für die Ableitung der Oberflächenwässer darstellen.

Eine genauere Zustandsaufnahme dieser Brunnen liegt aktuell nicht vor, allerdings ist aus den Betriebsbeobachtungen bekannt, dass die Brunnen meist in den unteren Bereichen einige strukturelle Schwächungen aufweisen. Eine Prognose der verbleibenden technischen Restfunktionsdauer fällt daher schwer, allerdings ist zu vermuten, dass diese Brunnen ohne Sanierungsmaßnahmen voraussichtlich keine Standzeiten > 20 a erreichen werden.

Insoweit ist bei einer Entscheidung für die Sanierung der vorhandenen Brunnen zunächst eine mit Beprobung vor Ort (im Schacht) verbundene Untersuchung zur Standsicherheit der Schachtwandungen durchzuführen, um den technischen und wirtschaftlichen Aufwand zu ermitteln.

Eine Sanierung der Schachtbrunnen wird allerdings als aufwendig und bauzeitlich schwer kalkulierbar angesehen, weil notwendige Arbeiten wie z. B. Verpressen von Rissen, Stabilisierung durch Einbau zusätzlicher Ringsteifen o. ä. in den bis zu 45 m tiefen Schächten unter schwierigen arbeitstechnischen Bedingungen hauptsächlich in Handarbeit auszuführen sind. Eine Aufrechterhaltung des Pumpenbetriebs während der Sanierung des jeweiligen Brunnens ist nicht vorstellbar, wenn größere Reparaturen auf beengtem Raum durchzuführen sind. Insoweit müsste der jeweils zu sanierende Brunnen aus dem Sickerwasserpumpbetrieb herausgenommen werden, mithin also die Gesamtförderleistung gegebenenfalls reduziert werden.

Erschwerend kommt hinzu, dass die vorhandenen Brunnen mit Ausnahme des Schachtes C (der als der ergiebigste Brunnen einzustufen ist) an den Rändern der Verfüllung liegen. Die heute vorhandenen Brunnen, die quasi nur auf einem „Halbraum“ entwässern, werden daher in der Erfassung des gesamten Sickerwasservolumens als nicht sehr effektiv eingestuft.

Schließlich trägt die Bauweise dieser Brunnen – sie wurden nach Angaben des Betreibers bei der Errichtung zur statischen Sicherung mit hydraulisch abbindenden Flugaschen umgeben – dazu bei, dass von einer deutlichen Sperreigenschaft des Verfüllkörpers entlang der Brunnenachse auszugehen ist. Ein außenliegender, um die Betonschachtringe angeordneter Kiesring zur Verbesserung der vertikalen Dränagewirkung fehlt, so dass eine durch gut durchströmbares Verfüllmaterial optimierte vertikale Durchlässigkeit nicht gegeben ist.

Insgesamt wird eine strukturelle Sanierung der bestehenden Schächte auch unter dem Aspekt des notwendigen dauerhaften Funktionserhalts des Sickerwasserfassungssystems und der unzureichenden vertikalen Durchströmbarkeit der Verfüllung als kritisch gesehen.

Die Daten aus der Gefährdungsabschätzung [1] lassen erkennen, dass eine flächige Abdeckung der Verfüllung mit den bestehenden Schachtbrunnen nicht gelingt. Zusätzliche Brunnen auf der Süd-Ostseite und auf der Westseite ermöglichen eine umfassendere Abdeckung.

### 3.2.2.2 Umbau der vorhandenen Schachtbrunnen

Eine Möglichkeit, die Sanierung der vorhandenen Schachtbrunnen zu vermeiden, gleichzeitig aber diese Entnahmepunkte weiter zu nutzen, besteht darin, ein Standrohr mit Filterstrecke im unteren Teil einzubauen und den verbleibenden Raum zwischen Rohrwandung und Schachtring mit Filterkies (im Bereich der Filterstrecke, oberhalb können auch gröbere Kiese verwendet werden) zu verfüllen. Mit dieser Schachtinnenverfüllung wird sich die Frage nach der langfristigen Standfestigkeit der Schachtringe nicht mehr stellen, da erdstatischer Innen- und Außendruck im Gleichgewicht stehen. Die Schachtringe verlieren damit ihre statische Funktion der Sicherung des Schachtinnenraumes gegen das anstehende Verfüllmaterial.

Die Schächte A, B, D, E können am Böschungsfuß über die seitlich vorhandenen Verkehrswege erreicht werden. Für den Einbau der Rohre kann eine komplette, vormontierte Rohrtour mit Filter- und Vollrohr aus PE-HD mittels eines Mobilkranes in den jeweiligen Schachtbrunnen eingelassen werden. Zentrierende Abstandhalter sorgen für eine mittige Anordnung. Für die Einfüllung der Filterkiese können Betonpumpen mit Auslegern (bis 60 m) eingesetzt werden, um das Filter-/Stützmaterial langsam in den Ringraum einzufüllen.

In den bestehenden Schächten ist hinreichend Platz, um eine vertikale PE-HD-Filter- bzw. Vollrohrleitung PE 100 SDR 11 mit einem Querschnitt 250x22,7 zu errichten. Der Innenquerschnitt reicht für den Einbau einer 3"- oder 4"-Unterwasserpumpe mit einer 1"- bzw. 1,5"-PE-HD-Förderleitung (als Endlosrohr) oder gegebenenfalls mit einem PU-Schlauch (z. B. Wellmaster, pH-Wert des Sickerwassers beachten) aus. Der Ringraum kann im Bereich der Filterrohre als Einfachfilter, gegebenenfalls auch als Doppelfilter und oberhalb des sickerwassererfüllten Bereiches auch mit gröberer Körnung verfüllt werden.

Die derzeitige als Provisorium anzusehende Förderung über fliegende, auf der rekultivierten Oberfläche offen verlegte Stahlleitungen in mobile Tankbehälter am Haldenfuß (neben der Umfahrungsstraße) kann grundsätzlich aufgegeben werden, zumal es sich um keine frostsichere Ausführung handelt. Stattdessen sollte eine Abführung des geförderten Sickerwassers über festinstallierte, überwachte Rohrleitungen erfolgen, die dann sinnvollerweise in einen auf der Plateaufläche zu verlegenden Hauptsammler einmünden.

Eine Verlegung der Leitungen oberhalb der Oberflächenabdichtung erscheint sinnvoll, wenn die Förderleitungen (1,5"-PE-HD-Leitungen) außerhalb des Brunnens in einem Hüllrohr verlegt wird. Sowohl Medien- als auch Hüllrohr können als Rollenware ohne zusätzliche Schweißverbindungen über die gesamte Förderlänge vom Brunnen bis zur Plateaufläche ausgeführt werden. Das Hüllrohr übernimmt dabei neben der Funktion der Leckagekontrolle – bei einer Undichtigkeit des Medienrohres tritt Sickerwasser aus und fließt aufgrund des bestehenden Gefälles in den Förderbrunnen zurück (Detektion durch Sichtprüfung möglich) – auch die statische Tragwirkung gegen den Erdkörper.

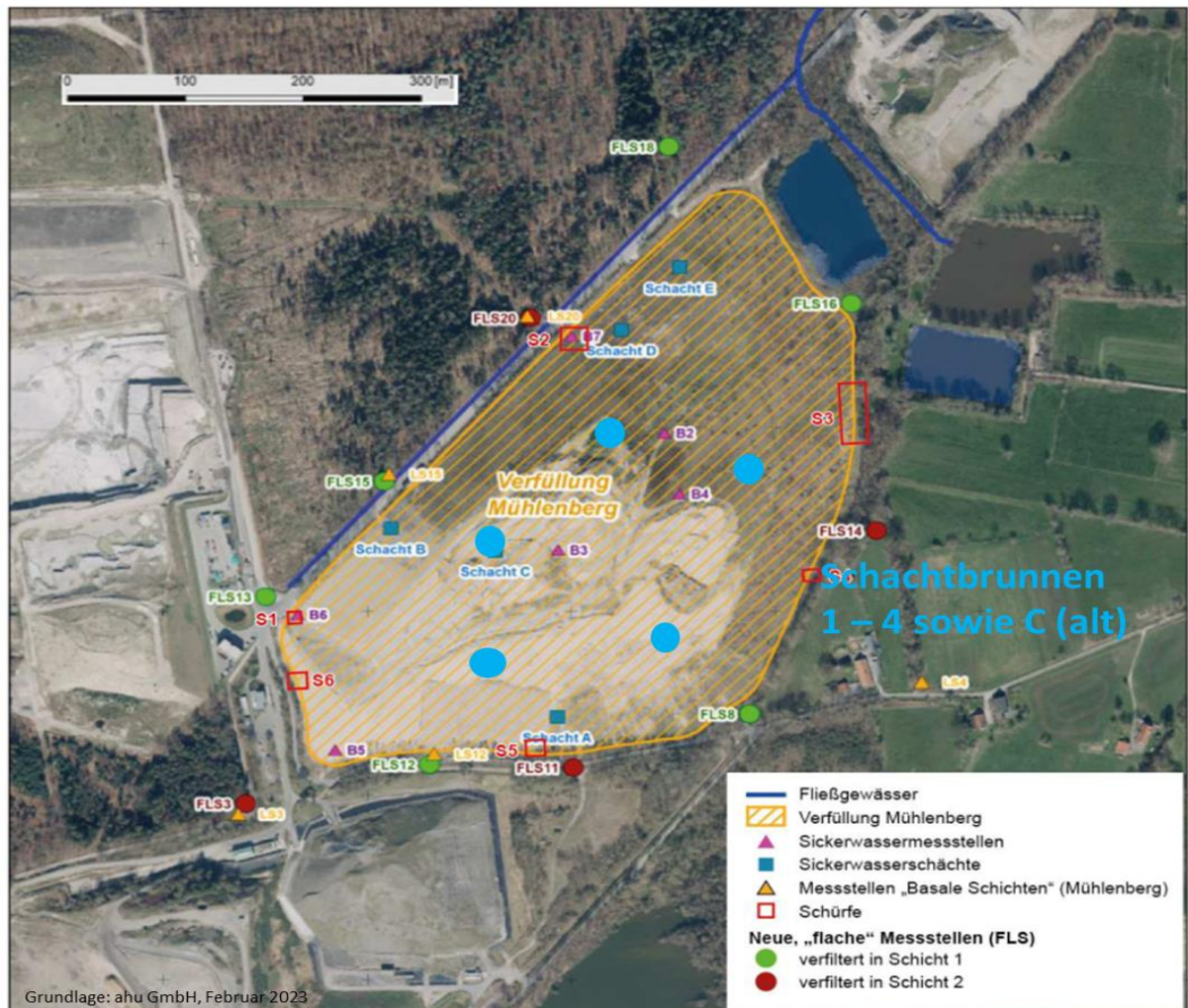
Die Alternative einer nachträglichen Verlegung unter der Oberflächenabdichtung ist demgegenüber nicht zielgerichtet, da einerseits eine linienhafte Durchörterung und nach Rohrverlegung eine bautechnisch nicht ganz einfach auszuführende abgetreppte Wiederherstellung der Dichtungsschichten in Böschungsbereichen erforderlich wird und andererseits im Ausschleusungspunkt eine weitere Rohrdurchführung in der mineralischen Abdichtung vorzusehen ist. Zwar könnte im Hinblick auf die überschaubaren Auswirkungen einer Leckage dieser Förderleitung bei einer Verlegung unter der Oberflächenabdichtung auf das zusätzliche Sicherungselement Hüllrohr verzichtet werden, allerdings ist die/der spätere Reparatur/Ersatz sehr aufwendig.

Anstelle einer Verlegung der Förderleitung zur Plateaufläche ist für die Schächte B, D und E auf der Westseite der Verfüllung auch eine Ableitung des Sickerwassers in eine zur Umfahrungsstraße parallel verlaufende Freispiegelleitung denkbar. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass auch noch Leerrohre für die Energieversorgung und ggfls. Messeinrichtungen in den Brunnen verlegt werden müssen. Dieser Gesichtspunkt ist im Rahmen des langfristig zu unterhaltenden Gesamtfördersystems nochmals zu prüfen.

Der langfristige Pumpbetrieb für die in der Böschung angeordneten Brunnen sollte später angesichts der schlechten Erreichbarkeit vollständig aufgeben und die PE-HD-Brunnenrohre nur noch als Einrichtungen für die laufende (automatisierte) Überwachung der Sickerwasserspiegelstände genutzt werden. Für das zukünftige Monitoring können im einfachsten Fall Messkabel im Schutzrohr verlegt werden, aufwendigere Lösungen könnten auch kabellos (z. B. mobilfunkgestützt) realisiert werden. Aus dem Betrieb der Verfüllung liegen Informationen vor, dass die Schächte zur Erhöhung ihrer Standfestigkeit bereichsweise mit hydraulisch abbindenden Flugaschen umgeben wurden. Solche gering durchlässigen Verfüllmaterialien reduzieren die Durchströmbarkeit und können die Bildung lokaler Stauhorizonte bewirken. Die in den Schächten messbaren Sickerwasserspiegelhöhen werden durch die im Fußbereich herrschenden Wasserdrücke bestimmt, die sich wegen der fehlenden äußeren Kiesummantelung nicht zwingend unmittelbar am Schacht mitteilen, sondern im stationären Zustand die Druckhöhen im lokalen Umgriff des Schachtes darstellen. Bei Förderung können solche Messungen nur genutzt werden, wenn sich nach längerer Unterbrechung des Pumpbetriebes ein quasistationärer Zustand eingestellt hat.

### **3.2.2.3 Neubau von Schachtbrunnen**

Der Neubau von Schachtbrunnen kann sowohl in Verbindung mit einer Sanierung als auch mit einem Ersatz der bestehenden Brunnen erfolgen (siehe Abbildung 3). Funktional ist dieses Verfahren als geeignet anzusehen, allerdings kann mit dem Schachtbrunnen eine größere Wassermenge gefördert werden, als dies nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung nötig ist; insoweit wäre ein Schachtbrunnen überdimensioniert.



**Abbildung 3:** Mögliche Anordnung neuer Schachtbrunnen  
(der Schachtbrunnen C wird erhalten)

Aus heutiger Sicht wird nur ein Neubau auf der Plateaufläche bautechnisch als zweckmäßig eingestuft, weil auf der mehr als 10 ha großen Fläche ausreichend Platz für die zum Bau erforderlichen Geräte (Seilbagger, Bentonitmischanlage, Injektionstechnik etc.) und Lagermöglichkeiten für die Schachtringe vorhanden ist.

Bei der technischen Bewertung dieser Vorgehensweise muss allerdings auf erhebliche Risiken hingewiesen werden, die sich durch den unbekanntem Aufbau des Verfüllkörpers ergeben. Größere Blöcke oder verfestigte Zonen in der Verfüllung stellen Erschwernisse dar, die bei der Umsetzung des Absenkverfahrens zwar – mit sehr hohem technischem Einsatz – als beherrschbar, aber a priori wirtschaftlich kaum kalkulierbar sind.

Bei der konkreten Umsetzung sind auch die Restriktionen durch die bestehende Oberflächenabdichtung (zweilagige Tonabdichtung) in die Bauplanung mit einzubeziehen. Dabei wird nicht nur die Abdichtung, sondern auch die Oberflächendrainage am jeweiligen Ansatzpunkt durchstoßen.

Hier muss sichergestellt werden, dass es nicht zu ungewollten und vermeidbaren Zutritten von unbelastetem Oberflächenwasser in den Verfüllkörper kommt.

In arbeitsschutztechnischer Hinsicht ist der sachgerechte Umgang mit dem auszuhebenden Abfallmaterial aus der Verfüllung durch eine vorlaufende Arbeits- und Sicherheitsplanung zu gewährleisten. Durch den Aushub im Schachtinneren entsteht mengenmäßig ein größeres Volumen, das zweckmäßigerweise in Containern zwischengelagert und bei entsprechender Eignung am besten arbeitstäglich auf die benachbarte Deponie Eichenallee verbracht werden sollte.

Die im Rahmen der Gefährdungsabschätzung durchgeführten Pumpversuche zeigen, dass die Reichweite der Schachtbrunnen begrenzt ist. Insoweit wird unter der Annahme, dass die in den Böschungen gelegenen Brunnen aufgegeben werden und von den vorhandenen Brunnen nur der Schacht C weiter genutzt wird, der Neubau mehrerer, voraussichtlich 3 bis 4 zusätzlicher Schachtbrunnen erforderlich.

Der dazu erforderliche technische und wirtschaftliche Aufwand auf der heute bereits in Teilen rekultivierten Plateaufläche wird als sehr hoch eingeschätzt, zumal – wie die weiteren Ausführungen noch zeigen werden – andere Verfahren weniger invasiv sind. Die Emissionen sind im Hinblick auf Staub – oberhalb des Sickerwasserspiegels erfolgt ein Aushub von „trockenem“ Material – eher als moderat zu bezeichnen, schwerwiegender wird die Gewinnung des Materials aus dem wassererfüllten Bereich im Hinblick auf die Schadstoffverschleppung über die Wasserphase (Nassbaggerarbeiten erfordern in der Regel eine Entwässerung des Fördergutes, bei der eine Trennung in eine schadstoffhaltige Feststoff- und Wasserphase erfolgt) gesehen.

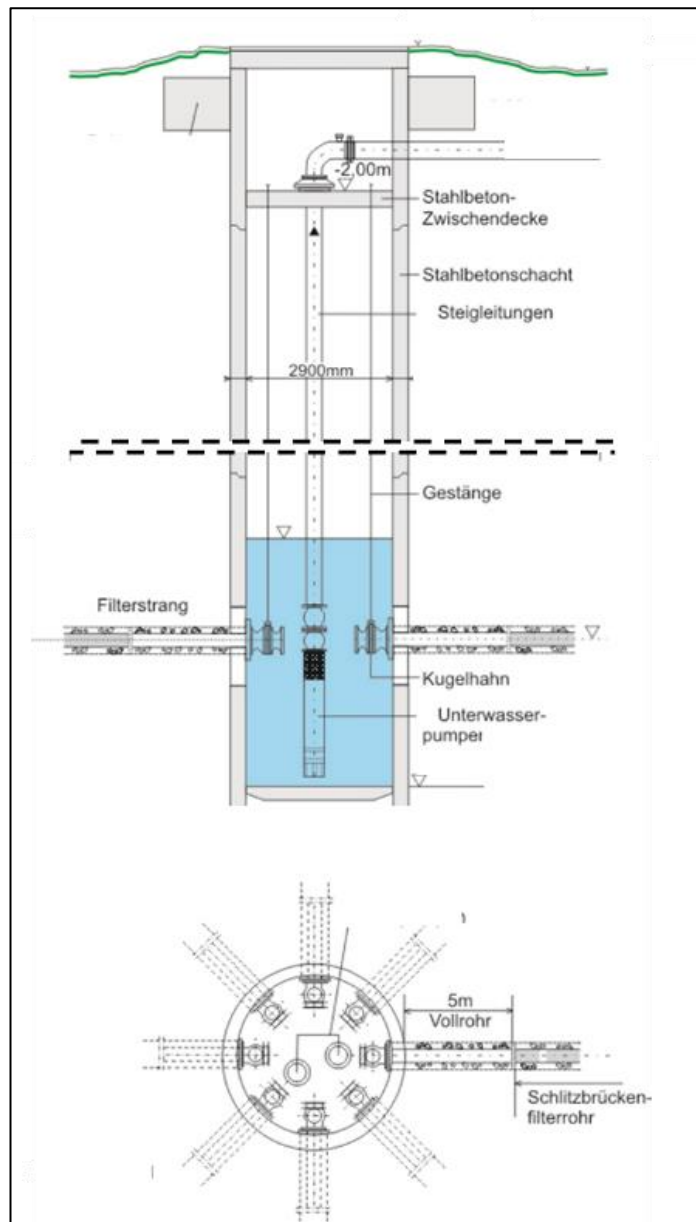
### **3.2.3 Horizontalbrunnen mit vertikalem Zentralschacht**

#### **3.2.3.1 Verfahrensbeschreibung**

Bei der Grundwassergewinnung haben sich Horizontalbrunnen bewährt, weil sie es ermöglichen, große Wassermengen aus einem Aquifer zu entnehmen und über einen zentralen Schacht in die Wasserversorgung zu fördern. Diese Horizontalbrunnen bestehen aus mehreren horizontalen Filterrohren, die ausgehend von einem zentralen Schacht in die grundwasserführenden Schichten eingebracht werden und unter Nutzung des sich im Pumpbetrieb einstellenden Druckgefälles zwischen Spiegelstand im Aquifer und im Schachtbrunnen eine kontinuierliche Entnahme ermöglichen.

Für die Verfüllung Mühlenberg kommt diese Verfahrensweise auch für die kontinuierliche Förderung des Sickerwassers in Frage, zumal prinzipiell über die horizontalen Filterstränge eine flächige Abdeckung der Verfüllung erzielt werden kann.

Die Abbildung 4 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Horizontalfilterbrunnens, bei dem die Filter sternförmig um den Schacht angeordnet werden. Die Filterrohrstränge sind über Schieber einzeln absperrbar, so dass eine Regelung der Zuläufe möglich ist.



**Abbildung 4:** Prinzipdarstellung Horizontalfilterbrunnen

Die Horizontalstrecken werden bei einfachen Baugrundverhältnissen mit ungesteuerten Pressbohrverfahren oder ungesteuerten Drehbohrverfahren aufgeföhren, bei komplizierten Randbedingungen sind gesteuerte, unbemannte Bohrmaschinen im Einsatz.

Die Länge der Filterstränge ist je nach eingesetztem Verfahren begrenzt. Heute wird in Deutschland für den Bau von Horizontalbrunnen nach dem Verdrängerprinzip überwiegend das Preussag-Kiesmantelbrunnen-Verfahren eingesetzt, das sich aus dem Fehlmann-Verfahren (Schweiz) und dieses aus dem Ranney-Verfahren (USA) entwickelt hat.

Grundsätzlich folgt die Vorgehensweise bei der Errichtung des vertikalen Schachtbauwerkes dem bereits in Kapitel 3.2.2.3 erläuterten Absenkverfahren. Üblicherweise wird ein Schacht mit einem Durchmesser  $\leq 3$  m unter Verwendung von Betonfertigteilen abgeteuft, eine Betonsohle (Unterwasserbeton) eingebaut und das Wasser aus dem Schacht abgepumpt. Danach werden die Horizontalfilter über eine Schleuse eingebracht. Für diesen Einbau stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, die nachfolgend kurz beschrieben werden.

Beim Ranney-Verfahren wird ein Filterrohr horizontal vom Schacht in den Untergrund vorgetrieben, beim Fehlmann-Verfahren wird aus dem Schacht zunächst ein Bohrrohr/Schutzrohr durch das Einpressen von ca. 1 bis 1,35 m langen Stahlrohren (i. d. R. Durchmesser 300 bis 400 mm) mit Gewindeverbindung vorgetrieben, dann das Filterrohr eingebracht und anschließend das Schutzrohr wieder gezogen.

Das Preussag-Kiesmantelbrunnen-Verfahren erlaubt, bei im Wesentlichen gleicher Vortriebsart wie beim Fehlmann-Verfahren – allerdings mit größerem Schutzrohrdurchmesser –, zusätzlich den Einbau einer auf den anstehenden Boden und den eingesetzten Filter abgestimmten künstlichen Kiesschüttung, die das Filterrohr umgibt und gegen das anstehende Material abgrenzt.

Der Vortrieb der horizontalen Filterstrecken erfolgt unter dem Sickerwasserspiegel. Durch eine Schleuse wird der Einbruch des außen am Schacht mit Überdruck anstehenden Wassers verhindert bzw. minimiert. Die notwendigen Vortriebskräfte werden im Schacht von einer hydraulischen Pressstation mit Vortriebszylindern erzeugt.

Bei den horizontalen Press-Bohrungen kann kein schlagendes oder rotierendes Werkzeug eingesetzt werden. Vielmehr erfolgt der Vortrieb der Schutzrohre größtenteils durch Verdrängung, kann aber durch eine im Bohrrohr eingebaute Spüllanze unterstützt werden. Nach Fertigstellung der horizontalen Bohrung werden Spül- und Fördergestänge ausgebaut und danach die Filter- bzw. Vollrohre (Fehlmann-Verfahren) zentrisch in das Bohrrohr eingebaut. Im Preussag-Verfahren wird zusätzlich zwischen Filter- und Schutzrohr ein umhüllender Kiesmantel hergestellt. Anschließend wird der Bohrkopf von den Bohrröhren getrennt (verbleibt im Boden), dann die Schutzverrohrung sukzessive zum Schacht zurückgezogen und dort geborgen.

Die beschriebenen Verfahren funktionieren bei gut wasserleitenden Gesteinsschichten (im Wesentlichen Sande und Schluff-Sandgemische); diese werden aber bei einer heterogenen Schichtenfolge von fein- und grobkörnigen, gegebenenfalls auch verfestigten Materialien (wie sie in der Verfüllung Mühlenberg vorhanden sind), nur eingeschränkt anzuwenden sein. Wenn dann noch Steine oder Blöcke – z. B. Bauschutt – hinzukommen, kommen die Vortriebsverfahren an ihre Grenzen.



Bei schwierigeren Untergrundbedingungen, wie sie bei der Verfüllung Mühlenberg erwartet werden müssen, kann der Einsatz von unbemannten, gesteuerten Bohrmaschinen, die auch bei der Microtunneling-Bauweise verwendet werden, Abhilfe schaffen (siehe dazu auch Kapitel 3.2.6). Diese als „Hori-Well-Verfahren“ bezeichnete Bauweise (siehe Anhang 1) wird durch Einsatz eines automatischen Vollschnitt-Vortriebes für Arbeiten im Grundwasserbereich realisiert.

Das gesamte Bohrgerät wird über den Schacht und eine Schleuse in den seitlich anstehenden Körper eingebracht, das Bohrgut aufgenommen, erforderlichenfalls zerkleinert und dann hydraulisch abgefördert. Dabei entsteht ein Bohrschlamm, der nach Förderung an die Tagesoberfläche entwässert und dann entsorgt werden muss.

Der Bohrkopf und die Meißel können an das zu durchörternde Material angepasst werden, so dass weder verfestigte Packlagen zu Abweichungen von der Solllinie noch bindige Schichten (in Kombination mit einer Hochdruckeindüsung) zum Verschmieren der Bohrlochwandung führen. Allerdings stellt die ständige Anpassung an über kurze Distanzen sich ändernde Abbaueigenschaften der Verfüllmaterialien eine zusätzliche Herausforderung dar, die einen hohen personellen und zeitlichen Aufwand bedeuten kann.

Die Schutzverrohrung wird wie beim Fehlmann-Verfahren nachgezogen, das Bohrgerät kann dann rückfahrend im Startschacht geborgen werden. Der Einbau der Filterrohre einschließlich einer Kiesfilterumhüllung erfolgt dann genau wie beim bereits oben beschriebenen Preussag-Verfahren. Der Bohrvorgang ist durch eine begleitende kontinuierlich arbeitende Lasermessung steuerbar, so dass auch Strecken von 80 m bis 100 m mit einer Genauigkeit von rund 10 cm (vertikal und horizontal) hergestellt werden können.

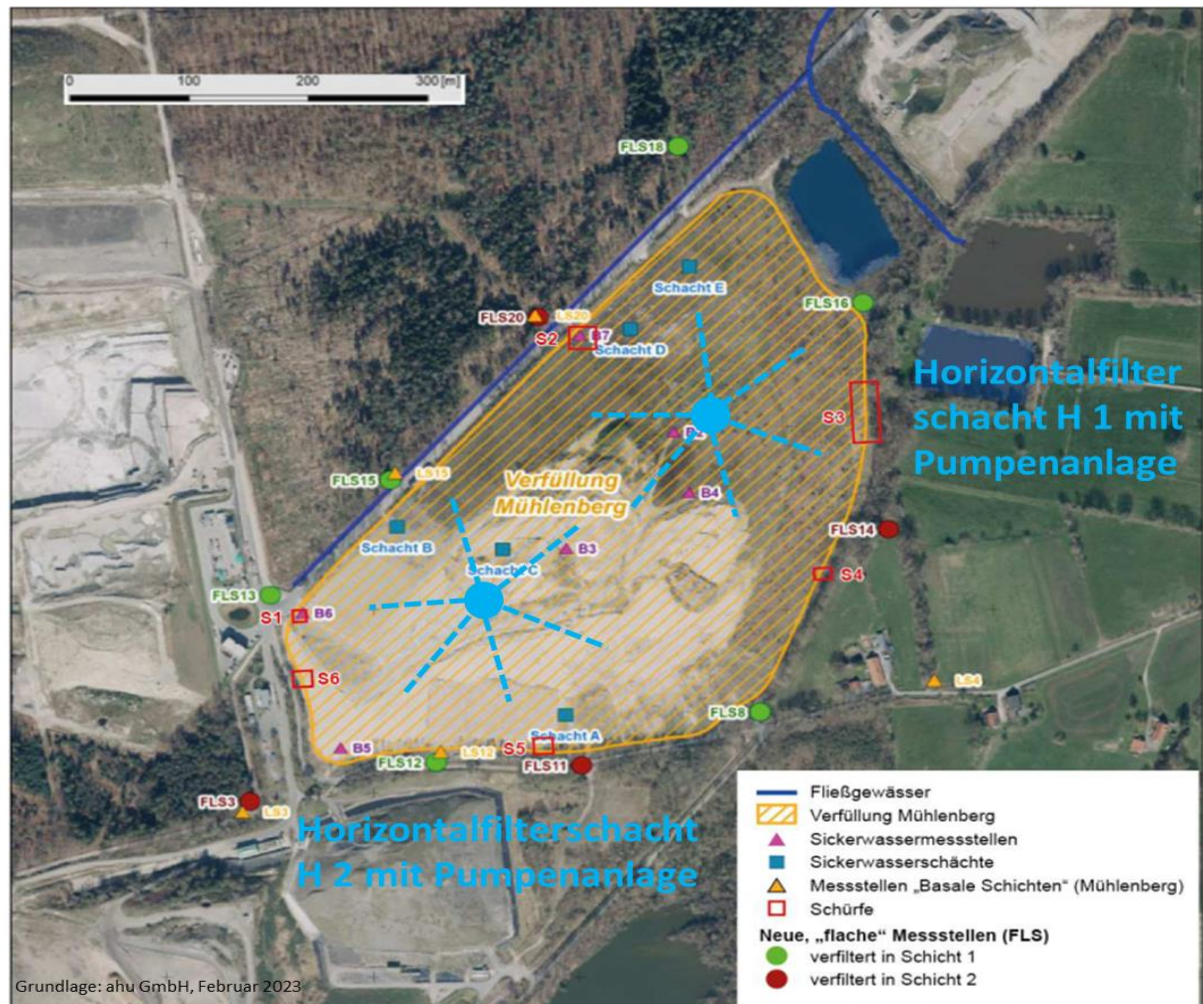
### **3.2.3.2 Anwendbarkeit für die Verfüllung Mühlenberg**

Das Verfahren ist technologisch geeignet, den Einbau eines horizontal angeordneten Sickerwasserdränagesystems zu realisieren. Eine flächige Abdeckung kann mit der sternförmigen Anordnung der Dränagerohre um den Zentralschacht sichergestellt werden. Es wird eine Sacklochbohrung durchgeführt, bei der die Bohrmaschine innerhalb des Schutzrohres zum Startpunkt zurückgefahren wird. Bei erreichbaren Horizontalfilterlängen von bis 80 m wäre eine grobe Abdeckung mit zwei innerhalb der Verfüllung zu errichtende Horizontalbrunnen, die von der Plateaufläche bis zur Grubensohle abgeteuft werden, zu erzielen.

Der Einsatz einer Microtunneling-Bohrmaschine stellt auch bei der heterogenen Zusammensetzung der zur Grubenverfüllung verkippten Stoffe sicher, dass schwer zu bohrende Materialien wie z. B. verfestigte Abfallstoffe durchörtert werden können.

Die bauliche Umsetzung bedingt jedoch, dass die Bohrungen und der Einbau der Horizontalfilter im Sickerwassereinstaubereich, d. h. quasi unter dem Wasserspiegel, ausgeführt werden müssen.

Das im Schacht tätige Personal gelangt dabei unvermeidbar in Kontakt mit dem Sickerwasser und kontaminiertem Bohrschlamm.



**Abbildung 5:** Anordnung von Horizontalfilterbrunnen

Kritisch ist das Entstehen des kontaminierten Bohrschlammes zu sehen, der gefördert und dann auf einen stichfesten, ablagerungsfähigen Zustand entwässert werden muss. Hierdurch ergibt sich ein zusätzlicher Verfahrensschritt, der die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens weiter belastet.

Schließlich ist auch zu bedenken, dass zwar ein wirksamer horizontaler Aufschluss des Verfüllkörpers erreicht wird, aber dessen vertikale Durchlässigkeit nicht verbessert werden kann. Dieser Aspekt wird zwar nicht als sehr gravierend angesehen, weil eine – wenn auch langsame – Verlagerung von schwebenden Stockwerken bis zur Sohle anzunehmen ist, allerdings ist der Zeitfaktor bei einer sehr langsam ablaufenden Durchsickerung nicht zu vernachlässigen.

### **3.2.4 Bohrbrunnen**

#### **3.2.4.1 Verfahrensbeschreibung**

Bohrbrunnen sind Anlagen, mit denen durch eine lotrechte Bohrung Wasservorkommen in beliebiger Tiefe aufgeschlossen werden können. Nach Erreichen des Wasservorkommens wird in einer definierten Tiefe (unvollkommener Brunnen) oder von der Sohle des wasserleitenden Horizontes ausgehend ein Filterrohr (evtl. mit Sumpfrohr) eingebaut und dann mit einer Ringraumschüttung aus Filterkies (alternativ Glaskugeln) ummantelt. Der obere Teil des Brunnens wird mit einem Vollrohr versehen, der Ringraum mit geeignetem Material verfüllt und oberflächennah mit einer dichtenden Sperrschicht versehen, um den Zutritt von Oberflächenwasser zu verhindern.

Die im Brunnenbau eingesetzten Bohrverfahren werden danach unterteilt, ob eine Trocken- oder Spülbohrung ausgeführt wird, ob das Bohrloch verrohrt oder nicht verrohrt hergestellt wird und wie die Bohrbewegung erfolgt (drehend, schlagend oder Kombination aus beidem).

Bei dem Trockenbohrverfahren werden Bohrschnecke, Seilschlagbohrer und Bohreimer eingesetzt, wobei die Bohrgutförderung dann diskontinuierlich erfolgt. Bei den Spülbohrungen erfolgt die Bohrgutförderung mit Drucklufthebung oder Einsatz von Spülflüssigkeiten wie Bentonit- oder Polymersuspensionen, bei denen das Bohrgut über die Suspension zur Tagesoberfläche transportiert und dort in einem Nachbehandlungsschritt wieder abgetrennt wird.

Für die Herstellung von Bohrbrunnen in der Verfüllung Mühlenberg wird das Trockenbohrverfahren bevorzugt, da das Bohrgut schadstoffbelastet ist und demzufolge zweckmäßigerweise bzw. soweit zulässig auf der benachbarten Deponie abgelagert werden sollte. Das Spülverfahren bedingt eine Verunreinigung / Vermischung des Bohrgutes mit der Spülsuspension, wodurch eine Nachbehandlung (Verfestigung) des kontaminierten Materials zur Erzeugung eines auf einer Deponie ablagerungsfähigen Materials erforderlich wird. Hierdurch wird eine deutlich größere Abfallmenge erzeugt, zudem müssen beim Bohren auf der abgedichteten, mit einer flächigen Drainage versehenen Oberfläche die Risiken eines wassergeführten Schadstoffaustrag beachtet werden. Daher wird – auch in Abgrenzung zu anderen Bohrverfahren – nachfolgend das verrohrte Trockenbohren als Vertikalbohrverfahren betrachtet. Der Ordnung halber sei aber angemerkt, dass im Ausnahmefall (z. B. „Steckenbleiben“ der Trockenbohrung) für eine Brunnenbohrung in der Verfüllung auch das Spülbohrverfahren eingesetzt werden kann, wobei dann als Spülmittel Polymerkomplexe eingesetzt werden sollten. Grundsätzlich kann die Frage der optimalen Verfahrenstechnik für die Herstellung der Vertikalbrunnen im Rahmen der Entwurfsplanung nochmals vertiefend behandelt werden.

Die Verrohrung (Rohrtour) verhindert das Einstürzen des Bohrloches und ein Nachfall von seitlich ausbrechendem Material aus dem Verfüllkörper, der auf weiten Strecken durch ähnliche mechanische Eigenschaften wie bindige und nichtbindige Lockergesteine gekennzeichnet ist. Sie ermöglicht zudem eine teufengerechte Bohrgutentnahme, was angesichts der heterogenen Zusammensetzung des Ablagerungskörpers hilfreich für die spätere Auswahl der Filterkieskörnung ist.

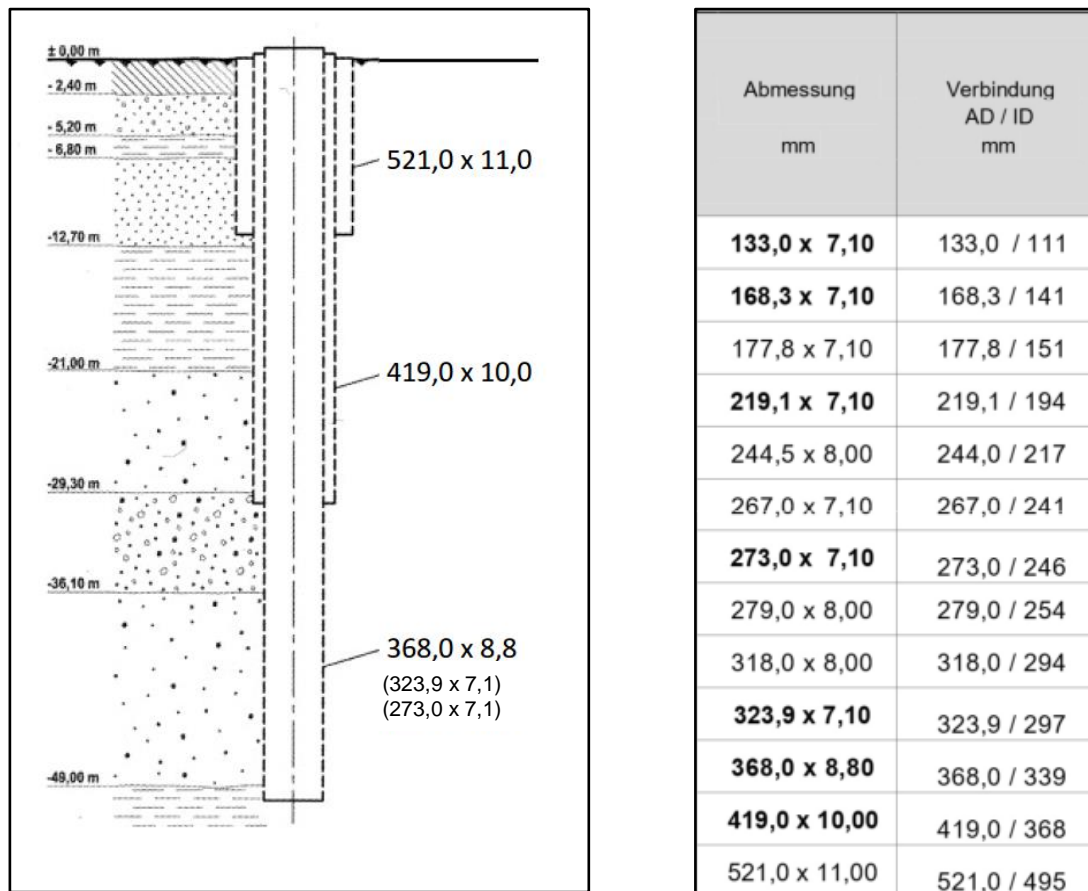
Den Anfang einer Rohrtour bildet der Rohrschuh, der die Rohre freischneiden, Hindernisse nach außen drücken und die Bohrröhre vor Beschädigungen schützen soll. Er hat daher meist eine größere Wandstärke und ist maßgebend für den größten Außen- und kleinsten Innendurchmesser einer Rohrtour. Entscheidend für einen möglichst zügigen Bohrfortschritt ist der Einsatz eines geeigneten Bohrwerkzeuges mit dem richtigen auf die Rohrtour abgestimmten Innendurchmesser.

Verfahrenstechnisch kann die Bohrung innerhalb der Verrohrung drehend oder schlagend erfolgen. Das Bohrwerkzeug kann drehend am Gestänge (z. B. mittels Schappe, Schnecke), schlagend am Seil (z. B. mittels Ventilbohrer), rammend (z. B. mittels Rammkernrohr) oder greifend geführt werden. In der Regel dienen die Bohrwerkzeuge sowohl zum Lösen als auch zum Fördern des Bohrgutes. Nur bei sehr harten Formationen werden z. B. Meißel zum Lösen verwendet. Anschließend wird das Bohrklein mit einem Ventilbohrer o. ä. zutage gefördert. Damit kann auch eine verfestigte Schicht durchteuft werden. Sobald das Bohrwerkzeug dem Bohrrohr vorausgehend den Raum unter dem Rohrende freigemacht hat, kann die Verrohrung nachgeschoben werden. Dazu ist der Einsatz eines hydraulischen Kraftdrehbohrkopfes mit hydraulischen Bohrvorschub oder eines vom Bohrgerät unabhängigen Verrohrungstisches zweckmäßig, der die Rohrtour hydraulisch in den Untergrund vordrückt. Mit zunehmender Tiefe wird allerdings die Mantelreibung zunehmen, so dass die erforderliche Kraft für das weitere Eindringen des Bohrrohres in das Bohrloch nicht mehr aufgebracht werden kann. Für einen solchen Zustand bietet es sich an, im Wege der sog. Teleskopierung die Bohrung mit einem kleineren Rohr weiter fortzusetzen. Bei sehr tiefen Bohrungen kann eine solche Reduktion mehrmals vorgenommen werden (siehe Abbildung 6).

Eingesetzt werden üblicherweise Bohrröhre mit Gewindeverbindung, die in verschiedenen Durchmessern und Längen bis 6 m erhältlich sind.

Ob eine Teleskopierung bei der hier anstehenden Maßnahme erforderlich wird, hängt von den konkreten Bohrbedingungen am jeweiligen Ansatzpunkt ab.

Für die Ausführung der Bohrungen können Lkw- oder Raupenfahrwerk-gestützte Drehbohrgeräte eingesetzt werden. Eine Optimierung zur Verbesserung des Einbaus der Rohrtour ist durch Einsatz einer Verrohrungsanlage möglich.



**Abbildung 6:** Beispiel für Teleskopierung und Bohrröhre nach DIN 4918

### 3.2.4.2 Anwendbarkeit für die Verfüllung Mühlenberg

Die Bohrbrunnen sind grundsätzlich gut geeignet und stellen eine robuste und einfach zu wartende Technik für eine dauerhafte Sickerwasserförderung dar.

Für die Bemessung des Filterrohres im Bohrbrunnen ist der Durchmesser der Unterwasserpumpe und gegebenenfalls zusätzlich dauerhaft zu installierende Messeinrichtungen maßgebend.

Geeignete Unterwasserpumpen werden am Markt von verschiedenen Herstellern angeboten, im Folgenden wird daher beispielhaft eine 3"-Pumpe aus der Reihe SQE 2-50 NE des Herstellers Grundfos betrachtet, die material- und fertigungstechnisch speziell für den Anwendungsbereich der Förderung von kontaminiertem Sickerwasser ausgelegt ist. Die technischen Daten sind in der Anlage 1 beigefügt.

Eine solche Unterwasserpumpe wäre bei hoher Einsatzdauer (24/7) in der Lage, die jährlich aus einem Brunnen zu entnehmende Sickerwassermenge über eine geodätische Höhe von 48 m zu fördern. Allerdings besitzen die Bohrbrunnen eine geringere Leistungsfähigkeit als die Schachtbrunnen, so dass die Förderleistung deutlich reduziert werden muss.

Geht man von einer jährlichen Zuführung von bis zu 5.300 m<sup>3</sup>/a aus, so wären 4 Brunnen förder-technisch bereits ausreichend, um zusammen mit einem durch Einbau eines Brunnenrohres sanierten Schachtes C diese Menge bei knapper Abdeckung der zu entwässernden Grundfläche das Absenkziel zu erreichen.

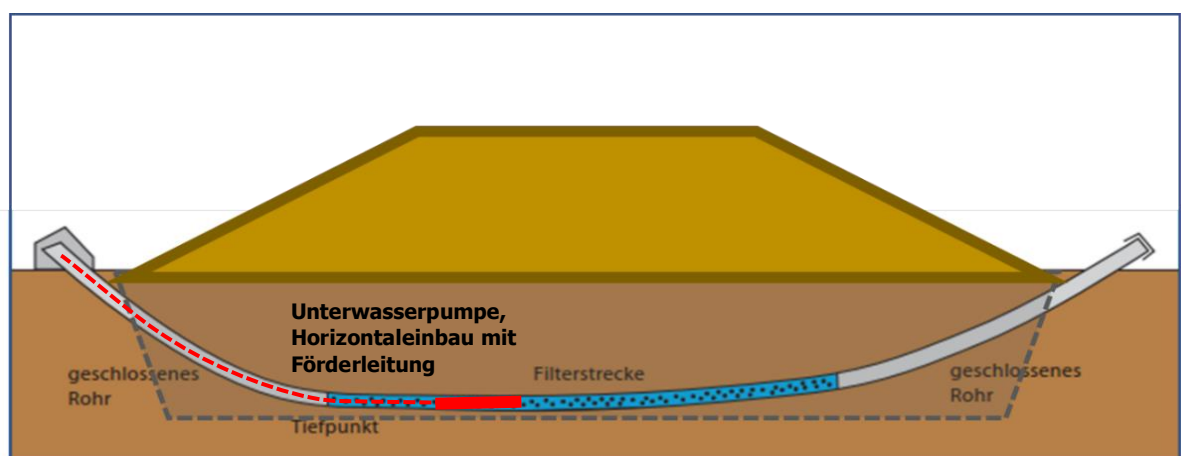
Die Anordnung der Bohrbrunnen würde dabei der der Schachtbrunnen entsprechen. Allerdings kann nicht mit Sicherheit die Reichweite der Absenktrichter prognostiziert werden. Es wurden daher zusätzliche Berechnungen mit dem bereits in der Gefährdungsabschätzung [1] genutzten Grundwassermodells gemacht, um den sich einstellenden Sickerwasserspiegel in dem begrenzten Raum der Verfüllung zu berechnen. Für weitere Details wird auf das Kapitel 4 verwiesen.

### 3.2.5 Brunnenbau mittels Horizontalspülbohrverfahren

#### 3.2.5.1 Verfahrensbeschreibung

Horizontalspülbohrverfahren, auch unter der Bezeichnung HDD-Verfahren (Horizontal Directional Drilling) bekannt, ist ein verlaufsgesteuertes Bohrverfahren, das u. a. für die Herstellung von Horizontalbrunnen eingesetzt werden kann. Im Kern besteht ein HDD-Bohrsystem aus der Bohrlafette, dem Bohrgestänge mit Bohrkopf und einer Mischanlage zur Herstellung der Bohrspülung, die u. a. den Austrag des Bohrgutes ermöglicht. Es handelt sich damit klassisch um ein Spülbohrverfahren.

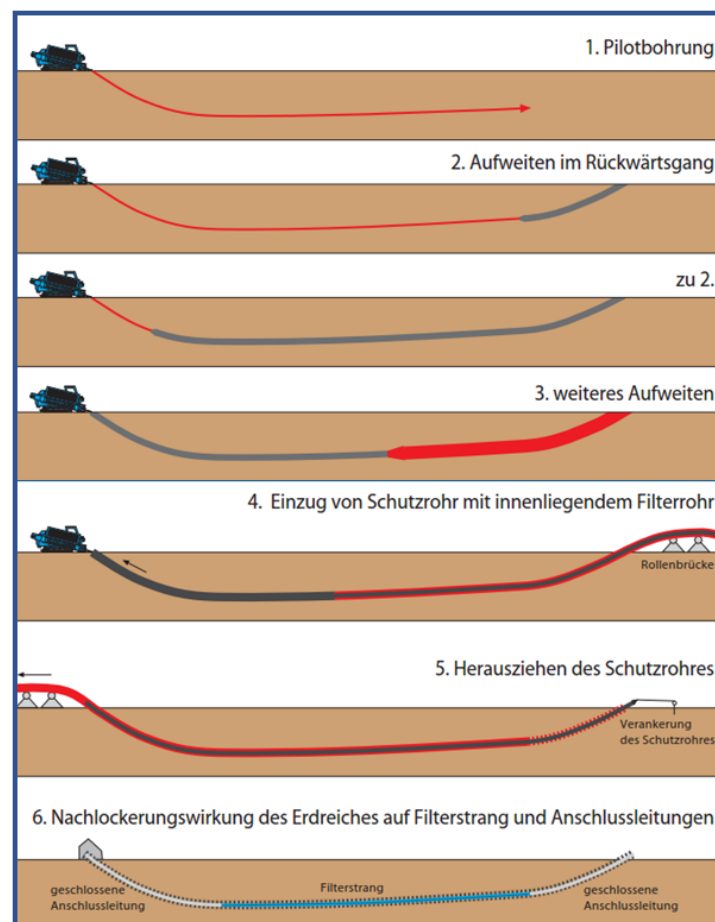
Erfahrungen bestehen gerade auch bei der Altlastensanierung, bei denen zur Grundwassersanierung z. B. größere Industriearae unterfahren werden müssen, um an die unter den Anlagen liegenden Kontaminationsbereiche zu gelangen.



**Abbildung 7:** Horizontalbrunnen mittels HDD-Verfahren in einer Halden-Gruben-Formation

Das für die HDD-Technologie entwickelte Horizontalbrunnenbauverfahren ermöglicht rein bohrtechnisch und aufgrabungsfrei eine optimale Verlegung von horizontalen Filterstrecken in wassererfüllten Bereichen. Dabei können die Filterstrecken bei Bedarf sogar einen gekrümmten Verlauf haben, sie können in beliebiger Länge, in beliebiger Tiefe und in beliebigem Durchmesser verlegt werden. Durch die Verwendung eines Hüllrohres beim Einzug der Filterkörper werden diese reibungs- und verschmutzungsgeschützt ins Erdreich bis in ihre geplante Verlegeposition im Aquifer eingebracht. Erst danach wird das Hüllrohr entkoppelt und vorsichtig herausgezogen.

Den Ablauf bei der Herstellung verdeutlicht die Abbildung 8. Es sind mindestens drei Arbeitsschritte erforderlich, die sich in die Pilotbohrung (Figur 1), einen oder mehrere Aufweitvorgänge (Figur 2+3) für die Vergrößerung des Bohrloches sowie den Einziehvorgang (Figur 4+5) mit Einbau eines Produktrohres oder wie im Fall der Horizontaldränage mit Einbau eines Schutzrohres mit innenliegendem Filterrohr (HD-PE) untergliedern. Bei letztgenanntem Anwendungsfall kommt noch ein vierter Arbeitsschritt hinzu, bei dem das Schutzrohr wieder gezogen wird und der verbleibende Spalt zu einer die Dränagewirkung fördernden Auflockerung führt.



**Abbildung 8:** Arbeitsvorgänge bei der Herstellung von HDD-Dränagen

[Bildquelle: Brunnenbau im HDD-Verfahren, bbr 5/2006]

Im Unterschied zu den bislang erörterten Verfahren muss bei der HDD-Bohrung zwingend eine Bohrunterstützung durch stabilisierende Spülmischungen vorgenommen werden. Dabei hat die Bohrspülung die Aufgabe, das Bohrklein durch den Ringraum nach Übertage zu fördern, das Bohrloch zu stabilisieren, die hydraulische Lösearbeit (Lockergestein) an der Ortsbrust zu ermöglichen sowie die Schmierung des Bohrstranges und erforderlichenfalls bei Felsgestein die Kühlung des Rollenmeißels sicherzustellen. Für die Bohrungen sollten keine Bentonitpülungen verwendet werden, sondern nur spezielle Brunnenbau-Bohrspülungen (z. B. Polysaccharide, spezielle synthetische Polymere, spezielle Spülmischungen).

Mit den heute verfügbaren Horizontalbohrgeräten kann auch eine heterogen aus unterschiedlichen mineralischen Materialien zusammengesetzte Auffüllung durchteuft werden. Selbst verfestigte Zonen lassen sich mit dem beim HDD-Bohren von Fels eingesetzten Bohrköpfen und Mudmotoren durchörtern. Allerdings werden dazu entsprechend leistungsfähige Bohrgeräte mit ausreichendem Zugvermögen zum Einziehen der Rohre bzw. Schub-/Druckvermögen zum Vorschub des Bohrgestänges sowie ein optimales Drehmoment für die Bohrköpfe benötigt. Dementsprechend wird für die Aufstellung der Bohrgeräte ein hinreichend großer Bohrplatz benötigt, hier sind Geräte in der Klasse von  $\geq 40$  t (Platzbedarf rund  $80 \text{ m}^2$ ) anzusetzen.

Wesentlich für den Einsatz der HDD-Technik ist auch der Eintritts- und Austrittswinkel, der einerseits von den gerätetechnischen Randbedingungen und andererseits vom verwendeten Rohrmaterial abhängt. Hier wird angenommen, dass die Filter- und Vollrohre aus PE-HD-Material bestehen und diese zum Einbau horizontal liegender Unterwasserpumpen (Durchmesser  $\leq 3$  Zoll) einen Mindestdurchmesser von DA 250x22,7 PE 100 SDR 11 aufweisen sollten. Für den äußeren Schutz und als Zugelement kann ein Stahlrohr mit einem entsprechend auf das Filterrohr angepasstem Innendurchmesser eingesetzt werden. Bei biegeweichen Rohren kann der Eintrittswinkel zwischen  $15^\circ$  und  $30^\circ$  betragen, für den Austrittswinkel sollten  $10^\circ$  bis  $20^\circ$  eingehalten werden.

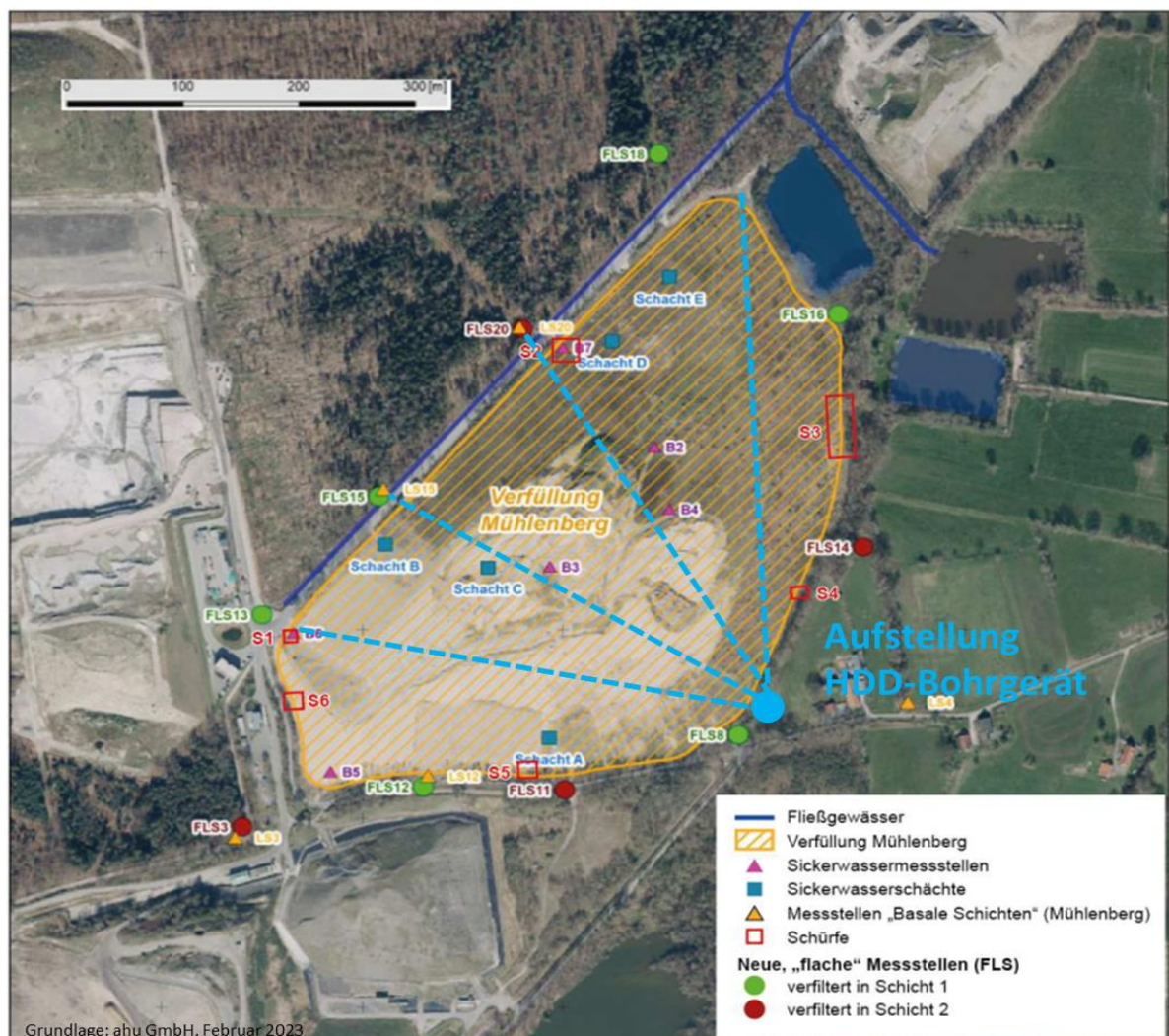
Die Bohrstrecke ist bei den heutigen Anlagen im Hinblick auf die Längserstreckung der Verfüllung Mühlenberg kein limitierender Faktor, der Verfüllkörper könnte in Längsrichtung und natürlich auch in Querrichtung durchbohrt werden.

Ein wesentliches Element für die Steuerung der HDD-Bohrungen stellt die Ortung dar. Sie kann dazu genutzt werden, Abweichungen der Bohrachse von der geplanten Sollachse durch Permanentmessungen an der Oberfläche festzustellen und dem Abdriften durch Gegensteuerung der Bohrgarnitur entgegenzuwirken.



### 3.2.5.2 Anwendbarkeit für die Verfüllung Mühlenberg

Das für die HDD-Technologie entwickelte Horizontalbrunnenbauverfahren ermöglicht den Einbau von horizontalen Filterstrecken im sickerwassergefüllten Bereich der Verfüllung. Dabei können die Filterstrecken bei Bedarf sogar einen gekrümmten Verlauf haben (gesteuertes Richtbohren), sie können relativ genau in der vorab definierten Tiefe angeordnet werden. Durch die Verwendung eines Hüllrohres (Schutzrohr) beim Einzug der Dränagerohre können diese geschützt in den Verfüllkörper eingebracht werden. Erst danach wird das Hüllrohr entkoppelt und vorsichtig herausgezogen. Dieser Verfahrensschritt erzeugt einen Ringraum, der zu einer Auflockerung der in vorlaufenden Arbeitsschritten verdrängten und kompaktierten Bohrwand führt. Damit erhöht sich die Wegsamkeit im Verfüllkörper und damit der Zufluss zum Filterrohr.



**Abbildung 9:** Anordnung der HDD-Brunnenstränge und Aufstellplatz für das Bohrgerät

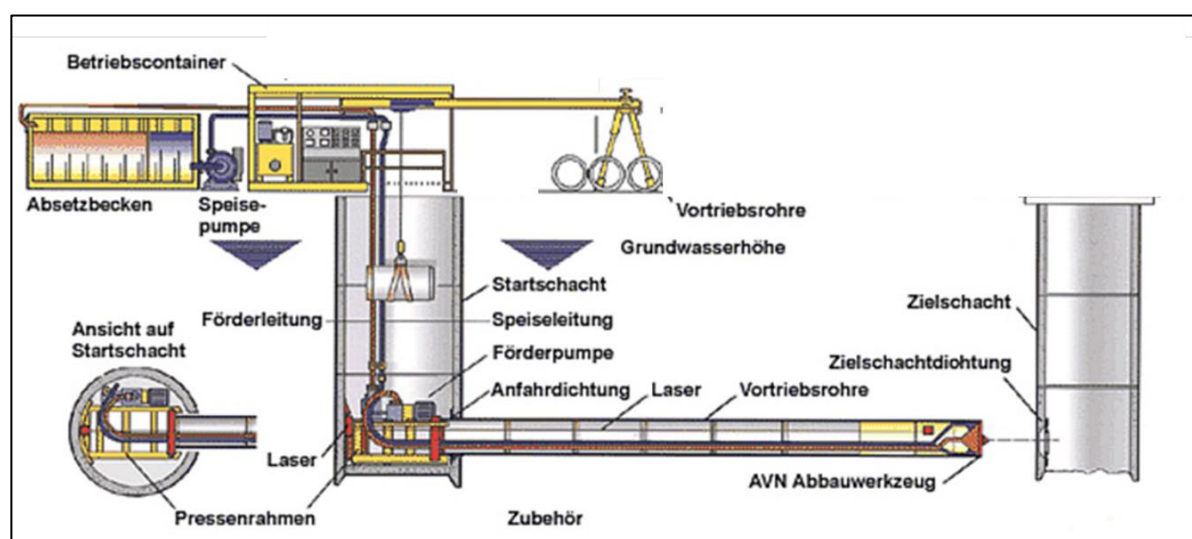
Der Vorteil dieses Verfahrens im Fall der Verfüllung Mühlenberg besteht darin, dass der zentrale Sickerwassersammelschacht außerhalb des Verfüllkörpers errichtet wird und nur über einen homogenen, gut erkundeten Baugrund bis in eine Tiefe von etwa 20 m abgeteuft werden muss. Die Risiken, die sich bei einer vergleichbaren Bauweise in der heterogenen, im Hinblick auf die Zusammensetzung und mechanischen Eigenschaften weitgehend unbekanntem Verfüllung ergeben, sind erheblich und stellen dort einen signifikanten Nachteil dar.

Bereits an dieser Stelle muss jedoch angemerkt werden, dass der Einsatz dieses Verfahrens wirtschaftlich nicht darstellbar sein wird.

### 3.2.6.1 Verfahrensbeschreibung

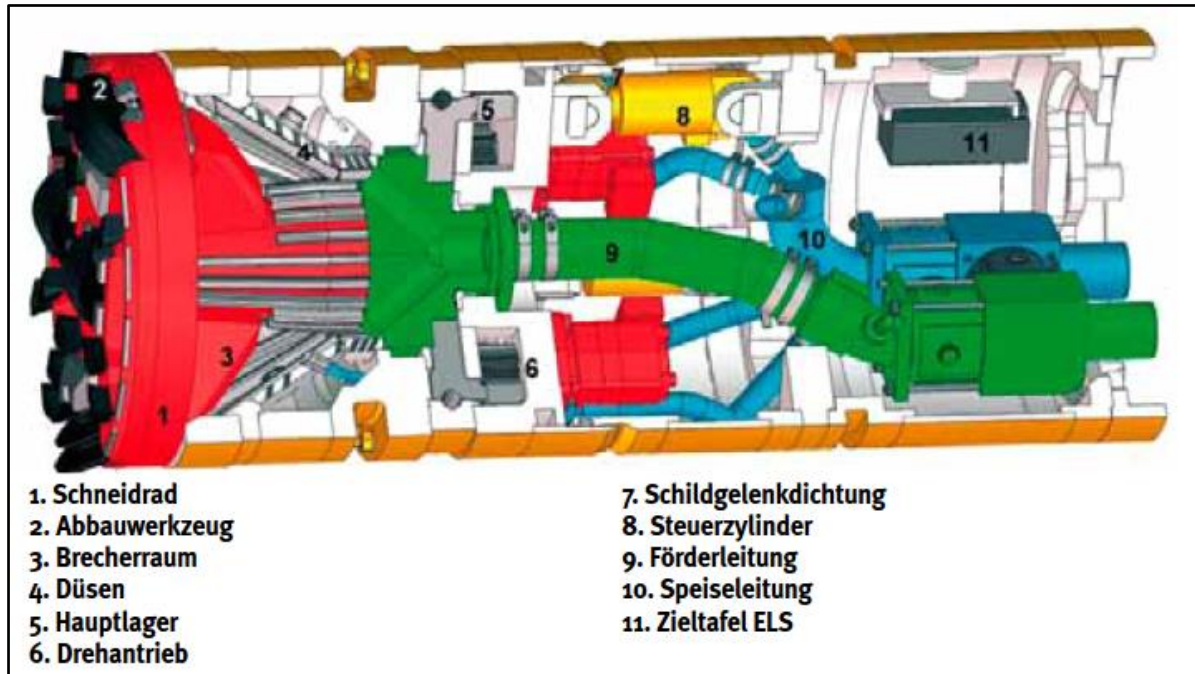
Der unbemannte Mikrotunnelbau mit Spülförderung ist ein gesteuerter Rohrvortrieb von Schutz- oder Produktrohren bei gleichzeitigem vollflächigem Materialabbau an der flüssigkeitsgestützten Ortsbrust. Der Vortriebskopf ist als Vollschnittmaschine konzipiert, so dass während der Drehbewegungen des hydraulisch angetriebenen Schneidrades die volle Ortsbrust bearbeitet wird. Während des Vortriebes kann das Schneidrad der Maschine in beiden Richtungen gedreht werden, dadurch lässt sich einer möglichen Verrollung entgegenwirken. Der Konusbrecher der Maschine funktioniert nach dem "Kaffeemühlen"-Prinzip. Der Boden wird mit dem Spülmedium vermischt und anschließend über die Förderpumpe(n) durch die Förderleitung zur Oberfläche transportiert.

Die Bodenförderung erfolgt kontinuierlich auf hydraulischem Wege. Die Art des Fördermediums muss dem Baugrund und den hydrologischen Verhältnissen angepasst werden. Der Anwendungsbereich erstreckt sich in Abhängigkeit von der Nennweite auf Vortriebslängen bis 800 m im Locker- und Festgestein mit und ohne Grundwasser.



**Abbildung 10:** Verfahrensprinzip bei Microtunneling-Verfahren

Für den Betrieb in bindigen Böden ist eine Hochdruckbedüsung einsetzbar. Die Position- und Lageerkennung wird über das lasergestützte Vermessungssystem ermöglicht.



**Abbildung 11:** Systemskizze Microtunneling-Vortriebskopf AVN 300

(Bildquelle: Firma Herrenknecht AG, Schwanau)

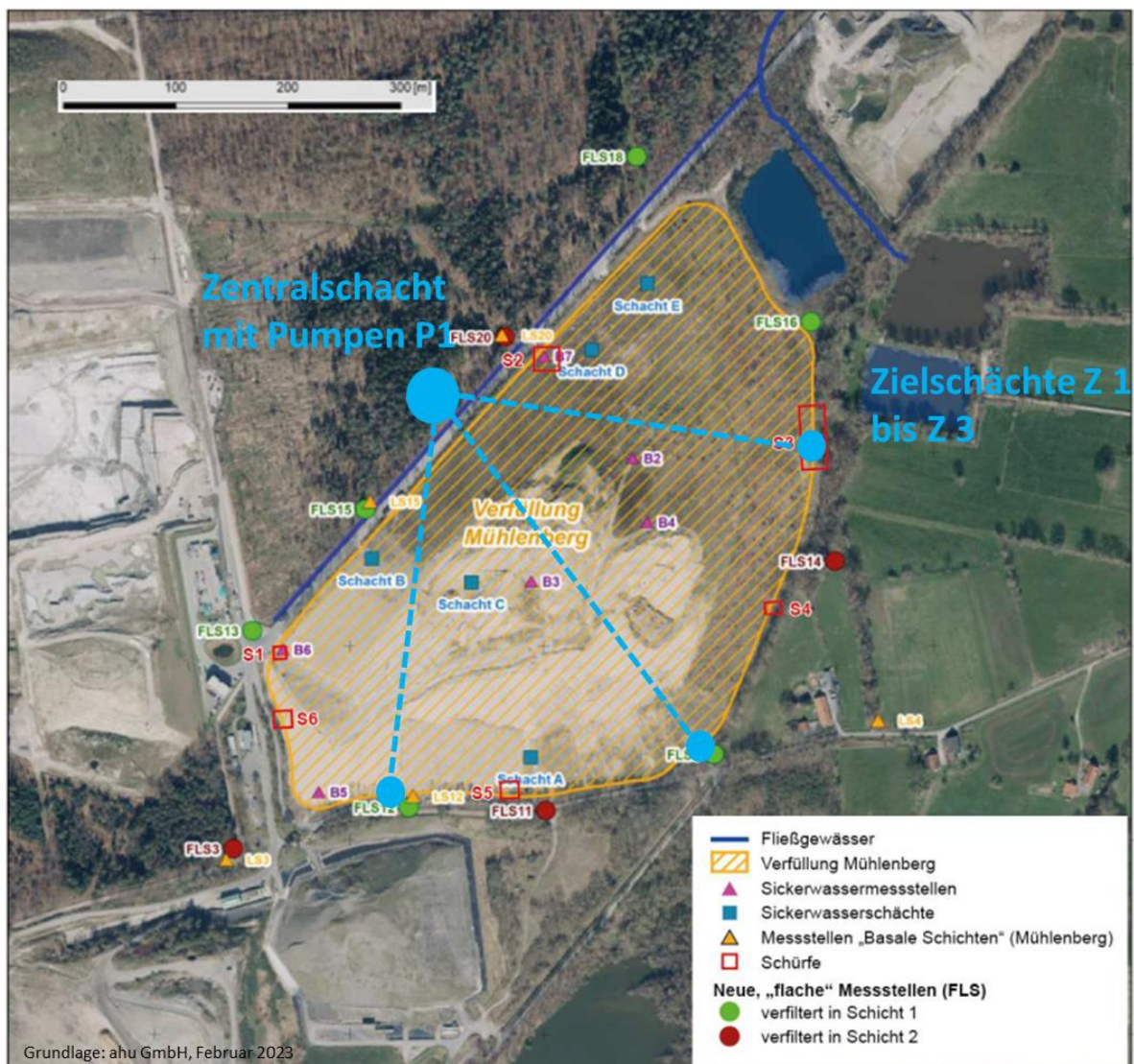
Die Vermessung der Vortriebsmaschine erfolgt kontinuierlich über Laserstrahl, Zieltafel und Auswertungscomputer bzw. Kreiselkompass und Schlauchwasserwaage. Notwendige Richtungs- und Höhenänderungen können durch das hydraulisch schwenkbare Steuerteil ermöglicht werden.

### 3.2.6.2 Anwendbarkeit für die Verfüllung Mühlenberg

Eine Möglichkeit zur Realisierung ist in der Abbildung 12 dargestellt. Die Startgrube wird neben der Zufahrtsstraße Eichenallee positioniert, die Zielschächte liegen in bzw. neben dem die Verfüllung Mühlenberg umfassenden Wirtschaftsweg.

Das Microtunneling-Verfahren besitzt technische, umweltfachliche auch wirtschaftliche Randbedingungen, die den Einsatz für die Schaffung eines Sickerwasserentnahmesystems für die Verfüllung Mühlenberg fraglich erscheinen lassen.

Technisch ist das Verhältnis von Vortriebslänge zum Durchmesser der Maschine ein limitierender Faktor, d. h. erst mit größerem Durchmesser können auch längere Strecken durchfahren werden. Im vorliegenden Fall müssen etwa 500 m durchörtert werden, so dass hier über zusätzliche Maßnahmen zur Reduktion der Mantelreibung (Bentonitzugabe) nachgedacht werden muss. Durch eine solche Zugabe wird allerdings die Durchlässigkeit des umgebenden Materials vermindert.



**Abbildung 12:** Anordnung von Start- und Zielschächten beim Microtunneling-Verfahren

Gravierender wird der Umstand eingeschätzt, dass die Verfüllung seitlich unterhalb des Grund- bzw. Sickerwasserspiegels angefahren wird. Damit wird entlang der Rohrachse eine Wegsamkeit für den Austritt von Sickerwasser geschaffen, die erforderlichenfalls durch zusätzliche Maßnahmen unterbunden werden muss. Solche Durchdringungspunkte sind kaum kontrollierbar, der Nachweis einer dichten Umschließung des in diesem Bereich als Vollrohr ausgebildeten Sickerwasserstranges ist nur indirekt mit hohem Aufwand, z. B. Injektionstechnik, möglich.

Gleichwohl bleibt es ein Vorteil, dass das Sickerwasser nicht mehr durch technische Anlagen (Pumpen) aus dem Verfüllkörper ausgeschleust werden muss, sondern in freier Vorflut dem zentralen Entnahmeschacht zuläuft. Nur dort ist ein Pumpbetrieb erforderlich.

Der sicherlich schwerwiegendste Nachteil sind die hohen Investitionskosten für die Realisierung bei der Verfüllung Mühlenberg, die sehr schnell die kritische Frage nach der Verhältnismäßigkeit dieser Vorgehensweise aufkommen lässt.

### 3.3 Variantenvergleich

Die Varianten für die Ertüchtigung / dauerhaften Entwässerung der Verfüllung werden nachfolgend bezüglich der in Kap. 3.1 erläuterten Kriterien bewertet:

#### a) Technische Aspekte

Bei der *Funktionalität* der erläuterten Verfahren, d. h. der Leistungsfähigkeit hinsichtlich der großräumigen Erfassung des über eine Grubenfläche von 21,6 ha sich erstreckenden Sickerwasservorkommens, wird die horizontale Dränierung gegenüber den punktuell angeordneten vertikalen Dränelementen als wirksamer bewertet. Die ermittelten Durchlässigkeitswerte für den Verfüllkörper reichen von der Klassifizierung „gering durchlässig“ bis „durchlässig“ (Mittelwert bei  $6,2 \cdot 10^{-6}$  m/s). Die Entwässerbarkeit des Verfüllkörpers muss daher als niedrig klassifiziert werden. Dieser Aspekt zeigt sich auch in der theoretischen Reichweite der Absenkkurve, die bei radialsymmetrischer Anströmung eines Vertikalbrunnens die Effektivität deutlich limitiert.

Demzufolge wird ein linienförmig den gesamten wassererfüllten Körper durchlaufendes Dränelement eine schlitzartige Absenkung und demzufolge eine höhere Wirksamkeit entwickeln als ein punktuell wirkendes Vertikalelement. Hinzu kommt, dass eine Liniendränage die lateralen Veränderungen in der Durchlässigkeit besser auszugleichen vermag.

Ein Vorteil vertikaler Bohrbrunnen ist in Verbindung mit schwebenden Sickerwasserhorizonten auf undurchlässigen Sperrschichten zu erkennen, wenn es mit einer Durchörterung stauender Horizonte gelingt, die vertikale Entwässerung mittels Schwerkraft zu verbessern.

Kritisch könnte beim HDD-Verfahren der liegende Einbau der Unterwasserpumpen gesehen werden. Der Einsatz auch horizontal wirkender Unterwasserpumpen beim HDD-Verfahren stellt zwar beim Ein- und Ausbau eine betriebliche Erschwernis dar, bedingt aber keine Minderung in der Pumpleistung und stellt somit keinen die Funktionalität einschränkenden Nachteil dar.

In Bezug auf die Ableitung der Sickerwässer besteht für das Microtunneling-Verfahren (MT-Verfahren) mit einem großen Zentralschacht im Norden der Verfüllung eine optimale Anbindung an die Sickerwasserreinigungsanlage. Nach Hebung des Sickerwassers aus dem Zentralschacht kann das Abwasser in einer Freispiegelleitung ablaufen. Demgegenüber steht das HDD-Verfahren, bei dem erst die einzelnen Dränagestränge zusammenzuführen sind und aufgrund der topographischen Situation eine Druckleitung zur Sickerwasserreinigungsanlage erforderlich wird. Für die innerhalb der Verfüllung zu realisierenden Varianten ist die Förderhöhe durch Anordnung der zentralen Abwasserleitung zur Sickerwasserreinigungsanlage auf der Plateaufläche größer als beim HDD- bzw. MT-Verfahren.

Komplexer stellt sich die Bewertung der technischen *Realisierbarkeit* dar. Hier ist den Varianten, die innerhalb der Verfüllung, d. h. auf der Plateaufläche durchgeführt werden können, sicherlich der Vorzug einzuräumen. Mit der mehr als 10 ha großen Plateaufläche steht eine für jedes Verfahren mehr als ausreichende Baustelleneinrichtungs- und Lagerfläche zur Verfügung. Beim HDD- und MT-Verfahren werden außerhalb der Verfüllung größere Areale benötigt, auf denen dann die Horizontalbohrgeräte (HDD) mit Bohrkopf und Bohrgestänge unterzubringen sind und am Ende der Bohrung dann Montage-/Vorfertigungsplätze für die im Rückschritt kontinuierlich einzuziehenden Leitungen (Schutz- und innenliegend Dränagerohre) mit Längen bis 500 m vorzusehen sind. Für das Einbringen der Microtunnel-Bohrmaschinen muss der Zentralschacht auf einer Fläche außerhalb der Verfüllung errichtet werden. Hinzu kommt der Platzbedarf für die Lagerung der Schutzrohre.

Im Hinblick auf die bauverfahrenstechnische Realisierung werden Varianten, bei denen Schächte abzuteufen sind, wegen der baugrundbezogenen Aspekte wie etwa dem Umgang mit Hindernissen gegenüber den Bohrverfahren als ungünstiger bewertet. Besonders kritisch ist dieser Aspekt beim Abteufen neuer Schächte in der Anschüttung, zumal hier Tiefen > 45 m bis zum Erreichen der Grubensohle zu betrachten sind.

Auch wenn es sich um anerkannte Verfahren nach Stand der Technik handelt und hierzu auch ausreichende Erfahrungen vorliegen, bleibt hier ein größeres Restrisiko.

Bei allen Verfahren ist eine größere Anzahl anerkannter Bau-/Bohrfirmen im Markt vorhanden, allerdings sind HDD- und MT-Verfahren und auch der Horizontalfilterbrunnenbau mit Einsatz von Microtunneling-Bohrgeräten in der Regel nur von Spezialfirmen zu leisten.

In der Frage der *Robustheit* der Verfahren bei möglichen Störungen des Bauablaufs bei Eingriffen in den heterogenen, mechanisch schwer definierbaren Körper wird die Anpassungsfähigkeit während der Ausführung als wichtiges Kriterium gesehen. Hier sind hochtechnisierte Varianten wie das HDD- und MT-Verfahren gut geeignet, um mit verfestigten Schichten umzugehen, da als Reaktion prinzipiell Bohrköpfe ausgetauscht, spezielle Werkzeuge (z. B. Mudmotoren für Bohrungen in felsähnlichem Material) eingesetzt und gerätetechnische Umbauten standardmäßig vorgenommen werden können.

Das klassische Trockenbohrverfahren stößt hier eher an Grenzen, wenn z. B. größerer Bauschutt in tieferen Lagen gefunden wird. Zwar besteht im ungünstigsten Fall eine Umrüstungsmöglichkeit auf Spülbohrverfahren, dies ist aber im Hinblick auf die abgelagerten Stoffe und die Umweltauswirkungen nicht unbedingt wünschenswert.

Die *Reparierbarkeit* der baulichen Sickerwasserfassungen einschließlich der zugehörigen Anlagentechnik sollte sich möglichst einfach darstellen. In Bezug auf die Regenerierbarkeit der Filterrohre ist das Erreichen der tieferliegenden Horizontaldränagen über Schächte eine besondere Herausforderung, da die Arbeiten grundsätzlich unter dem Sickerwasserspiegel erfolgen müssen.

Beim HDD-Brunnen kann die an der Geländeoberfläche endende Dränage mit Spülfahrzeugen direkt angefahren werden. Bei den Vertikalbrunnen ist eine Erreichbarkeit über den Wirtschaftsweg auf die Plateaufläche zwar wegen der Steilheit etwas aufwendiger, aber dennoch gut zu realisieren.

Der Austausch der Unterwasserpumpen ist bei den in Schächten oder vertikalem Brunnenrohr installierten Geräten mittels Winde oder Kran einfach möglich. Als etwas weniger gut zugänglich sind die horizontal eingebauten Pumpen beim HDD-Verfahren zu sehen, da hier ein beidseitiges Zugseil für Aus- und Wiedereinbau eingesetzt werden muss.

#### b) Zeitliche Aspekte

Eine rasche Realisierung der Absenkung des Sickerwassers in der Verfüllung ist vor dem Hintergrund des möglichen Austrages in die angrenzenden Grundwasservorkommen wünschenswert.

Die Realisierungsdauer für die Herstellung der Horizontalfilterbrunnen oder der Horizontalverfahren HDD bzw. MT wird wegen der komplexeren bautechnischen Anforderungen deutlich höher als beim Bohrbrunnenbau eingeschätzt. Die aufwendigere Bauweise bietet zwar ein höheres Maß an Sicherheit, das gesetzte Ziel zu erreichen, nimmt aber tatsächlich deutlich mehr Zeit in Anspruch.

Bei den Bohrbrunnen wird bei störungsfreier Realisierung eine Bauzeit von wenigen Wochen bzw. bei der voraussichtlich zielgerichteten Herstellung mehrerer Bohrbrunnen von 6 bis 9 Monaten zu erreichen sein. Ähnlich verhält es sich mit dem Schachtbrunnenbau, bei dem je nach Brunnenzahl ein Ausführungszeitraum von 15 Monaten nicht überschritten werden sollte. Vorgenannte Zeitrechnungen sehen die schrittweise Herstellung vor, der Einsatz mehrerer Bohrgerät oder Seilbagger für das Abteufen ermöglicht eine Reduktion.

Für die beiden Horizontalfilterbrunnen kann bei optimalen Randbedingungen und gleichzeitigem Parallelbau eine Bauzeit von 18 Monaten eingehalten werden.

Verfahrensbedingt sind Beschleunigungsmaßnahmen bei der HDD- oder MT-Bauweise im vorliegenden Fall nicht erreichbar, so dass hier nach derzeitiger Einschätzung eine Bauzeit > 1,5 Jahren anzunehmen ist.

#### c) Umweltfachliche Aspekte

Eingriffe in die Verfüllung Mühlenberg sollten unter dem Gesichtspunkt der Emissionsvermeidung und der Abfallminimierung in einem möglichst geringen Umfang erfolgen.

Mit dem Bohrbrunnenbau wird dieser Vorgabe sehr gut entsprochen, da die Emissionen (Staubverwehung, Lärmentwicklung) aufgrund der geringen Aushubmengen beim Trockenbohrverfahren örtlich begrenzt bleiben, das Aushubgut bis zum Erreichen der Sickerwassererfüllten Zone trocken anfällt und in der Regel – bei Einhaltung der Zuordnungswerte – ohne weitere Aufbereitung sofort auf der benachbarten Deponie Eichenallee entsorgt werden kann. Bei Arbeiten im Sickerwasserbereich muss das Aushubmaterial vor der Deponierung an den Anfallstellen zur Entwässerung in Absetzmulden zwischengelagert und das abgetrennte Sickerwasser gesondert entsorgt werden. Bei der Herstellung von Schächten im Absenkverfahren gelten diese Vorgaben entsprechend, hier fallen aber größere Aushub- und Sickerwassermengen an.

Beim HDD-Verfahren wird eine Spülbohrung eingesetzt, um das schräge oder liegende Bohrloch gegen Verfall zu stützen. Das Bohrgut wird dabei mit der Spülung ausgetragen und muss nach Erreichen der Tagesoberfläche separiert werden. Die dafür erforderliche Aufbereitungstechnik ist aufwendig, zumal erschwerend der Aspekt des Umganges mit kontaminiertem Material zu berücksichtigen ist. Anfallendes Bohrgut ist durch die Spülflüssigkeit (Polymer-Wasser-Gemische) verunreinigt und muss vor der Ablagerung erforderlichenfalls stabilisiert werden. Insgesamt ist das Verfahren im Hinblick auf die entstehende Abfallmenge und Entsorgungsthematik kritisch zu sehen, allerdings am Standort Eichenallee zu handhaben.

Beim MT-Verfahren erfolgt die Förderung des Bohrgutes mit dem Wasserstrom aus der Verfüllung unterstützt durch Spülwasser, das für das Lösen der Bohrgutes an der Ortsbrust mit Hochdruck eingedüst wird. Auch hier muss eine Trennung von Bohrwasser und Bohrgut erfolgen, um eine Abfallentsorgung der festen Fraktion vornehmen zu können. Das Spülwasser muss aufgrund des Kontaktes mit dem Verfüllmaterial als potenziell kontaminiert angesehen werden, eine abwassertechnische Nachbehandlung wird erforderlich werden.

Insgesamt werden die Umweltauswirkungen hinsichtlich Emissionen, Abfall- und Abwasseranfall bei HDD- und MT-Verfahren als erheblich im Vergleich zum Bohrbrunnenbau bewertet.

Ein weiterer Aspekt, der hier in die Kategorie möglicher Umweltauswirkungen eingeordnet wurde, ist der Umstand, dass beide Verfahren von außen durch die bestehende seitliche Abdichtung (Tonkeil) – HDD-Verfahren – oder tiefer durch den natürlich anstehenden Ton – MT-Verfahren – bohren. Im erstgenannten Fall liegt der Durchstoßpunkt oberhalb des Sickerwasserspiegels, beim Microtunneling wird der Ansatzpunkt jedoch unter dem Sickerwasserspiegel der Verfüllung liegen. In beiden Fällen werden die Barrieren, die dem Grundwasserschutz dienen, beeinträchtigt. Während beim HDD-Verfahren eine nachträgliche Wiederherstellung der Abdichtung durch einen Schurf möglich ist, die visuell überprüft werden kann, kommen beim MT-Verfahren nur indirekte Methoden beim rückschreitenden Ausbau des Schutzrohres und gleichzeitiger Verpressung des Ringraumes um das Vollrohr (Endstück des Filterstranges) in Frage. Eine visuelle Kontrolle der dichtschließenden Einbindung des Vollrohres im Durchstoßpunkt ist nicht möglich, was einen erheblichen Nachteil gegenüber anderen Verfahren beinhaltet. Insoweit ist der innerhalb der Verfüllung errichtete Horizontalfilterbrunnen eindeutig vorzuziehen.



#### d) Arbeitsschutzbezogene Aspekte

Die arbeitsschutzbezogenen Risiken bei der Realisierung der hier beschriebenen Verfahren werden durch die korrekte Befolgung der berufsgenossenschaftlichen Vorschriften auf ein akzeptables Maß begrenzt. Das eingesetzte Personal ist fachlich mit den jeweils auszuführenden Arbeitsschritten vertraut, besondere Erschwernisse werden hier nicht unterstellt.

Anders sieht es mit der Wartung und Kontrolle der Entnahmeeinrichtungen aus. Der Einstieg in Schächte, in denen im Sohlbereich Sickerwasser aus der Verfüllung gefördert wird, und die Funktionsüberprüfung der dort installierten Armaturen (z. B. Absperrschieber für die Horizontalfilter) stellen eine betrieblich bedingte Aufgabe dar, die erhöhte Arbeitsschutzmaßnahmen erfordert.

Auch notwendige Regenerierungsmaßnahmen, bei denen die Durchlässigkeit der Filterrohre wiederhergestellt werden soll, sind bei den Horizontalfilterbrunnen und beim MT-Verfahren arbeitsschutztechnisch wegen der notwendigen Tätigkeit unter dem Sickerwasserspiegel kritisch zu sehen.

#### e) Betriebliche Aspekte

Unter diesem Kriterium sind besonders die Dauerhaftigkeit der Bau- und Anlagentechnik, d. h. der langfristige Funktionserhalt, und die Möglichkeit zum Ersatz einzelner Komponenten zu bewerten.

Hierbei dürften zunächst die Vertikalbrunnen einen gewissen Vorteil besitzen, da sie immer nur in einer Gruppierung baugleicher Einheiten auftreten. Versagt ein Brunnen, weil er z. B. durch Verockerung irreparabel beeinträchtigt wird, ist der Ersatz dieses Brunnens durch Neubau verhältnismäßig einfach zu erreichen.

Versagen jedoch die Horizontaldränagen langfristig, kann die Entwässerung der Verfüllung nicht mehr gewährleistet werden. Der Ersatz ist aufwendig, erhebliche Anteile der ursprünglichen Investition sind erneut zu tätigen.

Die Vertikalbrunnen und die HDD-Brunnen zeichnen sich zudem durch eine vergleichsweise einfache Fördertechnik aus. Hier kann berechtigt erwartet werden, dass die Unterwasserpumpe nach Erreichen ihrer Lebensdauer durch gleichartige Exemplare ausgetauscht werden kann.

#### f) Genehmigungsrelevante Aspekte

Komplexe Bauverfahren erfordern erfahrungsgemäß umfangreichere Genehmigungsverfahren, bei denen verschiedenste Träger öffentlicher Belange mitwirken müssen.

Bei den hier betrachteten Varianten stehen natürlich die Verfahren, die teilweise außerhalb der Verfüllung baulich umzusetzen sind, im Fokus, wenn es um Genehmigungen, gegebenenfalls erforderliche Gutachten und um die Zahl der mitwirkenden Träger öffentlicher Belange (TÖB) geht.

Ein Verfahren, das bereits im Rahmen der Gefährdungsabschätzung ausgeführt wurde, stellt der Bau von Bohrbrunnen dar. Die Maßnahme ist räumlich auf die Plateaufläche begrenzt, hat nur geringe Umweltauswirkungen, liegt in einem derzeit noch in der Entwicklung begriffenen Areal und bedarf nicht der Zustimmung Dritter für die Inanspruchnahme von Baustellenflächen. Schacht- und Horizontalfilterbrunnen auf der Plateaufläche werden ähnlich eingestuft.

Demgegenüber stehen die Varianten, die außerhalb des Areals der Verfüllung zusätzliche, derzeit forst- und landwirtschaftlich genutzte Flächen in Anspruch nehmen müssen. Hier sind nicht nur zusätzliche umweltfachliche Belange wie der Boden- und Grundwasserschutz gutachterlich zu prüfen, es ergeben sich gegebenenfalls zusätzliche Ausgleichsforderungen und im Hinblick auf das Genehmigungsverfahren werden eine größere Zahl von TÖB zu beteiligen sein. Da zudem Beeinträchtigungen in der Nachbarschaft nicht gänzlich auszuschließen sind, sind die Einspruchsmöglichkeiten Dritter zu beachten. Insoweit werden die Verfahren kritisch bewertet.

#### g) Variantenvergleich

Die Betrachtung der einzelnen Lösungsvarianten erfolgt mit einer beschreibenden Kurzbewertung und einer daraus abgeleiteten numerischen Bewertung (1 = niedrigster Wert, 5 = höchster Wert). Auf eine Wichtung der einzelnen Bewertungskriterien wurde verzichtet, weil damit eine weitere Bewertungsebene in den Abwägungsprozess eingeführt wird.<sup>2</sup>

Die Zusammenfassung der vorgenannten Bewertungen führt zu der folgenden Tabelle 7, bei der eine Punktbewertung mit Summenbildung vorgenommen wurde, um die Verfahrensauswahl zu erleichtern.

Die beste summarische Bewertung (höchste Punktzahlen) zeigen die Varianten mit Vertikalbrunnen innerhalb der Verfüllung sowie von der Geländeoberfläche aus zu bohrende HDD-Brunnen. Die HDD-Brunnen sind aber wegen der Notwendigkeit, Flächen außerhalb der Verfüllung in Anspruch nehmen zu müssen, unter dem Vorbehalt der Zustimmung Dritter zu sehen.

---

<sup>2</sup> Es wird vom Verfasser allerdings ausdrücklich anerkannt, dass nicht alle Kriterien den gleichen Stellenwert besitzen und daher eine Wichtung nicht ungerechtfertigt erscheint. Allein die Schwierigkeit einer fachlich einwandfrei begründbaren numerischen Gewichtungsbildung und die damit verbundene Gefahr einer ungewollten Ergebnisverzerrung führen letztlich zur Entscheidung für diese Vorgehensweise.

Die Horizontalfilterbrunnen liegen zwar vollständig innerhalb der Verfüllung, sind aber sicherlich auch wegen der Arbeiten im Schacht innerhalb des Verfüllkörpers als weniger günstig anzusehen. Das Microtunneling-Verfahren wird im Grund-/Sickerwasserbereich durchgeführt und birgt das nicht gänzlich zu reduzierende Risiko einer Kontamination durch seitlich entlang der Rohrachse austretendes Sickerwasser.

**Tabelle 7:** Punktebewertungen der Einzelkriterien

Kriterienkatalog	Schachtbrunnen	Horizontalfilterbrunnen	Bohrbrunnen	HDD-Brunnen	Microtunneling - Schachtbrunnen
Hauptkriterium					
Funktionalität	moderat	gut	moderat	gut	gut
	3	4	3	4	4
Realisierbarkeit	moderat	schwierig	gut	moderat	schwierig
	3	2	4	3	2
Robustheit	hoch	moderat	hoch	moderat	moderat
	4	3	4	3	3
Reparierbarkeit	moderat	aufwendig	einfach	moderat	aufwendig
	3	2	4	3	2
Realisierungsdauer	schnell	langsam	sehr schnell	moderat	sehr langsam
	4	2	5	3	1
Umweltauswirkungen	moderat	moderat	gering	hoch	sehr hoch
	3	3	4	2	1
Arbeitsschutz	einfach	aufwendig	sehr einfach	moderat	sehr aufwendig
	4	2	5	3	1
Dauerhaftigkeit	gut	moderat	gut	moderat	moderat
	4	3	4	3	3
Genehmigung	moderat	moderat	einfach	aufwendig	sehr aufwendig
	3	3	4	2	1
<b>Summe</b>	<b>31</b>	<b>24</b>	<b>37</b>	<b>26</b>	<b>18</b>

#### h) Kostenbetrachtung

Eine bei jeder Machbarkeitsstudie bedeutsame Frage ist die Bewertung der Kosten, die sich aus den Investitionen, aber auch – gerade im vorliegenden Fall – aus den langfristig auftretenden Betriebs- und Erhaltungskosten ergeben.

Da der Bau von ausführbaren Bohrbrunnen einen nur moderaten technischen Geräteaufwand bei kurzer Bauzeit bedeutet, ist dies die wirtschaftlich günstigste Variante hinsichtlich der Investitionskosten. Auch wenn derzeit in diesem Marktsegment eine erhöhte Nachfrage nach Bohrleistungen aller Art besteht und trotz ausreichender Zahl der Bohrunternehmen auf Grund Fachkräftemangels Engpässe bestehen, ist ein moderater Wettbewerb noch gegeben.

In ähnlicher Weise werden auch die Schachtbrunnen bewertet. Hier ist die Verfahrenstechnik bekannt, wobei allerdings eine Durchteufung von 45 m durchaus mit Risiken verbunden ist, die bei einer Investitionskostenrechnung nicht wirklich monetär abbildbar sind. Hier sind gegenüber den Bohrbrunnen etwas höhere Kosten anzusetzen.

Deutlich höhere Investitionskosten werden für sämtliche horizontal einzubauenden Dränagen gesehen, wobei auch hier die Risiken der Kostensteigerung durch erhebliche Zusatzaufwände nicht fassbar sind.

Unter der Annahme, dass die Kosten für die Weiterleitung zur Sickerwasserreinigungsanlage bei allen Verfahren nahezu identisch sind, wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt ein Kostenranking ohne abschließende Kalkulation<sup>3</sup> der Einzelaufwände vorgenommen:

Bohrbrunnen – Schachtbrunnen – HDD-Brunnen – Horizontalfilterbrunnen – Microtunneling
---

Die laufenden Betriebskosten für die dauerhafte Entnahme von in die Verfüllung einsickerndem Grund- und Niederschlagswasser stellen über längere Sicht eine erhebliche Belastung dar. Die für den Pumpbetrieb notwendige Energie dürfte dabei einen wesentlichen Anteil haben. Vor diesem Hintergrund dürfte auch die Überlegung nach einer Eigenstromversorgung über eine Freiflächen-Photovoltaikanlage auf der Plateaufläche der Verfüllung Mühlenberg durchaus interessant sein. Mit einer solchen Anlage können nicht nur die laufenden Stromkosten für die Sickerwasserförderung, sondern auch der (erhebliche) Energieaufwand für die Sickerwasserreinigung gedeckt werden. Bei dieser Anlage handelt es sich um eine 2-stufige Behandlungsanlage, bei der in der 1. Stufe eine chemische Abtrennung der Inhaltsstoffe mittels Fällung/Flockung und in der 2. Stufe eine physikalische Abtrennung mittels Ultrafiltration und Umkehrosmose betrieben wird. Die letztgenannten Anlagenteile erfordern sehr hohe Drücke, um das Wasser ohne die gelösten Inhaltsstoffe durch die Membran zu drücken (Reinwasser), während das restliche Sickerwasser aufkonzentriert wird.

In die Betriebskosten sind aber auch die Aufwände für Wartung und Instandhaltung einzurechnen. Bereits ausgeführt wurde, dass die Erreichbarkeit der horizontalen Dränage, die in Schächten installiert sind, schwierig ist, weil unter dem Sickerwasserspiegel gearbeitet werden muss. Beim HDD-Verfahren kann hingegen ebenerdig gespült werden, so dass die Regenerierung ohne erhebliche Aufwände durchgeführt werden kann.

<sup>3</sup> Für eine belastbare Kostenberechnung sind aufgrund der schwierigen Randbedingungen Vorplanungen erforderlich, die einen erheblichen Zeit- und Personalaufwand erfordern. Eine Kostenkalkulation erfolgt daher nur für die Vorzugsvariante.

### 3.4 Vorzugsvariante

Für die Realisierung eines dauerhaft angelegten Sickerwasserfassungssystems aus der Verfüllung Mühlenberg wurden verschiedene Varianten vorgestellt. Die vergleichende Betrachtung dieser Varianten führt zu der Erkenntnis, dass die langfristig optimal geeignete Lösung der Bau und Betrieb von Bohrbrunnen darstellt. Mit Hilfe dieser Brunnen und der darin installierten Tauchpumpen kann der Sickerwasserspiegel mit einem moderaten betrieblichen Aufwand dauerhaft auf einer Ruhewasserspiegelhöhe von etwa 37 m NHN gehalten werden. Aufgrund der geohydraulischen Verhältnisse ist damit sichergestellt, dass kein Sickerwasser aus dem Ablagerungskörper austreten kann.

Technisch gesehen handelt es sich bei der Förderung aus den vertikalen Bohrbrunnen nicht um die effizienteste Variante; hier sind die horizontal angeordneten Fassungssysteme zu bevorzugen, da sie eine bessere Flächenwirkung herbeiführen können. Horizontale Förderungen wären damit insbesondere in der Phase, in der das Ziel in der Absenkung des aktuell nachgewiesenen Wassereinstaus im Ablagerungskörper auf die Solltiefe liegt, eher zu bevorzugen. Nachdem aber die Verfüllung vollständig an der Oberfläche abgedichtet worden ist und der Wasserzutritt durch versickerndes Niederschlagswasser (sehr weitgehend) unterbunden wird, stellt diese Aufgabe nicht die eigentliche Herausforderung dar.

Daher können zunächst noch die heute vorhandenen Schachtbrunnen genutzt werden, die dann durch neue Bohrbrunnen ergänzt und später weitgehend ersetzt werden. Nach Erreichen des Absenkzieles mit einem Ruhewasserspiegel von 37 m NHN muss für dessen dauerhaften Erhalt nur die jährliche Sickerwasserneubildung, d. h. eine geringe prognostizierte Sickerwassermenge von rund 5.100 m<sup>3</sup>/a bis 5.300 m<sup>3</sup>/a, gepumpt werden.

Von größerer Bedeutung sind allerdings bei einer auf Dauer angelegten Maßnahme die Fragen nach der Wartung und dem langfristigen Erhalt der Fördersysteme und dem dafür entstehenden technischen, betrieblichen und sicherlich auch wirtschaftlichen Aufwand. Zu unterscheiden ist dabei zwischen den baulichen Komponenten und der Anlagentechnik (Pumpen, Steuerungen etc.).

Bohrbrunnen können baulich mit einem Standard-Bohrgerät, einer seit vielen Jahrzehnten erprobten Bohrtechnik mit Verrohrung auch in schwierigen Untergründen und bautechnisch unter Einsatz widerstandsfähiger, langlebiger PE-HD-Brunnenrohre sowie inertem Filtermaterial (Quarzkies, Glasperlen- Beständigkeit ist zu prüfen) hergestellt werden. Der Bau solcher Brunnen in einem heterogenen Verfüllkörper stellt sicherlich eine bautechnische Herausforderung dar, wird aber als technologisch beherrschbar angesehen.

Bohrbrunnen weisen wie alle technischen Bauwerke eine begrenzte Lebensdauer auf, allerdings werden PE-HD-Materialien heute Standzeiten von deutlich mehr als 100 Jahren zugeschrieben. Korrosionserscheinungen durch Kontakt mit aggressiven Medien sind bei diesem Rohrmaterial nicht zu erwarten.

Zweifelsohne muss bei Bohrbrunnen über die Zeit mit Verockerungen gerechnet werden. Für die Beseitigung leistungsmindernder Ablagerungen an den Eintrittsöffnungen der Filterrohre, welche den Zustrom von Sickerwasser vermindern, existieren erprobte Verfahren (z. B. mittels Hochdruckspültechnik). Für sämtliche Maßnahmen zur Ertüchtigung von Bohrbrunnen liegen umfangreiche Erfahrungen aus Regenerierungsarbeiten an Grundwasser- und Deponiesickerwasserbrunnen vor; damit ist der langfristige Erhalt der Brunnen gewährleistet.

Zudem werden auch die Bohrfirmen wegen der technologischen Nähe zum Trinkwasserbrunnenbau langfristig verfügbar bleiben, so dass als unkompliziert angesehen wird, nicht nur die Brunnen zu regenerieren, sondern auch durch Neubau zu ersetzen. Ein Ersatz ist bei den gegebenen Platzverhältnissen – die neuen Bohrbrunnen sollen auf dem Plateau der Verfüllung errichtet werden – auch nach Ende der Rekultivierung möglich.

Auch die weiteren baulichen Installationen, dazu zählen u. a. die Sammelrohrleitungen und eine Transportleitung zur benachbarten Sickerwasserreinigungsanlage der Deponie Eichenallee, werden unter Nutzung der bereits genannten langlebigen PE-HD-Werkstoffe hergestellt. Erfahrungen aus dem Deponiebereich zeigen, dass auch nach 40 Jahren keine werkstoffbezogenen Verschleißerscheinungen zu erwarten sind. Insoweit wird der bautechnische Teil als langfristig haltbar, kaum verschleißanfällig, unter Nutzung vorhandener einfacher Technik gut wartbar und im Bedarfsfall mit geringem technischem und wirtschaftlichem Aufwand rasch ersetzbar angesehen.

Für die Anlagentechnik sind die Zeiträume bis zum Ersatz sicherlich kürzer anzusetzen. Für die Förderung des Sickerwassers werden Pumpen benötigt, die das durch aggressive Inhaltsstoffe verunreinigte Wasser fördern können. Gleichzeitig ist eine Steuerung erforderlich, die sich im betrieblichen Alltag schnell und effizient anpassen lässt. Solche Produkte sind am Markt verfügbar, da vergleichbare Anforderungsprofile in Deutschland in größerer Zahl gegeben sind und die Produkte auch in den kommenden Jahrzehnten benötigt werden. In vielen Fällen ist auch dort ein langfristiger Einsatz notwendig, so dass die Nachfrage noch weit in die Zukunft als gegeben anzusehen ist. Insoweit wird die Verfügbarkeit und der Ersatz der Anlagentechnik als unkritisch angesehen.

Zum Betrieb der Pumpen muss eine stabile Energieversorgung langfristig sichergestellt werden. Daher muss einerseits auf eine energetisch möglichst sparsame Pumpentechnik geachtet, andererseits aber auch die langfristige Sicherung der Stromversorgung sichergestellt werden. An dieser Stelle wird, ohne den Rahmen der Machbarkeitsstudie zu sprengen, auf die Möglichkeit zur autarken Energieversorgung über Photovoltaik hingewiesen. Im Fall der Verfüllung Mühlenberg mit einer Plateaufläche von mehr als 10 ha bietet sich eine solche Stromversorgung sowohl für den Betrieb der Pumpen als auch für die langfristige Nutzung der gesamten Tongrubenverfüllung und des Haldenkörpers für die Stromproduktion über eine Freiflächen-Photovoltaik-Anlage an.

Würde die Hälfte der Plateaufläche für die Errichtung einer solchen Anlage genutzt, wäre nach einer Faustformel eine Peak-Leistung von 5 MW sicher erreichbar. Für die später zum Erhalt der Absenkung erforderliche Fördermenge von etwa 5.100 m<sup>3</sup>/a bis 5.300 m<sup>3</sup>/a wird der nominale Energieaufwand für den Entnahmebetrieb auf etwa 20.000 kWh/a abgeschätzt.

Für die Sickerwasserförderung sollten mehrere baugleiche Pumpen mit Frequenzsteuerung eingesetzt werden, wobei die Pumpen nicht im Höchstleistungsbereich arbeiten müssen. Bei einer kontinuierlichen Förderung wären bei 5.200 m<sup>3</sup>/a Sickerwasserneubildung etwa 0,6 m<sup>3</sup>/h Sickerwasser zu fördern. Reduziert man die Förderzeit auf 40 % der Jahresgesamststunden, erhöht sich die Fördermenge auf rund 1,5 m<sup>3</sup>/h. Eine signifikante Spiegelerhöhung ist nicht zu besorgen, da bei der oben genannten Sickerwasserneubildungsrate, dem Ansatz einer Grundfläche der Verfüllung von 216.000 m<sup>2</sup> und einem nutzbaren Porenvolumen von 10 % ein jährlicher Zuwachs von 0,24 m/a errechnet wird. Selbst bei einer längeren Betriebsunterbrechung werden sich keine Spiegelhöhen einstellen, die das Ziel einer dauerhaften Sicherung konterkarieren.

Für gegebenenfalls notwendige Reparaturen der Pumpen und Steuerung können klassische Verbrauchsteile bevorratet werden, allerdings ist aus wirtschaftlichen Gründen der vollständige Ersatz der Pumpen mit einem moderaten betrieblichen Aufwand – Pumpe, Energie- und Förderleitungen müssen unter Nutzung eines Hebeegerätes aus dem Brunnenrohr gezogen werden – zielgerichtet, so dass mit Vorhaltung von ein oder zwei Reservepumpen ein nahezu unterbrechungsfreier Betrieb (= hohe Verfügbarkeit) zu gewährleisten ist.

Zur Minderung der betrieblichen Aufwände können die Tauchpumpen über eine Steuerungseinheit in der Brunnenstube auch eine automatisierte Übermittlung der Anlagendaten, insbesondere auch der Alarmmeldungen, gewährleisten. Der bautechnische Aufwand für den Einbau einer Fernüberwachung ist moderat und sollte zusammen mit der Verlegung der Sickerwasserförderleitungen mit einem Leerrohrsystem in Erwägung gezogen werden. Durch automatische Messwerterfassung der Sickerwasserspiegelhöhen in der Verfüllung und der Option einer Fernsteuerung der Pumpen kann der personelle Einsatz in Grenzen gehalten werden. Die Pumpenleistung kann im Bedarfsfall schnell angepasst werden, so dass Abweichungen von der geplanten Betriebsweise gut aufzufangen sind.

Die Sickerwasserableitung erfordert keine zusätzlichen Pumpen, allein die Druckhöhe zwischen Plateaufläche und Auslauf des Sickerwasserzischenspeichers vor der Sickerwasserreinigungsanlage beträgt bezogen auf die Plateaufläche mehr als 20 m.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit der langfristig zu verfolgenden Lösungsvariante, mit der das Sickerwasser aus der Verfüllung Mühlenberg sicher abgeführt werden kann, mit den Bohrbrunnen unter Beachtung der baulichen, anlagenspezifischen, wartungsbetrieblichen und einer anzustrebenden energieautarken Betriebsweise eine zweckmäßige Konzeption darstellt, deren Machbarkeit nicht grundsätzlich in Frage gestellt werden kann.

## 4 Anforderungen an die Realisierung der Vorzugsvariante

Für die weitere Betrachtung der Sickerwasserförderung aus der Verfüllung Mühlenberg wird eine zeitliche Untergliederung in zwei verschiedene Phasen erfolgen:

- *Phase 1* beinhaltet die Maßnahmen, die erforderlich sind, um den Sickerwasserspiegel in der Verfüllung von dem heutigen Ruhewasserspiegel (gemäß Angaben aus der Gefährdungsabschätzung im Mittel bei 43,1 m NHN) auf das Niveau 37 m NHN abzusenken. Dieser Zeitraum ist zeitlich begrenzt und sollte möglich kurz sein.
- *Phase 2* beinhaltet die Maßnahmen, die erforderlich sind, um den erreichten Sickerwasserspiegel dauerhaft auf diesem Niveau von 37 m NHN zu halten. Dieser Zeitraum ist zeitlich nicht begrenzt.

Die für die jeweilige Phase vorgeschlagenen Maßnahmen berücksichtigen sowohl die derzeit bestehenden Fördermöglichkeiten als auch die zukünftig zu realisierenden Bohrbrunnen.

### 4.1 Maßnahmen in der Phase 1

#### 4.1.1 Sickerwasserförderung

In der Phase 1 müssen in kurzer Zeit größere Mengen an Sickerwasser aus dem Verfüllkörper entnommen werden. Dazu eignen sich die heute bestehenden Schachtbrunnen sehr gut, da ihr Fassungsvermögen, das sich als Produkt aus der Filtermantelfläche und der maximalen Eintrittsgeschwindigkeit des Sickerwassers ergibt, deutlich größer als bei den Bohrbrunnen einzustufen ist. Für die vorhandenen Schachtbrunnen wurden im Rahmen der Gefährdungsabschätzung Pumpversuche durchgeführt, bei denen mit Bezug auf den für jeden Brunnen ermittelten Ruhewasserspiegel im Verfüllkörper eine kontinuierliche Förderung (bei einigen Pumpversuchen traten zeitweise Ausfälle auf, deren Einfluss auf die Ergebnisse nicht eindeutig bestimmbar war) mit gleichbleibender Förderrate (die Pumpen wurden etwa 2 m über die Schachtsohle positioniert) erreicht wurde.

Die durchgeführten Pumpversuche in der Gefährdungsabschätzung zeigen häufige Ausfälle der Messungen, die hauptsächlich gerätetechnischen Problemen (z. B. Ausfall der Datenlogger) und versuchsdurchführungsbezogenen Schwierigkeiten (z. B. kontinuierliche Aufrechterhaltung der Energieversorgung) zugeschrieben werden. Nicht auszuschließen sind auch Einflüsse, die sich aus dem Verfüllkörper (z. B. lokale Stauhorizonte) und stark unterschiedliche Durchlässigkeiten der eingebauten Abfallstoffe ergeben.

Der Verfüllkörper ist nicht als homogener, isotroper Körper anzusehen, sondern eher als stark in seiner Durchlässigkeit variierender Körper, in dem sich bevorzugte Fließwege ausbilden können und demzufolge den Schachtbrunnen unterschiedliche Sickerwassermengen zuströmen.



Allerdings konnte im Rahmen der Gefährdungsschätzung für jeden Schachtbrunnen belastbar die – bezogen auf den Versuchszeitpunkt – dauerhaft maximale Förderrate ermittelt werden (siehe Tabelle 8). Das heißt die Menge, in der sich näherungsweise ein Gleichgewichtszustand zwischen zuströmendem und gefördertem Sickerwasser einstellt.

**Tabelle 8:** Aus Pumpversuchen in [1] dauerhaft erreichbare Förderraten für die Schachtbrunnen A bis E

Schacht	Schachtdurchmesser [mm]	Ruhewasserspiegel [m NHN]	Förderrate $Q_{\text{Pumpvers}}$ [m <sup>3</sup> /h]
A	DN 1.000	37,77	0,4
B	DN 1.000	46,78	1
C	DN 2.000	42,88	1,3
D	DN 1.000	40,86	0,5
E	DN 1.000	41,66	0,6
Summe			3,8

Hinweis: Die Daten beziehen sich auf Untersuchungen im Frühjahr / Sommer 2022.

Im Hinblick auf die in [1] angegebenen Ruhewasserspiegel wird nicht eindeutig erkennbar, warum es innerhalb der Verfüllung diese Unterschiede gibt. Als Ruhewasserspiegel wird der sich nach Ende des Pumpversuches (Abschalten der Pumpe) einstellende Sickerwasserspiegel nach Wiederanstieg definiert. Dieser Vorgang ist in einem homogenen Körper eindeutig nachvollziehbar und kann, wie im Weiteren noch ausgeführt wird, rechnerisch modelliert werden. Der Unterschied von 9 m Einstauhöhe zwischen Schachtbrunnen A und B innerhalb der Verfüllung und auch der Unterschied zu den übrigen Schachtbrunnen ist nicht geklärt, könnte aber auf Inhomogenitäten und lokal wirksame Phänomene zurückzuführen sein.

Zur modellhaften Beschreibung dieser Messdaten kann unter Ausschaltung zahlreicher Einflussfaktoren vereinfachend auf einen theoretischen Ansatz mit der Brunnenformel nach Dupuit-Thiem zurückgegriffen werden. Der Wasserandrang zu einem Schachtbrunnen ergibt sich aus der Brunnenformel für einen ungespannten Aquifer mit unendlicher Ausdehnung auf einer undurchlässigen Sperrschicht mit folgender Gleichung:

$$Q = \pi \cdot k \cdot (H^2 - h^2) / \ln(R/r) \quad (1)$$

mit:

- h [m] : Wasserspiegelhöhe im Brunnen (Position der Pumpe)
- k [m/s] : Durchlässigkeitsbeiwert des Aquifers (nach DARCY)
- r [m] : Brunnenradius (radial angeströmter Bereich)
- H [m] : Durchflossene Mächtigkeit des ungespannten Aquifers (Ruhewasserspiegel)
- R [m] : Radialsymmetrische Reichweite der Absenkungen

Ein solcher Ansatz erlaubt die rechnerische Ableitung der Leistungsfähigkeit eines Brunnes, wenn man bei der Gegenüberstellung der berechneten Fördermenge und tatsächlichen Pumpergebnisse die ergebnisbeeinflussenden Vereinfachungen im Auge behält:

- Die Brunnenformel legt einen in der radialen Ausdehnung unbegrenzten Aquifer zugrunde, aus dem das über den Brunnen entnommene Wasser kontinuierlich ausgeglichen wird. Tatsächlich handelt es bei dem im Ablagerungskörper vorhandenen Aquifer um einen räumlich begrenzten Bereich, der von einem undurchlässigen Tonkörper seitlich und in der Tiefe umschlossen wird. In dieser „Wannenstruktur“ ist eine unbegrenzte Nachführung von Sickerwasser eben nicht gegeben. Daher kommt es bei einer Entnahme aus dem Körper zu einer kontinuierlichen Verringerung des gespeicherten Wassers, solange die Entnahmemenge größer als die Sickerwasserneubildungsmenge ist, und damit zu einem Absinken des Ruhewasserspiegels.
- Bei dem mit der Brunnenformel modellierten Aquifer wird ein homogener Porengrundwasserleiter zugrunde gelegt, der überall die gleiche Durchlässigkeit aufweist. Weder das im Ablagerungskörper der Verfüllung Mühlenberg eingebaute Material noch dessen Verteilung kann in Bezug auf das geohydraulische Verhalten als homogen bezeichnet werden, d. h. Zonen mit stärker ausgeprägten Fließbewegungen liegen neben solchen mit geringerer Strömung. Dieser Sachverhalt wird auch in der Schwankungsbreite der aus den Pumpversuchen ableitbaren Durchlässigkeitsbeiwerte (siehe Tabelle 9) deutlich.
- Die Brunnenformel beschreibt einen sogenannten Steady-State-Zustand, also einen im stabilen Gleichgewicht zwischen Entnahme und Zuführung befindlichen Zustand. Sie modelliert nicht den zeitabhängigen Vorgang, der zu einer schrittweisen Verringerung der Spiegelhöhe führt.

Zur Reichweite eines Brunnes, d. h. der Frage, wie weit sich der Einfluss der Absenkung in den unbegrenzten Aquifer erstreckt, sind die verschiedensten, zumeist empirisch ermittelten Formeln entwickelt worden. Eine häufig verwendete Formel zur Reichweitenabschätzung des Brunnens ist die empirisch abgeleitete und damit nicht dimensionsechte Gleichung nach SICHARDT (2), bei der die Absenkung  $s$  und die Durchlässigkeit eingehen:

$$R = 3000 \times s \times \sqrt{(k)} \quad (2)$$

Andere Ansätze, z. B. die von CHOULTSE (3) nehmen zusätzlich die Zeitdauer des Pumpbetriebes  $t$  in die Reichweitenformel auf, um damit eine beobachtbare zeitliche Ausweitung des Absenkungstrichters abzubilden ( $m_e$  = Porosität des Materials).

$$R = \sqrt{(6 \times s \times k_f \times t / m_e)} \quad (3)$$

In der Literatur finden sich weitere Ansätze, mit denen weitere geohydraulische Faktoren aufgenommen werden, um das nichtlineare, von vielen Einflussgrößen abhängige Verhalten bei der Ausbildung des Absenkrichters zu beschreiben. Allen Ansätzen bleibt jedoch gemeinsam, dass sich die Reichweitenabschätzung auf einen unendlich ausgedehnten Aquifer beziehen.

Die Berechnung unter Verwendung der Beziehung von SICHARDT führt zu den in Tabelle 9 dargestellten Ergebnissen.

**Tabelle 9:** Rechnerisch abgeleitete Förderraten aus den Schachtbrunnen A bis E

Schacht	Ruhespiegel in m NHN	H [m]	h [m]	R [m]	r [m]	Fördermenge Q [m <sup>3</sup> /h]	Halbstrom 0,5 x Q [m <sup>3</sup> /h]
A	37,77	7,77	2	43,10	0,5	0,89	0,44
B	46,78	16,78	2	110,41	0,5	3,61	1,80
C	42,88	12,88	2	81,27	1	2,58	-
C	42,88	12,88	2	81,27	0,5	2,23	-
D	40,86	8,36	2	47,51	0,5	1,01	0,51
E	41,66	9,16	2	53,48	0,5	1,20	0,60

Für den Brunnen C wurde die Förderrate Q für einen Schachtdurchmesser von 1,0 m (Radius  $r = 0,5$  m) sowie einen Schachtdurchmesser von 2,0 m (Radius  $r = 1,0$  m) ermittelt. Zum tatsächlichen Durchmesser im Fußpunktbereich liegen unterschiedliche Angaben vor.

Der rechnerische Wasserandrang der Schachtbrunnen ist größer als der tatsächlich in den Pumpversuchen ermittelte maximale Zulauf  $Q_{\text{Pumpvers}}$  bei Dauerbetrieb (siehe Tabelle 8 und Tabelle 9, vorletzte Spalte). Allerdings liegen alle Schachtbrunnen mit Ausnahme des Brunnens C am Rand der Verfüllung, d. h. ihr Einzugsgebiet und die der Berechnung zugrundeliegende Annahme einer radialsymmetrischen Anströmung ist in diesen Fällen nicht zutreffend. Realistischer erscheint die Abschätzung einer halbseitigen Anströmung (entsprechend der Ansatz  $0,5 \times Q$ ), welche die gemessene und die rechnerische Förderleistung für die Schächte A, D und E in eine vergleichbare Größenordnung bringt (siehe Tabelle 9, letzte Spalte).

Für den Schacht B wird rechnerisch auch bei Annahme einer halbseitigen Anströmung eine deutlich größere Fördermenge prognostiziert, allerdings liegt bei diesem Brunnen der Ruhewasserspiegel mit 46,78 m NHN deutlich über dem vergleichbaren Wert der übrigen Brunnen. Nicht auszuschließen ist die Möglichkeit, dass der Ruhewasserspiegel durch örtliche Einstaubphänomene überprägt ist und beim Pumpversuch eine Wiederergänzung durch Nachfluss aus höher gelegenen wasserführenden Schichten (lokal begrenzte Einstaubbereiche) einen höheren Ruhewasserspiegel suggeriert. Wird für den Schacht B eine mittlere Ruhespiegelhöhe von 42 m NHN angesetzt, liegt der Wert  $0,5 \times Q = 0,98$  m<sup>3</sup>/h deutlich näher an der gemessenen, dauerhaft erzielbaren Fördermenge.

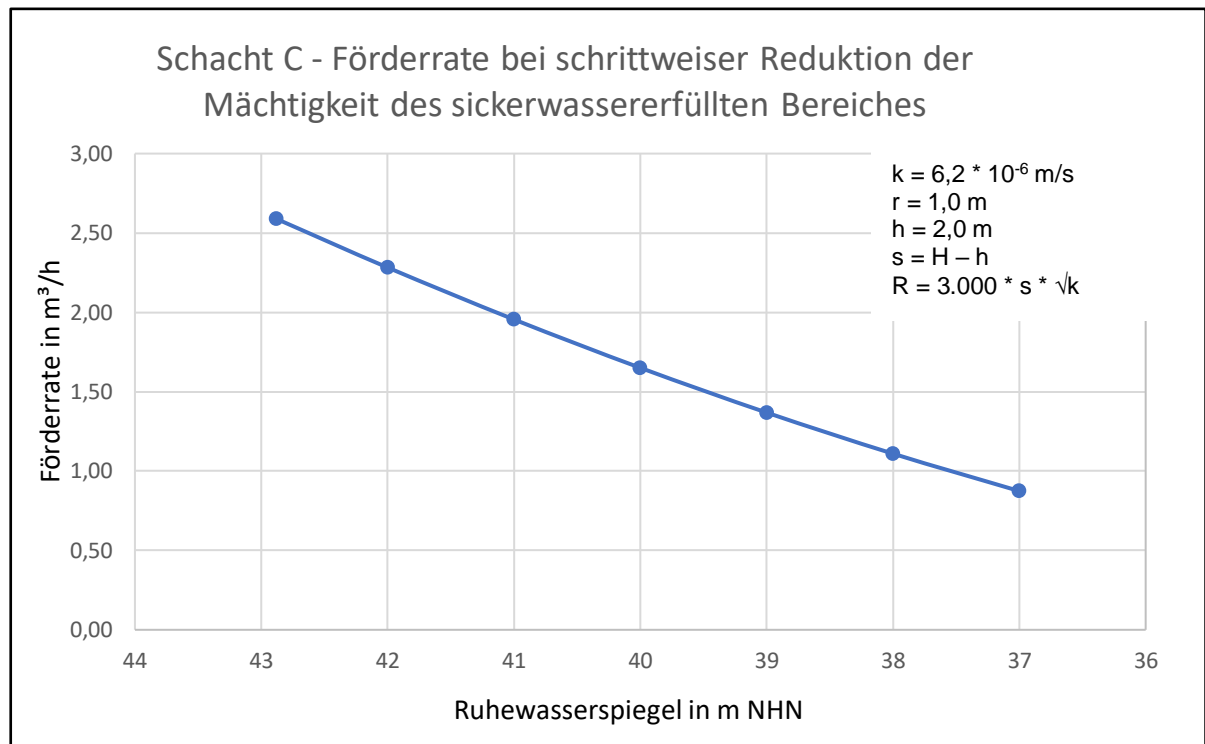
Auch für den Schacht C wird im Pumpversuch eine deutlich geringere Fördermenge registriert; die berechnete Menge ist wesentlich höher. Eine mögliche Erklärung wäre hier eine Verockerung, d. h. ein partieller Verschluss der Zustromöffnungen im unteren Teil des Schachtbrunnes, wodurch dann die förderbare Menge gemindert wird. Auch örtlich niedrigere Durchlässigkeitswerte haben einen erheblichen Einfluss auf die im Pumpversuch ermittelte dauerhaft erzielbare Fördermenge.

Eine weitere Modellverstellung zum Verhalten des Ablagerungskörpers in Bezug auf das gespeicherte Sickerwasser wird durch die „Wannenstruktur“ der Verfüllung impliziert. Der Einschluss in einen nahezu undurchlässigen Tonkörper führt für einen Einstau, bei dem weder Entnahme noch Zuführung von Wasser erfolgt, bei Annahme eines homogenen Verfüllkörpers zur Ausbildung einer gleichmäßigen Spiegelhöhe innerhalb der gesamten Ablagerung. Dieser Ruhewasserstand müsste sich aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten horizontal ausbilden, allerdings wird dieser Zustand durch Überprägung (Niederschlags-/Seitenzufluss, wechselnde Durchlässigkeiten, Materialinhomogenität etc.) zeitlich nur in asymptotischer Annäherung erreicht.

Aus den summierten Daten der Pumpversuche (Tabelle 8) wird deutlich, dass aus allen heute bestehenden Schachtbrunnen kontinuierlich rund 3,8 m<sup>3</sup>/h gefördert werden können. Bei der räumlichen Ausdehnung der Verfüllung über rund 22 ha bedeutet die Entnahmemenge von rund 33.300 m<sup>3</sup>/a, dass abzüglich der Sickerwasserneubildung von i. M. 5.200 m<sup>3</sup>/a rund 28.000 m<sup>3</sup>/a aus dem gespeicherten Volumen entnommen werden könnten. Damit wäre bei Zugrundelegung eines nutzbaren Porenvolumens von 10 % eine Absenkung des Sickerwasserspiegels um etwa 1,3 m je Jahr möglich, wenn die Pumpen kontinuierlich laufen würden.

Ziel der Entnahme ist es, einen auf 37 m NHN abgesenkten Sickerwasserspiegel zu erreichen. Hierfür würde bei Annahme eines gemittelten Ruhewasserspiegels von 43,1 m NHN ein Zeitraum von rund 5 Jahren erforderlich sein. Bei einer Spiegelhöhe von 46 m NHN ergibt sich eine Dauer von 7 Jahren. Es ist allerdings unrealistisch, eine so hohe Verfügbarkeit der Pumpen und einen völlig störungsfreien Betrieb zu unterstellen. Hier dürften bei Annahme eines 24/7-Betriebs auch bei optimaler Betriebsweise kaum mehr als etwa 85 % bis 90 % der Jahresfördermenge zu erreichen sein.

Hinzu kommt, dass die kontinuierliche Senkung des Ruhewasserspiegels den Wasserandrang reduziert, da sich die Mächtigkeit des sickerwassererfüllten Bereiches verkleinert. Das folgende Diagramm zeigt die Minderung der Fördermenge in Abhängigkeit vom jeweiligen Ruhewasserspiegel für den Schachtbrunnen C.



**Abbildung 13:** Änderung des rechnerischen Wasserandrangs

Summiert man die erreichbaren Mengen auf und setzt den Mittelwert in das Verhältnis zum Anfangswert (dazu gibt es einen korrespondierenden Messwert aus dem Pumpversuch) wird deutlich, dass sich die Zeitdauer bis zum Erreichen des Absenckzieles vergrößern wird. Tatsächlich wird sich der Wasserandrang etwa um den Faktor  $f=2/3$  der Anfangsmenge vermindern, d. h. während bei einem Ruhewasserspiegel von 42,88 m NHN ein Volumenstrom von  $Q = 2,58 \text{ m}^3/\text{h}$  entsteht, vermindert sich der rechnerische Wasserandrang bei Erreichen von 37 m NHN auf  $Q = 0,87 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Diese Beziehung gilt für alle Schachtbrunnen, demzufolge muss – ausgehend von dem in 2021 durch Pumpversuche gemessenen und erreichten Wasserstand – eine Abminderung des Wasserandranges berücksichtigt werden. Überschlägig wird hierbei ein gemittelter Ansatz gewählt, so dass sich die über die kommenden Jahre bis zum Erreichen eines maximalen Wassereinstaus in der Verfüllung von maximal 37 m NHN summiert für alle Schachtbrunnen A bis E anstelle des in Tabelle 8 angegebenen Wertes von  $Q_{\text{max}} = 3,8 \text{ m}^3/\text{h}$  (ohne B4 und B5) mit dem Faktor  $f = 2/3$  ein Näherungswert von  $Q_{\text{mittel}} = 2,6 \text{ m}^3/\text{h}$  ergibt. Bei dieser Berechnung wurde unterstellt, dass sich die im Jahr 2021 gemessenen, dauerhaft erreichbaren Fördermengen mit fallender Einstauhöhe tatsächlich mit gleichem Prozentsatz wie die rechnerischen Volumenströme ändern.

Bei 8.766 Betriebsstunden pro Jahr (realistisch werden 8.000 Bh/a erreicht) für einen kontinuierlichen Pumpbetrieb ergibt sich daraus eine mittlere förderbare Menge aus allen Schachtbrunnen von 22.800 m<sup>3</sup>/a (20.800 m<sup>3</sup>/a). Das Abpumpen der eingestauten Sickerwassermenge von 180.000 m<sup>3</sup> wird unter Ansatz einer jährlichen Sickerwasserneubildung von i. M. 5.200 m<sup>3</sup>/a demnach rund 10 Jahre (11,5 Jahre) in Anspruch nehmen.

Der Zustand der Schachtbrunnen ist nach derzeitigem Kenntnisstand so, dass trotz einiger Schäden ein Weiterbetrieb über eine Dauer von 12 Jahren realistisch angenommen werden kann. Da die Fördermenge bei kontinuierlicher Betriebsweise nach den Ergebnissen der Pumpversuche bei dem ergiebigsten Brunnen C nicht mehr als 1.300 l/h (siehe Tabelle 8) beträgt, können zukünftig die Pumpen und Leitungen für einen möglichst unterbrechungsfreien Betrieb auf diese Förderleistung ausgelegt werden. Sie werden so wesentlich energiesparender betrieben.

Gegenüber dem heutigen Pumpbetrieb, bei dem das Sickerwasser in Transporttanks gefördert wird, ist eine dauerhafte Ableitung zur benachbarten Sickerwassereinigungsanlage der Deponie Eichenallee sicherzustellen. Baulich sind diese Maßnahmen in das Paket einzugliedern, welches im folgenden Kapitel für die Phase 2 erläutert wird.

Allerdings eröffnet der Zeitrahmen für das Erreichen des Absenkziels von etwa 10 bis 12 Jahren die Möglichkeit, die in der Phase 2 ausschließlich vorgesehenen Bohrbrunnen bereits in der Phase 1 zur Unterstützung der Förderung aus den Schachtbrunnen A bis E einzusetzen.

Für einen Brunnen mit Brunneninnendurchmesser DN 150, der auf der Sohle der Verfüllung bei 30 m NHN aufsteht und in dem eine Absenkung auf 34 m NHN (bei den in Tabelle 9 dargestellten Werten wurde davon ausgegangen, dass die Pumpe bei den neuen Brunnen rund 4 m über der Sohle montiert wird) erreicht wird, ergeben sich aus der Brunnenformel nach Dupuit-Thiem für einen ungespannten Aquifer unter Ansatz der hydraulischen Kennwerte für den Verfüllkörper die in Tabelle 10 dargestellten Volumenströme.

Der Brunnen (siehe Tabelle 10) liefert mit Bezug auf den mittleren Ruhewasserspiegel von 43,1 m NHN rechnerisch rund 1,6 m<sup>3</sup>/h, mit zunehmender Absenkung reduziert sich dieser Wert auf 0,4 m<sup>3</sup>/h. Ob diese rechnerischen Werte tatsächlich erreicht werden, ist angesichts der Ergebnisse aus den Pumpversuchen (hier Messstelle B4) nicht sicher zu beantworten. Bei der Messstelle B4 wurden 0,1 m<sup>3</sup>/h für den Wasserandrang gemessen, während die Berechnung mit dem mittleren k-Wert von  $6,2 \cdot 10^{-6}$  m/s einen 6-fach höheren Wasserandrang ergibt. Natürlich ist dieser Wasserandrang linear abhängig von der Durchlässigkeit, so dass sich in Bereichen mit geringeren Durchlässigkeiten entsprechend geringere Zuflüsse zu den Brunnen ergeben. Hinzu kommt, dass die Sohle der Messstelle B4<sup>4</sup> etwa bei 35 m NHN liegt und damit von den übrigen Brunnen, bei denen ein Ausbau bis 30 m NHN erfolgen soll, baulich abweicht.

---

<sup>4</sup> Die Befunde der Messstelle B4 werden nach den gemessenen Temperaturdaten möglicherweise zusätzlich durch Hydratisierungsvorgänge beeinflusst.

Letztlich wird aber nur die Bohrung und der anschließende Ausbau Aufschluss über die Leistungsfähigkeit jedes neuen Brunnens bringen können.

**Tabelle 10:** Rechnerischer Wasserandrang zu einem Brunnen DN 150  
 in der Verfüllung Mühlenberg

Wasserspiegel [m NHN]	H [m]	h [m]	R [m]	r [m]	Q (rech.) [m <sup>3</sup> /h]
43,1	13,1	4	67,98	0,075	1,60
42	12	4	59,76	0,075	1,34
41	11	4	52,29	0,075	1,12
40	10	4	44,82	0,075	0,92
39	9	4	37,35	0,075	0,73
38	8	4	29,88	0,075	0,56
37	7	4	22,41	0,075	0,41

Zusätzliche Brunnen könnten unter Annahme eines Sicherheitsbeiwertes von  $\gamma = 2$  zur Berücksichtigung der unter realen Bedingungen zu erwartenden Abweichungen von den rechnerischen Modellannahmen bei einem mittleren Wasserandranges (bei Absenkung des Ruhewasserspiegels von 41 m NHN auf 37 m NHN) von 0,75 m<sup>3</sup> und einer jährlichen Betriebsdauer von 8.000 h eine förderbare Jahresmenge in einem einzelnen Bohrbrunnen DN 150 von

$$Q_{\text{Bohrbrunnen}} = 8.000 \times 0,75 / 2 = 3.000 \text{ m}^3/\text{a}$$

erreichen. Bereits mit drei neuen Bohrbrunnen wäre voraussichtlich eine Wassermenge von 9.000 m<sup>3</sup>/a zusätzlich zu fördern. Zusammen mit den Schachtbrunnen, die realistisch über die Dauer der Phase 1 gemittelt rund 20.800 m<sup>3</sup>/a liefern, wäre somit eine Reduktion des Sickerwassereinstaus oberhalb von 37 m NHN in einem Zeitraum von etwa 7,5 Jahren erreichbar:

$$T_{\text{Absenkung}} = f(\text{Förderleistung der Brunnen}) \\
 = 180.000 / (20.800 + 9.000 - 5.300) = 7,35 \text{ a}$$

Bei dieser Berechnung wurde die Wiedergängung mit 5.300 m<sup>3</sup>/a angesetzt. Die mittlere Fördermenge würde damit rund 30.000 m<sup>3</sup>/a betragen. Mit weiteren Bohrbrunnen wäre die Gesamtfördermenge weiter zu erhöhen.

## 4.1.2 Sickerwasserreinigung

Selbstverständlich setzt die in der Phase 1 erhöhte Förderung durch Einbeziehung zusätzlicher Brunnen voraus, dass die Sickerwasserreinigung diese Mengen handhaben kann. Dazu wird nachfolgend ein Überblick zur vorhandenen Behandlungsanlage gegeben.

### 4.1.2.1 Sickerwasserbehandlungsanlage

Die Behandlungsanlage wurde für die Reinigung der in der Deponie Eichenallee anfallenden Sickerwässer mit dem Ziel konzipiert, die Direkteinleitungsqualität zu erreichen. Die Genehmigung der Anlage erfolgte am 10.4.2017 durch die Bezirksregierung Düsseldorf. Seit diesem Zeitpunkt ist die Verfahrenstechnik verschiedentlich verbessert worden, hierzu liegen weitere Genehmigungen<sup>5</sup> zum Ausbau und Erweiterung der Behandlungsanlage einschließlich der zugehörigen Speicherbecken vor. Dies schließt auch die Genehmigung zur Mitbehandlung von Sickerwässern aus dem Mühlenberg ein, die bereits heute mit Tanklastzügen antransportiert und gereinigt werden. Insoweit darf die Behandlung des Sickerwassers aus dem Mühlenberg als praxiserprobt gelten.

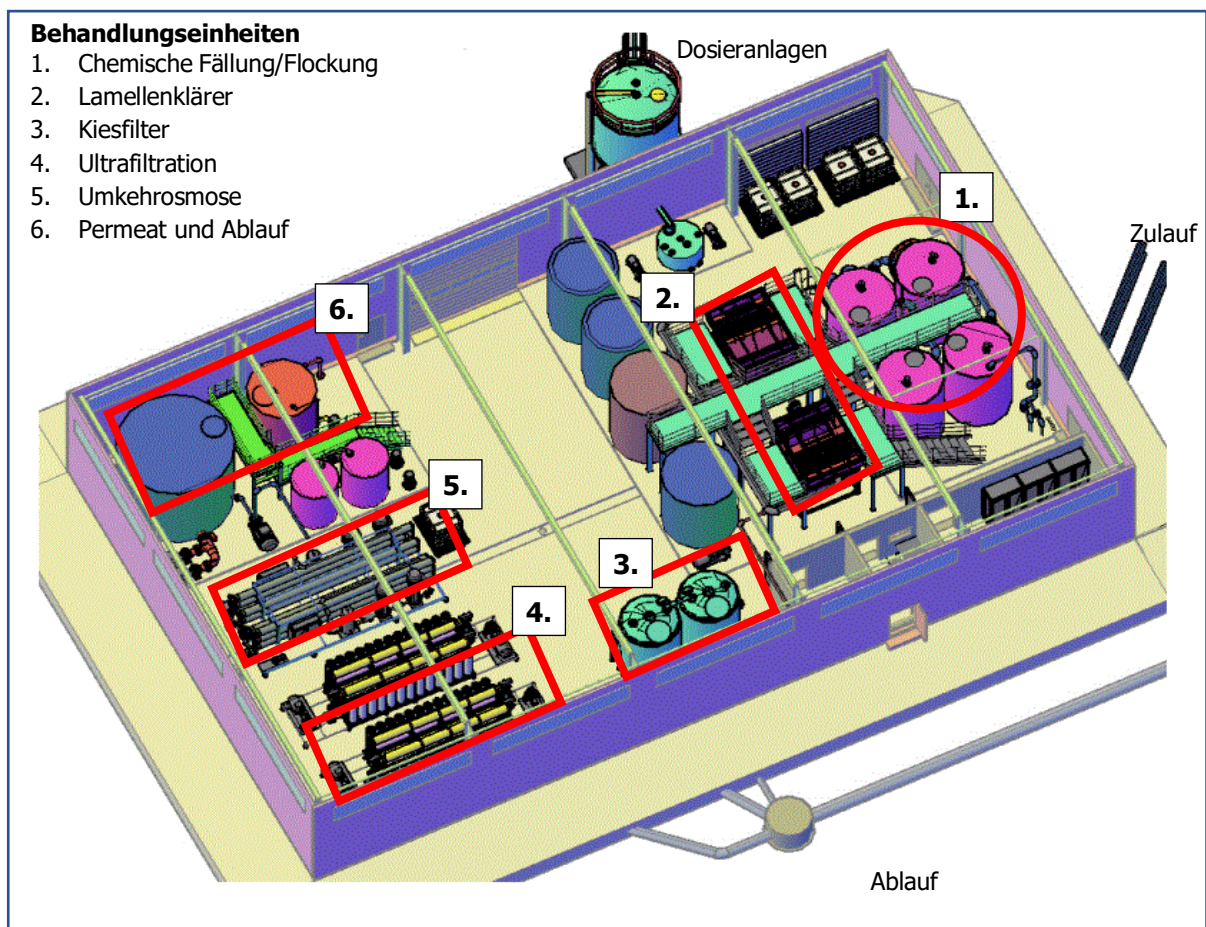
#### a) Behandlungsstufen in der Sickerwasserreinigungsanlage

Die Aufbereitung erfolgt durch ein mehrstufiges Behandlungskonzept mit den beiden Hauptstufen – Stufe 1 „Chemisch-Physikalische Behandlung“ und Stufe 2 „Ultrafiltration/Umkehrosmose“. Die nachfolgende Abbildung 14 verdeutlicht den Behandlungsgang:

---

<sup>5</sup> Sämtliche Genehmigungen, Betriebsberichte und Leistungsnachweise für die Sickerwasserreinigungsanlage der Deponie Eichenallee sind den für die Überwachung der Verfüllung Mühlenberg zuständigen Behörden zugänglich. Eine fachliche Überprüfung der im Rahmen der Machbarkeitsstudie vorgelegten Daten zur Sickerwasserreinigung ist somit möglich, auf weitere inhaltliche Ausführungen wird daher verzichtet.





**Abbildung 14:** Behandlungsstufen in der Sickerwasserreinigungsanlage (Quelle: WABE, 2020)

In der 1. Hauptstufe wird das Deponiesickerwasser über 4 Reaktoren einer chemisch-physikalischen Behandlung (Fällung und Flockung) sowie einer pH-Stabilisierung unterzogen. Durch diese Behandlung werden die gelösten Abwasserinhaltsstoffe in eine feste und absetzbare Form überführt.

Diese Behandlung in Form einer chemischen Fällung ist erforderlich, um die Anforderungen zum Einsatz von Membrantechnologien einzuhalten. Die chemische Fällung der Metalle erfolgt als Metallhydroxide und zusätzlich im Bedarfsfall zur Senkung erforderlicher Restlöslichkeiten als Metallsulfide. Weiterhin erfolgt eine simultane Fällung von Calciumverbindungen, insbesondere Calciumsulfat, Calciumhydroxyd und Calciumcarbonat. Zur Ausfällung der Inhaltsstoffe in Form der o. g. Fällprodukte, wird der neutrale pH-Wert mit Natronlauge bzw. Salzsäure eingestellt und ggfls. die erforderlichen Reaktionspartner in Form von Chemikalien zudosiert. Eine Polyelektrolyt-Lösung sorgt für die Erhöhung der Sinkgeschwindigkeit und unterstützt die Abtrennung der Fällprodukte in den Lamellenklärrern. Aus Sicherheitsgründen ist die Dosierung einer Eisenlösung zur Eliminierung möglicher Überschüsse während der Dosierung von sulfidhaltigen Chemikalien vorhanden. Das leicht fällbare Eisen bildet zudem auch Partikel, die die Fällung anderer Inhaltsstoffe unterstützen und beschleunigen.

Die Abtrennung der Feststoffe erfolgt mittels zwei parallel geführter Lamellenschrägklärer. Der abgetrennte Dünnschlamm wird dem Schlamm Speicher zugeführt; der Schlamm wird turnusmäßig der fachgerechten Entsorgung zugeführt. Zusätzlich wird das Wasser durch einen rückspülbaren Kiesfilter geschickt, der die Feststoffabtrennung weiter verbessert.

Das Sickerwasser hat nach Durchlaufen der 1. Hauptstufe bereits eine Qualität, die eine Indirekteinleitung – Übergabe in eine Kläranlage – erlaubt. Für das Erreichen der Direkteinleitungsqualität wird das Abwasser zur weiteren Behandlung der 2. Hauptstufe der Reinigungsanlage zugeführt werden, d. h. das teilgereinigte Sickerwasser fließt zur finalen Behandlung in die Vorlage der Ultrafiltration/Umkehrosmoseanlage.

In der 2. Hauptstufe der Behandlungsanlage wird die Klarphase aus der chemisch-physikalischen Behandlung in die Ultrafiltrationsvorlage (UF-Vorlage) geführt. Ultrafiltrationsanlagen verwenden eine spezielle Art von Membranfiltration, um kleinste Partikel und hochmolekulare gelöste Verunreinigungen aus Flüssigkeiten zu entfernen. Die Ultrafiltration basiert auf einer porösen Membran mit Porengrößen im Bereich von  $> 2$  Nanometern bis  $0,1$  Mikrometern. Die Porengröße der Membrane ist so bemessen, dass kleine Moleküle wie Wasser und gelöste Stoffe, als Filtrat durchtreten und größere Moleküle (i.d.R. werden hochmolekulare Stoffe mit einer Partikelgröße  $> 0,01$  Mikrometer bei einem Druck von etwa  $3 - 10$  bar) zurückgehalten werden.

Bei der Umkehrosmose erfolgt eine selektive Abtrennung (Aufkonzentrierung) von gelösten Stoffen aus dem zu reinigenden Abwasser, indem dieses unter hohem Druck durch eine semipermeable Membran gepresst wird. Bei Drücken von bis zu  $100$  bar können Teilchen bis zu einer Größe etwa von  $0,2$  Nanometern zurückgehalten werden. Der Trennvorgang findet dabei an den Membranen statt, die die Eigenschaft haben, das Lösungsmittel (Wasser), nicht aber die gelösten Inhaltsstoffe (i. d. R. Mineralsalze) passieren zu lassen. Die Arbeit wird wie bei der Ultrafiltration von einer Pumpe verrichtet, der Pumpendruck muss dabei größer sein als der osmotische Druck der aufkonzentrierten Lösung an der Oberfläche der Membrane.

Sowohl bei der Ultrafiltration als auch in besonderem Masse bei der Umkehrosmose müssen die Vorlagepumpen hohe Drücke erzeugen, um das zu behandelnde Wasser durch die jeweilige Stufe der Anlage zu führen. Insoweit werden für den Betrieb erhebliche Energiemengen (Kraftstrom) benötigt.

## b) Sickerwassermengen und Begrenzung der Direkteinleitung

Das Sickerwasser der Deponie Eichenallee fällt kontinuierlich in Abhängigkeit von Witterungs- und Niederschlagsereignissen an. Entsprechend der Prognose über die täglich maximal anfallende Sickerwassermenge aus der Deponie Eichenallee und einer zusätzlichen Kapazität für die Behandlung der Sickerwässer aus der Verfüllung Mühlenberg wurden bei der Auslegung der Anlage ein Zulauf von 200 m<sup>3</sup>/d zugrunde gelegt. Die heute bestehende Sickerwasserreinigungsanlage verfügt über eine Leistungsfähigkeit, mit der nach Durchlaufen beider Stufen 200 m<sup>3</sup>/d Reinwasser<sup>6</sup> (Permeat) für die Direkteinleitung erzeugt werden können. Der Leistungsnachweis wurde durch zahlreiche Funktions- und Betriebsversuche der seit Anfang 2020 laufenden Anlage erbracht. Hierzu liegt ein entsprechender Abschlussbericht [2] vor, welcher der zuständigen Genehmigungsbehörde für die Errichtung der Sickerwasserreinigungsanlage (Bezirksregierung Düsseldorf) übermittelt wurde.

Bei der Auslegung der Anlage wurde östlich des Betriebsgebäudes ein Sammelbecken mit einem nutzbaren Volumen von 250 m<sup>3</sup> zur Bereitstellung des zu reinigenden Sickerwassers kalkuliert. Zusätzlich wurde daneben ein weiteres Zwischenspeicherbecken mit einem Volumen von 1.000 m<sup>3</sup> eingerichtet, um den möglichen Ausfall der Sickerwasserreinigungsanlage aufgrund von Wartungen oder Störungen kompensieren zu können. Damit steht sowohl für die Deponie Eichenallee als auch für die Verfüllung Mühlenberg für eine summierte Gesamtmenge von 200 m<sup>3</sup>/d eine bis zu 6 Tage ausreichende Zwischenspeicherkapazität zur Verfügung.

Die Direkteinleitung des aufbereiteten Sickerwassers aus der Umkehrosmose erfolgt über den Permeatspeicher und das Regenrückhaltebecken (RRB) über den Entwässerungsgraben in den Wesel-Datteln-Kanal. Die maximale Einleitmenge für Reinwasser pro Tag beträgt 200 m<sup>3</sup>/d (dies entspricht 16,7 m<sup>3</sup>/2 Stunden).

## c) Indirekteinleitung und Sickerwasserbilanz

Neben der direkten Einleitung in den Wesel-Datteln-Kanal besteht auch die Möglichkeit zur Ableitung des vorbehandelten Sickerwassers über einen „rollenden Kanal“ zum Klärwerk Emschermündung in Dinslaken. Das Sickerwasser wird im Misch- und Ausgleichsbecken auf dem Deponiekörper gesammelt und von dort mit Lkw abgefahren. Der Indirekteinleitergenehmigung vom 13.11.2020 liegen Analysen des Sickerwassers aus den Jahren 2019 und 2020 zugrunde. Die Genehmigung ist auf eine Jahreshöchstmenge von 73.000 m<sup>3</sup>/a und eine Tagesmenge von 200 m<sup>3</sup>/d begrenzt.

Im Kalenderjahr 2022 wurden 30.132 m<sup>3</sup> Filtrat zur Kläranlage gefahren und 11.265 m<sup>3</sup> Permeat direkt über das Regenrückhaltebecken in den Wesel-Datteln-Kanal eingeleitet. Die Eigen- und Fremdüberwachungen zeigen an beiden Überwachungsmessstellen keine Überschreitungen der Einleitparameter. Ferner wurden 5.575 m<sup>3</sup> Dünnschlamm extern entsorgt. Im Jahr 2022 sind

<sup>6</sup> Der Reinwasseranteil bei einer Umkehrosmoseanlage liegt bei etwa 75 % bis 85 % der Input-Abwassermenge.

somit rund 42.000 m<sup>3</sup> behandeltes Sickerwasser<sup>7</sup> im Wege der Direkt- und Indirekteinleitung entsorgt worden, was rund einem Drittel der technischen Anlagenkapazität und dem genehmigten Entsorgungsweg entspricht.

Auch im Hinblick auf die eher niedrigen Niederschlagsmengen in 2022 – der Zeitraum wurde als sog. Dürrejahr eingestuft – bleibt eine hinreichende Kapazität für die Mitbehandlung der Sickerwässer aus der Verfüllung Mühlenberg vorhanden, selbst wenn sich die Sickerwassermenge aus der Deponie Eichenallee in einem „nasserem“ Jahr verdoppeln<sup>8</sup> sollte.

Die Behandlung der Sickerwässer aus der Deponie Eichenallee und der Verfüllung Mühlenberg kann sowohl getrennt als auch gemeinsam erfolgen. Beide Vorgehensweisen wurden bereits erprobt und weisen in beiden Fällen gute Reinigungsleistungen auf. Eine hohe Betriebssicherheit hinsichtlich der Einhaltung der Überwachungswerte und Behandlungslaufzeit ist gegeben.

#### **4.1.2.2 Sickerwassermanagement in der Phase 1**

Die Kapazitäten in der 2-stufigen Reinigungsanlage der Deponie Eichenallee belaufen sich auf rund 200 m<sup>3</sup>/d, davon können nach aktuellen Betreiberinformationen mindestens 50 % für die Behandlung des Sickerwassers aus der Verfüllung Mühlenberg genutzt werden. Mithin steht eine Mindestkapazität von 100 m<sup>3</sup>/d zur Verfügung, um das Sickerwasser aus der Verfüllung Mühlenberg zu behandeln. Geht man von einer betrieblichen Anlagenverfügbarkeit von 90 % für die Sickerwasserreinigung aus, steht für den Teilstrom aus der Verfüllung Mühlenberg eine Behandlungskapazität von mindestens 32.850 m<sup>3</sup>/a zur Verfügung. Diese Kapazität reicht aus, um die Absenkung des Einstauspiegels in der Verfüllung Mühlenberg – wie im Kapitel 4.1.1 dargestellt – in einem Zeitraum von etwa 7,5 Jahren zu gewährleisten.

Der Sickerwasseranfall aus der Deponie Eichenallee schwankt entsprechend den Niederschlagsmengen jahreszeitlich und führt in Trockenperioden zu einem deutlich geringen Anfall. Dieses Minderaufkommen bedingt zeitweise freie Behandlungskapazitäten, die zur Reinigung zusätzlich aus der Verfüllung Mühlenberg entnommener Sickerwässer genutzt werden können. Legt man daher die sich täglich ändernde Mitbehandlungskapazität für die Steuerung des Abpumpbetriebs in der Phase 1 zugrunde, dann kann die Entnahmemenge des Sickerwassers aus der Verfüllung Mühlenberg gegenüber der im Jahresdurchschnitt angesetzten Tagesmenge von 100 m<sup>3</sup>/d noch weiter gesteigert werden.

Eine solche an der Tagesleistung der Reinigungsanlage (200 m<sup>3</sup>/d) orientierte Betriebsweise kann aber auch dazu dienen, die Förderung aus der Verfüllung Mühlenberg zu drosseln, wenn extreme Niederschlagsereignisse in der Deponie Eichenallee zu einem erhöhten Sickerwasseranfall führen sollten. Eine prognostizierende Betrachtung der Ereignisse ist allerdings aufgrund der sich ständig ändernden Flächengrößen der einzelnen Betriebsabschnitte nicht möglich.

<sup>7</sup> In den 42.000 m<sup>3</sup> Sickerwasser sind bereits mitbehandelte Sickerwässer aus der Verfüllung Mühlenberg in einer Größenordnung von ca. 17.000 m<sup>3</sup> enthalten (aktuelle Förderung aus Schachtbrunnen).

<sup>8</sup> Der Vergleich der Jahre 2021 und 2022 zeigt, dass bundesweit etwa von einer Verdoppelung der Niederschlagsmengen auszugehen ist. Allerdings ist Klimabedingt von einer langfristigen Verminderung der Durchschnittswerte auszugehen.

Eine flexible Anpassung bei der Sickerwasserförderung erfordert eine Betriebsweise mit entsprechender Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR), mit der die Pumpleistung in jedem Brunnen schnell und möglichst automatisiert angepasst werden kann. Moderne frequenzgesteuerte Unterwasserpumpen, wie z. B. das Fabrikat Grundfos SQE 2-50 NE, welche dank der Edelstahlausführung und zusätzlicher Verstärkungen speziell auch für die Förderung aggressiver Sickerwässer geeignet sind (ein Datenblattauszug für diese Unterwasserpumpe ist der Anlage 1 zu entnehmen), verfügen über solche Regelungsoptionen. Der Einbau von Messelementen ermöglicht gleichzeitig auch eine kontinuierliche automatische Datenerfassung der Sickerwasserspiegelhöhen in den Förderbrunnen.

Eine derartige Sickerwasserbewirtschaftung eröffnet die Möglichkeit einer weiteren Beschleunigung bei der Absenkung des eingestauten Sickerwassers, insoweit wird dieser technische und wirtschaftliche Mehraufwand – auch in Verbindung mit dem Sickerwassermonitoring – sinnvoll. Weiterhin ist in Kombination mit der Fernsteuerung der Pumpen eine rasche Durchführung ergänzender Tests – z. B. die Dauer des Wiederanstieges als Maß für die Durchlässigkeit des Verfüllgutes im Einzugsbereich oder die Ermittlung des Ruhewasserspiegel für den jeweiligen Brunnen – möglich.

In der Phase 2 kann später auch ein intermittierender Pumpenbetrieb verwirklicht werden, um nur die zum Erhalt des Absenkzieles erforderliche Sickerwassermenge zu fördern. Insgesamt schafft die MSR-Option schließlich auch die technische Grundlage für eine umfassende Anlagenüberwachung und damit belastbare Dokumentation des Sickerwassermanagements. Daher wird mindestens die Einbeziehung dieser Option in die weiteren Planungen (u. a. auch durch Einbau von Leerrohren für Datenkabel) nachdrücklich empfohlen.

#### **4.2 Maßnahmen in der Phase 2**

Die möglichen Maßnahmen in der Phase 2 müssen der Zielsetzung folgen, den auf 37 m NHN abgesenkten Sickerwasserspiegel dauerhaft auf dieser Zielmarke zu halten. Diese Aufgabe ist zeitlich unbegrenzt, d. h. sofern sich Sickerwasser neu bildet, muss dieser Zufluss zum Verfüllkörper wieder abgepumpt werden. Für diese Sickerwasserneubildung ist in [1] eine Prognose enthalten, die von einer geschätzten Zuflussmenge von 5.100 m<sup>3</sup>/a bis 5.300 m<sup>3</sup>/a, im Mittel 5.200 m<sup>3</sup>/a ausgeht. Diese Menge verteilt sich auf rund 1.900 m<sup>3</sup>/a seitlicher Zufluss aus der Schicht 1 sowie bis zu 200 m<sup>3</sup>/a vertikaler Zufluss über die Basalen Schichten an der Basis (Ergebnis von Simulationsberechnungen, siehe dazu [1]) und rund 3.200 m<sup>3</sup>/a angenommener Zufluss für über imperfekte Bereiche in der Oberflächenabdichtung vertikal zulaufende Niederschlagswässer. Für den letztgenannten Zulauf liegen keine konkreten Erkenntnisse vor, dass eine solche Undichtigkeit in der Oberflächenabdichtung besteht. Insoweit handelt es sich bei der angegebenen Menge um eine Annahme bzw. Abschätzung, die erst durch ein langfristiges Monitoring zu Beginn der Phase 2 verifiziert werden kann.

Aufgrund der geringen Zuflüsse – bei einer gleichmäßigen Verteilung über ein Jahr entspricht die vorgenannten Gesamtmenge rund  $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$  – ist die bereits beschriebene Vorgehensweise, das Abpumpen mit mehreren kleineren, verhältnismäßig einfach herzustellenden Bohrbrunnen zu erbringen, gut zur flächigen Förderabdeckung geeignet.

Dieser Vorgehensweise liegt auch die Überlegung zugrunde, dass die zeitliche Entwicklung der Standfestigkeit der verschiedenen Schachtbrunnen nicht prognostiziert werden kann und dann mit deren Versagen gerechnet werden muss. Die vorgeschlagene Lösung, die Schachtbrunnen mit einem innenliegenden PE-HD-Brunnenrohr und umlaufend mit gut durchlässigem Filtermaterial zu verfüllen, stellt statisch eine ausreichende Verbesserung der Ringsteifigkeit dar, so dass diese Brunnen weiterhin nutzbar bleiben. Allerdings ist die bereits erläuterte schlechte Erreichbarkeit aller im Böschungsbereich angeordneten Brunnen der Grund für die Überlegung, diese nur noch als Messtellen zu nutzen, obwohl sie im Notfall auch noch für eine erneute Förderung aktiviert werden können.

#### **4.2.1 Simulation der Sickerwasserhaltung**

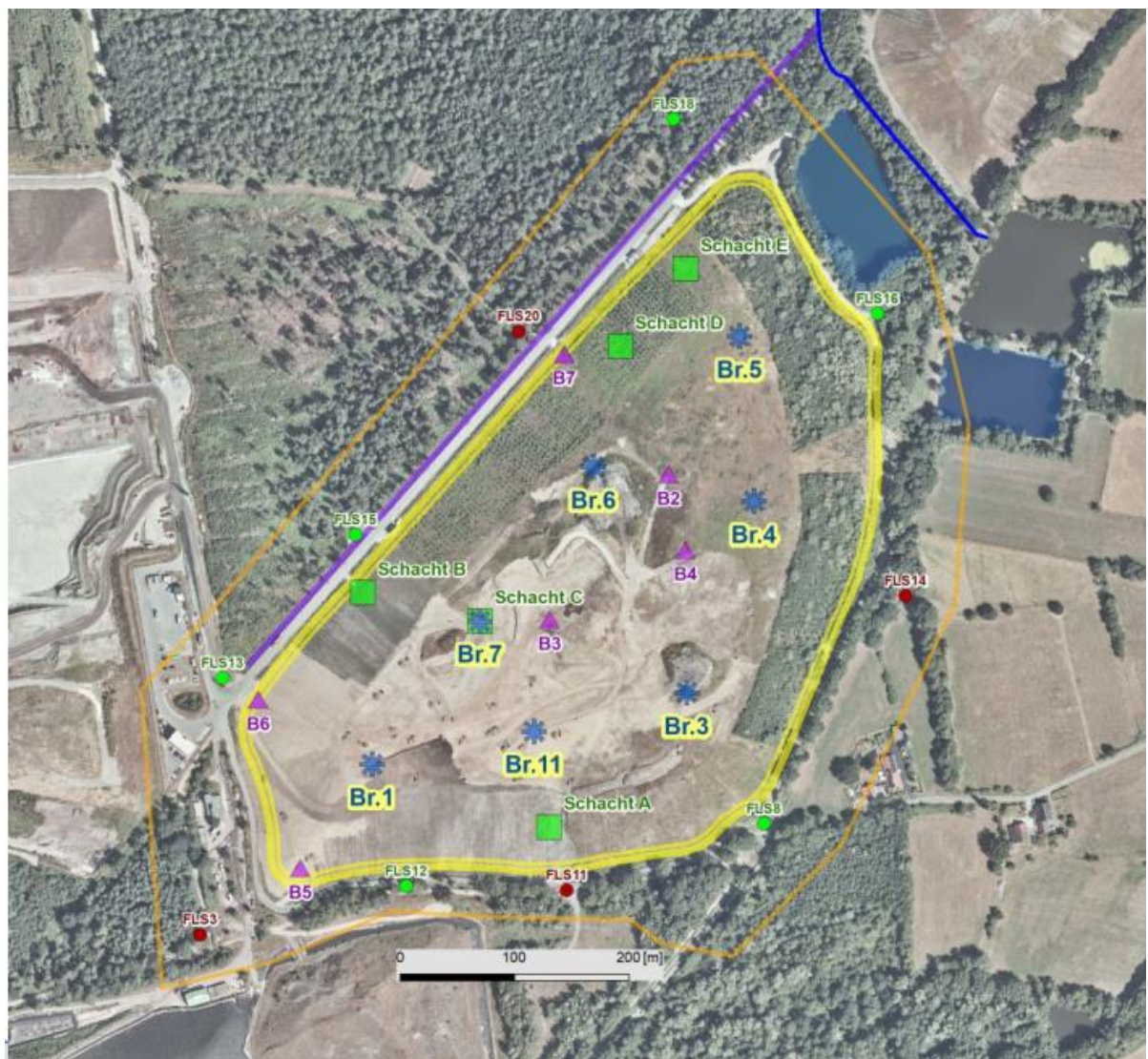
Die Sickerwasserhaltung auf dem Niveau 37 m NHN sollte so erfolgen, dass mit den Brunnen eine möglichst bis an den Grubenrand wirksame Abdeckung erzielt wird. Zur Klärung dieser Fragestellung wurde unter Verwendung des aus der Gefährdungsabschätzung [1] bereits bekannten und dort eingehend erläuterten Sickerwassermodells (Box-Modell) eine Simulation durch die Firma CONSULAQUA, Hildesheim (vollständige Ergebnisse im Anhang 1 beigefügt) durchgeführt. Die Randbedingungen für die Simulationsberechnungen entsprechen in vollem Umfang den in der Gefährdungsabschätzung [1] angesetzten Modellparametern, es wird daher auf eine nochmalige grundlegende Beschreibung der Simulation mit Hilfe des Box-Modells verzichtet. Hinsichtlich der angesprochenen Kenngrößen wird auf die der Gefährdungsabschätzung beigefügten Dokumentation zu den Simulationsberechnungen verwiesen. Die hier angeführten Berechnungen beinhalten – unter Nutzung des in der Gefährdungsabschätzung kalibrierten Modells – lediglich die Untersuchung der Wirkungen von vertikalen Förderbrunnen, die in einem möglichst gleichmäßigen Abstand über die Plateaufläche verteilt sind.

Die Simulation modelliert den Verfüllkörper – in Ermangelung genauerer Daten – als isotropen Körper mit gleichverteilter Materialdurchlässigkeit. Tatsächlich muss mit räumlich variierenden Durchlässigkeitswerten, bevorzugten Strömungswegen und gegebenenfalls Sperrschichten gerechnet werden, die es erschweren, die Zeitdauer bis zum Erreichen des abgesenkten Sickerwasserspiegels genau zu prognostizieren. Insoweit wäre eine hydrodynamische Finite-Element-Modellierung wegen der fehlenden Datengrundlage nicht zielgerichtet. Der Ansatz des den stationären Endzustand beschreibenden „Box-Modells“ mit der angenommenen Isotropie der Verfüllung stellt zwar eine Idealisierung dar, sie beschreibt aber realistisch einen sich langfristig in der Phase 2 entwickelnden Zustand, der – den Gesetzen der Physik folgend – bei einem Spiegelhöhenausgleich (Druckausgleich) eines über den gesamten Betrachtungsfläche durch Strömungswege verbundenen Körpers zu erwarten ist.

Ausgangspunkt für die Simulationsberechnungen ist die Festlegung, dass eine Absenkung in den Brunnen bis auf 34 m NHN erfolgen soll. Dieses Absenkziel liegt etwa 4 m über der früheren Grubenbasis. Durch die Begrenzung der Reichweite des Absenktrichters wird die Fläche limitiert, in der mehr Wasser über die Basis in den Ablagerungskörper eindringen kann.

In der Simulationsberechnungen wurde die Nutzung vorhandener Schachtbrunnen in Kombination mit bis zu 6 neu zu errichten Brunnen modelliert. Die vollständigen Ergebnisse sind dem Anhang 1 zu entnehmen. Im Rahmen der Simulationsberechnungen wurden 4 Varianten A bis D untersucht, die sich hinsichtlich der jeweils genutzten Förderbrunnen unterscheiden.

Die Anordnung dieser Brunnen ist der Abbildung 15 zu entnehmen.



**Abbildung 15:** Anordnung der vorhandenen Schachtbrunnen (Grün) mit Umbau in Rohrbrunnen sowie Neubau von Bohrbrunnen (aus Anhang 1)

Die bereits vorhandenen Schachtbrunnen A bis E wurden dabei entsprechend der Tabelle 11 umbenannt (Schacht A = Br.2, Schacht B = Br.8, Schacht D = Br.9, Schacht E = Br.10).

**Tabelle 11:** Simulation von Sickerwasserentnahmen – Variantenvergleich

Sickerwasserbrunnen	Ort	UTM	UTM	Variante A		Variante B	
		Rechts (ca.)	Hoch (ca.)	Status	Wst. im Br.	Status	Wst. im Br.
Brunnen 1	neu	32350831	5725140	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 2	in Schacht A	32350986	5725085	aktiv	35 m NHN	aktiv	35 m NHN
Brunnen 3	neu	32351107	5725203	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 4	neu	32351166	5725371	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 5	neu	32351153	5725515	nicht aktiv	--	aktiv	34 m NHN
Brunnen 6	neu	32351025	5725401	nicht aktiv	--	aktiv	34 m NHN
Brunnen 7	in Schacht C	32350926	5725266	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 8	in Schacht B	32350823	5725290	aktiv	34 m NHN	nicht aktiv	--
Brunnen 9	in Schacht D	32351049	5725506	aktiv	34 m NHN	nicht aktiv	--
Brunnen 10	in Schacht E	32351106	5725574	aktiv	34 m NHN	nicht aktiv	--
Brunnen 11	neu	32350973	5725169	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--

Sickerwasserbrunnen	Ort	UTM	UTM	Variante C		Variante D	
		Rechts (ca.)	Hoch (ca.)	Status	Wst. im Br.	Status	Wst. im Br.
Brunnen 1	neu	32350831	5725140	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 2	in Schacht A	32350986	5725085	aktiv	35 m NHN	nicht aktiv	--
Brunnen 3	neu	32351107	5725203	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 4	neu	32351166	5725371	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 5	neu	32351153	5725515	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 6	neu	32351025	5725401	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 7	in Schacht C	32350926	5725266	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 8	in Schacht B	32350823	5725290	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--
Brunnen 9	in Schacht D	32351049	5725506	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--
Brunnen 10	in Schacht E	32351106	5725574	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--
Brunnen 11	neu	32350973	5725169	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN

Wst. im Br. = angesetzter dauerhafter/gesteuerter Wasserstand im Brunnen

**Variante A:**

Sämtliche Schachtbrunnen bleiben in Betrieb, die Schachtbrunnen A bis E werden jedoch mit einem Filterrohr versehen und mit Filterkies verfüllt. Zusätzlich werden auf der SW-Seite ein neuer Bohrbrunnen (Br.1) und auf der SE-Seite zwei neue Bohrbrunnen (Br. 3 und 4) errichtet. Damit sind 8 Brunnen in Betrieb.

**Variante B:**

Die Schachtbrunnen B, D, E werden nicht mehr für die Förderung der Sickerwässer genutzt, es bleiben Schacht A und C (Br. 2 und 7) mit Kiesverfüllung und eingebautem Brunnenrohr in Betrieb. Zusätzlich werden auf der Plateaufläche insgesamt 5 neue Bohrbrunnen (Br. 1, 3, 4, 5, 6) errichtet. Damit sind 7 Brunnen in Betrieb.



Variante C:

Von den Schachtbrunnen bleiben nur noch die Schächte A (Br. 2) und C (Br. 7) mit Kiesverfüllung und eingestelltem Brunnenrohr in Betrieb, aus allen anderen in der Böschung gelegenen Schachtbrunnen erfolgt keine Förderung. Zusätzlich werden auf der Plateaufläche 6 neue Brunnen (Br. 1, 3, 4, 5, 6, 11) errichtet. Damit sind 8 Brunnen in Betrieb.

Variante D:

Von den Schachtbrunnen bleibt nur noch der Schacht C (Br. 7) mit Kiesverfüllung und eingestelltem Brunnenrohr in Betrieb, alle anderen Schachtbrunnen werden nicht betrieben. Zusätzlich werden auf der Plateaufläche 6 neue Brunnen (Br. 1, 3, 4, 5, 6, 11) errichtet. Damit sind 7 Brunnen in Betrieb.

*Hinweis: Auch die Messstelle B 4 mit einem Filterrohrausbau DN 150 könnte prinzipiell genutzt werden, allerdings stellt sich wie beim Schacht A das Problem, dass die Basis der Verfüllung an dieser Stelle offenbar sehr hoch liegt. Grundsätzlich ist es zielgerichtet, Brunnen dort anzuordnen, wo die Sohle der Abgrabung tatsächlich die Tiefe von 30 m NHN erreicht und sich idealtypisch ein radialer Absenktrichter ausbilden kann. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, dass die neuen Brunnen eher im Mittelfeld der Abgrabung und aus Gründen der guten Erreichbarkeit für Wartungszwecke auf der Plateaufläche positioniert werden, wobei aber einschränkend zu erwähnen ist, dass die Fahrrampen und innerhalb der Grube wechselnde Abbautiefen das Erreichen der 30 m-Teufe verhindern können. Dass solche Faktoren eine Rolle spielen können, zeigen die Messstellen B2 bis B4, die eigentlich alle vorgenannten Kriterium einer bevorzugten Anordnung auf der Plateaufläche erfüllen, aber nominal 2,5 bis 5 m über der gewünschten Teufe von 30 m NHN liegen. Insoweit sollte im Rahmen des Brunnenbaus geprüft werden, ob die Sohle des Füllkörpers am jeweiligen Bohransatzpunkt mit einer Vorsondierung lokalisiert werden kann, bevor die Brunnenbohrung abgeteuft wird.*

In der Tabelle 12 sind die Ergebnisse der Berechnungen für alle Varianten zusammengestellt. Betrachtet werden jeweils Zuflüsse zur Verfüllung (positives Vorzeichen) sowie Abflüsse bzw. Förderungen aus der Verfüllung (negatives Vorzeichen).

**Tabelle 12:** Sickerwasserbilanz der Variantenbetrachtung

Gesamt-Bilanz	Variante A			Variante B		
	Zufluss [m <sup>3</sup> /a]	Abfluss [m <sup>3</sup> /a]	Gesamt [m <sup>3</sup> /a]	Zufluss [m <sup>3</sup> /a]	Abfluss [m <sup>3</sup> /a]	Gesamt [m <sup>3</sup> /a]
Neubildung Verfüll.	3116,5	0,0	3116,5	3116,5	0,0	3116,5
<b>Förderung</b>	0,0	-5285,2	<b>-5285,2</b>	0,0	-5199,1	<b>-5199,1</b>
Verfüllrand	1948,8	0,0	1948,8	1886,5	0,0	1886,5
Basis Verfüllung	240,0	<b>-37,3</b>	202,7	228,3	<b>-55,6</b>	172,7
Bilanz	5305,2	-5322,5	-17,2	5231,3	-5254,7	-23,4
<b>Effektivität [%]</b>			<b>99,3</b>			<b>98,9</b>
Gesamt-Bilanz	Variante C			Variante D		
	Zufluss [m <sup>3</sup> /a]	Abfluss [m <sup>3</sup> /a]	Gesamt [m <sup>3</sup> /a]	Zufluss [m <sup>3</sup> /a]	Abfluss [m <sup>3</sup> /a]	Gesamt [m <sup>3</sup> /a]
Neubildung Verfüll.	3116,5	0,0	3116,5	3116,5	0,0	3116,5
<b>Förderung</b>	0,0	-5315,5	<b>-5315,5</b>	0,0	-5293,2	<b>-5293,2</b>
Verfüllrand	1927,3	0,0	1927,3	1910,1	0,0	1910,1
Basis Verfüllung	289,5	<b>-27,7</b>	261,8	275,5	<b>-35,7</b>	239,9
Bilanz	5333,2	-5343,2	-10,0	5302,1	-5328,9	-26,8
<b>Effektivität [%]</b>			<b>99,5</b>			<b>99,3</b>

Die Sickerwasserneubildung in Folge von Imperfektionen der Oberflächenabdichtung durch eine angenommene Durchlässigkeit der Oberflächenabdichtung (Fehlstellen) wird einheitlich bei allen Varianten mit 3.116,5 m<sup>3</sup>/a als äußere Randbedingung angesetzt.

Die Förderung von Sickerwasser aus den jeweils aktiven Brunnen liegt bei allen Varianten summiert zwischen 5.199 m<sup>3</sup>/a (Variante B – 7 Brunnen) und 5.316 m<sup>3</sup>/a (Variante C – 8 Brunnen). Zur Neubildung des Sickerwassers trägt erheblich der seitliche Zustrom über den Verfüllrand aus der Schicht 1 bei, der sich rechnerisch gemäß Modellierung auf 1.886,5 m<sup>3</sup>/a bis 1.948,8 m<sup>3</sup>/a beläuft. Hierbei zeigt sich, dass die Variante A mit den unmittelbar am Grubenrand liegenden Brunnen den mengenmäßig größten seitlichen Zufluss erzeugt, bei teilweiser oder vollständiger Deaktivierung dieser in der Böschung liegenden Brunnen reduziert sich der Zufluss. Dieses Ergebnis ist plausibel, da die Förderreichweite stärker Zonen außerhalb der Verfüllung Mühlenberg erfasst.

Als weiterer die Fördermenge beeinflussender Faktor sind die Fließvorgänge im Basisbereich der Verfüllung zu betrachten. Der Übertritt aus der Basis in die Verfüllung wird als Zufluss, der Übertritt in umgekehrte Richtung als Abfluss verstanden. Diese Zu- und Abflüsse ergeben sich bei allen Varianten. Bei Variante C mit 8 Brunnen wird mit 27,7 m<sup>3</sup>/a der geringste Übertritt von Sickerwasser aus der Verfüllung in die unterlagernden Schichten berechnet, gleichzeitig wird mit 289,5 m<sup>3</sup>/a auch der höchste Zufluss aus der Basis in den Verfüllkörper ermittelt. Bei Variante B mit 7 Förderbrunnen ist der Abfluss mit 55,6 m<sup>3</sup>/a doppelt so hoch, während gleichzeitig aber der Zufluss den niedrigsten Wert annimmt. Die Ergebnisse für Variante A und D liegen zwischen den beiden vorherbeschriebenen Berechnungen.

Aus dem Verhältnis der Förderung aus den Brunnen und dem Gesamtabfluss lässt sich eine Kennzahl zur Effektivität für den Vergleich der verschiedenen Varianten ableiten:

$$K_{eff} = \frac{\text{Förderung}}{\text{Abfluss Basis Verfüllung} + \text{Förderung}} \times 100 \%$$

Hier zeigen sich einige – wenn auch geringfügige – Unterschiede zwischen der Variante B (7 Brunnen) mit einer Effektivität von 98,9 % und der Variante C (8 Brunnen) mit 99,5 %. Die Variante D mit 7 Brunnen weist hingegen eine Effektivität von 99,3 % auf, die Variante A erreicht den gleichen Wert mit 8 Brunnen.

Die Bilanzierung von Zu- und Abfluss für die verschiedenen Varianten ist im vorliegenden Fall eher eine nachgeordnete Kennzahl, in allen Varianten liegt die Effektivität der Sickerwasserentnahme aus der Verfüllung gegenüber der Sickerwasserzuführung, ermittelt über das Verhältnis von Zu- und Abfluss, bei rund 99 %. Wichtiger ist hingegen die Betrachtung des tatsächlichen Sickerwasseraustrittes über die Basis, die bei allen Varianten auf eine sehr geringe Restmenge vermindert wird.

Deutlicher ist die Verbesserung gegenüber dem Zustand im März 2022, der in der Gefährdungsabschätzung [1] dokumentiert ist. Die erreichbaren Verbesserungen dürfen als signifikant bezeichnet werden, wenn man die Ergebnisse mit der damaligen Berechnung [1] zum Austritt von Sickerwasser über die Basis mit 1.488 m<sup>3</sup>/a mit den Werten in Tabelle 13 – zwischen 27,7 m<sup>3</sup>/a und 55,6 m<sup>3</sup>/a – vergleicht. Auch gegenüber der in [1] näher beschriebenen Variante 2.1, die bereits eine Absenkung der Sickerwassereinstaus betrachtet, wird z. B. mit der Variante D eine weitere Minderung des Abflusses über die Basis von 190 m<sup>3</sup>/a auf 35,7 m<sup>3</sup>/a, d. h. um nochmals um rund 80 % erreicht (siehe Tabelle 13).

**Tabelle 13:** Förderraten und Förderanteile aus den Brunnen für die Varianten A bis D

Sickerwasserbrunnen und Förderanteile	Variante A		Variante B		Variante C		Variante D	
	[m <sup>3</sup> /a]	[%]	[m <sup>3</sup> /a]	[%]	[m <sup>3</sup> /a]	[%]	[m <sup>3</sup> /a]	[%]
<b>Brunnen 1</b>	-855,2	16,2	-940,9	18,1	-807,6	15,2	-850,9	16,1
<b>Brunnen 2</b>	-257,9	4,9	-272,6	5,2	-186,2	3,5	0,0	0,0
<b>Brunnen 3</b>	-759,3	14,4	-756,5	14,6	-660,8	12,4	-685,3	12,9
<b>Brunnen 4</b>	-808,3	15,3	-778,8	15,0	-732,5	13,8	-742,4	14,0
<b>Brunnen 5</b>	-	-	-834,5	16,0	-805,7	15,2	-810,7	15,3
<b>Brunnen 6</b>	-	-	-800,1	15,4	-745,9	14,0	-756,2	14,3
<b>Brunnen 7</b>	-751,4	14,2	-815,7	15,7	-695,3	13,1	-716,6	13,6
<b>Brunnen 8</b>	-487,4	9,2	-	-	-	-	-	-
<b>Brunnen 9</b>	-691,1	13,1	-	-	-	-	-	-
<b>Brunnen 10</b>	-674,7	12,8	-	-	-	-	-	-
<b>Brunnen 11</b>	-	-	-	-	-681,5	12,8	-731,0	13,8
<b>Summe</b>	<b>-5285,3</b>	<b>100,1</b>	<b>-5199,1</b>	<b>100,0</b>	<b>-5315,5</b>	<b>100,0</b>	<b>-5293,1</b>	<b>100,0</b>

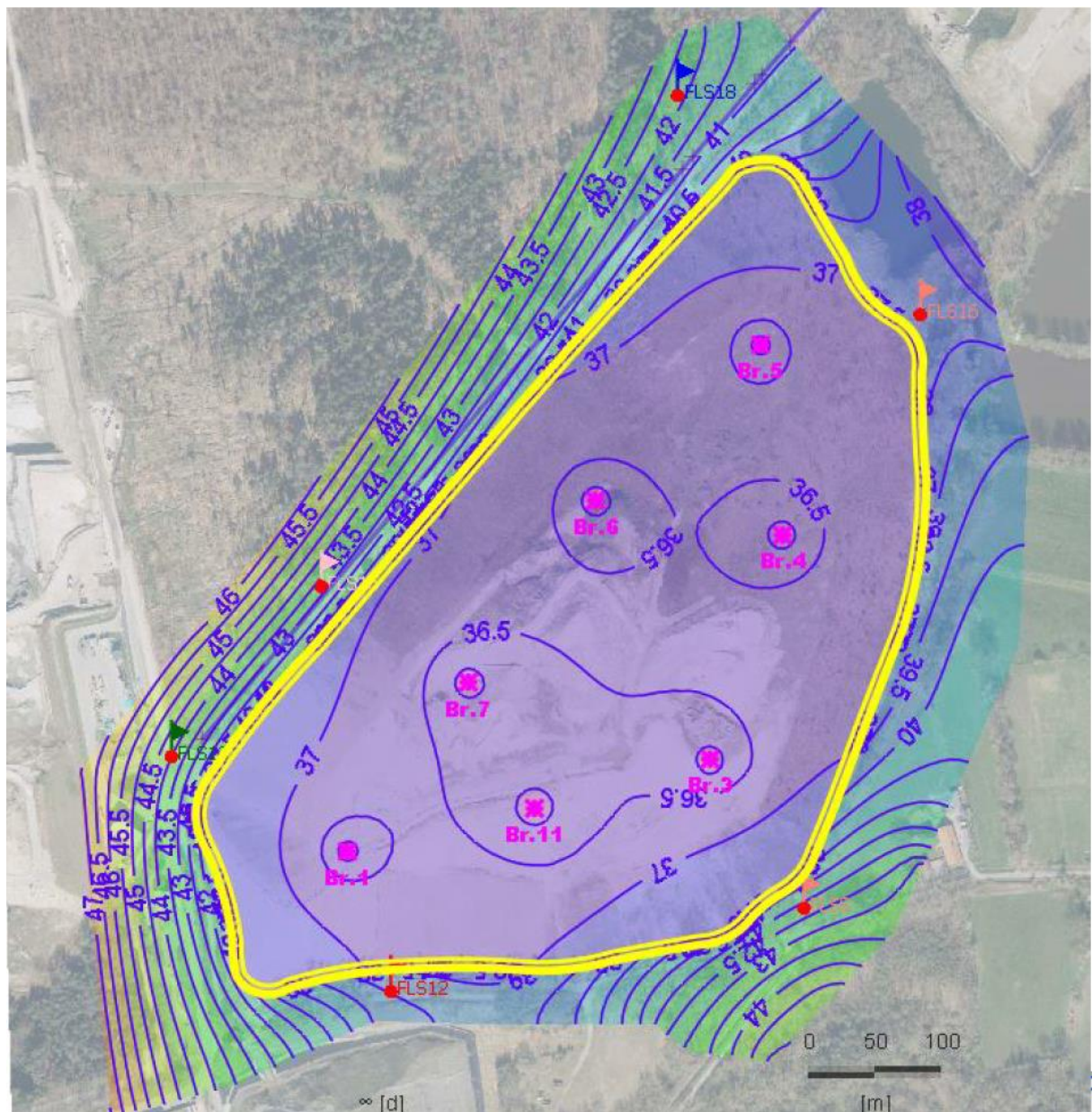
Die Modellierung lässt auch erkennen, dass eine weitere mengenmäßige Optimierung der Sickerwasserförderung durch eine Veränderung der Brunnenanordnung nicht mehr zu erreichen ist. Zudem darf nicht übersehen werden, dass im numerischen Modell mangels genauerer Erkenntnisse über den Aufbau des Verfüllkörpers dessen Homogenität in Kombination mit einer mittleren Durchlässigkeit angenommen wird. Das Grundwassermodell kann die komplexen Verhältnisse nur idealisierend simulieren und eignet sich daher nur bedingt, wenn es darum geht, lokale Einflüsse abzubilden und aus solchen Gegebenheiten die optimale Position einzelner Brunnen oder deren tatsächliche Ergiebigkeit abzuleiten. Solche Erkenntnisse wird man daher nur aus den langfristigen Betriebs- und Monitoringdaten und ergänzenden Feldversuchen ableiten können.

Aus dem Vergleich der Varianten B und D im Hinblick auf die im Simulationsmodell ermittelten Förderraten wird allerdings deutlich, dass der Brunnen 2 (Schacht A) – im Wesentlichen bedingt durch seine Randlage – keinen hohen Beitrag zur Gesamtförderung aufweist. Durch seine Anordnung in der Böschungsmittle ist dieser Brunnen zudem nur sehr schlecht zu erreichen und somit nur mit erheblichem Personalaufwand (z. B. beim Austausch der Pumpe) zu warten. Ein Verzicht auf diesen Brunnen ist unter dem Aspekt einer dauerhaft zu betreibenden Sickerwasserhaltung empfehlenswert. Vor diesem Hintergrund wurde die Variante D betrachtet, die einen Ersatzbrunnen auf der besser erreichbaren Plateaufläche vorsieht. Die Effektivität konnte bei Variante D noch ein wenig gesteigert und die durchschnittliche Auslastung der Förderpumpen insgesamt gleichmäßiger verteilt werden. Gegenüber der Variante C wird zwar eine etwas geringere Effektivität ausgewiesen, gegebenenfalls wäre noch eine (leichte) Verbesserung durch Verschiebung des neuen Brunnens 11 nach Süden zu erzielen. Diese weitergehende Untersuchung kann aber in der finalen Ausführungsplanung erfolgen, sie stellt damit nur noch einen letzten Optimierungsschritt dar.

Für die Empfehlung, sich an der Anordnung der Brunnen entsprechend den Ergebnissen der Variante D zu orientieren, sprechen folgende Gründe:

- Die Variante D sieht den Neubau von 6 Bohrbrunnen vor, die alle auf der Plateaufläche angeordnet sind. Damit ist eine gute Erreichbarkeit der Förderbrunnen für Wartungszwecke gegeben.
- Zusammen mit dem umgebauten Schachtbrunnen C sind in der Phase 2 insgesamt 7 Förderbrunnen verfügbar, die übrigen Brunnen können als Messtellen weiterbetrieben werden.
- Mit der Variante D wird eine gute flächenmäßige Abdeckung bei der Sickerwasserförderung erreicht, so dass sich die Absenktrichter der einzelnen Brunnen kaum überlagern werden.
- Die jährlich aus jedem einzelnen Brunnen zu fördernde Sickerwassermenge liegt in einem engen Band, d. h. sämtliche Brunnen tragen anteilig in gleicher Größenordnung zur Absenkung bei.

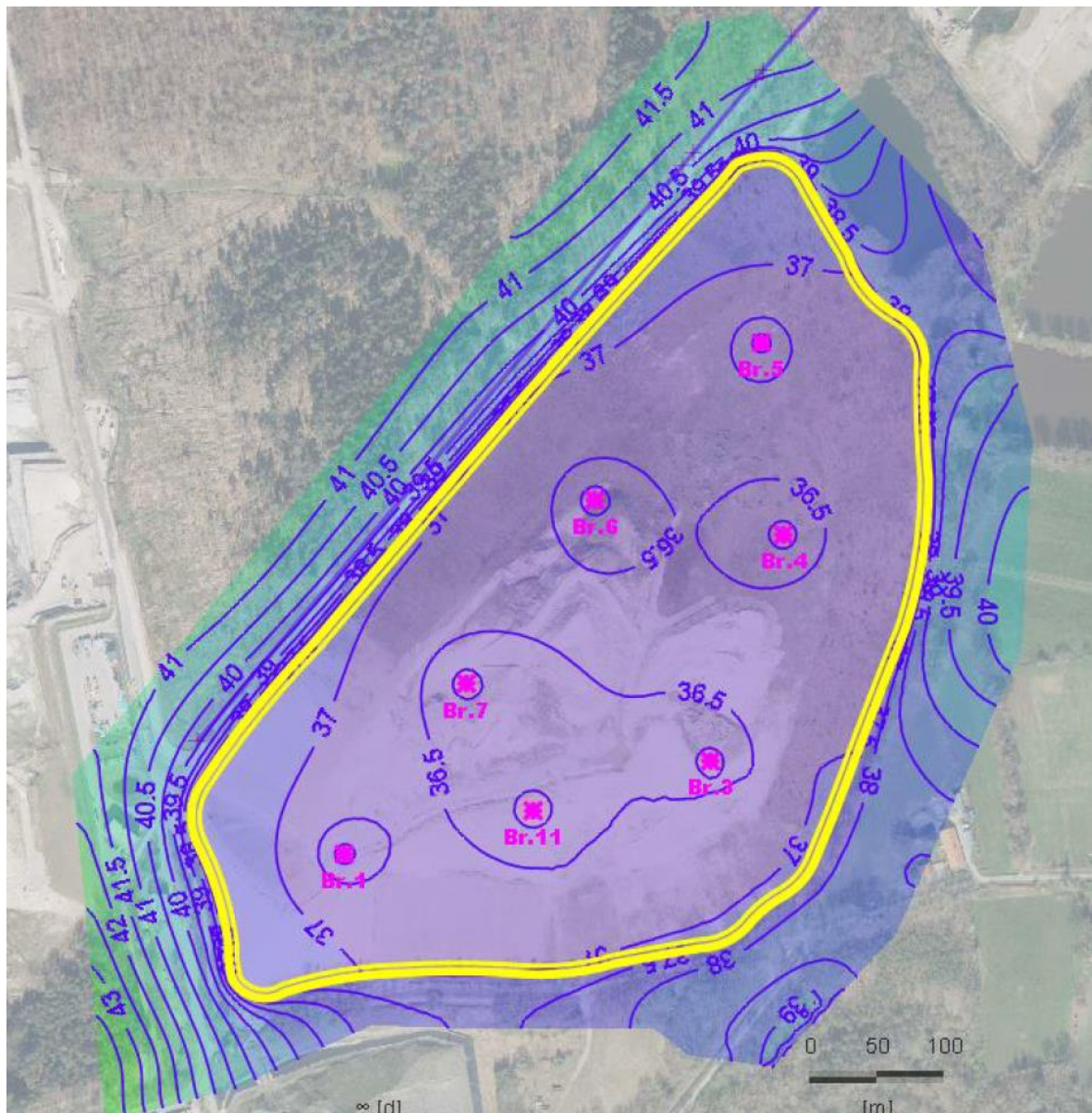
Nachfolgend sind auszugsweise einige Ergebnisse der Simulation für die Variante D dargestellt, die vollständigen Ergebnisse sind dem Anhang 1 zu entnehmen.



**Abbildung 16: Variante D: Standrohrspiegelhöhen – Schicht 1**

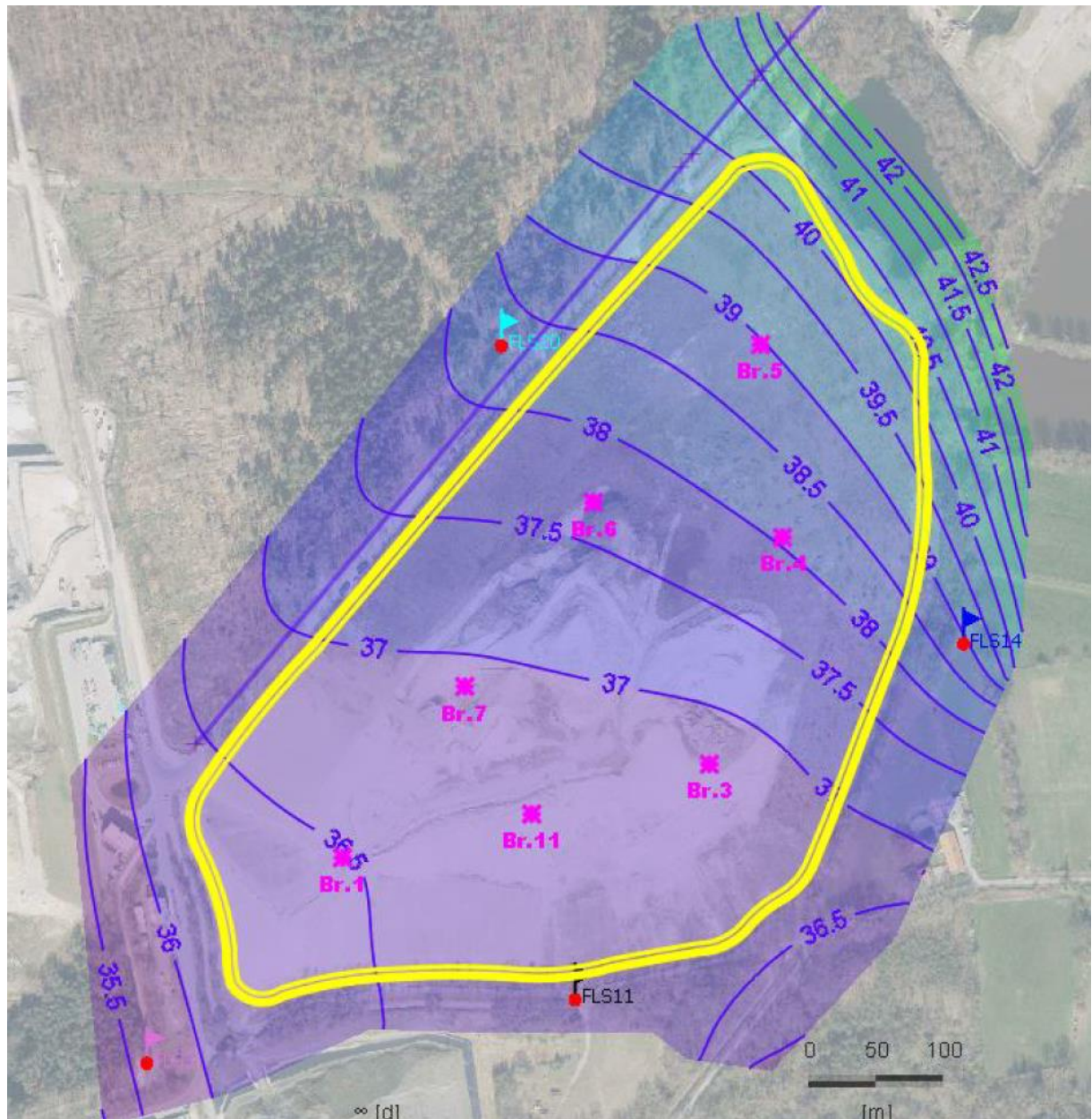
Aus der Abbildung 16 wird erkennbar, dass die Druckhöhen in der Schicht 1 deutlich über dem abgesenkten Sickerwasserspiegel in der Verfüllung liegen und damit ein Ausströmen von belastetem Sickerwasser in diese geringmächtige Schicht ausgeschlossen werden kann. Damit ist eine wichtige Forderung aus der Gefährdungsabschätzung erfüllt.

Ob es allerdings zu dem in der Modellierung abgebildeten allseitigen und dauerhaften Zustrom von Grundwasser in den Verfüllkörper kommt, lässt sich im Umkehrschluss nicht sicher ableiten. Hier dürfte das Grundwassermodell – auf der sicheren Seite liegend – eher eine ungünstige Randbedingung beschreiben.



**Abbildung 17: Variante D: Standrohrspiegelhöhen – Basis**

Die Abbildung 17 verdeutlicht nochmals, dass die Brunnen die gesamte Basis der Verfüllung gut abdecken und fast bis zum Rand eine Sickerwasserabsenkung auf 37 m NHN erreichen. Lediglich in der nordöstlichen sowie der südwestlichen Spitze kommt es in der Simulationsberechnung zu einer geringfügigen Überschreitung dieses Zielwertes.

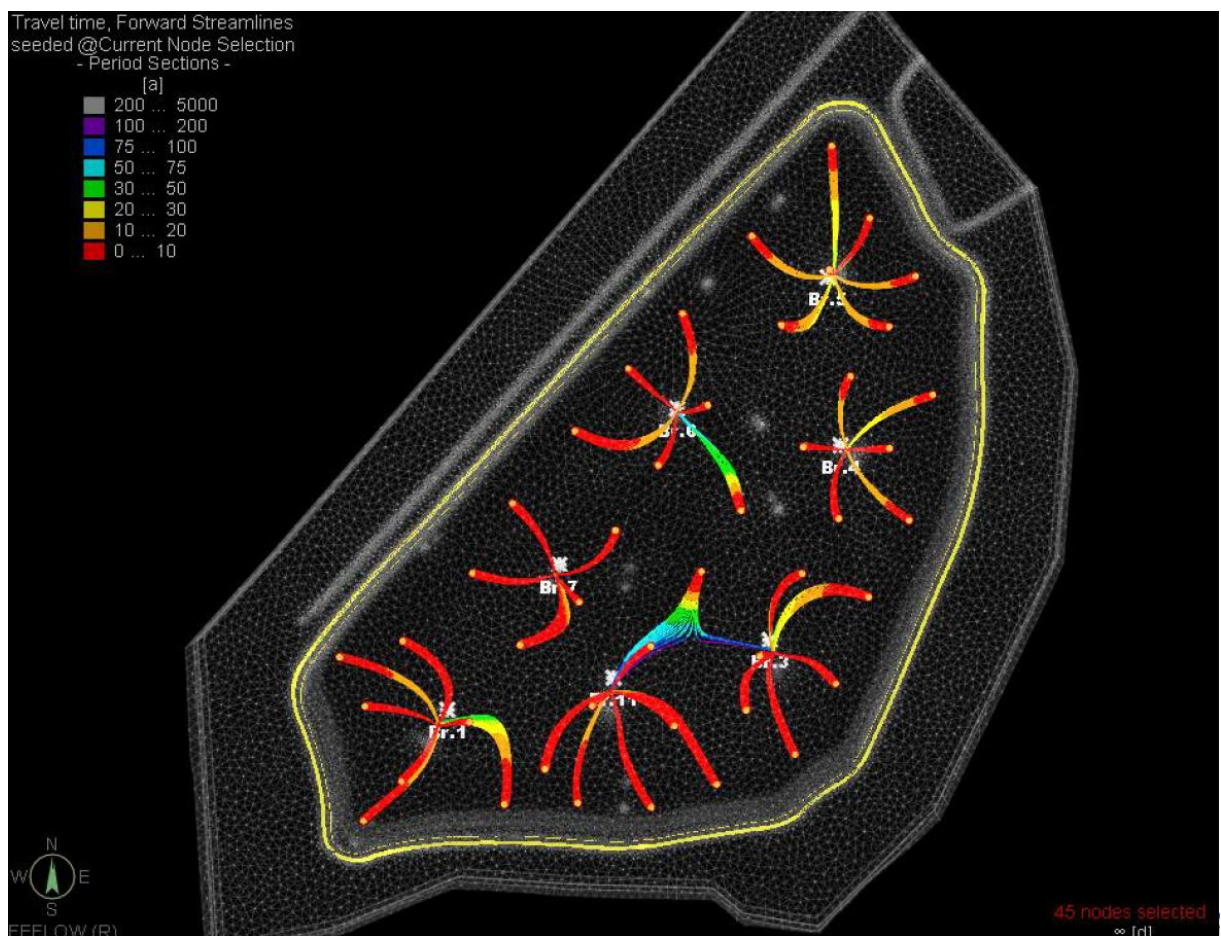


**Abbildung 18: Variante D:** Standrohrspiegelhöhen – Schicht 2

In der Abbildung 18 wird erkennbar, dass die Druckhöhen in der Schicht 2 im südlichen Bereich geringfügig unter dem in Abbildung 16 dargestellten Sickerwasserspiegel in der Verfüllung liegen. Damit bildet sich ein Druckgradient in Richtung der Schicht 2 aus, d. h. dort kann in geringem Maße Sickerwasser durch die Basis ausströmen. In den übrigen Bereichen im Norden kehren sich die Verhältnisse um, hier wird Grundwasser in den Ablagerungskörper einströmen. Dies wird auch aus den Ergebnissen in Tabelle 12 deutlich, aus der zu entnehmen ist, dass rechnerisch rund 276 m<sup>3</sup>/a Grundwasser einströmen, aber nur etwa 36 m<sup>3</sup>/a Sickerwasser ausströmen. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muss aber beachtet werden, dass diese Strömungsvorgänge aufgrund der sehr geringen Druckunterschiede und der sehr geringen Durchlässigkeitsbeiwerte der unterlagernden Tonschicht mit k-Werten zwischen 10<sup>-9</sup> bis 10<sup>-10</sup> m/s extrem langsam erfolgen.

Bei einem Abstand der Schicht 2 von 5 m (siehe dazu auch Schichtlagerungsdaten in [1]) unter der Aufstandsfläche der Verfüllung ergeben sich für eine Gradienten  $i = 0,1$  Fließgeschwindigkeiten von  $v = 10^{-9} \times 0,1 = 1 \times 10^{-10}$  m/s bzw. 3,2 mm/a. Für die Passage durch die 5 m mächtige, trennende Tonschicht wäre somit ein Zeitraum von mehr als 1.500 Jahren erforderlich.

Die Abbildung 19 lässt erkennen, dass die räumliche Abdeckung zur Sickerwasserförderung mit den 7 Brunnen insbesondere auf die Randzonen (Böschungsbereiche) rasch, d. h. innerhalb eines Zeitraumes von bis zu 10 Jahren, wirksam wird.



**Abbildung 19: Variante D:** Tracer-Laufwege und Fließzeiten mit Startpunkten an der Sickerwasseroberfläche



Gleichzeitig zeigt sich aber auch, dass die Plateaufläche in der Kernzone zwischen Brunnen 3, 4, 6, 7 und 11 eventuell mit einem weiteren Brunnen durch Verkürzung der Fließwege wahrscheinlich schneller zu entwässern wäre. Hier sollte in der Phase 1 nach Umbau des Schachtes C zum Brunnen 7 dessen Leistungsfähigkeit nochmals untersucht werden. Denkbar ist es auch, zusätzlich eine Sickerwassermessstelle einzurichten, die bei entsprechendem Ausbau auch als weiterer Förderpunkt genutzt werden kann. Ob tatsächlich eine Förderung realisiert wird, kann später aus dem Sickerwasser-Monitoring mit Hilfe der regelmäßig an dieser und anderen Messpunkten gewinnbaren Messdaten entschieden werden.

Festzuhalten bleibt, dass mit allen Varianten die Sickerwasserhaltung für die Phase 2 zu einem sicheren Zustand hinsichtlich eines möglichen Austrittes von Sickerwässern aus der Verfüllung führt. Die einzelnen Berechnungsergebnisse zeigen alle ein ähnliches Bild und unterscheiden sich in Nuancen. Für die finale Auslegung der Anordnung neuer Bohrbrunnen können deren optimale Standorte nochmals durch einige zusätzliche Simulationsläufe vergleichend bewertet und Luftbilddaten zur Genese der Verfüllung mit einbezogen werden.

#### **4.2.2 Herstellung der Bohrbrunnen**

Die folgenden Ausführungen beziehen sich vorzugsweise auf die Variante D. Nach den Berechnungen müssen aus den Brunnen Br. 1, 3, 4, 5, 6, 7 und 11 etwa in der gleichen Größenordnung Sickerwassermengen zwischen knapp 700 m<sup>3</sup>/a bis 900 m<sup>3</sup>/a entnommen werden. Bei dieser Berechnung wurde zugrunde gelegt, dass eine flächenhafte Absenkung des Sickerwasserspiegels auf < 37 m NHN erreicht wird.

Für die Herstellung der Bohrbrunnen wird aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eine Vorsondierung (Baugrundaufschluss) empfohlen, um sicherzustellen, dass am jeweils ausgewählten Ansatzpunkt für die Förderbrunnen der Verfüllkörper keine schwer zu durchörternden Hindernisse aufweist und die Sohle der Verfüllung bei 30 m NHN tatsächlich erreicht wird.

Für die Brunnen können die Brunnenhauptabmessungen aus der Vorgabe der notwendigen Förderleistung abgeleitet werden:

##### a) Ausbaudurchmesser der Brunnen

Die Sickerwassermengen, die zur Erhaltung der Absenkung notwendig sind, liegen in der Größenordnung unter 2 m<sup>3</sup>/h. Für diese Mengen ist eine Förderung mit 3"-Unterwasserpumpen möglich. Zwischen Brunneninnenwandung und Unterwasserpumpe sollte nach Erfahrungswerten ein Raum von mindestens 50 mm verbleiben, d. h. der erforderliche Ausbaquerschnitt wäre in diesem Fall bei mindestens Di 176 mm festzulegen.

Der Brunnenausbau sollte aufgrund der Aggressivität des Sickerwassers mit langlebigen PE-HD-Filter- und Vollrohren erfolgen. Als Ausbaumaterial können z. B. Rohre der Firma STÜWA (siehe Anlage 2) eingesetzt werden, die über eine nach Werksnorm ausgebildete C-Gewindeverbindung (TNA) in 6 m-Längeneinheiten miteinander verschraubt werden. Bauähnliche Fabrikate anderer Hersteller sind gleichfalls einsetzbar.

Als Mindestquerschnitt wird empfohlen, ein Rohr DA 200 x 11,9 mit der Belastungsklasse SDR 17 einzusetzen. In Bezug auf die erhöhten Standzeitanforderungen wäre eine Erhöhung der Belastungsklasse auf SDR 11 (dann Filter-/Vollrohr DA 225 x 20,5, SDR 11) – auch im Hinblick auf spätere Regenerierungsarbeiten – noch abschließend zu prüfen.

Die Filterrohre sollten mit einer Filteröffnung von 1 mm ausgelegt werden. Der Ringraum muss mit Filterkies verfüllt werden, bei Schlitzweiten in den Filterrohren von 1 mm ist ein Filterkorn-durchmesser von > 2 mm vorzusehen. Die Ausführung als Einfachfilter mit einer Mindestmächtig-keit von 80 mm wird bei der zu erwartenden Körnung der Verfüllmaterialien zu einem gewissen Eintrag von Feinpartikeln führen. Sofern bei den Brunnenbohrungen ein ausreichender Bohrend-durchmesser realisiert werden kann, sollte geprüft werden, ob eine Ausführung als Doppelfilter möglich ist.

#### b) Bohrdurchmesser

Für die Ausführung der Bohrungen können Lkw- oder Raupenfahrwerk-gestützte Drehbohrgeräte eingesetzt werden. Eine Optimierung zur Verbesserung des Einbaus der Rohrtouren ist durch Einsatz einer Verrohrungsanlage bei den bestehenden Platzverhältnissen möglich und sollte auf-grund der leichteren Rohreinbringung erwogen werden.

Der Bohrdurchmesser, im Fall einer Teleskopierung besser als Bohrenddurchmesser zu bezeich-nen, muss den Einbau eines Filterrohres ermöglichen und Platz für einen umhüllenden Kiesfilter bieten. Die Teleskopierung der Bohrung mit Gewindebohrrohren gemäß DIN 4918 ist in Abhän-gigkeit von der Bohrtiefe zu wählen. Der geringste Bohrenddurchmesser sollte bei den Brunnen-rohren DA 200 etwa 360 mm betragen. Insoweit ist prinzipiell bei den Bohrrohren eine sinnvolle Abstufung mit 4 Rohrtouren 572 x 12.5, 521 x 11.5, 470 x 10.5 und 419 x 9.5 realisierbar. Es sollte jedoch untersucht werden, ob auf die letzte Rohrtour verzichtet und stattdessen ein abge-stufter Doppelfilter eingebaut werden kann, um den Eintrag von Feinpartikeln aus dem Ablage-rungskörper zu minimieren. Eine finale Entscheidung für den Doppelfilter obliegt der weiteren Planung, bei der auch Erkenntnisse aus den Vorsondierungen zu berücksichtigen sind.

### c) Pumpenbetrieb

Für den Pumpenbetrieb kann eine Verfügbarkeit von rund 90 % angesetzt werden, d. h. jährlich 8.000 Betriebsstunden gelten als erreichbar. Sofern auf eine Energieversorgung durch eine PV-Anlage gesetzt wird, sollte diese Sickerwassermenge möglichst während der Betriebszeit der PV-Anlage pro Jahr entnommen werden. Hierfür sind im mittleren Fall etwa 4.100 Bh/a anzusetzen. In diesem Fall erfolgt ein intermittierender Betrieb, für den eine automatisierte, fernregelbare Mengenanpassung in der Pumpleistung mittels Frequenzsteuerung anzuraten ist.

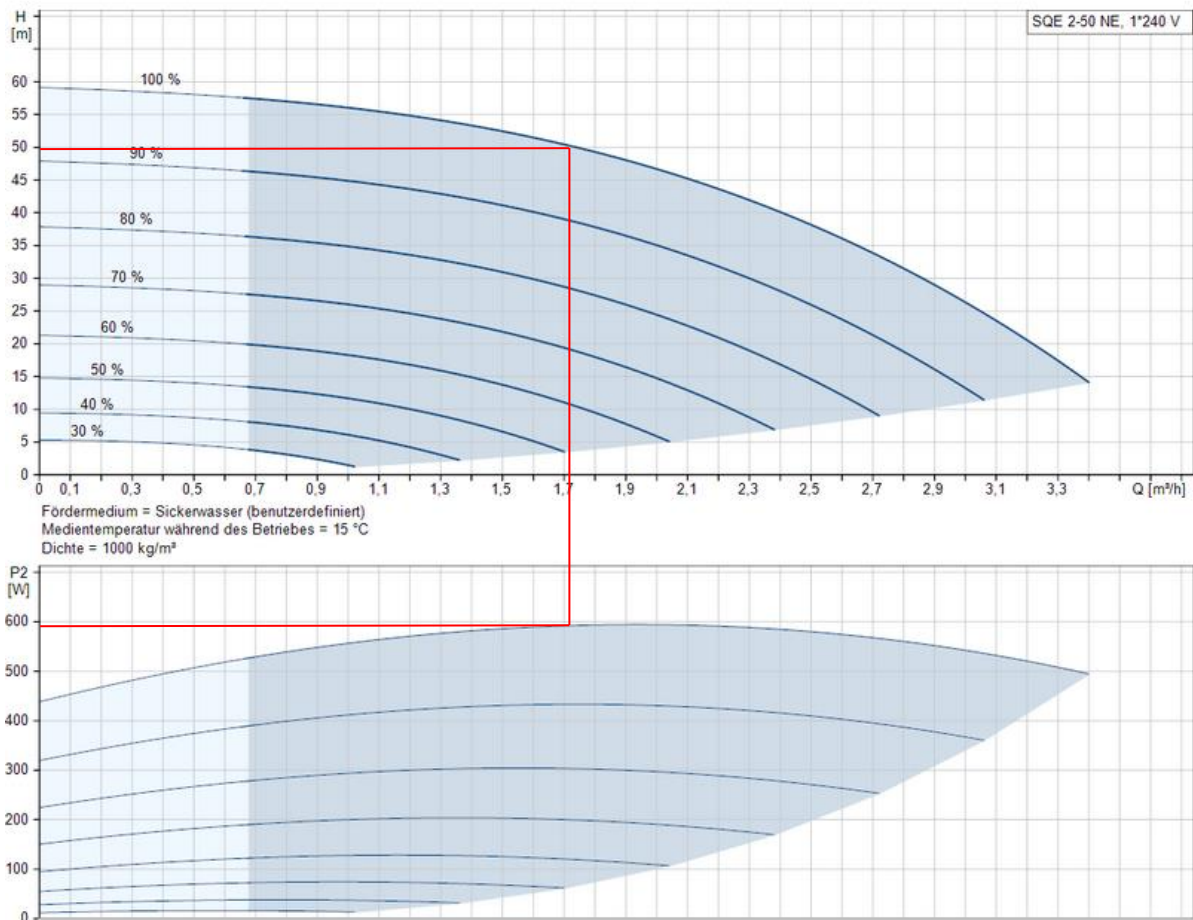
Zur Aufrechterhaltung des Sickerwasserspiegels bei 37 m NHN ist eine Förderleistung von rund 5.300 m<sup>3</sup>/a erforderlich. Bei diesem Kennwert handelt es sich einerseits um eine Schätzung über die durch Imperfektionen bedingte Systemdurchlässigkeit der Oberflächenabdichtung, die mit einem Durchtritt von 15 l/(m<sup>2</sup> a) charakterisiert wird, andererseits wird der Zufluss aus der Schicht 1 aus geohydraulischen Parametern und der Zutritt an der Basis prognostiziert. Insoweit wird empfohlen, hier eine gewisse zusätzliche Reserve mit einem Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 bzw. rund 8.000 m<sup>3</sup> einzurechnen. Dementsprechend erhöht sich der Bereich der Förderleistung je Brunnen auf 1.050 m<sup>3</sup>/a bis 1.300 m<sup>3</sup>/a.

Für alle Brunnen wird die obere Fördermenge gleichfalls um einen Teilsicherheitsbeiwert von 1,5 erhöht, so dass bei dem oberen Ausgangswert von 1.300 m<sup>3</sup>/a eine Gesamtförderkapazität von rund 2.000 m<sup>3</sup>/a je Brunnen vorhanden sein sollte.

**Tabelle 14:** Abschätzung der erforderlichen Leistungsfähigkeit der Brunnenpumpen für die Phase 2

<b>Betriebsstunden</b>	<b>Förderleistung min. 1.050 m<sup>3</sup>/a</b>	<b>Förderleistung (1,5-fach) max. 2.000 m<sup>3</sup>/a</b>
8.000 Bh	131 l/h	250 l/h
4.100 Bh	256 l/h	488 l/h

Mit der in der Anlage 1 definierten Pumpe SQE2-50 NE kann anhand der Pumpenkennlinie für eine Förderhöhe 47 m zuzüglich der Rohrreibungsverluste, die bei Förderung in einer 1- oder 1¼-Zoll PU-Schlauchleitung (Steigleitung) bzw. außerhalb des Brunnens als erdverlegte PE-HD-Leitung bis zum Übergabepunkt in die im Freispiegelgefälle entwässernde PE-HD-Sammelleitung entstehen, ermittelt werden, dass bei einer Gesamtförderhöhe von 50 m bis zu 1,7 m<sup>3</sup>/h gepumpt werden können.

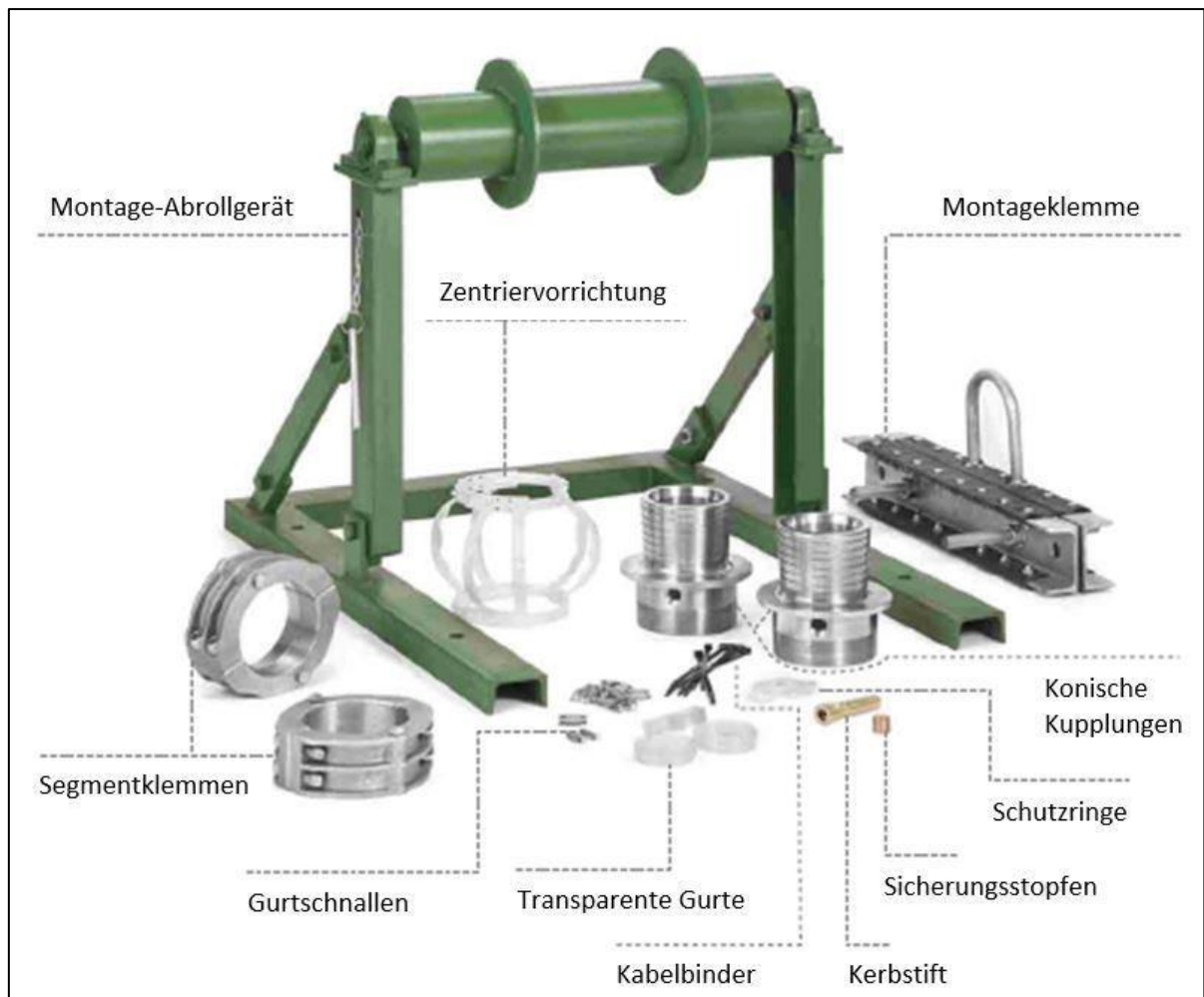


**Abbildung 20:** Pumpenkennlinie für eine 3"-Unterwasserpumpe Typ Grundfos, SQE 2-50

d) Pumpensteigleitung, Elektroanschluss, Frequenzumrichter und Fernalarmierung

Für die Pumpen sollte ein leichter Austausch sowie eine gute Wartung mit geringem Personaleinsatz möglich sein. Es wird empfohlen, anstelle starrer Steigleitungen aus PE-Rohrleitungsmaterial flexible Schlauchsteigleitungen einzusetzen (siehe Anlage 2). Diese flexiblen Steigleitungen werden im Extrusionsverfahren als hoch verschleißfester Flachslauch gefertigt. Der innere und äußere Mantel besteht aus Polyurethan (PU) und ist mit einer rundgewebten Polyesterinlage versehen.

Die Pumpen benötigen eine 220 V Energieversorgung, die mit einem sickerwasserbeständigen Unterwasserkabel 3 x 2,5 mm<sup>2</sup> realisiert werden kann (siehe Anlage 2). Zum Ziehen der Pumpe sollte eine mobile Arbeitshilfe vor Ort vorgehalten werden.



**Abbildung 21:** Hilfseinrichtung für das Ziehen der Unterwasserpumpen

Die Installation eines Frequenzumrichters erlaubt es, die Pumpenleistung durch Drehzahlsteuerung an den jeweiligen Förderbedarf anzupassen. Zusammen mit einer Fernalarmierung, die weiter zur Fernsteuerung ausgebaut werden kann, kann in Verbindung mit einer ständigen Spiegelüberwachung an mehreren Stellen eine umfassende Steuerung mit einfacher Anpassung der Förderleistungen an verschiedene Betriebszustände sichergestellt werden.

Diese Fernwirkungsmöglichkeit mit ständiger Erfassung der aktuellen Betriebsdaten und der Möglichkeit zur raschen Einwirkung auf die Förderung ist von besonderer Bedeutung, weil sich zahlreiche Einflussfaktoren erst im laufenden Betrieb erkennen lassen werden. Insoweit wird ein solcher Ansatz bereits in der Phase 1 von Nutzen sein.

#### e) Brunnenstube

Die Errichtung des Brunnens auf der abgedichteten Oberfläche der Verfüllung stellt besondere Anforderungen an die spätere Wiederherstellung der mineralischen Dichtung.

Für den Brunnenbau ist im Aufstell- bzw. Einwirkungsbereich der Bohrgeräte die gesamte Rekultivierungsschicht aufzunehmen und seitlich zu lagern. In den übrigen Baustelleneinrichtungsflächen ist mindestens die Oberbodenschicht zu entfernen. Für die Lagerung von wassergefährdenden Stoffen (Treibstoff etc.) sind doppelwandige Behälter bzw. Auffangwannen einzusetzen.

Im Bohrbereich sollte die Dichtung einschl. der darüber angeordnete Dränagematte in einem Radius von etwa 2 m um den Bohransatzpunkt abgetragen und durch tragfähiges Schottermaterial ersetzt werden. Im Aufstell- bzw. Einwirkungsbereich der Bohrgeräte kann die mineralische Dichtung verbleiben, allerdings sollte die Dränagematte getrennt und an den Trennstellen umlaufend ein Dichtkeil hergestellt werden. Ziel ist, den Eintrag von Schmutzwasser aus dem Bohrbereich in die Oberflächendränage zu verhindern. Der bereits aufgebrachte Rekultivierungsboden ist temporär aufzunehmen und temporär durch ein lastverteilendes Schotterpolster zu ersetzen. Nach Abschluss der Arbeiten kann das Schottermaterial wieder durch Rekultivierungsboden ersetzt werden.

Nach Einbau der Brunnenverrohrung (das Brunnenrohr sollte etwa 1,5 m über OK Dichtung herausragen), des Filtermaterials sowie eines dichtenden Tonstopfens (bis zur UK der mineralischen Dichtung) kann das restliche Schottermaterial vorsichtig entnommen und im Ringraum die mineralische Dichtung – vorzugsweise im Handeinbau mit abgetrepter Bauweise wiederhergestellt werden. Die mineralische Dichtung bildet das Auflager der Brunnenstube, die unmittelbar auf der Dichtung zu gründen ist. Die Dränagematte ist nach Einbau der Brunnenstube umlaufend mit Anschluss an den Bestand wiederherzustellen.

Für die Brunnenstube bietet es sich an, das in die Rekultivierungsschicht einzubindende Bauwerk aus Fertigteilen mit gefalzten Schachtringen DN 2000 - DIN 4034-2, C30/37 XC3 – Wanddicke herstellerabhängig ca. 100 mm sowie einem Schachtunterteil mit angeschlossener Bodenplatte auszuführen. Eine ausreichende Stehhöhe in der Brunnenstube ist unter Verwendung verschiedener Ringhöhen zwischen 500 mm bis 1000 mm erreichbar. Denkbar wäre auch der Einsatz einer Brunnenhaube. Allerdings ist hier im Hinblick auf den langfristigen Erhalt der Vertikalbrunnen und Grundwassermessstellen eine widerstandsfähigere Ausführung zu bevorzugen.

Eine zusätzliche Abdichtung mit bituminösen Dickstoffmaterial sowie eine umlaufende Perimeterdämmung wird empfohlen, um eine dichte Ausführung der Brunnenstube zu gewährleisten.

Die Forderung nach einer ausreichenden Stehhöhe (lichte Höhe 2,15 m) in der Brunnenstube bedingt, dass Brunnenstuben über die Oberfläche hinausragen. Der obere Abschluss wird durch eine Abdeckplatte ( $d = 12 \text{ cm}$ ) gebildet, in die eine tagwasserdicht verschließbare Einstieg-/Wartungsöffnung für das Ziehen der Unterwasserpumpen mittels der in Abbildung 21 dargestellten Montagehilfe zu integrieren ist.

Mit der Abdeckplatte ragt die Konstruktion etwa 0,7 m bis 1,2 m über die – hier mit einer Höhe von 1,5 m bis 2,0 m angenommen Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht<sup>9</sup> hinaus. Eine umlaufende seitliche Erdandeckung ermöglicht den leichten Zugang, sorgt jedoch auch gleichzeitig dafür, dass Niederschlagswasser vom Bauwerk weggeführt wird.

#### **4.2.3 Ausbau der Schachtbrunnen**

Beim Ausbau des heute vorhandenen Schachtbrunnens C ist prinzipiell in gleicher Weise wie beim Ausbau der Bohrbrunnen zu verfahren. Lediglich das Bohren entfällt, d. h. das Brunnenrohr kann direkt in das Schachtbauwerk eingestellt und der Raum zwischen Brunnenfilterrohr und Schachttinnenseite mit Filterkies verfüllt werden. Im Hinblick auf die vermutlich aus Lochringen hergestellte untere Schachtzone sollte geprüft werden, ob ein Doppel- oder Dreifachfilter mit einer innenliegenden gröberen Körnung hergestellt werden kann.

Die in den Böschungsbereichen angeordneten Schachtbrunnen A, B, D und E sollen nach Abschluss der Phase 1 nicht mehr für die Förderung genutzt werden, weil sie schlecht erreichbar und langfristig nicht gut zu warten sind. Sie können aber weiterhin für die Sickerwasserspiegelmessung genutzt werden, so dass sie ebenfalls nach Einbau eines Brunnenrohres und Verfüllung des Ringraumes mit Filterkies bzw. im Vollrohrbereich mit Brunnendämmer oder vergleichbaren Materialien langfristig standsicher sind.

#### **4.3 Maßnahmen für das Sickerwassermonitoring**

Das Sanierungsziel, den Sickerwassereinstau flächendeckend in der gesamten Verfüllung auf 37 m NHN abzusenken und dort dauerhaft zu halten, bedarf der regelmäßigen Überprüfung. Hierbei ist zwischen der Phase 1, die sich bis zum Erreichen des vorgenannten Absenkzieles erstreckt, und der Phase 2, die die dauerhafte Haltung betrifft, zu unterscheiden.

---

<sup>9</sup> Die erforderliche Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht auf der Plateaufläche ergibt sich letztlich aus den späteren Begrünungsmaßnahmen. In Bereichen, in denen Baumanpflanzungen vorgesehen sind, sollte ein wasserspeichernder Wurzelraum (i. d. R.  $\geq 1,5 \text{ m}$ ) mit genügendem Abstand zur Oberflächenabdichtung vorgesehen werden. Es ist zu bezweifeln, ob die bisher vorgesehene Rekultivierungsmächtigkeit von 1,3 m angesichts der in den letzten Jahren eingetretenen klimatischen Veränderungen noch als ausreichend anzusehen ist. Da durch die notwendigen Baumaßnahmen auf der Plateauoberfläche größere Eingriffe in die noch nicht final abgeschlossene Rekultivierung – derzeit ist z. B. noch keine Baum-/Buschbepflanzung vorhanden – erfolgen werden, wird am Ende des Brunnenbaus und Einbaus der Sickerwasserrohrleitungen sowie der Energie- und MSR-Leitungen eine abschließende Wiederherstellung/Anpassung der Oberfläche erfolgen. Dieser Aspekt ermöglicht es auch, die Oberflächengestaltung des Plateaubereiches im Hinblick auf die Niederschlagswasserableitung sowie die klimaresistente Bepflanzung zu optimieren.

Nach der Modellierung des Sickerwassereinstaus innerhalb der Verfüllung („Steady State“-Zustand) wird sich im Idealfall langfristig ein flächig gleichmäßig abgesenkter Einstauspiegel<sup>10</sup> ausbilden. Dieser Modellvorstellung liegt allerdings die Annahme einer homogenen Struktur des Verfüllkörpers zugrunde, während die zahlreichen Aufschlussdaten (siehe dazu [1]) auf einen heterogenen Aufbau des Verfüllkörpers, lokale Einstauphänomene und örtlich schwankende Transmissivitäten hinweisen. Insoweit hat die Gefährdungsabschätzung [1] grundlegende Erkenntnisse zum Sickerwasser geliefert, aber auch aufgezeigt, dass die Auswertung einzelner Sickerwassermessstellen immer mit der Frage verbunden ist, wie repräsentativ lokale Messungen und daraus abzuleitende Folgerungen in der Übertragung auf die gesamte Verfüllung sind.

Für das Monitoring kommt erschwerend hinzu, dass sich in der Phase 1 mit zahlreichen Eingriffen in den Verfüllkörper stetig ändernde Randbedingungen für das Sickerwassermonitoring ergeben. Hier mit kurzfristigen Datenreihen etwaige Langzeitveränderungen interpretieren zu wollen, ist aufgrund der komplexen, bislang auch nicht vollständig erfassten Einflussfaktoren eher schwierig. Viel wahrscheinlicher ist es, dass aus den neuen Bohrungen weitere Sachzusammenhänge erkennbar werden, die plausibel in das Gesamtbild eingefügt werden müssen. Insoweit besteht die Monitoringaufgabe in der Phase 1 zunächst darin, so viele Daten wie möglich zu gewinnen, um damit den gesamten Prozess der Sickerwasserentnahme besser zu steuern und die Förderung im Hinblick auf das rasche Erreichen des Absenkzieles zu optimieren.

Zur wünschenswerten Verdichtung der Erkenntnisse über den Sickerwassereinstau können frühzeitig die empfohlenen, dem Brunnenbau vorlaufend auszuführenden Vorsondierungen dienen, wenn diese bis zur Sohle der Verfüllung mit Peilrohren (Ausbau mit 2"-PE-Filterrohren) versehen werden. Damit stünden bis zur Errichtung der jeweiligen Förderbrunnen mindestens 6 weitere Messstellen zur Verfügung, um die bereits im Rahmen der Gefährdungsabschätzung hergestellten Messstellen zu ergänzen.

Unter der Prämisse, mehr Messdaten für das Sickerwassermonitoring zu generieren, erscheint es auch sinnvoll, sämtliche über die Verfüllung Mühlenberg räumlich verteilten Förderbrunnen gleichzeitig auch für die kontinuierliche Datenerhebung zu nutzen. Dazu können gesondert im Filterraum der Brunnen angeordnete Messpegel mit Drucksensoren ausgerüstet werden, die laufend den Wasserdruck aus der darüberliegenden Wassersäule messen. Solche Messgeräte (z. B. Diver der Firma van Essen, siehe dazu Abbildung 21) mit einem Durchmesser von 22 mm können dauerhaft in der Messstelle (Ausbau mit 2" PE-Rohren) verbleiben und über ein Datenkabel laufend Messdaten an eine in der Brunnenstube angeordnete Messwerterfassung weiterleiten. Von dort können die Daten dann an eine – auch für die Pumpensteuerung erforderliche – Zentraleinheit übergeben werden.

---

<sup>10</sup> Genau genommen würden durch die seitlichen Zuflüsse an den Rändern geringfügig höhere Sickerwasserspiegel als in der Mittelzone mit den dort angeordneten Entnahmeeinrichtungen zu messen sein. Allerdings bedeutet ein Zustrom von 1.900 m<sup>3</sup>/a bei einer Fläche von 21 ha und einem auffüllbaren Porenvolumen von 10 % eine Spiegelerhöhung von 10 cm. Insoweit erscheint die Beschreibung einer flächigen Gleichmäßigkeit des Sickerwassereinstaus gerechtfertigt.



Mit dieser automatisierten Messwerterfassung ist grundsätzlich eine tägliche Messung der Wasserstände in allen Brunnen gesichert und damit ein langfristiges Monitoring der Sickerwasserstände auch unter sich ändernden Rahmenbedingungen möglich. Gegenüber Einzelmessungen, die quartalsbezogen, halbjährlich oder jährlich mit Stichtagsmessungen erfolgen, ist hier eine deutlich bessere Verfolgung der Vorgänge in der Verfüllung erreichbar. Zudem sind diese Messdaten auch dazu geeignet, in Verbindung mit einer Fernwirkung der Pumpensteuerung und im Zusammenwirken mit der Sickerwasserreinigungsanlage Optimierungsansätze im Sickerwassermanagement zu begründen und ohne aufwendige Feldeinsätze Messdaten für die Rückkopplung / Justierung solcher Maßnahmen zu liefern.



**Abbildung 22:** Keramik-Diver für Messungen in aggressiven Medien (Quelle: CERA-Diver Typ DI 7012 der Firma van Essen Instruments, Messgenauigkeit  $\pm 0,5$  cm)

Der in Abbildung 22 dargestellte Diver kann in 2"-Peilrohren eingebaut und bereits bei den Voruntersuchungen (Baugrundaufschluss) installiert werden. Eine Weiternutzung in den später final zu errichtenden Förderbrunnen ist möglich.

#### **4.3.1 Sickerwassermonitoring in der Phase 1**

In der Phase 1 soll der Sickerwasserspiegel von derzeit im Mittel 43,1 m NHN auf 37 m NHN in einem Zeitraum, der im optimalen Fall mit rund 7 Jahren anzugeben ist, abgesenkt werden. Dies entspricht einer mittleren jährlichen Absenkungsrate von rund 0,9 m/a (bei einer Dauer von 10 Jahren entsprechend 0,6 m/a). Ob diese jährliche Absenkung tatsächlich flächendeckend erreicht wird, soll mittels der bereits beschriebenen kontinuierlichen Datenerfassung geprüft werden. Dabei können bei Automatisierung der Förderung auch mit geringem Aufwand Einzeltests – z. B. Untersuchungen zum Wiederanstieg des Sickerwasserspiegels bei Abschaltung einzelner Förderpumpen – durchgeführt werden. Ob die prognostizierte Dauer bis zum Erreichen des Absenkzieles letztendlich in den genannten Zeiträumen zutreffend ist, wird sich am Ende der Phase 1 erweisen.

In der Phase 1 ist zunächst der Weiterbetrieb der 5 Schachtbrunnen sowie der Neubau von 6 Bohrbrunnen vorgesehen. Die Schachtbrunnen sollen dann schrittweise durch Einbau eines Brunnenförderrohres mit Auskiesung des Ringraumes bis zur Schachtwandung ertüchtigt werden. Aufgrund ihrer Lage in der Böschung, der durch den Rand der Verfüllung begrenzten Reichweite und der schlechten Erreichbarkeit sind diese Brunnen mit Ausnahme des Schachtes C langfristig nicht für die aktive Förderung von Sickerwasser vorgesehen. Sie können jedoch weiterhin als Messtellen genutzt und zur Überwachung mit Divern bestückt werden, mit denen eine kontinuierliche Erfassung der Sickerwasserspiegelhöhe und automatische Weiterleitung der Messdaten an eine zentrale Stelle möglich ist.

Für die Phase 1 ist das Sickerwassermonitoring an verschiedene Zeitabschnitte und zugeordnete Maßnahmen anzupassen:

<b>Zeitabschnitt</b>	<b>Maßnahmen</b>	<b>Monitoring</b>
0	Vorlaufende Maßnahmen: Vorsondierung, Peilrohre	Einbau von manuell auszulesenden Divern
1-a	Bau der Bohrbrunnen, Rohrleitungen zur Sickerwasserreinigungsanlage, Automatisierung der Pumpensteuerung	Einbau Diver in Bohrbrunnen, Datenleitungen zur Schaltzentrale, Kalibrierung, Funktionstest
1-b	Einfahrbetrieb Bohrbrunnen	Kontinuierliche messtechnische Begleitung der Einzelmaßnahmen, Funktionskontrollen
1-c	Umbau der Schachtbrunnen, Ertüchtigung der Standsicherheit	Einbau Diver in Schachtbrunnen, Integration in das gesamte Messnetz
1-d	Einfahrbetrieb der umgebauten Schachtbrunnen	Kontinuierliche messtechnische Begleitung der Einzelmaßnahmen, Funktionskontrollen
1-e	Optimierung des Regelbetriebes, Anpassung der Einzelförderungen zum Erreichen des Absenkzieles	Kontinuierliche messtechnische Begleitung der Optimierungsuntersuchungen
1-f	Erreichen des Absenkzieles für die Phase 1 bei 37 m NHN	Datenerfassung einer abschließenden Messkampagne zum Nachweis der Beendigung der Phase 1

Im Zeitabschnitt 0 sind vorlaufende Maßnahmen wie die Vorsondierungen an den geplanten Standorten für die Bohrbrunnen zu realisieren und diese Vorbohrungen als Provisorium zu Peilrohren für die messtechnische Erfassung der Sickerwasserspiegelhöhen auszubauen.

Die Zeitabschnitte 1 sind maßnahmenbezogen zu verstehen, d. h. es können diesen Abschnitten keine quantifizierbaren Zeitangaben zugeordnet werden. Zudem werden sich Perioden wie z. B. die

Maßnahmen im Zeitabschnitt 1-e in Abhängigkeit von den Messdaten im Regelbetrieb wiederholen, sobald ein Optimierungsbedarf erkennbar wird.

In den Zeitabschnitten 1-a und 1-c werden umfangreichere Baumaßnahmen abgewickelt. Vor diesem Hintergrund ist die Empfehlung zu verstehen, die heutige Schachtbrunnenförderung zunächst in der bisherigen Form aufrecht zu erhalten, d. h. im ersten Abschnitt 1-a werden die Schachtbrunnen weiter genutzt. Dies erfolgt zunächst im mobilen Betrieb mit fahrzeuggestütztem Transport zur Sickerwasserreinigungsanlage, danach über die neu zu verlegende Transportleitung, bis alle Bohrbrunnen gebohrt und für den Pumpenbetrieb ausgerüstet sind. Parallel mit dem Bau der Transportleitungen sollen auch die übrigen infrastrukturellen Aufgaben (Energieversorgung, MSR-Technik) abgearbeitet werden. In dieser Zeitspanne bietet es sich an, schrittweise die neuen, im Kernbereich der Verfüllung angeordneten Bohrbrunnen für die kontinuierliche Messung der Sickerwasserspiegelstände zu nutzen (6 Messtellen). Übergangsweise kann dabei im Zeitabschnitt 0 eine manuelle Auslesung der Datenlogger erfolgen, bis die finalen Datenleitungen zu einer Zentralstelle installiert sind. Damit werden frühzeitig zusätzliche Messdaten gewonnen.

Nach Fertigstellung der Bohrbrunnen wird im Zeitabschnitt 1-b zunächst die Inbetriebnahme und der Einfahrbetrieb für die Bohrbrunnen erfolgen. Spätestens zu diesem Zeitpunkt sollte die gesamte Messtechnik im Endzustand installiert und funktionsfähig sein. Das genaue Programm für den Einfahrbetrieb ist unter Beachtung der beim Bau und der Funktionskontrolle gewonnenen Ergebnisse festzulegen.

Mit Abschluss des Einfahrbetriebs und einem sicheren Nachweis der Funktionalität der neuen Bohrbrunnen kann der Zeitabschnitt 1-c mit dem Umbau der Schachtbrunnen starten. Grundsätzlich wiederholen sich hierbei analog die Arbeitsschritte aus den Zeitabschnitten 1-a bzw. 1-b. Ob im Zeitabschnitt 1-d sämtliche Förderbrunnen oder nur der umgebaute Schachtbrunnen C betrieben werden, ist in Abhängigkeit von den Messungen und der Auswertung der Diverdaten festzulegen.

In Zeitabschnitt 1-e, der vermutlich den längsten zeitlichen Rahmen einnehmen wird, sollten mittels der kontinuierlichen Datenerhebung aus dem Monitoring ereignisbezogen, mindestens jedoch einmal jährlich, die Randbedingungen für die Förderung überprüft werden. Aus diesen wiederholten Prüfungen sind Anpassungen der Förderleistung, der Betriebsdauer, der Entscheidung für intermittierende Betriebsweisen u. ä. abzuleiten. Dabei ist auch zu prüfen, ob der Förderbetrieb unter Wegfall der Förderungen aus den Schachtbrunnen A, B, D und E erfolgen kann.

Mit dem Zeitabschnitt 1-f wird der Übergang zur Phase 2 eingeleitet. Anhand eines abschließenden Messprogramms ist zu überprüfen, ob der Sickerwasserspiegel dauerhaft und flächenhaft auf das geforderte Maß abgesenkt wurde. Auch hier ist durch temporäre Unterbrechung der Gesamtförderung der Wiederanstieg in den insgesamt 11 Messpunkten zu analysieren.

Zum Ende der Phase 1 – eventuell auch früher, wenn dazu entsprechende Ergebnisse vorliegen – sollten sämtliche Messtellen auch dahingehend bewertet werden, wie gut sie die Sickerwasserverhältnisse in der Verfüllung widerspiegeln. Soweit sich hier Erkenntnisse ergeben, dass ein Nachsteuern bei der Erfassung der Sickerwasserstände – z. B. durch Einrichtung weiterer Messtellen – zweckdienlich ist, wären mit kleinerem Bohrgerät und örtlich begrenzten Eingriffen zusätzliche Peilrohre einzubauen. Eine derartige Entscheidung sollte allerdings auf der Basis mehrjährig abgesicherter Messreihen erfolgen.

Spätestens mit Abschluss der Phase 1 werden alle Schachtbrunnen aus dem Randbereich nur noch als Messtellen benötigt, um den Sickerwasserstand zu überwachen. Die Pumpen können damit ausgebaut und nach Überholung als Reservepumpen für die neuen Bohrbrunnen eingelagert werden. Die Förderung erfolgt dann nur noch aus den 6 Bohrbrunnen sowie dem ehemaligen Schacht C.

#### **4.3.2 Sickerwassermonitoring in der Phase 2**

In der Phase 2 muss der Sickerwasserspiegel dauerhaft bei 37 m NHN gehalten werden, d. h. es muss dem Verfüllkörper das jährlich zugeführte Wasser stetig entnommen werden. Für diesen Zustand ist in [1] und auch in dieser Machbarkeitsstudie eine Annahme über die gesamte zugeführte Menge gemacht worden. Ob diese Schätzung zutreffend ist, ist über mehrere Jahre zu Beginn der Phase 2 mit einer jährlichen Bilanzierung der entnommenen Sickerwassermengen zu überprüfen. Hierfür steht durch die automatisierbare Fördermengeneinstellung und die Betriebszeitmessung (Einschaltdauer) an jeder Förderpumpe sowie durch die Erfassung der der Sickerwasseraufbereitungsanlage zufließenden Mengen eine belastbare, über einen vordefinierten Zeitraum akkumulierte Messreihe zur Verfügung. Die parallel durchführbare kontinuierliche Messung des Sickerwasserspiegels schafft eine Korrelationsmöglichkeit, mit der bei Änderung des Absenkspiegels eine Neujustierung der Förderung möglich ist.

Unter der bislang gültigen Annahme, dass diese Wiederergänzung im Wesentlichen durch angenommene Imperfektionen in der Oberflächenabdichtung, die modellierten seitlichen Zuflüsse aus der Schicht 1 und in geringem Maß durch zuströmendes Grundwasser aus den basalen Schichten definiert wird, ergibt sich aus der dafür prognostizierten Menge von 5.300 m<sup>3</sup>/a bei einer Einstafläche von etwa 216.000 m<sup>2</sup> ein jährlicher Zustrom von rund 24,5 l/(m<sup>2</sup> a). Diese Menge ergibt bei 8.000 Bh/a eine notwendige Förderleistung von 662,5 l/h, d. h. je Pumpe wird eine Leistung von rund 95 l/h benötigt. Mit der bereits angesprochenen Frequenzsteuerung kann diese Fördermenge für einen kontinuierlichen Betrieb gerade noch eingestellt werden.

Reduziert sich die zugeführte Menge allerdings, werden die Pumpen bei kontinuierlicher Betriebsweise mehr Sickerwasser fördern als ergänzt wird und der Sickerwasserspiegel wird damit weiter abgesenkt. Diese Mehrförderung ist nicht erwünscht, da sich so das hydrostatische Verhältnis zwischen der Spiegelhöhe im Verfüllkörper und dem äußeren Druckwasserspiegel zu stark verändert und damit mehr Grundwasser in die Verfüllung einsickern könnte.

In einem solchen Fall muss zunächst die Gesamtförderleistung reduziert werden, was mit einem intermittierenden Betrieb möglich ist. In der nächsten Stufe ist dann zu prüfen, ob die Zahl der Förderbrunnen verringert werden kann, ohne die flächige Absenkung des Sickerwasserspiegels zu gefährden.

In allen Fällen bieten die automatische Messwerterfassung und die Fernwirkungssteuerung der Förderpumpen die Möglichkeit, rasch und ohne größeren Aufwand Anpassungen vorzunehmen. Damit wird aus dem reinen Monitoring ein Steuerungsinstrument, um das Sickerwassermanagement in der Verfüllung Mühlenberg an die jeweilige, messtechnisch erfasste Situation anzupassen.

#### **4.4 Betriebsbegleitende Überwachung**

##### **4.4.1 Betriebsbegleitende Überwachung in der Phase 1 (einschl. vorlaufender Vor-erkundungs- und Planungsarbeiten)**

Die Phase 1 wird im Wesentlichen durch drei Zeiträume geprägt. In der sogenannten „Bauzeit“, das heißt in den kommenden 3 bis 4 Jahren, sollten alle im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie angesprochenen baulichen Maßnahmen durchgeführt werden. Im folgenden „Einfahrbetrieb“, nach heutiger Schätzung ein Zeitraum von 2 bis 3 Jahren, müssen alle Systeme in ihrem Zusammenwirken erprobt und einjustiert werden. Der folgende „Regelbetrieb“ beschreibt den Zeitraum bis zum Erreichen des Absenckzieles und damit das Ende der Phase 1 bzw. den Übergang in die Phase 2.

Besonders zu betonen ist, dass bereits seit 2020 laufend Sickerwasser aus der Verfüllung entnommen und dieser Zustand auch in der anlaufenden Phase 1 fortgeführt werden wird. Die Entnahme von Sickerwasser erfolgt heute aus den vorhandenen Schachtbrunnen und wird mengenmäßig durch Vermessung der Transportbehälter festgehalten. Zudem werden die Transportzeiten festgehalten, so dass eine zeitliche Zuordnung der Fördermenge möglich ist. Darüber hinaus wird aktuell der Sickerwasserstand in den Schachtbrunnen und vorhandenen Messstellen B2 bis B7 gemessen und auf Datenloggern für das manuelle Auslesen abgespeichert; dieses Messprogramm ermöglicht eine Bilanzierung der entnommenen Mengen. Allerdings sind die Förderpumpen leistungstechnisch nicht bzw. nur mit sehr hohem Aufwand regelbar und somit nicht geeignet, die Förderung optimal an die Ergiebigkeit der Förderbrunnen unter sich stetig ändernde Randbedingungen anzupassen.

Die Zielvorgabe für ein langfristig wirksames Messprogramm in den Phasen 1 und 2 ist es, ein betriebsbegleitendes, weitgehend automatisches Monitoring zu ermöglichen, welches aufzeigt, dass

- sämtliche Förder- und Messeinrichtungen ordnungsgemäß funktionieren,
- die Steuer- und Regeltechnik für die automatisierte Förderungsanpassung arbeitet,
- gleichzeitig der Sickerwassereinstau in der Verfüllung stetig abgebaut wird,

- diese Reduktion flächig im gesamten Ablagerungskörper erfolgt und
- aus der Datenanalyse prognostizierbar bzw. nachweislich das Absenkziel in der Verfüllung erreicht und dauerhaft gehalten wird.

Für die Phase 1 wird eine jährliche Berichterstattung der ausgeführten Bau- und Betriebsmaßnahmen in Kombination mit der Aus- und Bewertung der erhobenen Messdaten empfohlen. Ratsam ist angesichts der komplexen Zusammenhänge, ein ergänzendes Betriebsgespräch mit Betriebsführung und Überwachungsbehörden zur Erörterung des Jahresbetriebsberichtes und der Vorschau auf die im folgenden Betriebsjahr vorgesehenen Arbeiten durchzuführen.

Neben dieser Jahresbetriebsberichterstattung sollte jeweils zum Abschluss der Bau- und Betriebszeiträume eine Überprüfung erfolgen:

- Mit dem Abschluss der baulichen Maßnahmen sollte am Sickerwasserfördersystem ein abschließender Funktions- und Leistungstest aller Anlagenkomponenten sowie der Mess-, Steuer- und Regeltechnik erfolgen. Die Testergebnisse sind der Anlagendokumentation beizufügen und bilden die Grundlage für die finale behördliche Abnahme (dies schließt nicht aus, dass bereits vorher für wesentliche Elemente Teilabnahmen erfolgen).
- Am Ende des Einfahrbetriebs sollte ein mehrwöchiger Testzeitraum stehen, bei dem im Wesentlichen der dann in der Verfüllung bestehende Sickerwasserzustand (zuvorderst Spiegelhöhe, soweit möglich auch Leitfähigkeit und pH-Wert) und seine flächige Verteilung hinterfragt sowie die Parameter für den optimierten Förderbetrieb in der Phase 1 festgelegt werden. Das genaue Testprogramm ist anhand der dann vorliegenden Betriebserfahrungen und der Daten aus den Jahresbetriebsberichten vorab zu erstellen und mit der Überwachungsbehörde vor Umsetzung abzustimmen.
- Als Ergebnis dieser Zwischenprüfung sollten seitens des Anlagenbetreibers – sofern die Datenauswertung Erkenntnislücken aufzeigt – Vorschläge für ggfls. zusätzlich zu installierende Messstellen dargelegt werden.
- Im Regelbetrieb muss laufend geprüft werden, wie sich der Sickerspiegel innerhalb der Verfüllung entwickelt. Dies sollte mit der weitgehend automatisierten Messdatenerfassung und Echtzeitauswertung möglich sein. Besonderes Augenmerk sollte auf einen jährlichen Vergleich von Prognose und Messung zu Entnahme und Wasserstand gelegt werden, um Einflussgrößen wie die jährliche Wiederergänzung durch die angenommenen Seiten- und Oberflächenzuflüsse realistischer einzubeziehen. Hier kommt den Jahresbetriebsberichten, die insbesondere auch die Frage nach der Entwicklung des eingestauten Sickerwasserspiegels beantworten sollen, eine besondere Bedeutung zu.

- Den Abschluss des Regelbetriebes in der Phase 1 bildet dann mit Erreichen des Absenckzieles der Übergang zur Phase 2. Zur Absicherung sollte ein finales Testprogramm durchgeführt werden, bei dem Zustands- und Funktionsprüfungen der gesamten Einrichtung sowie ergänzende Versuche (wie z. B. das Aussetzen des Pumpbetriebes über eine mehrwöchige Dauer) zur Untersuchung der Reaktionen des Ablagerungskörpers erfolgen sollten. Auch hier ist das genaue Versuchsprogramm wie bei der Zwischenprüfung in Abhängigkeit von den Betriebserfahrungen zu formulieren und vorab mit den Fachbehörden abzustimmen.
- Abschließende Feststellung, ob das Absenckziel von 37 m NHN vollflächig erreicht ist oder (noch) nicht.

#### **4.4.1.1 Nutzung zusätzlicher Messstellen**

Die vorhandenen Messstellen können bereits im Jahr 2024 durch die Vorsondierungsbohrungen, die an den geplanten Standorten für die Bohrbrunnen ausgeführt werden sollen, und den folgenden Ausbau zu provisorischen Sickerwassermessstellen ergänzt werden.

Die Festlegung der Bohransatzpunkte für die geplanten 6 Bohrbrunnen erfolgt unter Beachtung von historischen Luftbildern und Höhenplänen aus der Abbau- und Verfüllzeit und sonstigen Höheninformationen zur Lage der Abgrabungssohle in den unterschiedlichen Teilbereichen. An diesen Punkten werden dann im Frühjahr 2024 planmäßig kleinkalibrige Vorerkundungsbohrungen niedergebracht, die dann bis zur Errichtung der Bohrbrunnen auch als Messstellen zur Erfassung der Sickerwasserstände genutzt werden können. Diese Vorsondierungen dienen zur Baugrunderkundung und sollen sowohl die Bohrbarkeit am jeweiligen Sondierpunkt als auch die Durchgängigkeit der Ablagerung bis zur Basis bei etwa 30 m NHN nachweisen und zudem auch für Auffüllversuche zu Verfügung stehen. Ein Dual-Use ist jedoch gegeben, wenn in den in diese Bohrungen eingestellten 2"-Filterrohren nach Abschluss der vorgenannten Baugrunderkundung weiterhin der Sickerwasserspiegelstand laufend gemessen wird.

Mit den (mindestens) 6 neuen Messstellen wird ein deutlicheres Bild über die Verteilung der Sickerwasserspiegel im Ablagerungskörper erreicht werden. Die Messdaten sollen sofort nach Einbau der Peilrohre beginnen, so dass schnell mit ersten Ergebnissen zu rechnen ist. Es lässt sich allerdings nicht sicher bestimmen, ob an jedem Bohrpunkt die Sohle der Verfüllung bei etwa 30 m NHN erreicht wird, so dass dann ggfls. mehr als die vorgenannten 6 Bohrungen auszuführen sind. Daher ist fallweise zu entscheiden, ob diese für die Förderung nicht nutzbaren, allerdings für die Beobachtung durchaus hilfreichen Sondierbohrungen als Messstellen ausgebaut werden. Zudem kann in Abhängigkeit von den dann vorliegenden Erfahrungen über die Bohrbarkeit des Ablagerungskörpers über eine ggfls. sinnvolle Ergänzung des Messtellennetzes (Peilrohre) entschieden werden.

#### **4.4.1.2 Messtellennetz und Messdatenerhebung**

Mit dem Messtellennetz in den Schachtbrunnen (5 Messstellen), den Messstellen aus der Gefährdungsabschätzung (6 Messstellen) und den neuen Brunnen (6 Messstellen) sowie noch weiteren Messstellen aus den für 2024 vorgesehenen Vorsondierungen muss eine Evaluierung dieser Installationen erfolgen. Hier geht es darum, die Zuverlässigkeit der Messdaten für jede einzelne Messstelle zu bewerten, da diese Messdaten die Grundlage für Anpassungen in der Förderstruktur darstellen. Insoweit kann sich aus dem längerfristigen Messprogramm auch ergeben, dass einzelne Messstellen keine zutreffenden Daten liefern und sie demzufolge für die Steuerung/Regelung der Förderpumpen nicht mehr herangezogen werden sollten. Über den Ersatz solcher Messstellen ist dann im Einzelfall zu entscheiden.

Somit sollte in der gesamten Phase 1 im Rahmen der Jahresbetriebsberichte auch eine Bewertung der einzelnen Messstellen unter dem Aspekt erfolgen, ob die dort gemessenen Daten dem in den übrigen Messstellen feststellbaren Trend folgen. Abweichungen bedeuten nicht notwendigerweise, dass die Messdaten unzutreffend sind, da z. B. örtliche Besonderheiten die Ergebnisse beeinflussen. Allerdings ist in diesem Fall die Repräsentativität zu hinterfragen, Abweichungen vom festgestellten Trend bedürfen selbstverständlich der weiteren Aufklärung.

Die Daten aus den Messstellen sollen dazu beitragen, die flächige Verteilung der Sickerwasserstände in der Verfüllung Mühlenberg besser einzuschätzen. Im Idealfall liefern sie ein eindeutiges Bild, welches dazu beiträgt, die teilweise noch nicht gänzlich geklärten Messergebnisse aus der Gefährdungsabschätzung zu beantworten. Nicht auszuschließen ist es aber auch, dass angesichts der heterogenen Eigenschaften der Ablagerung neue Fragen aufgeworfen werden, die der Aufklärung bedürfen. Insoweit ist hier nochmals deutlich auf die iterative Struktur der Maßnahmenplanung in der Phase 1 hinzuweisen, bei welcher der konzeptionellen, in der Machbarkeitsstudie dargestellten technischen Vorgehensweise die Erkenntnisse aus dem Messprogramm gegenübergestellt und daraus folgend detailbezogene Anpassungen im Förder- und Messprogramm abgeleitet werden.

Mit den für 2025 vorgesehenen Bohrarbeiten zur Errichtung der neuen Förderbrunnen wird der Umbau der Sickerwasserförderung planmäßig weitergeführt. Nach Fertigstellung sollte u. a. ein durch Pumpversuche zu führender Nachweis stehen, dass die neuen Förderbrunnen in der Lage sind, die Entwässerung der Verfüllung mindestens mit der für die Phase 2 definierten Fördermenge sicherzustellen. Erwartet wird allerdings eine deutlich höhere Fördermenge, so dass spätestens dann die Schachtbrunnen durch Einbau einer Kiesschüttung gesichert und damit langfristig als Messstellen erhalten werden können. Sofern die neuen auf der Plateaufläche angeordneten 6 Förderbrunnen nicht die maximal in der Sickerwasserreinigungsanlage behandelbare Sickerwassermenge liefern können, können in der Phase 1 die Schachtbrunnen noch weiter für die Sickerwasserförderung genutzt werden.



Nach der Bauzeit schließt sich ein Einfahrzeitraum an, bei dem die automatische Messwerterfassung und die Pumpensteuerung über Fernwirkung erprobt werden sollen. In diesem Zeitraum werden aus den Pumpversuchen (Variation der Fördermenge in den einzelnen Brunnen, ggfls. auch räumliche Zusammenfassung mehrerer Brunnen) sowie Wiederanstiegsversuchen (einzelne Brunnen oder Brunnengruppe) weitere Messdaten generiert, die Aufschluss über den Einstau und das Entwässerungsverhalten des Ablagerungskörpers geben können. Hierbei ist auch zu prüfen, ob eine gegenseitige Beeinflussung der Förderbrunnen besteht bzw. wie sich die Abschaltung einzelner Pumpen auf das Verhalten des Ablagerungskörpers auswirkt.

Für den Regelbetrieb sollte dann eine weitgehend automatisierte Betriebsweise erfolgen, bei der der Förderbetrieb aus der Verfüllung Mühlenberg an die täglich oder wöchentlich jeweils nach Abzug der Sickerwassermengen aus der Deponie Eichenallee verfügbare Kapazität der Sickerwasserreinigung angepasst wird. Gleichzeitig werden kontinuierlich Messdaten zum Sickerwasserstand erfasst, die in der Tendenz einen fallenden Sickerwasserspiegel aufzeigen müssen. Abweichungen sollten dazu führen, eine Ursachenerforschung im laufenden Betrieb zu betreiben, ohne die Reduktion des Sickerwassereinstaus unterbrechen zu müssen. Konzeptionell werden dafür die technischen Möglichkeiten vorhanden sein.

Besonderes Augenmerk sollte schon bereits im Regelbetrieb in der Phase 1 dem Aspekt der geschätzten Wiederergänzungsmenge des Sickerwassers gewidmet werden. Hierbei ist auch ein (bilanzieller) Vergleich mit den meteorologischen Daten und den Grundwasserdaten aus dem Umfeld der Verfüllung Mühlenberg sowie den Daten zu den Sickerwassermengen aus der Deponie Eichenallee zielgerichtet.

Dieser Aspekt sollte im Übrigen in der Phase 2 weiterhin betrachtet werden, da der Erhalt des abgesenkten Sickerwasserspiegels im Wesentlichen nur noch durch die geschätzten Wiederergänzung über Imperfektionen in der Oberflächenabdichtung und angenommene seitliche Zuflüsse erfolgt.

#### **4.4.1.3 Dokumentation in Jahresbetriebsberichten**

Die Dokumentation der Messstellendaten und der zeitliche Vergleich zu den Vorjahren stellt einen wichtigen Baustein für die Überwachung der Gesamtmaßnahme dar.

Die Jahresbetriebsberichte sollten folgende Regel-Informationen umfassen:

##### a) Zentrale Daten

- Allgemeiner Betriebszustand (Neubau, Reparaturen etc.)
- Aktueller Lageplan mit relevanten Angaben (vorh. GOK, Entnahmehbrunnen, Messstellen, Rohrleitungen, Schächte etc.)
- Baumaßnahmen / Anpassungen / Veränderungen an der Verfüllung

- Besondere Vorkommnisse / Abweichungen vom planmäßigen Betrieb
  - Meteorologische Daten (Niederschlag etc.)
  - Gesamte geförderte Sickerwassermenge (Messung am Auslauf Zwischenspeicher)
  - Quartalsanalytik des Sickerwassers
- b) Daten aus Förderbrunnen
- Geförderte Sickerwassermenge je Förderbrunnen
  - Mittlere Betriebsstundenzahl je Woche
  - Planmäßige Förderunterbrechungen (Steuerung, Wartung etc.)
  - Quartalsmessungen von Leitfähigkeit und pH-Wert
- c) Daten aus Messstellen<sup>11</sup>
- Ganglinien der einzelnen Messstellen im Bezugsjahr
    - Grafik mit Wochenauswertung
    - Grafik mit kumulierter Quartalsauswertung
  - Trenddarstellung
    - Auswertung des Vergleiches Prognose (Vorjahr) Ist (Betriebsjahr) für das aktuelle Berichtsjahr
    - Prognose für das kommende Betriebsjahr
- d) „Mittlerer Sickerwasserspiegel“
- Ein „mittlerer“ Sickerwasserspiegel sollte zum Ende des Einfahrbetriebes und dann jährlich im Regelbetrieb ermittelt und im Jahresbetriebsbericht als Einzelwert und in der zeitlichen Entwicklung ausgewiesen werden.
- Als „mittlerer Sickerwasserspiegel“ wird der Wert bezeichnet, der sich aus dem arithmetischen Mittelwert der Sickerwasserstände in den Messstellen B2 bis B4 sowie der Sickerwasserspiegel bzw. der „Ruhewasserspiegel“ nach jeweils 21 Tagen Förderpause in den Schächten B bis E und den sechs neuen Bohrbrunnen ergibt. Dieser Kennwert ist als Einzelwert mit Herleitung aus den Einzeldaten sowie graphisch in seiner zeitlichen Entwicklung darzustellen.
- e) Bewertung der Förder- und Messstellendaten
- Im Jahresbetriebsbericht ist anhand der erhobenen Daten unter Berücksichtigung der zeitlichen Entwicklung aus den entsprechenden Datenreihen eine Bewertung vorzunehmen, ob
- zusätzliche Brunnen erforderlich sind,
  - Anpassungen im Pumpenbetrieb notwendig werden,
  - vorhandene Messstellen ausreichend sind bzw. einzelne Messstellen ersetzt werden müssen und/oder
  - ergänzende Messstellen benötigt werden.
- f) Geplante bauliche bzw. betriebliche Maßnahmen für das kommende Jahr.

---

<sup>11</sup> Die für die Auswertung herangezogenen Originaldaten aus der laufenden Messstellenüberwachung sollten auf einem geeigneten Datenträger als Anlage zum Jahresbetriebsbericht übergeben werden.

Der Jahresbetriebsbericht sollte durch ein jährliches Betriebsgespräch mit den Überwachungsbehörden abgeschlossen werden. Erforderlichenfalls können in diesem Rahmen sinnvolle Anpassungen in der Auswertung der Messdaten (z. B. ergänzende lageplanbezogene Auswertungen) erörtert werden. Im Hinblick auf die wünschenswerte Aktualität der Auswertungen ist der Jahresbetriebsbericht zweckmäßigerweise in dem dem Betriebsjahr folgenden Quartal vorzulegen.

#### **4.4.1.4 Bewertungskriterien zur Einstufung der Messdaten**

Bei der Bewertung der jährlichen Messdaten sollten insbesondere folgende Fragen behandelt werden:

- Welche Ruhewasserspiegel haben sich in den Messtellen und den Förderbrunnen eingestellt und wie liegen diese in Bezug auf die im Vorjahr festgestellten Ruhewasserspiegel?
  - Falls die Ruhewasserspiegel gesunken sind: Kann dieses Absinken durch die kontinuierliche Sickerwasserentnahme plausibel erklärt werden?
  - Welches noch abzupumpendes Einstauvolumen in der verfüllten Tongrube ist nach diesen Daten tatsächlich noch zu erwarten?
  - Passt dieses prognostizierte Einstauvolumen zum abgeschätzten Anfangsvolumen aus der Gefährdungsabschätzung und der gemessenen Jahresentnahmemenge?
- Ist der Sickerwasserspiegel in den einzelnen Sickerwassermessstellen zeitlich stabil oder ist ein (abnehmender) Trend festzustellen?
- In Bezug auf die seit 2022 vorhandenen Messtellen B2 bis B7 sollten bei Betrachtung der zugehörigen Zeitreihen seit Einrichtung folgende Fragen geklärt werden:
  - Hält der ansteigende Trend in den Messtellen B2 und B4 an?
  - Ändern sich die Sickerwasserspiegel in den Messtellen B5 bis B7?
- Müssen Messtellen aufgrund fehlender Funktionalität aus dem Messprogramm herausgenommen werden und durch neue ersetzt werden?

Weitere Aspekte, insbesondere für Auswertungen nach Anlaufen des Regelbetriebes, werden sich aus dem Betriebsgeschehen in der Bau- und Einfahrzeit ergeben. Insoweit sind die Erkenntnisse aus diesen beiden vorlaufenden Zeiträumen auch ein Instrument, um langfristig beobachtungsbedürftige Phänomene zu identifizieren.

Mit Beginn des Regelbetriebes sollte in jedem Fall auch die Sickerwasserbilanz unter Beachtung der meteorologischen Daten ausgewertet werden.

Besondere Bedeutung kommt selbstverständlich dem Übergang zwischen der Phase 1 und 2 zu. Zur Ermittlung, ob das Endziel erreicht worden ist, sollte ab dem 3. Betriebsjahr wie folgt vorgegangen werden:

1. Es wird – bezogen auf die gesamte Verfüllung – ein „mittlerer Sickerwasserspiegel“ berechnet, der sich aus dem arithmetischen Mittelwert der Sickerwasserstände in allen ausreichend tiefen Messstellen<sup>12</sup> sowie der Sickerwasserspiegel bzw. der „Ruhewasserspiegel“ nach jeweils 21 Tagen Förderpause in den Förderbrunnen ergibt.
2. Das Endziel gilt als erreicht, wenn
  - a. der wie vor berechnete mittlere Sickerwasserspiegel unter 37 m NHN liegt und
  - b. in keiner Messstelle<sup>12</sup>, keinem Schacht und keinem Bohrbrunnen der Sickerwasserspiegel bzw. der „Ruhewasserspiegel“ nach jeweils 21 Tagen Förderpause über 39 m NHN liegt.

Bei dieser Auswertung ist die zeitliche Entwicklung der Absenkung über mehrere Betriebsjahre ein weiteres Kriterium, um die Aussagegenauigkeit der Messdaten zu evaluieren. Für die Dauer des Regelbetriebes muss in der Auswertung mehrerer Betriebsjahre ein deutlicher Trend bei der Absenkung feststellbar sein.

#### **4.4.2 Betriebsbegleitende Überwachung in der Phase 2**

Auch die Phase 2 benötigt eine Einfahrzeit, um den Förderbetrieb von der Maßgabe der Absenkung des Sickerwasserspiegels auf den Erhalt eben jenes Absenkzieles umzustellen.

Es ist heute nicht belastbar zu prognostizieren, wie sich die Verfüllung in Bezug auf die abgeschätzte Zuführung von Wasser primär über angenommene Imperfektionen in der Oberflächenabdichtung und sekundär über seitliche Zuläufe tatsächlich darstellt. Eine Möglichkeit, diese Frage zu klären, wäre es, den gesamten Förderbetrieb temporär einzustellen und den flächenhaften Wiederanstieg des Sickerwasserspiegels zu beobachten. Eine andere Möglichkeit liegt in der Option, die Förderleistung mengenmäßig auf den Seitenzufluss zu begrenzen, um dann über das Messprogramm die längerfristigen Auswirkungen auf den Sickerwasserspiegel zu untersuchen. Die Messdatenauswertung muss sich dabei im Wesentlichen auf die Frage konzentrieren, wie der Förderbetrieb – ggfls. abhängig von äußeren Einflussfaktoren wie z. B. Niederschlag, Temperatur und äußerer Grundwassersituation – angepasst werden muss, um den abgesenkten Sickerwasserspiegel zu halten.

Es wird empfohlen, in den ersten 3 Jahren der Phase 2 eine genaue quartalsbezogene sowie jährliche Bilanzierung der anzusetzenden Zufluss- und erforderlichen Entnahmemengen unter der Prämisse, dass sich der Sickerwasserspiegel nicht (signifikant) ändern darf, vorzunehmen. Diese Betrachtungen sind im Jahresbetriebsbericht in der Phase 2 zusätzlich detailliert darzulegen und in den Folgejahren mit einer jährlichen Bilanzierung weiterzuführen.

---

<sup>12</sup> Die Daten aus den Messstellen B 5 bis B 7 sind in diesem Kontext nicht relevant.

Da die Förderung in der Phase 2 nur die Menge umfasst, die der Verfüllung von außen zugeführt wird, ist es durchaus denkbar, den Pumpenbetrieb intermittierend zu strukturieren, so dass die einzelnen Pumpen nur stundenweise in Betrieb sind. Gerade für diese Betriebsweise ist die Fernwirkung über einen zentralen Leitrechner in Kombination mit der automatischen Messdatenerfassung eine wichtige Anlagenkomponente. Es erscheint angesichts der heutigen Entwicklungen auf dem Sektor der Nutzung künstlicher Intelligenz nicht unrealistisch anzunehmen, dass eine intelligente Selbststeuerung der Förderanlagen erreichbar sein wird. Der personelle Aufwand reduziert sich damit hauptsächlich auf Wartung und Reparatur der Pumpen und MSR-Technik.

Die Betriebsjahresauswertung in der Phase 2 wird sich deutlich vermindern und nur noch den Nachweis enthalten, dass in den einzelnen Messtellen keine wesentlichen Spiegelveränderungen gemessen werden. Auch dieser Vorgang kann aus heutiger Sicht weitgehend automatisiert werden, in dem die messtechnische Überwachung in die Betriebssoftware integriert wird. Eine Alarmierungsfunktion bei gravierenden Abweichungen von Sollwerten vervollständigt eine solche Überwachungslösung.

#### 4.5 Erwartete Investitions- und Betriebskosten

Für die beschriebenen baulichen Maßnahmen werden im Rahmen einer Kostenschätzung (siehe Tabelle 15) die zu erwartenden Investitionen für die Sickerwasserförderung in den neuen Bohrbrunnen, den Umbau der alten Schachtbrunnen, die Installation für das Sickerwassermonitoring und die Betriebsüberwachung sowie die Ableitung des geförderten Sickerwassers zur Sickerwasserreinigungsanlage der Deponie Eichenallee kalkuliert. Ferner sind die Investitionen für die Stromversorgung sowie die automatische Messdatenerfassung und zentrale Leitwartentechnik erforderlich. Danach ergeben sich zusammengefasst die nachfolgend aufgeführten Investitionskosten (Bezug Jahr 2023).

**Tabelle 15:** Schätzung der Investitionskosten für die Förderung und Ableitung des Sickerwassers aus der Verfüllung Mühlenberg

Titel	Bauleistung* sowie Anlagenbau	Investitionskosten
1.	Sickerwasserförderung + Sickerwassermonitoring	1.543.000 €
2.	Sickerwasserableitung	350.000 €
3.	Stromversorgung und Messdatenerfassung	412.000 €
	Zwischensumme netto	2.305.000 €
	Reserve für Anpassungen netto	250.000 €
	<b>Gesamtsumme netto</b>	<b>2.555.000 €</b>

\* Bei der Kostenschätzung wurden die durch die Firma Nottenkämper erzielbaren Preiskonditionen beim Konzerneinkauf von Baumaterialien sowie die Übernahme von Teilbauleistungen mit eigenem Personal zum Selbstkostenpreis berücksichtigt.

Die Einzelaufstellung ist der Anlage 4 zu entnehmen.

Die Betriebskosten werden im Wesentlichen durch die Aufwände für die Behandlung des geförderten Sickerwassers bestimmt. Da die Sickerwasserreinigungsanlage bereits vorhanden ist und für den Betrieb der Deponie Eichenallee benötigt wird, sind unter Berücksichtigung der Deponielaufzeit bis 2037 für die Mitbehandlung des in Phase 1 anfallenden Sickerwassers lediglich die reinen Behandlungskosten anzusetzen. Hierfür sind nach heutigem Kenntnisstand 12,50 €/m<sup>3</sup> zu kalkulieren.

Da die vorbezeichnete Sickerwasserreinigungsanlage auch nach Abschluss der Deponie Eichenallee in der Nachsorgephase zur Verfügung stehen muss, ist in der Phase 2 die Behandlung der nach Erreichen des Absenkungsziels deutlich reduzierte Sickerwassermenge aus der Verfüllung Mühlenberg mindestens für diesen Nachsorgezeitraum (30 Jahre nach Abschluss der Stilllegung) gesichert.

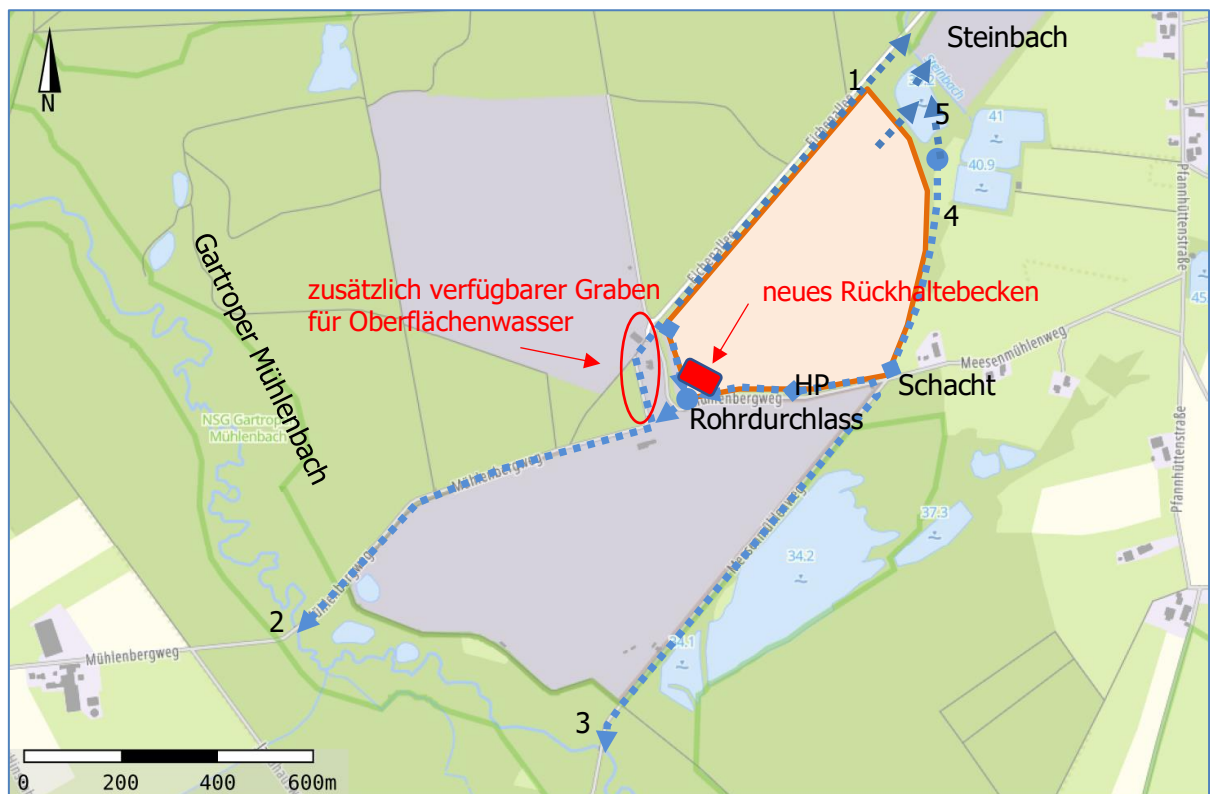
Für die Stromversorgung sowie die Wartung und Instandhaltung der Pumpen und messtechnischen Installationen ergeben sich nach Erfahrungswerten Aufwände von jährlich etwa netto 40.000 €. Hinzu kommen Kosten für das Sickerwassermonitoring und die Auswertung der weitgehend automatisch erhobenen Messdaten in der Größenordnung von etwa netto 25.000 €. Diese Kosten verringern sich erfahrungsgemäß in späteren Betriebsjahren, wenn die Anlage optimiert und das Monitoring auf das erforderliche Maß angepasst wird.

## 5 Weitere bauliche Maßnahmen

### 5.1 Oberflächenentwässerung – Ableitung und Optimierungsansätze

Die Maßnahmen zur Oberflächenentwässerung wurden bereits in 2 Berichten (Hydraulische Bemessung der Oberflächenentwässerung Mühlenberg in Hünxe, Stand 12.07.2022 sowie Überflutungsnachweis für die Abgrabung und Verfüllung „Mühlenberg“ in Hünxe, Stand 12.07.2022) dargestellt. Das unbelastete Niederschlagswasser wird von den rekultivierten Flächen über am Böschungsfuß umlaufend vorhandene Randgräben (Ausnahme: NE-Seite, dort direkte Ableitung in Teich über Durchlässe unter dem geschotterten Betriebsweg) wie folgt abgeleitet:

- Ableitung direkt über die an der NW-Seite der Verfüllung gelegenen Randgräben zum Steinbach (Punkt 1),
- Ableitung an SW und SE-Seite über zwei Übergabepunkte (Rohrdurchlass bzw. Schacht) und über Seitenläufe zum Gartroper Mühlenbach (Punkt 2 + 3),
- Ableitung über den an der SE-Seite gelegenen Sandfang (Punkt 4) zum Teich und von dort in den Steinbach (Punkt 5),
- Ableitung über den an der NE-Seite der Verfüllung Mühlenberg gelegenen Teich zum Steinbach (Punkt 5).



**Abbildung 23:** Ableitung des Oberflächenwassers von der Verfüllung Mühlenberg zum Gartroper Mühlenbach sowie Steinbach (Einleitungspunkte siehe Tabelle 16)

Die Abbildung 23 zeigt die beiden Vorfluter sowie die Seitenläufe. Zusätzlich ist in der Abbildung ein weiterer Seitenlauf (rot eingekreist) des Gartroper Mühlenbach eingetragen, der aktuell auf eine Nutzungsmöglichkeit für die Ableitung unbelasteter Oberflächenwässer von der Verfüllung Mühlenberg untersucht wird.

In der Modellierung für den Niederschlagswasserabfluss von der Oberfläche der Verfüllung wurden folgende Annahmen getroffen: Die Gesamtfläche der Verfüllung wurde in 5 Teileinzugsgebiete untergliedert, die planmäßig in die beiden vorgenannten Vorfluter entwässern:

**Tabelle 16:** Ableitung der Oberflächenwässer und genutzte Vorfluter

Nr.	Lage	Einleitungs- punkt	Ableitung zum	Hinweis
1, 1.1 bis 1.7.	NW	1	Steinbach	
2, 2.1 bis 2.3	W bis S	2	Gartroper Mühlenbach	
3	S	3 (Schacht)	Gartroper Mühlenbach	
4	E	4	Steinbach	Über Sandfang in Teich
5	NE	Teich	Steinbach	

Als Ergebnis der Niederschlagsabflussberechnungen ist festzuhalten:

Die vorhandenen Randgräben reichen grundsätzlich zur Aufnahme und Ableitung der anfallenden Niederschlagswässer aus. Lediglich die Rohrdurchlässe, d. h. kurze überfahrbare Abschnitte, in denen der offene Randgraben durch geschlossene Rohrleitungen geführt wird, stellen bei Extremereignissen ein hydraulisches Hindernis dar, das dazu führt, dass in den offenen Gräben kurzzeitig ein Einstau (Retention) auftritt. Die bisherigen Berechnungen zeigen nicht, dass die Gräben überbeansprucht werden, lediglich die Durchlässe werden kurzzeitig zu Druckspiegelleitungen (max. 2 m Wassersäule, 0,2 bar), allerdings liegt die Beanspruchung in einem Rahmen, der durch die Festigkeit der Rohrmaterialien ohne Schäden abgedeckt wird. Das von der NW-Böschung ablaufende Niederschlagswasser soll zukünftig in einem entlang der Betriebsstraße verlaufenden Graben gefasst und über 2 Durchlässe in den Teich abgeführt werden. Im Rahmen des noch zu erstellenden Genehmigungsantrages für die Oberflächenentwässerung werden entsprechende Pläne erstellt. Ferner sind für diesen Antrag auch die hydraulischen Nachweise für die Fassung und Retention der aus allen Böschungen und der Plateaufläche anfallenden Niederschlagswässer unter Beachtung der zukünftigen Rekultivierungssituation und der noch ergänzend vorgesehenen Rückhaltung an der SW-Ecke der Verfüllung zu überarbeiten.



Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wird aber bereits jetzt deutlich, dass einige der vorgenannten Überfahrten zukünftig ganz entfallen können, wenn z. B. die an der Nordwest-Seite gelegenen Schachtbrunnen gänzlich aufgegeben werden. An anderen Stellen ist zu prüfen, ob die Überfahrten aus betrieblichen Gründen noch nötig sind oder durch einfache Überwege ersetzt werden können.

Sofern diese Durchlässe dauerhaft entfernt werden, ist jedoch deren Ersatz durch planmäßige Drosselschieber zu ersetzen, um auch weiterhin eine abschnittsweise Rückhaltung im Randgraben zu realisieren.

Dennoch bleibt es auch dann Zielsetzung, bei extremen Niederschlagsereignissen die Retentionskapazität durch Kaskadierung so optimal wie möglich auszuführen. In diesem Kontext ist das Gesamtkonzept zusammen mit den Überlegungen für die Plateauoberfläche nochmals zu überprüfen.

### **5.1.1 Bereits vorgeschlagene Verbesserungen**

Die Berechnungen zum Überflutungsnachweis zeigen an verschiedenen Stellen eine hohe Belastung der Rohrdurchlässe im Bereich von Überfahrten auf. Hierzu ist festzustellen:

- Die vorhandenen Durchlässe auf der NW-Seite der Verfüllung stellen im Wesentlichen Zwangspunkte dar, die derzeit durch die Überfahrbarkeit zum Erreichen der in der Böschung gelegenen Schachtbrunnen B, D und E notwendig sind. Mit Wegfall der Schachtbrunnen als Entnahmeeinrichtungen für das in der Verfüllung eingestaute Sickerwasser können diese Überfahrten aufgegeben und die rechnerisch auftretenden Überlastungen vermieden werden. Insgesamt erscheint es durchaus denkbar, bis auf den nördlichsten Durchlass im Bereich der Zufahrt zum Teich mittelfristig alle Überfahrten aufzugeben und durch einfache Überwege mit größerem Durchlassquerschnitt zu ersetzen.
- Im Bereich der SW-Ecke erfolgt der Ablauf über das dort vorhandene Betonrohr DN 400 nach Westen in Richtung Gartroper Mühlenbach (Einleitungspunkt 2). Bei dem für den Überflutungsnachweis zugrundeliegenden Regenereignis ist eine Überbeanspruchung gegeben. Hierzu besteht die Überlegung, an diesem Punkt ein zusätzliches Rückhaltevolumen zu schaffen, falls der Zulauf nicht reduziert werden kann.
- Für die beiden höher beanspruchten Durchlässe auf der Südseite sind Austauschmaßnahmen (vorhandene Freispiegelleitungen DN 300 sind gegen DN 400 bzw. DN 500 auszutauschen) in Verbindung mit der Grabenertüchtigung zielgerichtet, falls es nicht gelingt, die zulaufenden Niederschlagsmengen zu reduzieren.

Den Engpunkt für die Zuführung zum Gartroper Mühlenbach (Einleitungspunkt 3) stellt der Anschluss an den Schacht dar. Rechnerisch kommt es dadurch bei einem Einstau des angeschlossenen offenen Randgrabens zu einer Verschiebung des Hochpunktes (HP), d. h. der Ablauf in Richtung des Ableitungspunktes 2 an der SW-Ecke wird vergrößert. Dies ist unkritisch, sofern dort ein zusätzliches Rückhaltebecken errichtet wird.

Der Bau eines Rückhaltebeckens für das anfallende Oberflächenwasser in der SW-Ecke (siehe Abbildung 23) ist bei einer Fläche von 250 m<sup>2</sup> mit einem Volumen von 110 m<sup>3</sup> technisch gut zu realisieren, wenn man einen Übertritt des unbelasteten Regenwassers auf den umlaufenden Wirtschaftsweg vermeiden will. Eine Betriebsweise, bei der nur der Überstau (d. h. die Differenz zwischen der maximalen Ablaufkapazität und dem tatsächlich anfallenden Abfluss) im Rückhalt retentiert und dann über eine Rohrdrossel zeitverzögert so abgegeben wird, dass die Kapazität der Ableitung im Punkt 2 mit 210 l/s nicht überschritten wird, ist hier der richtige Ansatz. In diesem Fall reicht nach derzeitigem Kenntnisstand die bestehende Rohrleitung DN 400 zur Ableitung der Niederschlagswässer (Überflutungsnachweis) aus.

Für den Bau des Rückhaltebeckens muss im Rahmen der Entwurfs-/Genehmigungsplanung zur Neuordnung der Niederschlagsentwässerung eine hydraulische Bemessung der Rückhaltung sowie der Drosselschieber erstellt werden. Dies wiederum ist an die Maßnahmen zur Sickerwasserförderung und zum mittelfristig notwendigen Umbau der Schachtbrunnen geknüpft, die dann nur noch als Messstellen dienen sollen.

Auf der Plateaufläche ergibt sich durch den Bau der Bohrbrunnen, den Einbau von Rohrleitungen für die Sickerwasserabführung und Leerrohren für die Energie- und Datenleitungen sowie den Wegebau für Wartungsaufgaben an den Brunnen die Notwendigkeit einer Überplanung, bei der sich auch die Niederschlagsabflüsse ändern werden. Insoweit sind diese neuen infrastrukturellen Anforderungen in einen zu überarbeitenden Rekultivierungsplan aufzunehmen.

### **5.1.2 Weitere Verbesserungsmöglichkeiten**

In den Randgräben sind derzeit bereichsweise abgeschwemmte Feinpartikel erkennbar, die nach Sedimentation die Gräben zusetzen. Dieser Effekt wird nach vollständiger Rekultivierung und Begrünung der Oberflächen deutlich abnehmen. Es ist sicherzustellen, dass die Gräben regelmäßig wöchentlich kontrolliert und im Bedarfsfall sofort geräumt werden, um stets das vollständige Rückhaltevolumen verfügbar zu halten.

Ob die Niederschlagswässer wie bisher von der Plateaufläche direkt über die Böschung abzuleiten sind, muss in Verbindung mit dem Gesamtnutzungskonzept der Plateaufläche nochmals überprüft werden. Derzeit führt diese Praxis gerade bei Starkregenereignissen zu starken, erosionsfördernden Strömungskräften, solange nur eine schwache ingenieurbioologische Sicherung der Böschungsoberfläche durch Grasansaat besteht. Die rasche Wiederaufforstung der Böschungsflächen ist daher geboten, bedarf aber auch eines Konzeptes, die durch die Böschungsneigung begrenzte Pflanzenverfügbarkeit des Niederschlagswassers für diese Anpflanzungen neu zu ordnen. Ein zu rascher oberflächiger Ablauf führt bei den sich aktuell stark verändernden klimatischen Randbedingungen zu einer immer stärkeren Austrocknung der Rekultivierungsschichten.

Dieses Anforderungsprofil führt zu den Überlegungen, den Anteil der auf die Plateauflächen anfallenden Niederschläge im Hinblick auf ihr Abflussverhalten zu optimieren. Immerhin handelt es sich bei diesem Areal von etwa 10 ha um etwas weniger als die Hälfte der gesamten Aufstandsfläche der Verfüllung Mühlenberg. Wenn es gelingt, den Abfluss des Niederschlagswassers auf dem Plateau – z. B. durch ein kaskadierendes Muldensystem – zeitverzögert in die Böschungsbereiche abzuleiten, könnten in mehrfacher Weise Vorteile generiert werden:

- Das Niederschlagswasser wird nicht sofort abflusswirksam und belastet damit nicht sofort die die Verfüllung umgebenden Randgräben. Eine zeitliche Streckung führt zu einer deutlichen Minderung der Abflussmengen, so dass die weiteren Ableitungen bis zu den Vorflutern auch bei Hochwasserereignissen nicht überlastet werden.
- Eine zeitliche Streckung des Ablaufes würde die auf die Böschungen wirkenden Strömungskräfte vermindern, so dass die Erosionswirkung deutlich geringer ausfällt oder im Idealfall gänzlich unterdrückt werden kann.
- Langsamer über die Oberfläche ablaufendes Niederschlagswasser stellt zusätzlich Wasser für die Böschungen mit den dort vorgesehenen Baumpflanzungen bereit, weil es stärker in die Rekultivierungsschicht eindringt und dort gespeichert wird. Dieses Wasser bleibt über längere Zeit pflanzenverfügbar und hilft den Baumbewuchs über Trockenperioden hinweg.

Eine Möglichkeit stellt ein verringertes Oberflächengefälle dar, was zu einer Reduktion der Fließgeschwindigkeit führt und eine längere Fließzeit bis zum Erreichen der Böschungskante zur Folge hat. Dieser Ansatz würde zudem die Option eröffnen, die Rekultivierungsschicht auf dem Plateaubereich gerade im Bereich der Böschungskante zu verstärken und genau in diesem Teilbereich den Wurzelraum für die Baumbepflanzung zu verbessern. Eine solche Verstärkung in der Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht würde damit auch stärker die Speicherkapazität des Bodens und damit die Schwammwirkung aktivieren, was neuesten Erfahrungswerten zur Resilienz von Haldenbegrünungen unter den sich bereits vollziehenden Klimaentwicklungen Rechnung trägt.

Insgesamt bietet eine zeitweise Niederschlagsrückhaltung durch entsprechende Gestaltung der Plateauoberfläche in Verbindung mit der Verbesserung der Speicherkapazität in einer mächtigeren Rekultivierungsschicht einige Vorteile, so dass eine Weiterverfolgung solcher Überlegungen im Rahmen einer anzupassenden Rekultivierungsplanung für die Verfüllung Mühlenberg durchaus sinnvoll erscheint.

Die genehmigte Endhöhe der Verfüllung im Bereich des Mittelgrates der Verfüllung wird bei dieser Lösung nicht verändert, weil die Rekultivierungsschicht keilförmig beginnend an den Böschungskanten verstärkt in Richtung Mittelgrat auslaufend aufgebracht wird. Hierdurch wird die Neigung an der Oberfläche von 5 % auf maximal 3% reduziert, so dass der Fließweg nicht beschränkt, aber die Fließgeschwindigkeit (Erosionswirksamkeit) reduziert wird.

Eine solche Maßnahme ist angesichts der damit erreichbaren Vergrößerung der Flächen für die Baumanpflanzung zielgerichtet und vermindert durch die Evapotranspiration die zum Abfluss gelangende Niederschlagsmenge. Vorteilhaft ist zudem, dass die bestehende Neigung der Oberflächenabdichtung mit der Dränagematte nicht geändert wird.

Die berechnete Frage nach einer möglichen Gefährdung der Oberflächenabdichtung bei der Umsetzung solcher Überlegungen muss in diesem Zusammenhang selbstverständlich auch betrachtet werden. Eine Verstärkung der Rekultivierungsschicht schafft eine höhere Auflast für die Dränmatte auf der Oberflächenabdichtung. Allerdings bleibt die resultierende Gesamtlast in dem für diese Systeme geprüften, zulässigen Bereich. Die unterliegende mineralische Dichtung wird durch diese höhere Wasserabführung im Dränagesystem nicht beansprucht. Erosionseffekte in der Fuge von Abdichtung und Dränmatte sind auch bei voller Inanspruchnahme der Dränkapazität systembedingt nicht zu besorgen. Ein erhöhter Wasserzutritt über die Oberflächenabdichtung ist auch dann nicht zu besorgen, wenn sich durch Vollenfüllung des Rekultivierungskörper rechnerisch eine Wassersäule von 2 m (entsprechend 0,2 bar) ausbilden sollte.

Es wird empfohlen, diesen Ansatz im Rahmen des Genehmigungsantrages für die gesamte Niederschlagsentwässerung zu betrachten und durch hydraulische Berechnungen nachzuweisen.

## **5.2 Sickerwasserleitung bis zur Reinigungsanlage**

Eine Vorplanung für eine Trasse von der Plateaufläche zur Sickerwasserreinigungsanlage ist in Anlage 3a (Phase 1) und Anlage 3b (Phase 2) beigefügt.

Danach kann das Sickerwasser über eine an die Brunnenpumpen angeschlossene Druckleitung bis zu einem Entspannungsschacht gepumpt und von dort in freier Vorflut bis zur Sickerwasserreinigungsanlage abgeführt werden. Mehrere Pumpen können zusammen an einen Entspannungsschacht angeschlossen werden. Die Leitung (PE-HD 110 x 10, PE 100, SDR 11 als Ringbund) kann über den Wirtschaftsweg bis zur heutigen Geländeoberkante am Fuß der Halde und von dort nach Querung der Eichenallee in den Betriebswegen der Deponie Eichenallee verlegt werden. Es sollte im Rahmen der Entwurfsplanung geprüft werden, ob ein zusätzlicher Beruhigungsschacht am Fuß der Halde (beachte Gefälle der Freispiegelleitung im Wirtschaftsweg) erforderlich wird.

Die Freispiegelleitung endet vor der Sickerwasserreinigungsanlage in einem Vorlagebecken. Die Kapazität dieses Beckens sollte 500 m<sup>3</sup> – entsprechend einer 5-fachen Tagesmenge – nicht unterschreiten, um auch bei einem Ausfall der Reinigungsanlage über einen hinreichenden Puffer zu verfügen. Nach Angaben des Deponiebetreibers ist ein solches, mit Kunststoffdichtungsbahnen abgedichtetes Becken (Gesamtvolumen 1.000 m<sup>3</sup>) vorhanden, das für diese Zwecke (ggfls. auch nach zusätzlicher Aufteilung für Sickerwasser aus der Deponie Eichenallee bzw. aus der Verfüllung Mühlenberg) verfügbar ist.

Die Verlegung sämtlicher Leitungen in frostfreier Tiefe gewährleistet einen unterbrechungsfreien Winterbetrieb. Als Material für die Herstellung der Leitungen und Schächte kommt aufgrund der Sickerwassereigenschaften nur PE-HD in Frage.

Die Notwendigkeit einer Doppelwandigkeit der Sickerwasserleitungen wird hinsichtlich der Verhältnismäßigkeit einer solchen, technisch und wirtschaftlich aufwendigen Sicherungseinrichtung nicht gesehen. Bei der hier zu betrachtenden Sickerwasserabführung handelt es sich um eine unterbrechungsfreie Rohrleitung, die vom Beruhigungsschacht am Fußpunkt des Mühlenbergs bis zum Sammelbecken an der Sickerwasserreinigungsanlage keine weiteren Zuläufe besitzt. Ein Austritt von Sickerwasser wäre allenfalls an zwei (verschraubbaren) Reinigungsöffnungen in Zwischenschächten denkbar. Eine jährliche Kontrolle dieses Rohres durch einen Druckversuch sollte ausreichen, um die Intaktheit der Förderleitung zu überprüfen.

### **5.3 Energieversorgung**

Für die zeitlich unbegrenzte Förderung und Behandlung von Sickerwasser aus der Verfüllung Mühlenberg entsteht ein hoher Energiebedarf. Bei einer Flächengröße von rund 10 ha Plateaufläche erscheint eine Energieversorgung über eine Freiflächen-Photovoltaikanlage (FFPVA) in Kombination mit einem Energiespeicher naheliegend, zumal eine solche Anlage auch langfristig die Funktion – mindestens der Sickerwasserförderung – gewährleisten könnte.

Durch die Aufständigung der PV-Module kann die Begrünung unterhalb der Tischkonstruktionen sichergestellt werden. Die Erfahrungen mit bereits realisierten Projekten auf verschiedenen Deponien zeigen, dass das von den PV-Modulen ablaufende Niederschlagswasser bei hinreichender Begrünung nicht zu Erosionen der Rekultivierungsschicht führt.

Im Hinblick auf die zahlreichen genehmigungsrechtlichen Aspekte, die ein solches Vorhaben derzeit erheblich erschweren, wird auf aktuelle Bestrebungen im politischen Raum zur Vereinfachung solcher Maßnahmen hingewiesen. Auch wenn derzeit eine Genehmigung für eine FFPVA nur sehr mühsam zu erwirken ist, sollte die anlagentechnische Gesamtkonzeption eine spätere Nachrüstungsoption berücksichtigen.

## 6 Schlussfolgerung und Empfehlungen

Die Machbarkeitsstudie kommt auf der Basis der Daten aus der Gefährdungsabschätzung sowie der dargestellten Zusammenhänge zu dem Ergebnis, dass die Zielsetzung einer dauerhaften Absenkung des Sickerwasserspiegels in der Verfüllung Mühlenberg erreichbar ist.

Für die Betrachtungen werden 2 Zeitphasen unterschieden: Die Phase 1 beschreibt den Zeitraum bis zum schrittweisen Erreichen des Absenkziels 37 m NHN (Ruhewasserspiegel), die Phase 2 den danach folgenden, unbefristeten Zeitraum, in welchem der Erhalt der erreichten Absenkung dauerhaft sicherzustellen ist.

Im Einzelnen werden folgende Rückschlüsse gezogen und daraus sich ergebende Maßnahmen empfohlen:

1. Die heute vorhandenen Schachtbrunnen sollten in der Phase 1 möglichst lange, maximal bis zum Erreichen des Absenkspiegels von 37 m NHN (Phase 1), weiter genutzt werden. Gegenüber der heute intermittierend betriebenen Förderung sollte ein energiesparender Dauerbetrieb erfolgen, der sich jeweils an der bei unterbrechungsfreiem Pumpeneinsatz förderbaren Sickerwassermenge ausrichtet. Aktuell können aus den Schächten A bis E in Summe rund 3,8 m<sup>3</sup>/h bzw. bei Ansatz von 8.000 Betriebsstunden auf 30.400 m<sup>3</sup>/a gefördert werden; diese Menge wird sich jedoch mit zunehmender Absenkung des Sickerwassereinstaus verringern.

Die vorgenannte Fördermenge kann am Standort in der Sickerwasserreinigungsanlage der Deponie Eichenallee mitbehandelt werden, die verfügbare Mitbehandlungskapazität liegt bei mindestens 32.850 m<sup>3</sup>/a. Eine entsprechende Genehmigung der BezReg Düsseldorf liegt bereits vor.

Weiterhin wird der zügige Neubau von 6 Bohrbrunnen auf der Plateaufläche der Verfüllung empfohlen. In der Phase 2 sollen diese 6 Bohrbrunnen sowie der umgebaute Schachtbrunnen C ausschließlich den dauerhaften Erhalt der Absenkung gewährleisten. Die Brunnen können zudem in der Phase 1 die Förderung aus den Schachtbrunnen unterstützen, wenn sich dort die Förderleistung wegen der zunehmenden Spiegelabsenkung vermindert.

Frühestens nach Inbetriebnahme der Bohrbrunnen kann damit begonnen werden, die vorhandenen Schachtbrunnen durch Einbau von Filterrohren und Verfüllung des Ringraumes mit Filterkies zusätzlich zu sichern.

2. Der aus der Verfüllung zu entnehmende Sickerwassereinstau mit dem Ziel, den Wasserspiegel auf 37 m NHN abzusenken, beläuft sich etwa auf 180.000 m<sup>3</sup> (Stand 2022). Bei einer gleichmäßigen jährlichen Entnahme über 8.000 Betriebsstunden (Dauerbetrieb) können aus den Schachtbrunnen nach Abzug der prognostizierten Zustrommenge aus Niederschlag und Grundwasser schrittweise im Mittel 20.000 m<sup>3</sup>/a über die Laufzeit der Phase 1 abgepumpt werden. Die Zeitdauer bis zum Erreichen des Absenkzieles ermittelt sich zu rund 9 Jahren.

Eine weitere Steigerung der Entnahme aus dem Einstaubereich kann mittels der neuen Bohrbrunnen erfolgen, so dass dann das Absenkziel bereits nach 7,5 Jahren erreichbar ist.

Dazu bedarf es eines MSR-gestützten Sickerwassermanagements, bei dem durch Einbau von den Sickerwasserspiegel erfassenden Messgeräten (M), der steuernden Fernwirkung auf die Förderpumpen (S) und der kontinuierliche Betriebsdatenauswertung ein geregelter Betrieb (R) sichergestellt wird. In dieses System ist auch das Sickerwassermonitoring eingebunden.

3. Die Betriebsweise des Sickerwassermanagements sollte sich zudem an der Leistungsfähigkeit der Sickerwasserreinigungsanlage orientieren. Die Schachtbrunnen und die zügig hinzugebauten Bohrbrunnen können in Kombination auch eine größere Sickerwasserfördermenge erreichen. In niederschlagsarmen Zeiten, in denen die Auslastung der Reinigungsanlage durch Sickerwässer aus der Deponie Eichenallee geringer ausfällt, kann die vorhandene Anlagenkapazität dann für eine stärkere Sickerwasserentnahme aus der Verfüllung Mühlenberg genutzt werden. Hierbei ist die empfohlene zentrale Steuerung der Sickerwasserförderung aus der Verfüllung Mühlenberg hilfreich, da die Fördermengen mit geringem betrieblichem Aufwand gemindert oder erhöht werden können. Die jeweilige, täglich oder wöchentlich anzupassende Fördermenge aus der Verfüllung Mühlenberg ergibt sich aus der Differenz der maximalen Behandlungskapazität der Reinigungsanlage und der Sickerwassermenge, die aus dem jeweils offenen Betriebsabschnitt der Deponie Eichenallee gefördert wird. Dieser Wert hängt von den verschiedenen Einflussfaktoren wie Niederschlag, Belastungsgrad des Sickerwassers und ähnlichem ab und entzieht sich daher einer langfristigen Verfügbarkeitsbetrachtung.
4. Der bauliche Zustand der Schachtbrunnen sollte durch visuelle Kontrolle (Kamerabefahrung) untersucht werden. Als Bewertungsmaßstab für die strukturelle Standsicherheit sollte eine Mindestnutzungsdauer von 12 Jahren angesetzt werden. Zur Sicherung und Verlängerung der Nutzungsdauer sollte ein PE-HD-Innenrohr (Filterrohr + Vollrohr) eingebaut und der Ringraum mit Filterkies verfüllt werden.
5. Die Betriebsweise des diskontinuierlichen Abpumpens von Sickerwasser aus den Schachtbrunnen in einen mobilen Zwischenspeicher unter Nutzung mobiler Generatoren sollte aus wirtschaftlichen Gründen zeitnah aufgegeben werden. Nach Aufbau einer permanenten Energieversorgung und Verlegung einer Freispiegelleitung zur Sickerwasserreinigungsanlage können stattdessen die Förderleitungen aus den Schachtbrunnen direkt über Entspannungsschächte an die neue Transportleitung angeschlossen werden, so dass das abgepumpte Sickerwasser kontinuierlich zur benachbarten Sickerwasserreinigungsanlage der Deponie Eichenallee abgeführt wird. Eine Zwischenspeicherung von Sickerwasser sollte zukünftig ausschließlich im Bereich der Sickerwasseranlage in dafür vorgesehenen Becken erfolgen.

6. Eine überschlägige Auslegung der Freispiegelleitung zeigt, dass ein Standard-Abwasserrohr PE-HD 110 x 10, PE 100, SDR 11 neben der Deponiezufahrtstraße verlegt werden kann. Die Leitung ist dann unterhalb der Eichenallee bis zum Betriebsweg der Verfüllung und von dort bis zur Plateaufläche zu führen. Die auf der Plateaufläche befindlichen Brunnen sind an diese Sammelleitung anzuschließen, die Schachtbrunnen B, D, E aus der Phase 1 können auch über parallel zur Umfahrungsstraße in der Rekultivierungsschicht frostfrei verlegte Leitungen angebunden werden. Druckwasserdichte Schächte außerhalb der Verfüllung sind auf eine betriebstechnisch notwendige Mindestanzahl (verschraubbare Spülzugänge) zu begrenzen. Bei der Transportleitung zwischen Übergabeschacht an der Verfüllung Mühlenberg und dem Sickerwasserspeicherbecken kann auf doppelwandige Rohrleitungen verzichtet werden, wenn die Leitung einer regelmäßig zu wiederholenden Druckprüfung unterzogen wird.
7. Für die langfristige Erhaltung eines Sickerwasserspiegels auf 37 m NHN wird der Förderbetrieb ausschließlich durch Nutzung der in Variante D betrachteten 6 Bohrbrunnen sowie dem umgebauten Schachtbrunnen C erfolgen. Die Anordnung der neuen Brunnen, insbesondere des Brunnens BR. 11 ist im Rahmen der Entwurfs-/Genehmigungsplanung nochmals zu überprüfen. Alle Brunnen sind auf der Plateaufläche der Verfüllung angeordnet, damit wird eine bessere Zugänglichkeit, leichtere Überwachung und einfachere Wartung einschließlich gegebenenfalls notwendiger Ertüchtigungsmaßnahmen an den Brunnen ermöglicht. Durch vorlaufende Erkundungsbohrungen ist sicherzustellen, dass die neu zu errichtenden Brunnen bis zur Basis der Verfüllung abgeteuft werden können.
8. Die numerische Simulation lässt erkennen, dass mit den 7 Entnahmebrunnen ein Sickerwasseraustritt aus der Verfüllung über die Basis auf ein technisch nicht weiter zu reduzierendes Maß vermindert wird. 99,3 % der gesamten anfallenden Sickerwassermenge werden durch den Förderbetrieb abgeführt, nur 0,7 % des Sickerwassers treten über die Basis aus.
9. Die in den Böschungen gelegenen Schachtbrunnen A, B, D und E sollen in der Phase 2 nur noch als Messtellen genutzt werden. Die Weiternutzung der Messtellen B2 bis B7 ist denkbar, allerdings muss am Ende der Phase 1 geprüft werden, ob diese nach Absenkung noch belastbare Daten liefern. Für den Kernbereich der Plateaufläche ist nach dem Bau der neuen Bohrbrunnen zu überprüfen, ob weitere Sickerwassermesstellen notwendig sind, um eine flächendeckende Spiegelhöhenenerfassung zu gewährleisten. Diese Messtellen können gegebenenfalls so errichtet werden, dass sie im Bedarfsfall auch für den Pumpbetrieb genutzt werden können.
10. In allen Brunnen und Messtellen soll eine kontinuierliche Wasserstandsmessung mittels kontinuierlich messender Diver (Druckmessgeräte) erfolgen. Die Messdaten können auf dem Weg der Datenfernübertragung an einen zentralen Server weitergereicht werden, um den personellen Aufwand beim Auslesen der Datenspeicher zu vermeiden. Die Messungen sind Bestandteil des Sickerwassermanagementsystems und bilden gleichzeitig die Grundlage für das Monitoring des in der Verfüllung eingestauten Sickerwassers.



11. Die Bohrbrunnen können in Funktion gesetzt werden, wenn die erforderlichen Ver- und Entsorgungsleitungen auf der Plateaufläche in unterirdischen Leerrohrtrassen (Energieversorgung und MSR-Technik) bzw. die PE-HD-Sammelleitung für das Sickerwasser im Freispiegelablauf mit Entspannungsschächten zum Anschluss der Druckleitungen (Entsorgung) aus den Brunnen innerhalb der Rekultivierungsschicht verlegt sind. Ab diesem Zeitpunkt können sie bereits in der Phase 1 unterstützend in das bereits bestehende Fördersystem der Schachtbrunnen einbezogen werden.
12. Für den Pumpbetrieb sollten in allen Förderbrunnen bauartgleiche Unterwasserpumpen mit Frequenzumrichtern zur Anpassung der Förderleistung eingesetzt werden. Diese mengenmäßig auf einen kontinuierlichen Betrieb (24/7-Betrieb) ausgelegten, energieeffizienten Pumpen können bereits in der Phase 1 die heutigen Pumpen ersetzen. Damit sind dank Frequenzsteuerung Leistungsänderungen, Wartung, Reparatur und Ersatz einfacher zu realisieren.
13. Für die Versorgung der Pumpanlagen mit Energie (Eigenversorgung) sollte zukünftig die Installation einer Photovoltaikanlage auf der Plateaufläche erwogen werden. Vorbehaltlich der abschließenden genehmigungsrechtlichen Klärung handelt es sich bei der Verfüllung Mühlenberg um eine Konversionsfläche, welche nach Auffassung des Verfassers die Kriterien des EEG erfüllt. Im Hinblick auf die derzeit im politischen Raum diskutierte Außenbereichsprivilegierung (siehe z. B. Studie des Umweltbundesamtes: „Anpassung der Flächenkulisse für PV-Freiflächenanlagen im EEG vor dem Hintergrund erhöhter Ausbauziele“, 2022) wäre eine abwartende Haltung zwar folgerichtig, allerdings sollten die weiteren Planungen grundsätzlich nicht den Weg in diese Folgenutzung verbauen.
14. Für die Phase 1 werden sich periodisch bau- bzw. anlagentechnische sowie betriebliche Veränderungen für die Sickerwasserförderung ergeben, während nach Anlauf der Phase 2 für die Folgejahre mit einem stabilen, überschaubaren Betrieb gerechnet werden darf. An diese Entwicklung sollten auch die Dokumentationspflichten zum Sickerwassermonitoring angepasst werden.

Bezüglich der Oberflächenentwässerung werden folgende Maßnahmen empfohlen:

15. Der Niederschlagsabfluss von der Plateaufläche der Verfüllung kann durch landschaftsbauliche Maßnahmen auf der Oberfläche verzögert werden. Das abfließende Regenwasser sollte dabei besser pflanzenverfügbar zur Bewässerung der in den Böschungsbereichen und auf der Plateaufläche bereits vorhandenen und noch zu pflanzenden Bäume sein. Hierzu kann die derzeit noch nicht abgeschlossene Rekultivierung der Plateaufläche unter Beachtung der neueren Erkenntnisse über die Auswirkungen der Klimaveränderungen auf Halden- und Deponiebegrünung optimiert werden. In Verbindung mit der Neugestaltung der Plateaufläche ist der Niederschlagswasseranfall, insbesondere auch für Extremereignisse nochmals zu überprüfen.

16. Der bereits empfohlene Bau eines Regenrückhaltebeckens (RRB) in der SE-Ecke der Verfüllung sollte bei den weiteren Planungen umgesetzt werden, um einerseits eine Reservekapazität für eine Übergangszeit bis zur nachhaltigen Begrünung der restlichen Böschungen zu erhalten und andererseits eine Überlastung des Ablaufs (Rohrleitung DN 400) zu verhindern.
17. Die Rohrdurchlässe im Randgraben sollten vergrößert und mit steuerbaren Drosselventilen (mechanische Schiebersteuerung) ergänzt werden. Der Rückhalt in den Gräben bei Starkregenereignissen ist dann durch Einstellung der Drossel so zu optimieren, dass das im Grabenabschnitt vorhandene Einstauvolumen vollständig ausgenutzt werden kann.
18. Die Randgräben sind regelmäßig durch Sichtprüfung auf von den Böschungen abgeschwemmtes Material zu kontrollieren und erforderlichenfalls ist das Sediment an der Grabensohle zu entfernen, um das Einstauvolumen zu erhalten.
19. Die Ableitung von unbelastetem Oberflächenwasser kann über einen zusätzlich aktivierbaren Graben (Standort neben der Zufahrt zur Verfüllung Mühlenberg) mit Ableitung zum Gartroper Mühlenbach, Einleitungspunkt 2 verbessert werden. Dieser Graben ist verfügbar, der Zulauf aus dem Randgraben der Verfüllung muss allerdings ertüchtigt werden. Damit wird die Leistungsfähigkeit der Oberflächenentwässerung (unbelastetes Oberflächenwasser) der Verfüllung Mühlenberg zusätzlich verbessert.

Mit den dargestellten Maßnahmen werden auf dem Level einer Machbarkeitsstudie Empfehlungen beschrieben, die im Rahmen der weiteren Entwurfs-, Genehmigungs- und Ausführungsplanung im Detail auszuformulieren und der Genehmigungsbehörde vorzulegen sind. Die Empfehlungen gründen sich auf den heutigen Stand der Technik, sie enthalten keine Elemente, die nicht bereits an anderer Stelle erprobt oder ausgeführt wurden.

Die hier dargestellten Empfehlungen sind nach Einschätzung des Verfassers dem Grunde nach genehmigungsfähig, diese Aussage schließt jedoch nicht aus, dass im Rahmen des noch folgenden Genehmigungsverfahrens ergänzende Fragestellungen sichtbar werden, die eine technische Detailanpassung erfordern können.

## Quellenverzeichnis

- [1] ahu GmbH Wasser Boden Geomatik, Aachen – Gefährdungsabschätzung, Februar 2023
- [2] Nottenkämper GmbH & Co. KG, Hünxe/ÖBB-Consult Dr. Erich Zanders, Elsdorf – Deponie Firma Nottenkämper Standort Hünxe Abschlussbericht über die Funktionsfähigkeit der Sickerwasserreinigungsanlage, August 2022

# Anlagen

# Anhang

**CONSULAQUA, Hildesheim –  
Untersuchungen Mühlenberg Machbarkeitsstudie  
Sickerwasserhaltung Berechnungen mit dem  
Boxmodell, Mai 2023**

---

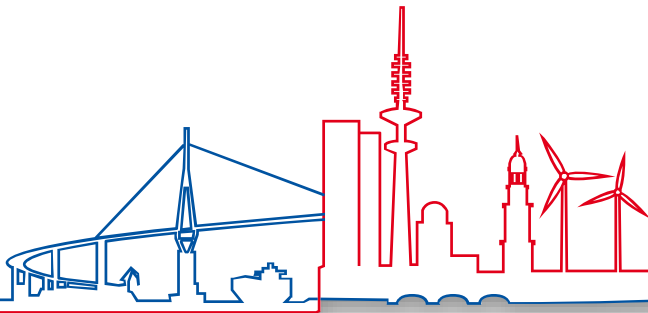
## Untersuchungen Mühlenberg Machbarkeitsstudie Sickerwasserhaltung Berechnungen mit dem Boxmodell

Interne Besprechung am 27.04.2023

Ergänzung 1: 03.05.2023

Ergänzung 2: 23.05.2023

Dipl.-Geol. Michael Bruns

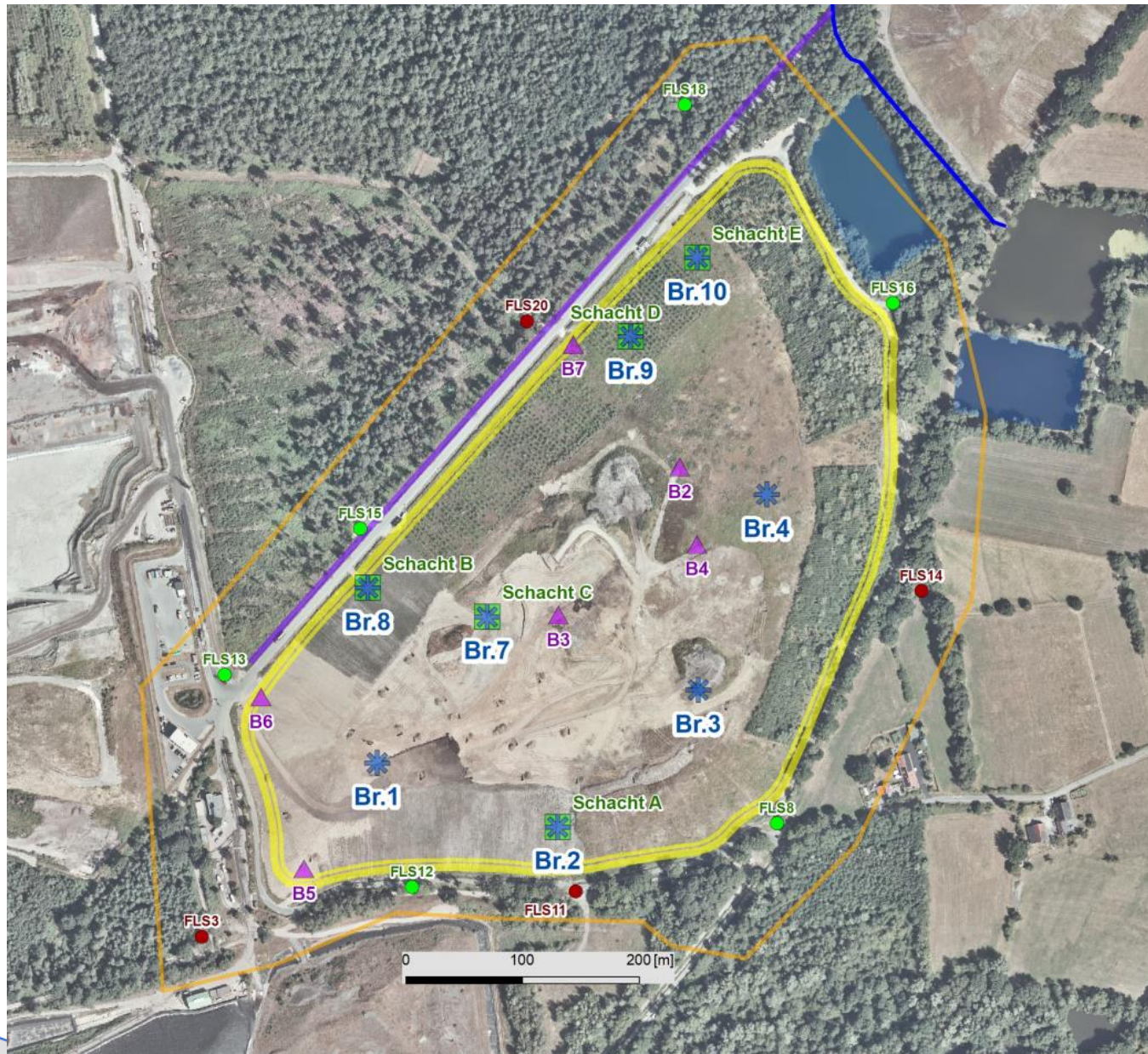


# Simulation der Sickerwasserhaltung mit dem Boxmodell

Sickerwasserbrunnen	Ort	UTM		Variante A		Variante B		Variante C		Variante D	
		Rechts (ca.)	Hoch (ca.)	Status	Wst. im Br.	Status	Wst. im Br.	Status	Wst. im Br.	Status	Wst. im Br.
Brunnen 1	neu	32350831	5725140	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 2	in Schacht A	32350986	5725085	aktiv	35 m NHN	aktiv	35 m NHN	aktiv	35 m NHN	nicht aktiv	--
Brunnen 3	neu	32351107	5725203	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 4	neu	32351166	5725371	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 5	neu	32351153	5725515	nicht aktiv	--	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 6	neu	32351025	5725401	nicht aktiv	--	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 7	in Schacht C	32350926	5725266	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN
Brunnen 8	in Schacht B	32350823	5725290	aktiv	34 m NHN	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--
Brunnen 9	in Schacht D	32351049	5725506	aktiv	34 m NHN	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--
Brunnen 10	in Schacht E	32351106	5725574	aktiv	34 m NHN	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--
Brunnen 11	neu	32350973	5725169	nicht aktiv	--	nicht aktiv	--	aktiv	34 m NHN	aktiv	34 m NHN

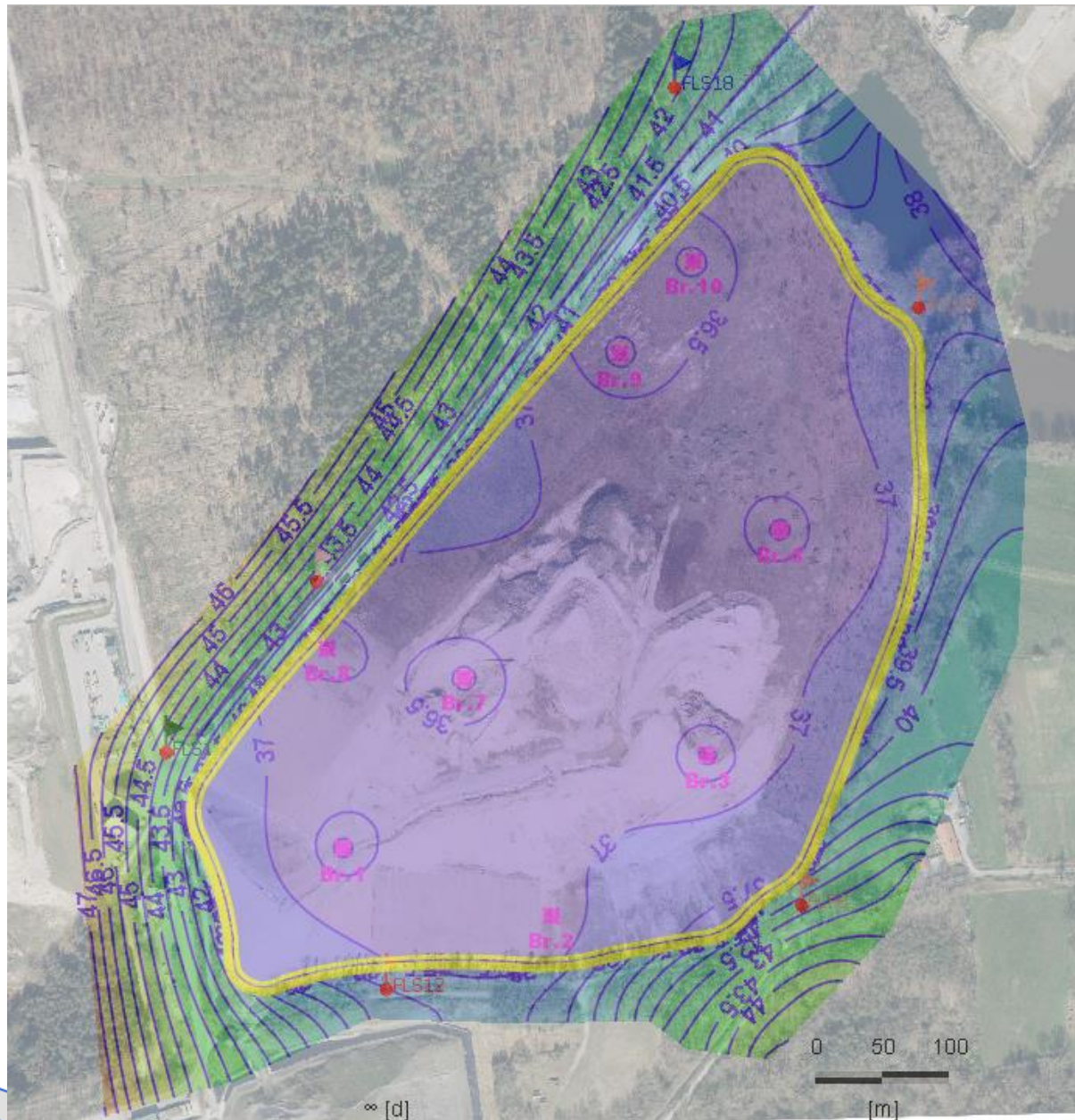
Wst. Im Brunnen = angesetzter dauerhafter / gesteuerter Wasserstand im Brunnen

## Variante A: Lage der Sickerwasserbrunnen





# Variante A: Standrohrspiegelhöhen – Schicht 1 (Slice 12)



[M NHN]

- 35 ... 36
- 36 ... 37
- 37 ... 38
- 38 ... 39
- 39 ... 40
- 40 ... 41
- 41 ... 42
- 42 ... 43
- 43 ... 44
- 44 ... 45
- 45 ... 46
- 46 ... 47
- 47 ... 48
- 48 ... 49

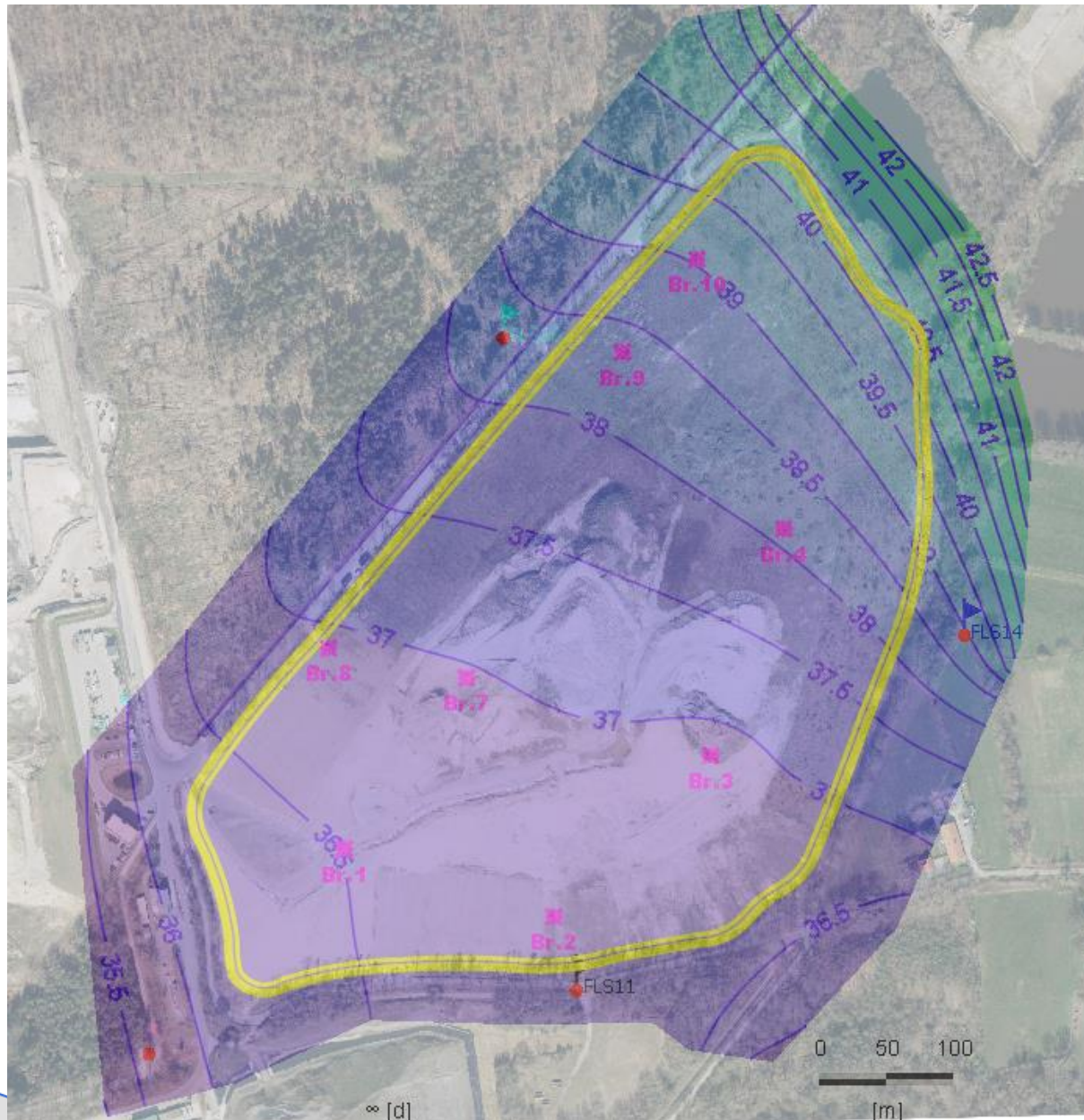
# Variante A: Standrohrspiegelhöhen – Basis Verfüllung (Slice 17)



[M NHN]

- 35 ... 36
- 36 ... 37
- 37 ... 38
- 38 ... 39
- 39 ... 40
- 40 ... 41
- 41 ... 42
- 42 ... 43
- 43 ... 44
- 44 ... 45
- 45 ... 46
- 46 ... 47
- 47 ... 48
- 48 ... 49

# Variante A: Standrohspiegelhöhen – Schicht 2 (Slice 24)



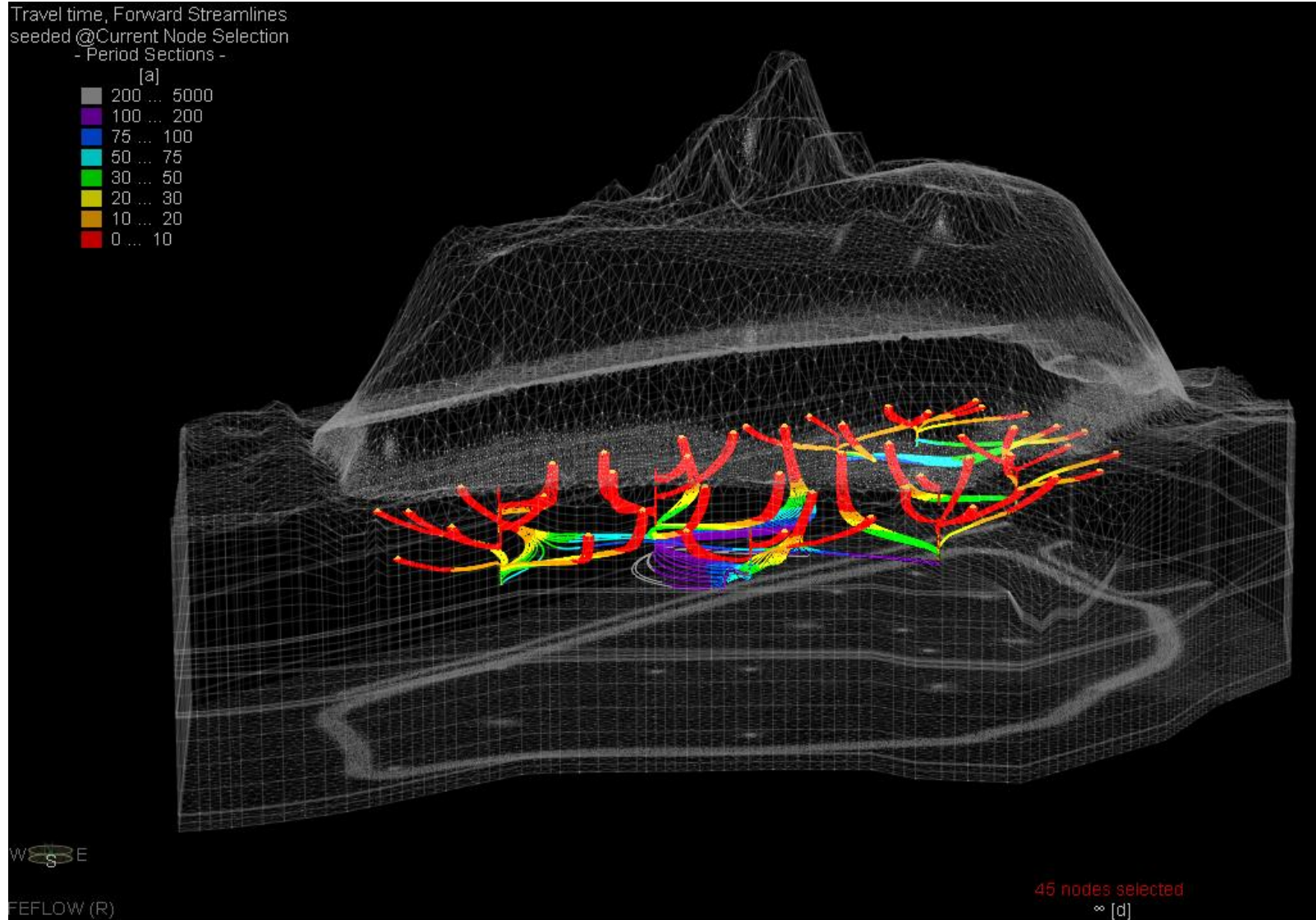
[M NHN]

- 35 ... 36
- 36 ... 37
- 37 ... 38
- 38 ... 39
- 39 ... 40
- 40 ... 41
- 41 ... 42
- 42 ... 43
- 43 ... 44
- 44 ... 45
- 45 ... 46
- 46 ... 47
- 47 ... 48
- 48 ... 49

# Variante A: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Oberfläche des Sickerwassers) Blick von oben



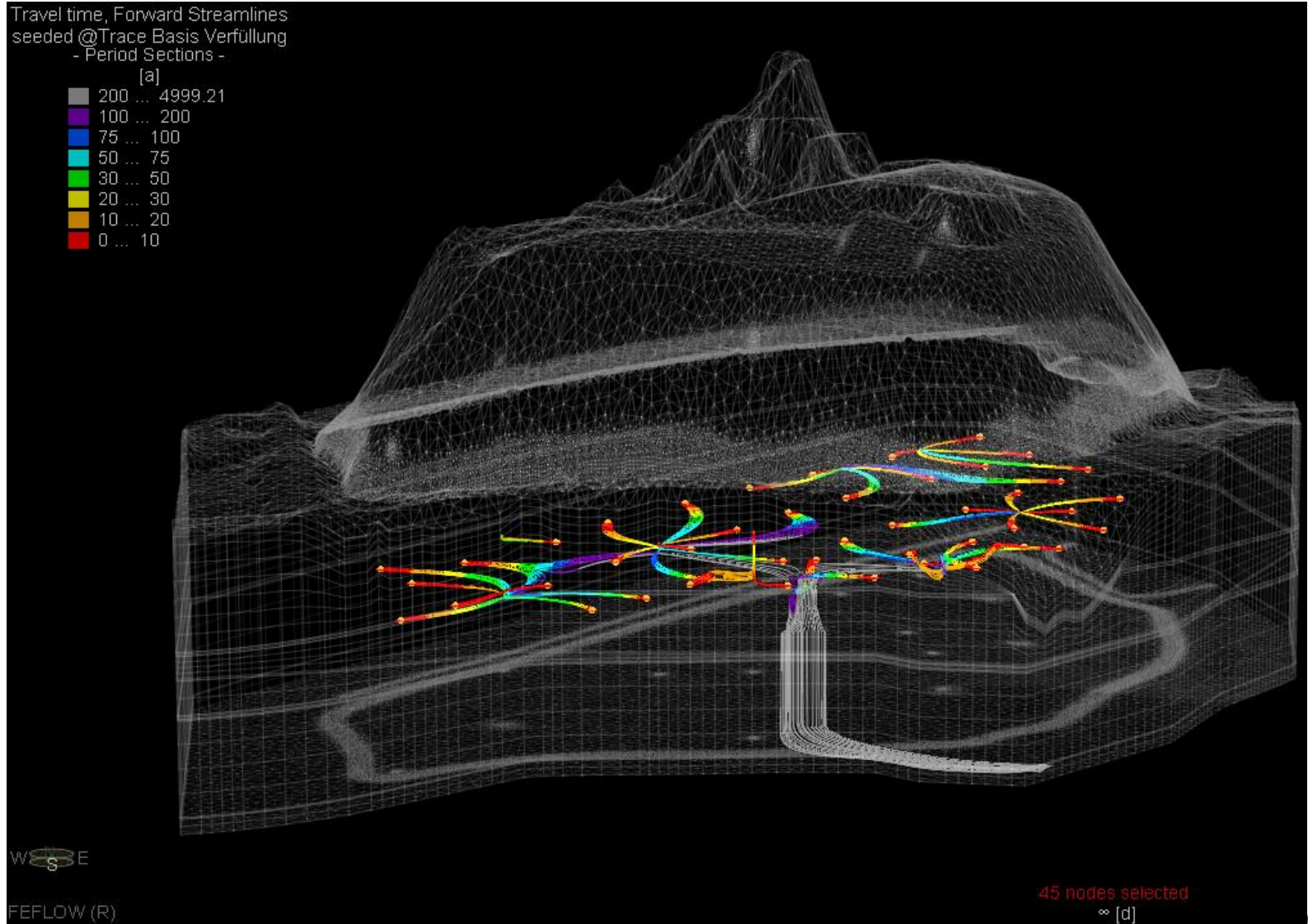
# Variante A: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Oberfläche des Sickerwassers) 3D-Blick von Süden



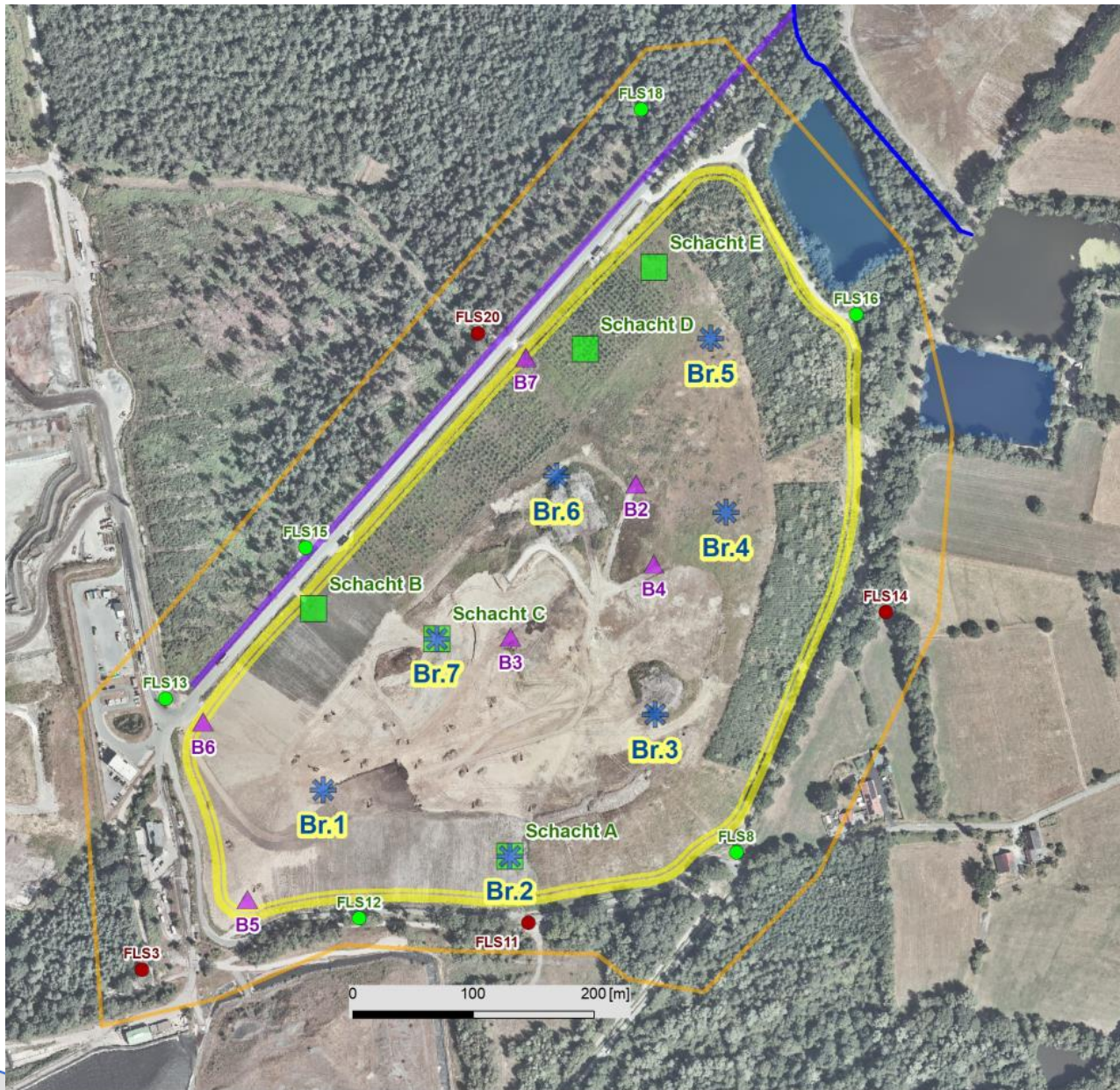
# Variante A: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Basis der Verfüllung) Blick von oben



# Variante A: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Basis der Verfüllung) 3D-Blick von Süden

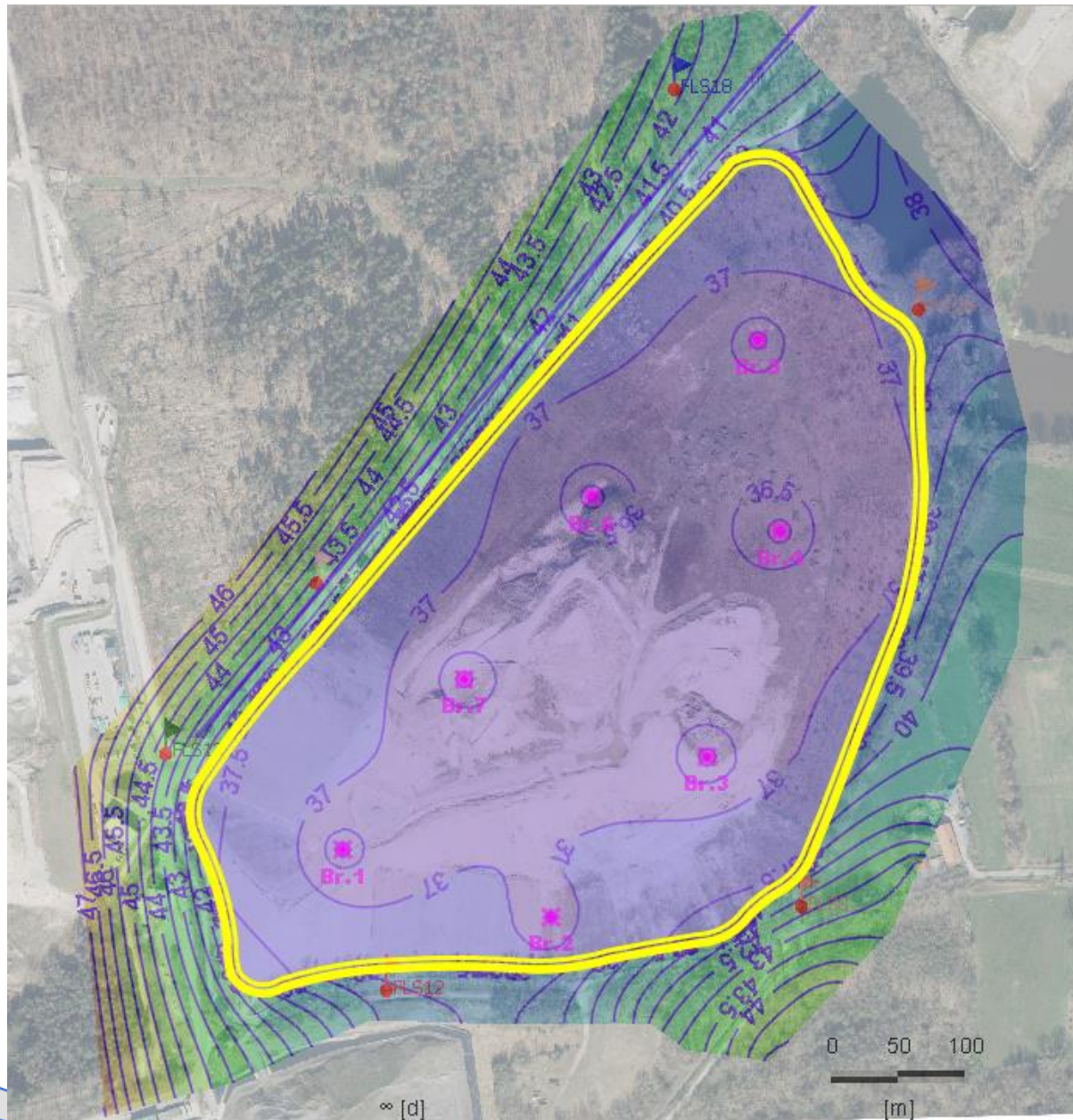


## Variante B: Lage der Sickerwasserbrunnen

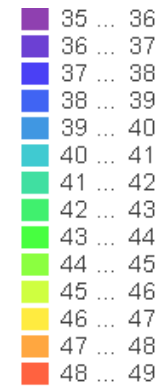




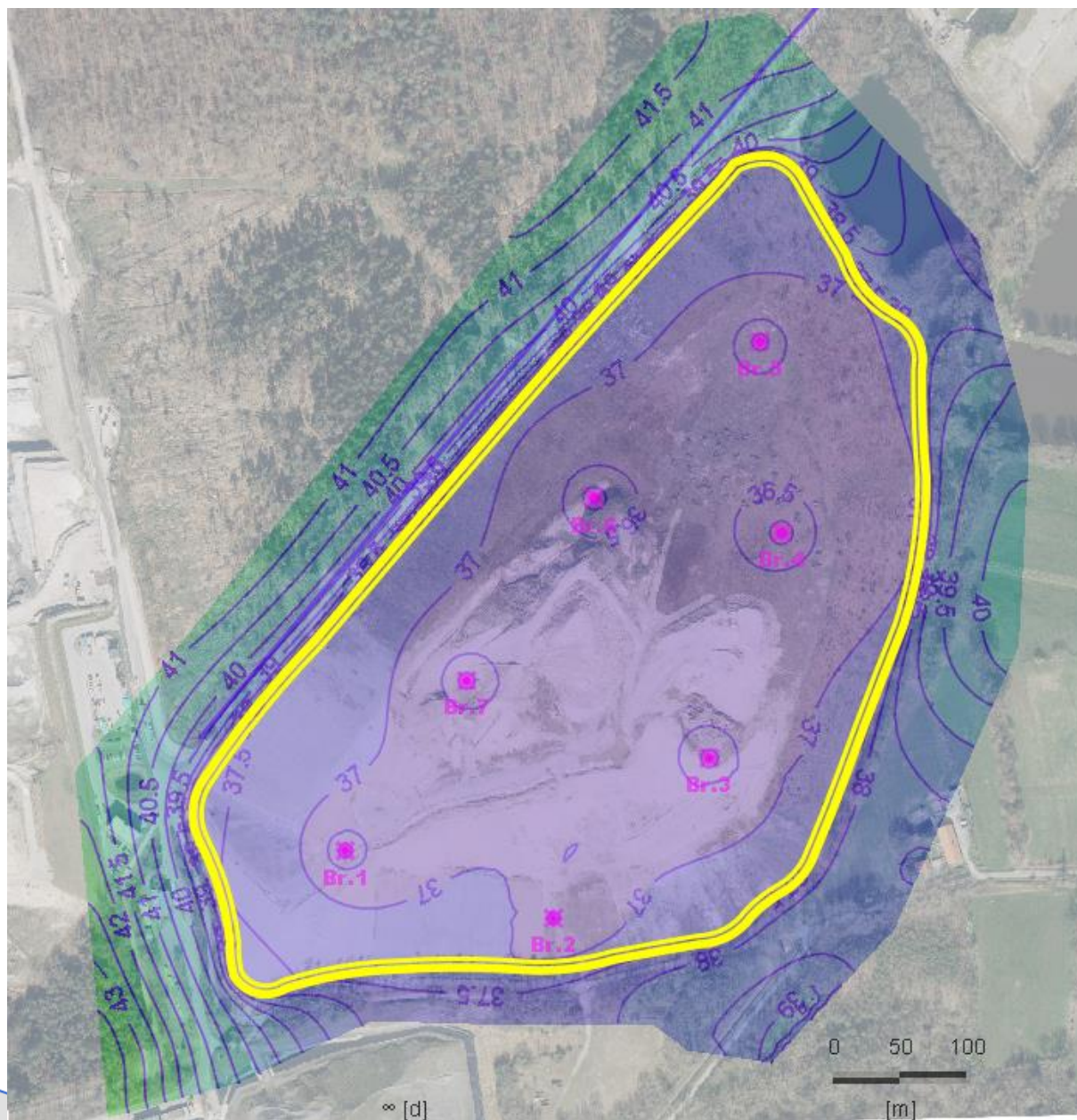
## Variante B: Standrohrspiegelhöhen – Schicht 1 (Slice 12)



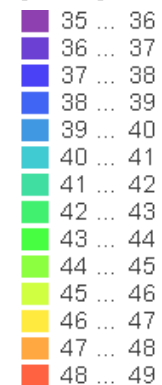
[M NHN]



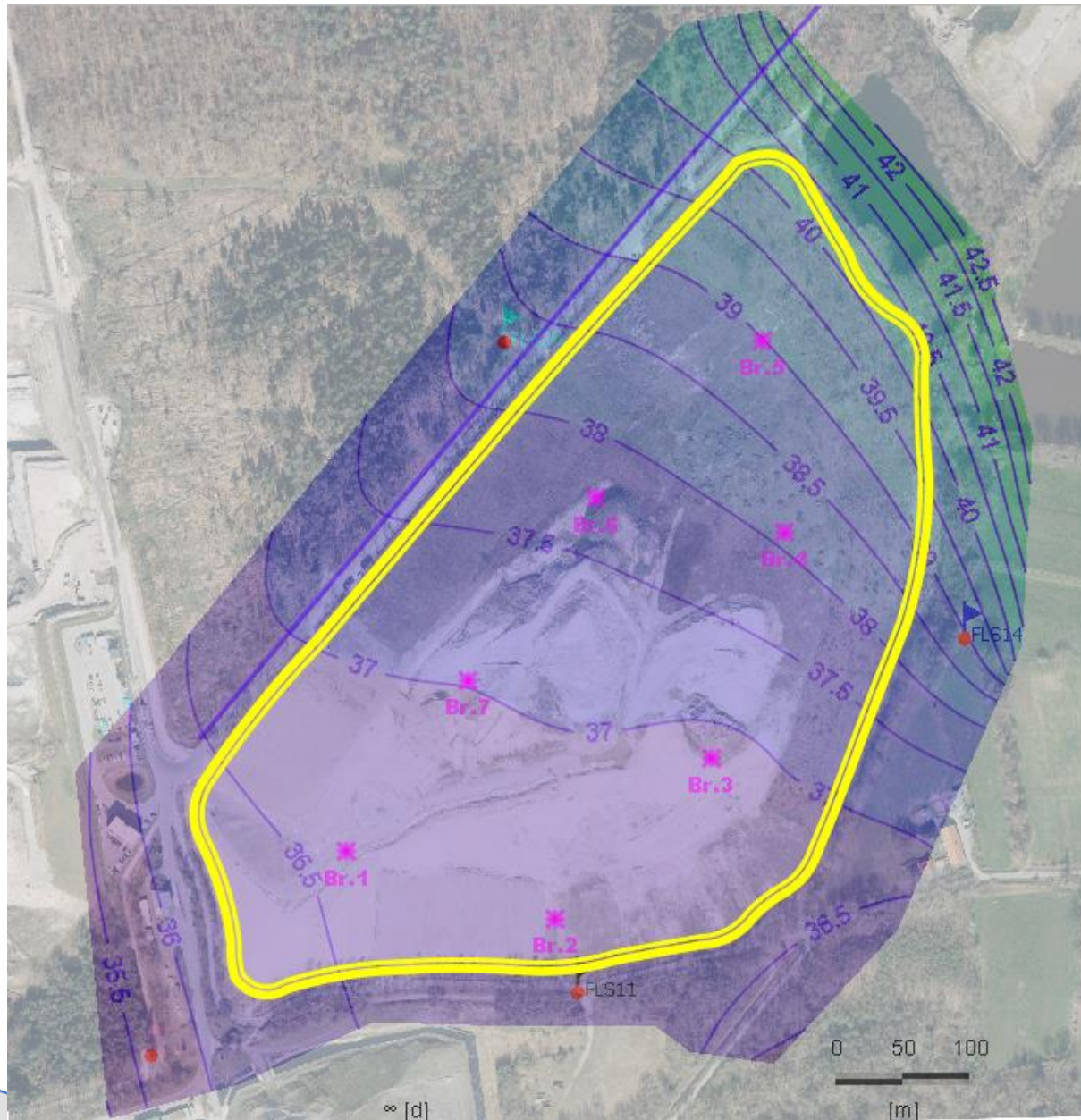
## Variante B: Standrohspiegelhöhen – Basis Verfüllung (Slice 17)



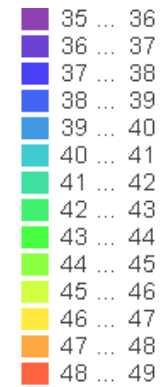
[M NHN]



## Variante B: Standrohrspiegelhöhen – Schicht 2 (Slice 24)



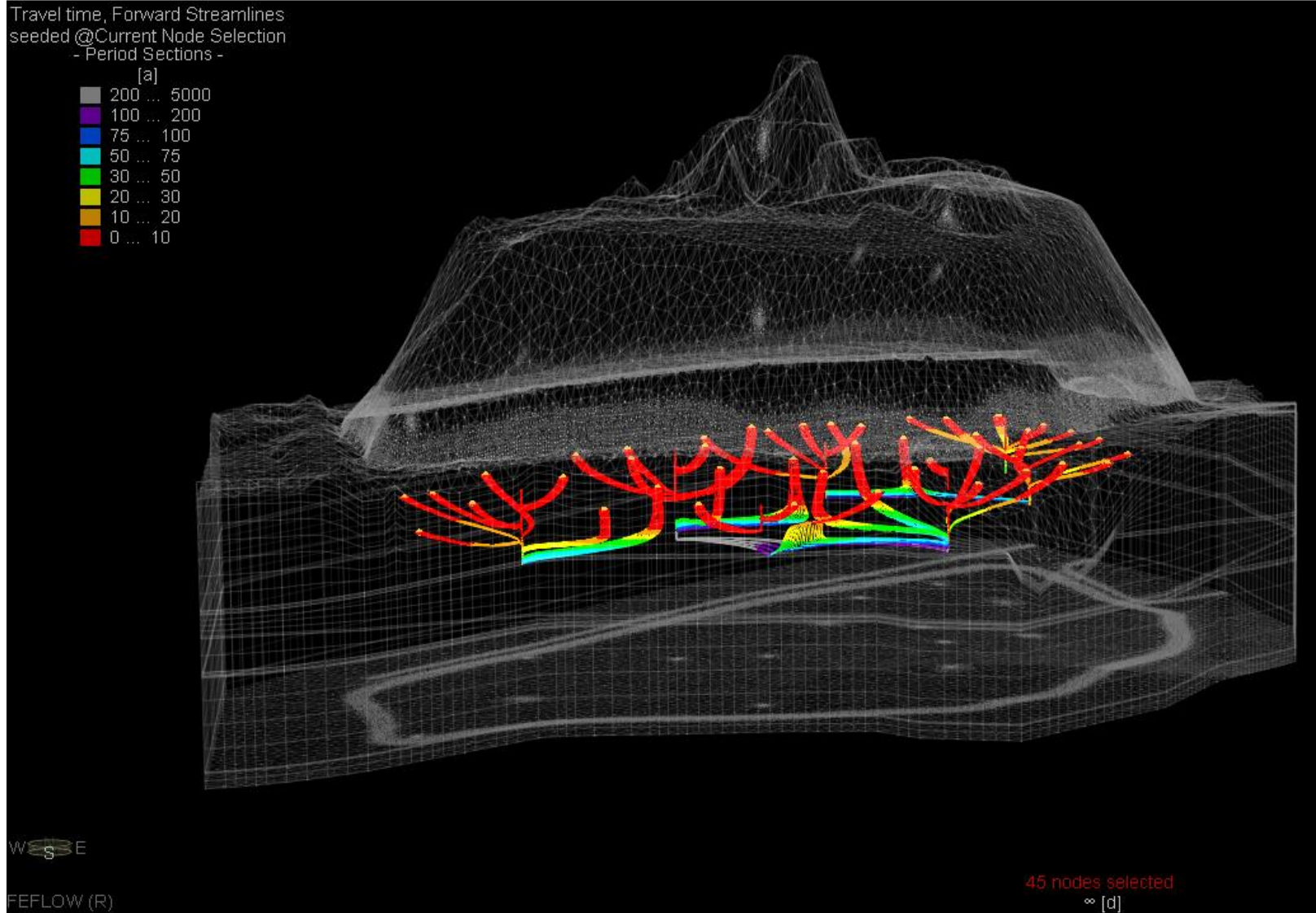
[M NHN]



# Variante B: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Oberfläche des Sickerwassers) Blick von oben

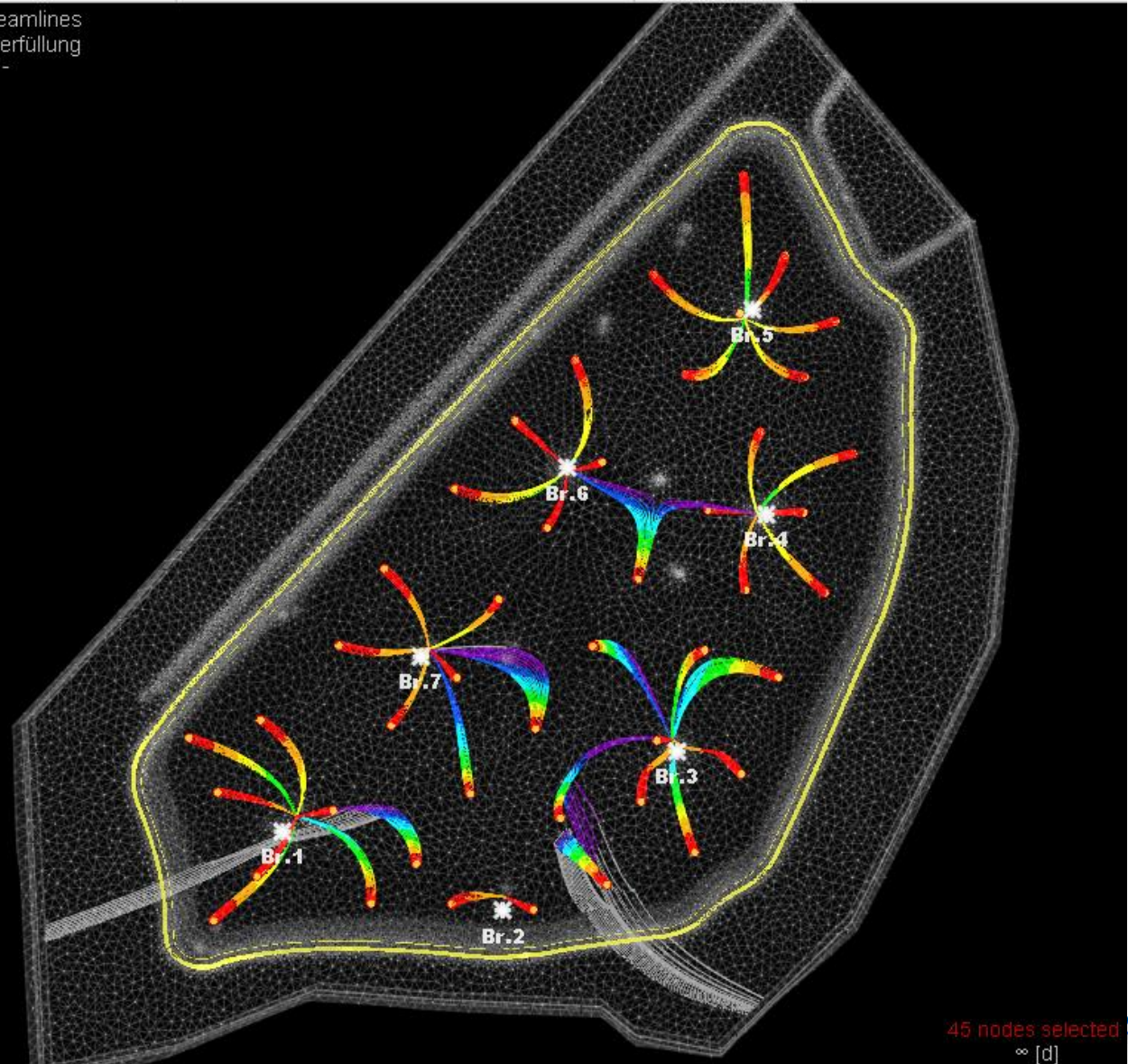
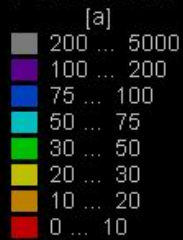


# Variante B: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Oberfläche des Sickerwassers) 3D-Blick von Süden

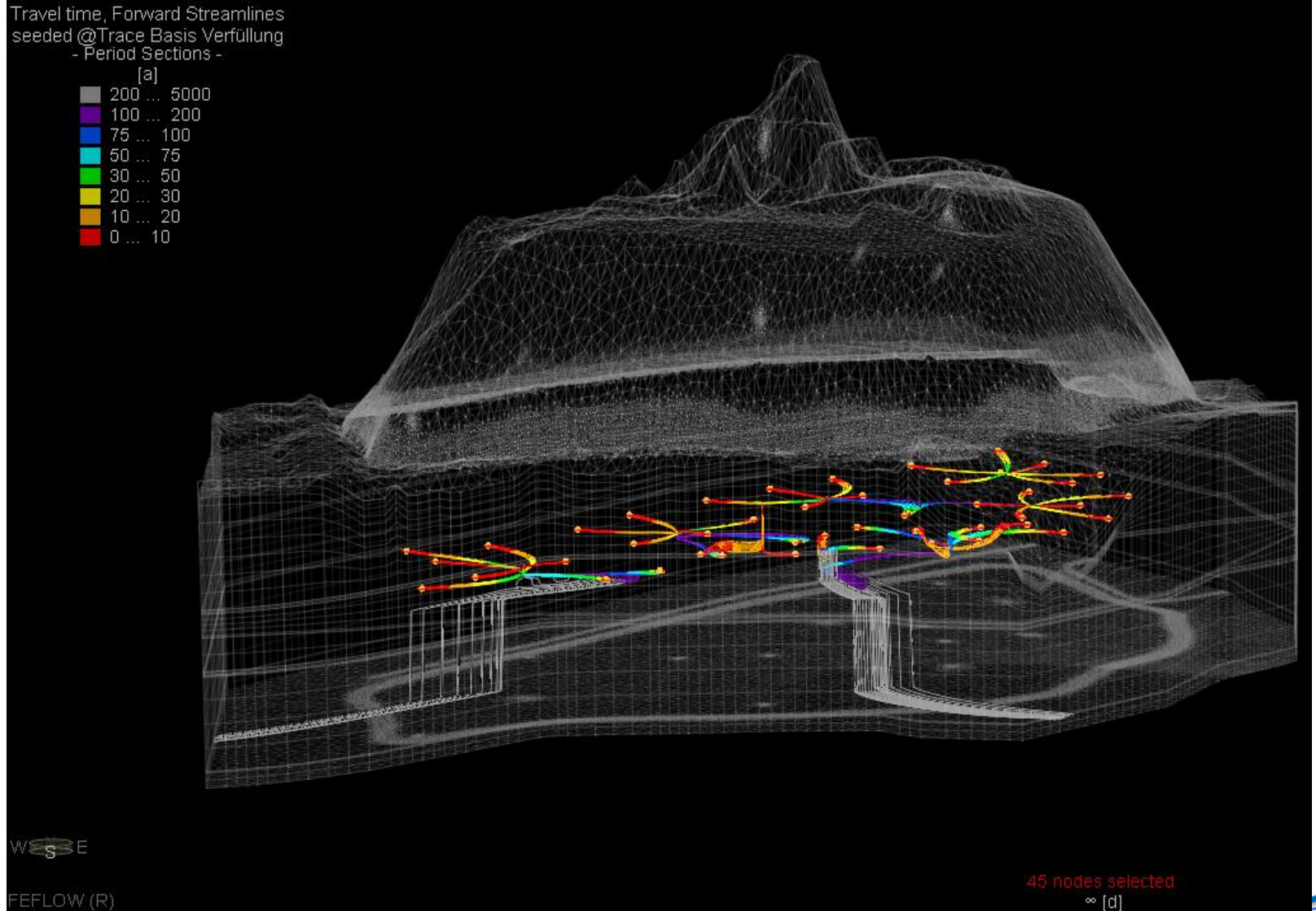


# Variante B: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Basis der Verfüllung) Blick von oben

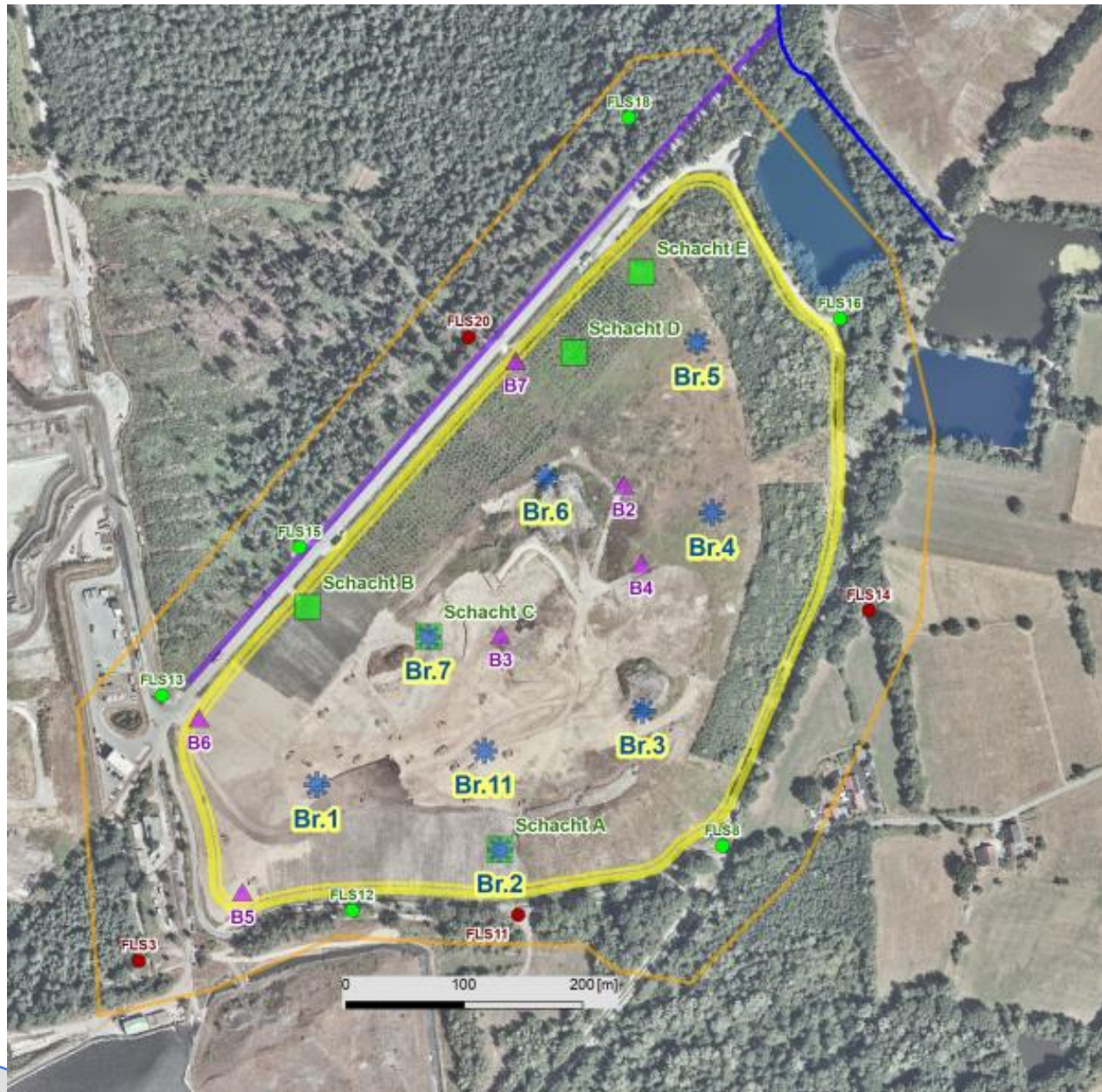
Travel time, Forward Streamlines  
seeded @Trace Basis Verfüllung  
- Period Sections -



# Variante B: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Basis der Verfüllung) 3D-Blick von Süden

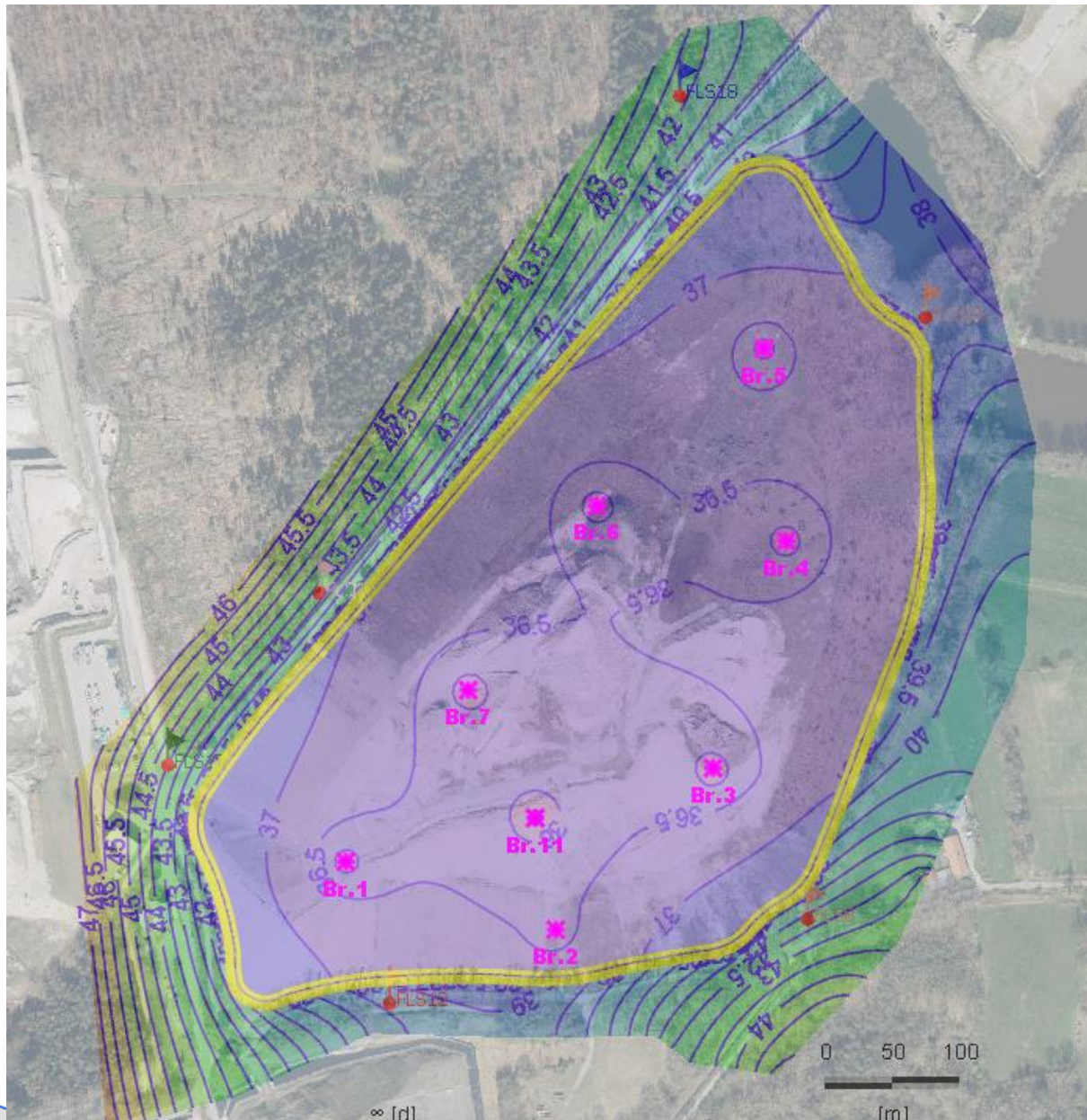


## Variante C: Lage der Sickerwasserbrunnen





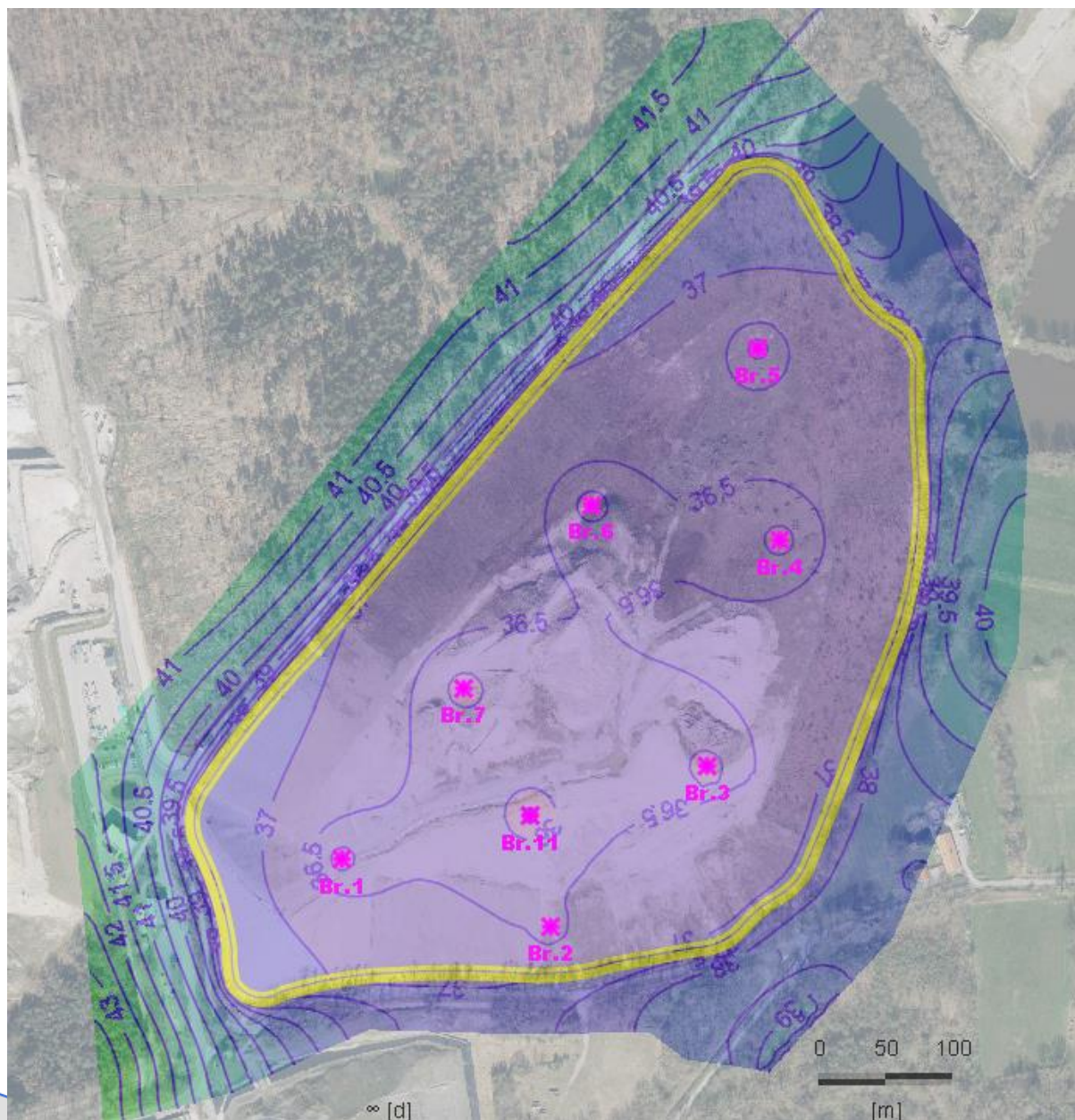
# Variante C: Standrohspiegelhöhen – Schicht 1 (Slice 12)



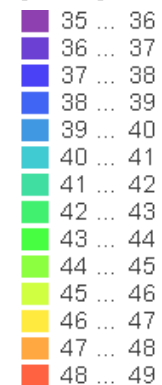
[M NHN]

- 35 ... 36
- 36 ... 37
- 37 ... 38
- 38 ... 39
- 39 ... 40
- 40 ... 41
- 41 ... 42
- 42 ... 43
- 43 ... 44
- 44 ... 45
- 45 ... 46
- 46 ... 47
- 47 ... 48
- 48 ... 49

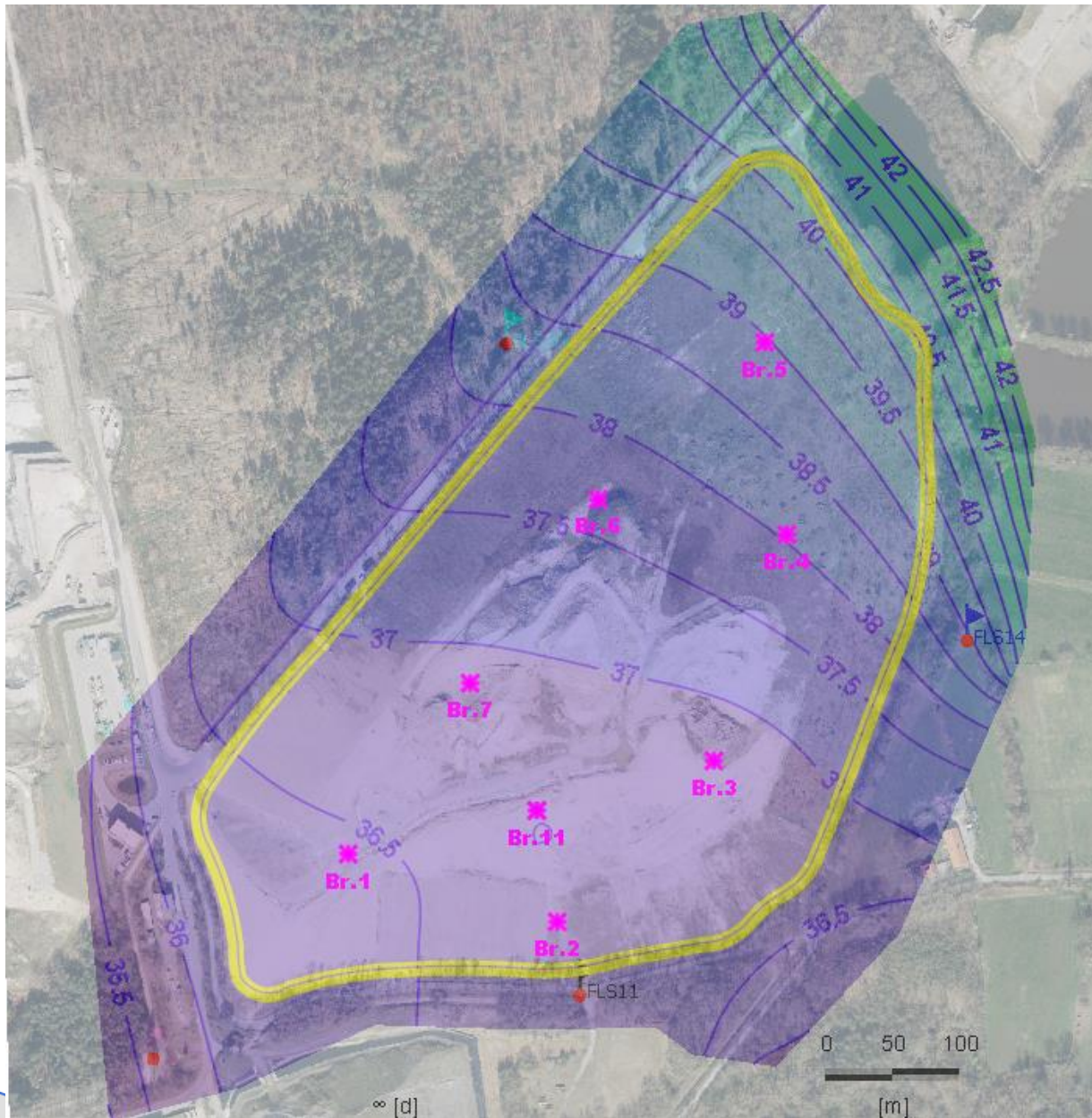
## Variante C: Standrohrspiegelhöhen – Basis Verfüllung (Slice 17)



[M NHN]



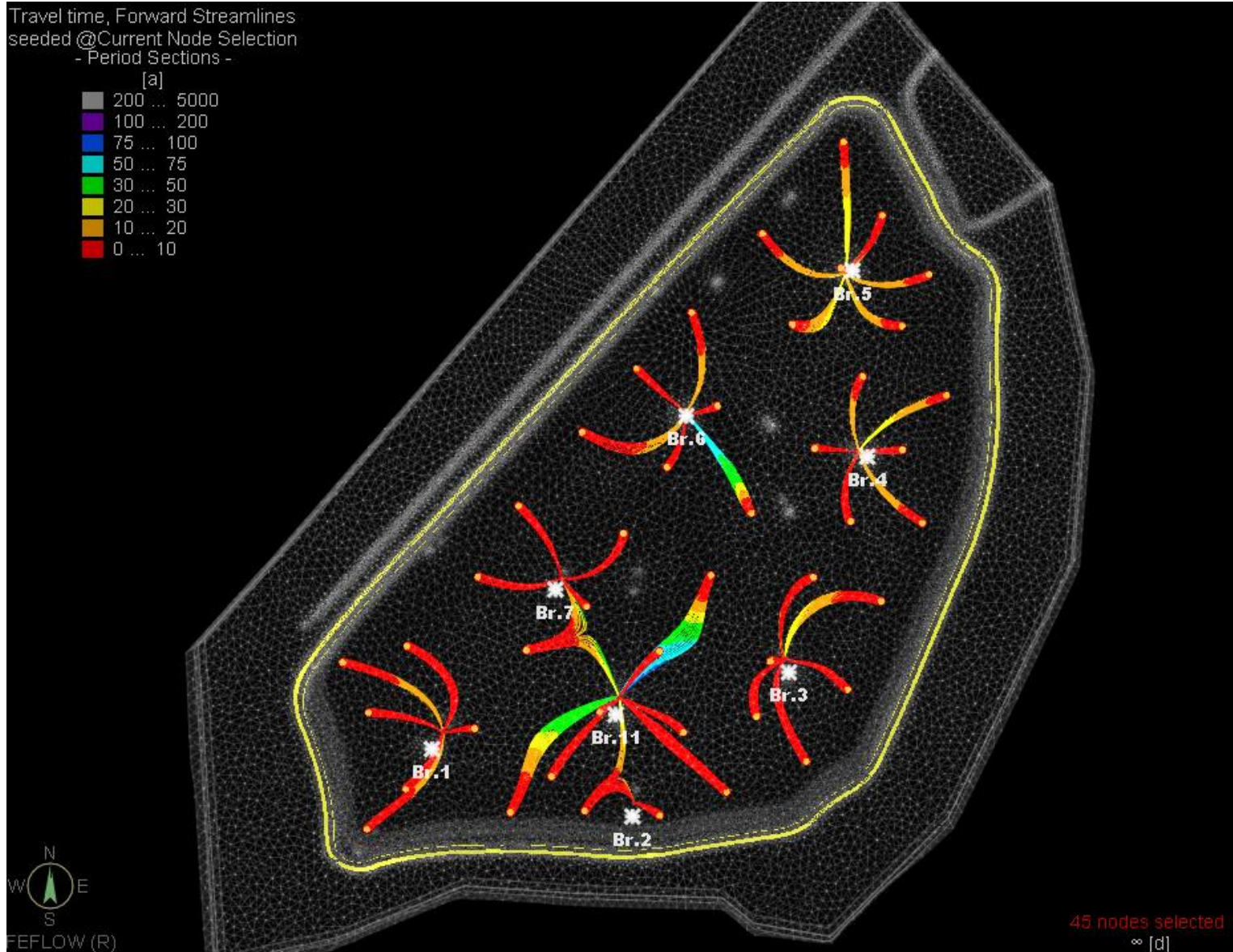
# Variante C: Standrohrspiegelhöhen – Schicht 2 (Slice 24)



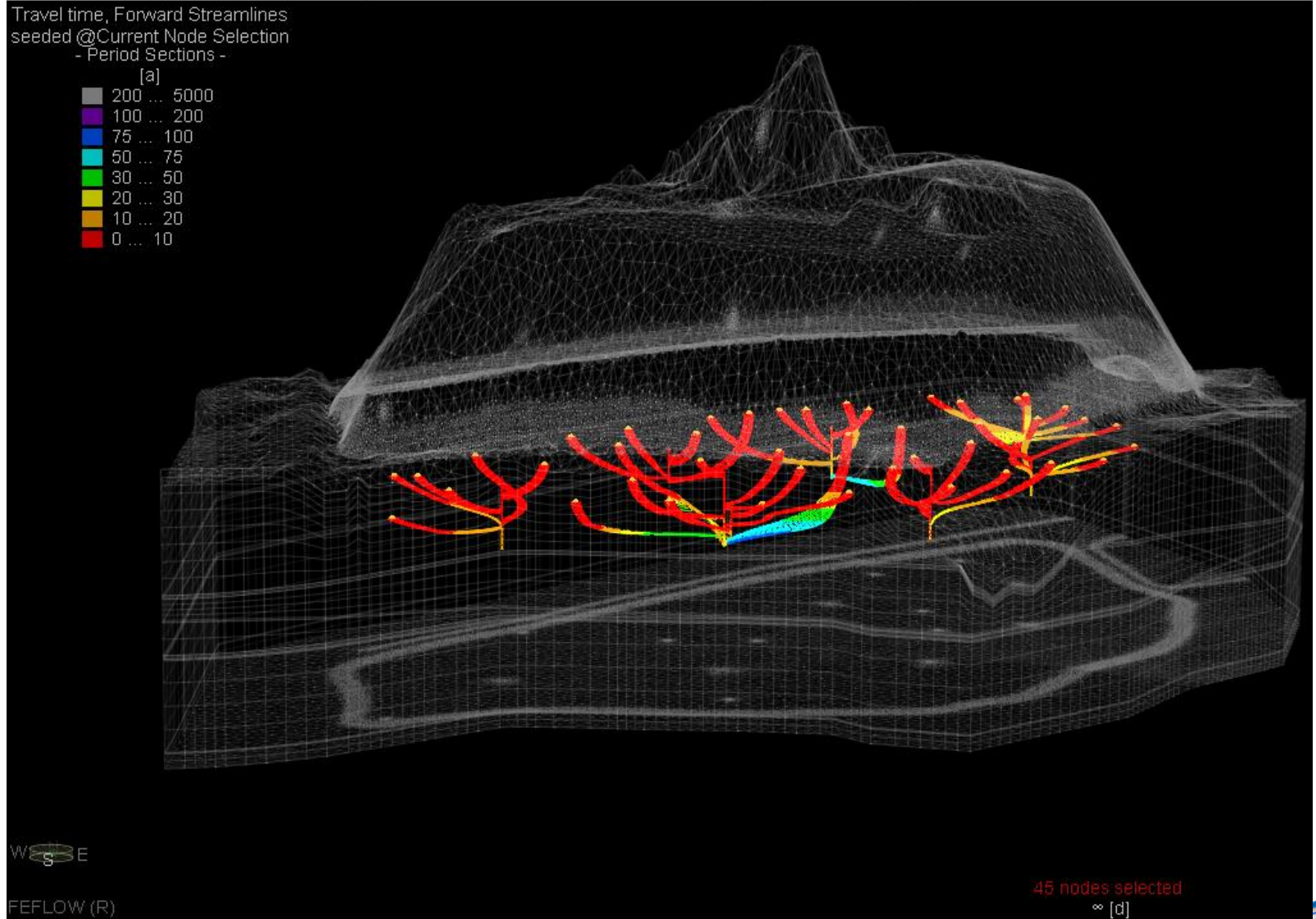
[M NHN]

- 35 ... 36
- 36 ... 37
- 37 ... 38
- 38 ... 39
- 39 ... 40
- 40 ... 41
- 41 ... 42
- 42 ... 43
- 43 ... 44
- 44 ... 45
- 45 ... 46
- 46 ... 47
- 47 ... 48
- 48 ... 49

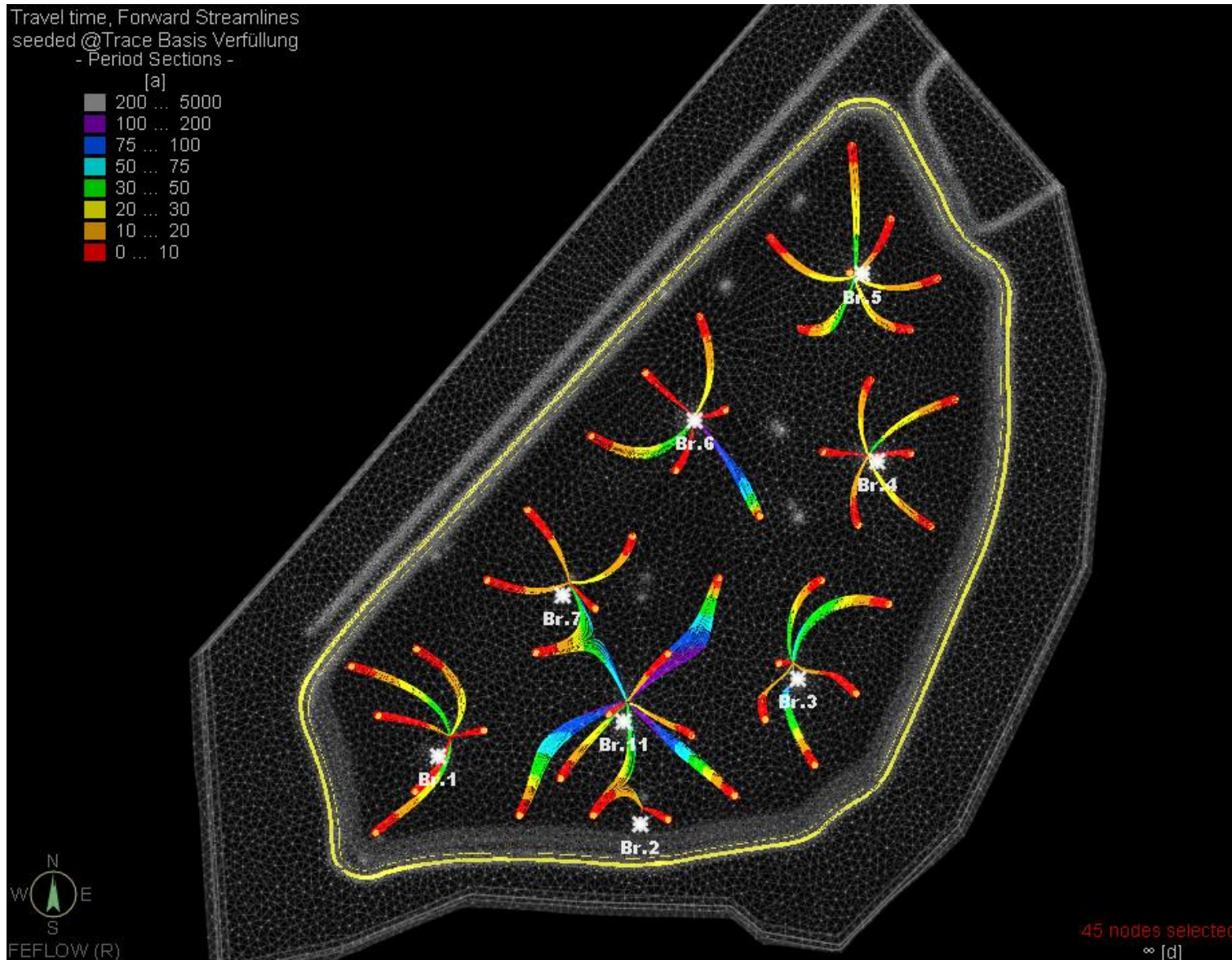
# Variante C: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Oberfläche des Sickerwassers) Blick von oben



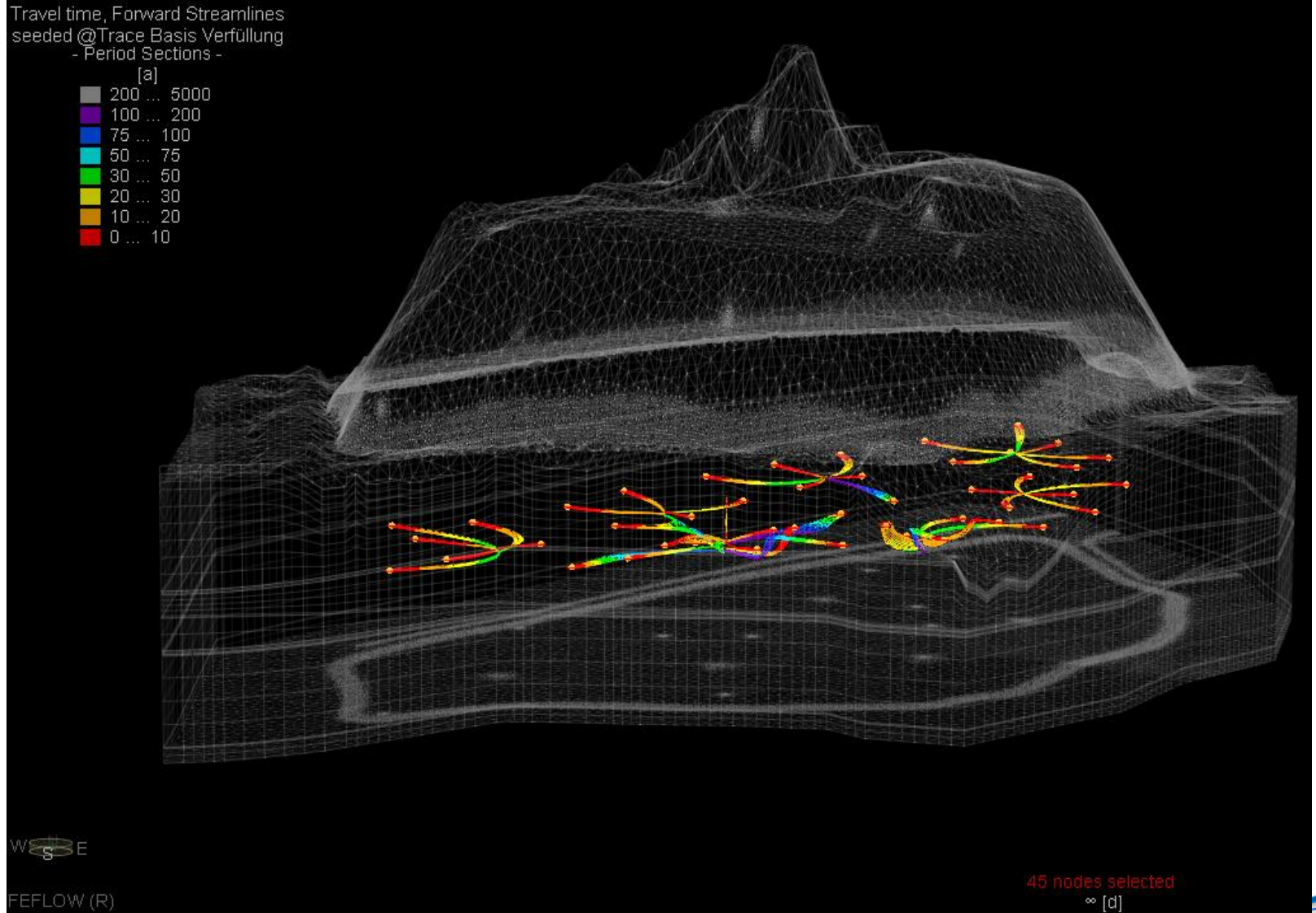
# Variante C: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Oberfläche des Sickerwassers) 3D-Blick von Süden



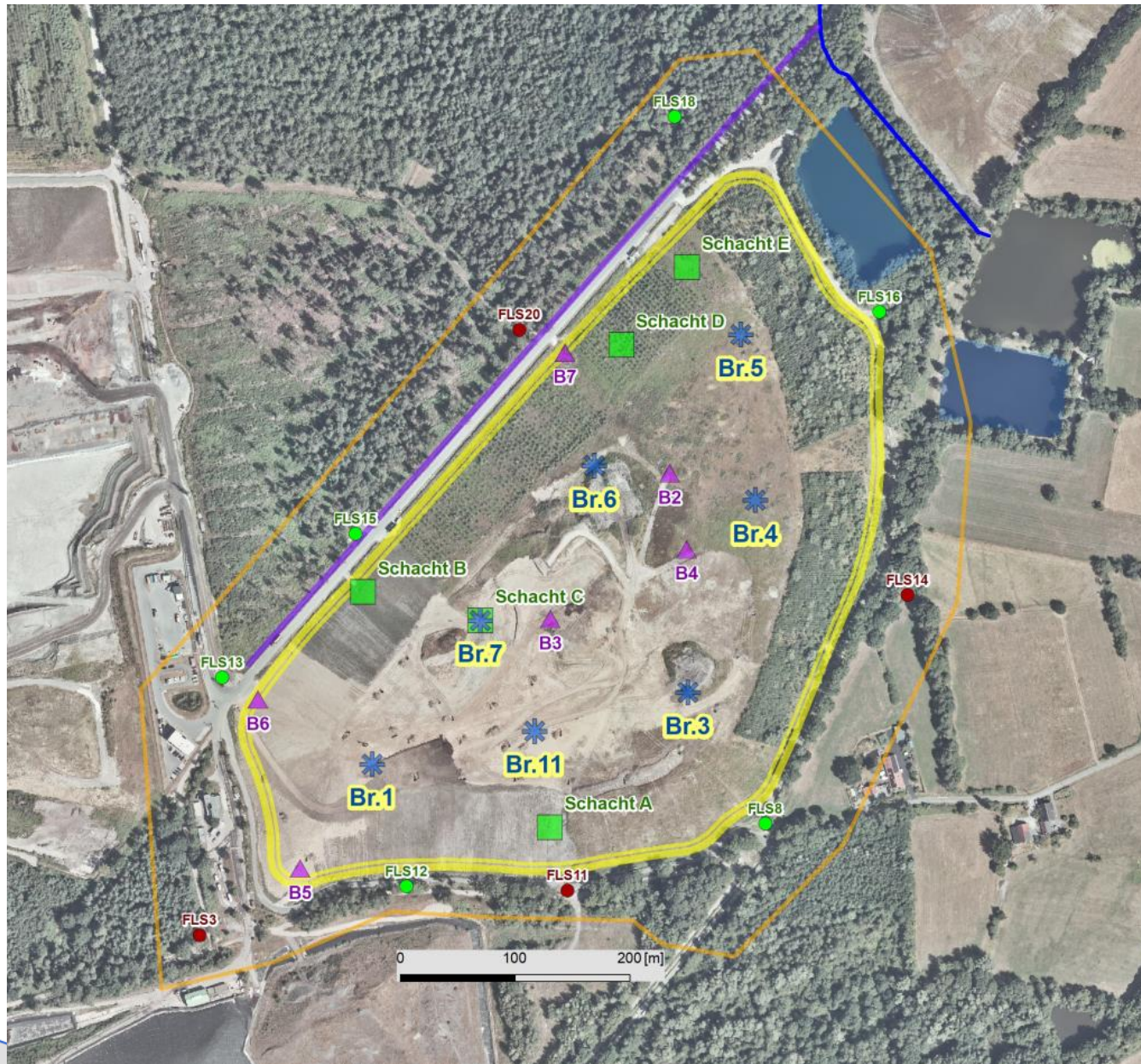
# Variante C: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Basis der Verfüllung) Blick von oben



# Variante C: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Basis der Verfüllung) 3D-Blick von Süden

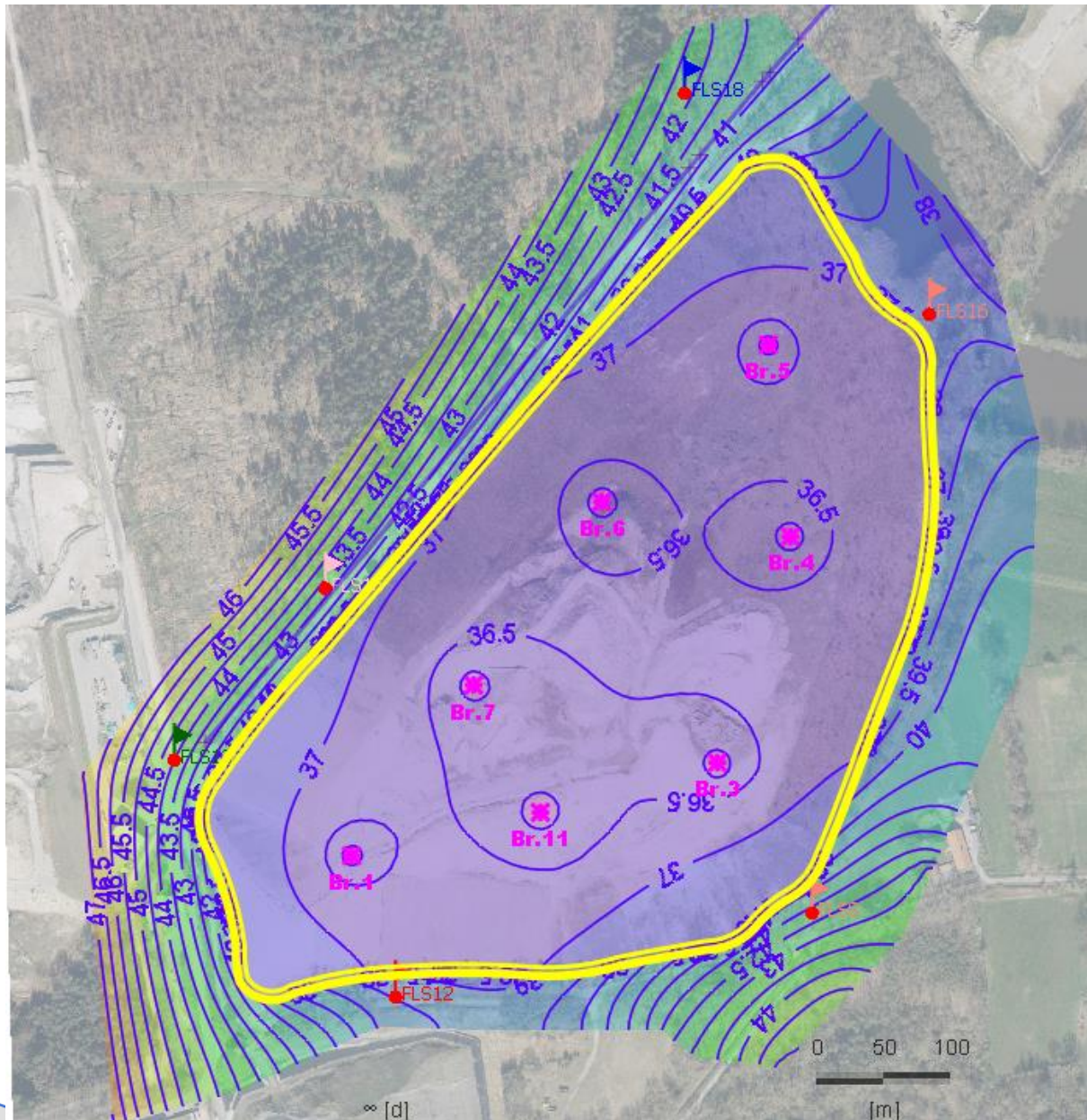


## Variante D: Lage der Sickerwasserbrunnen

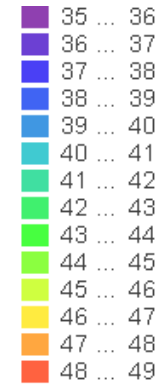




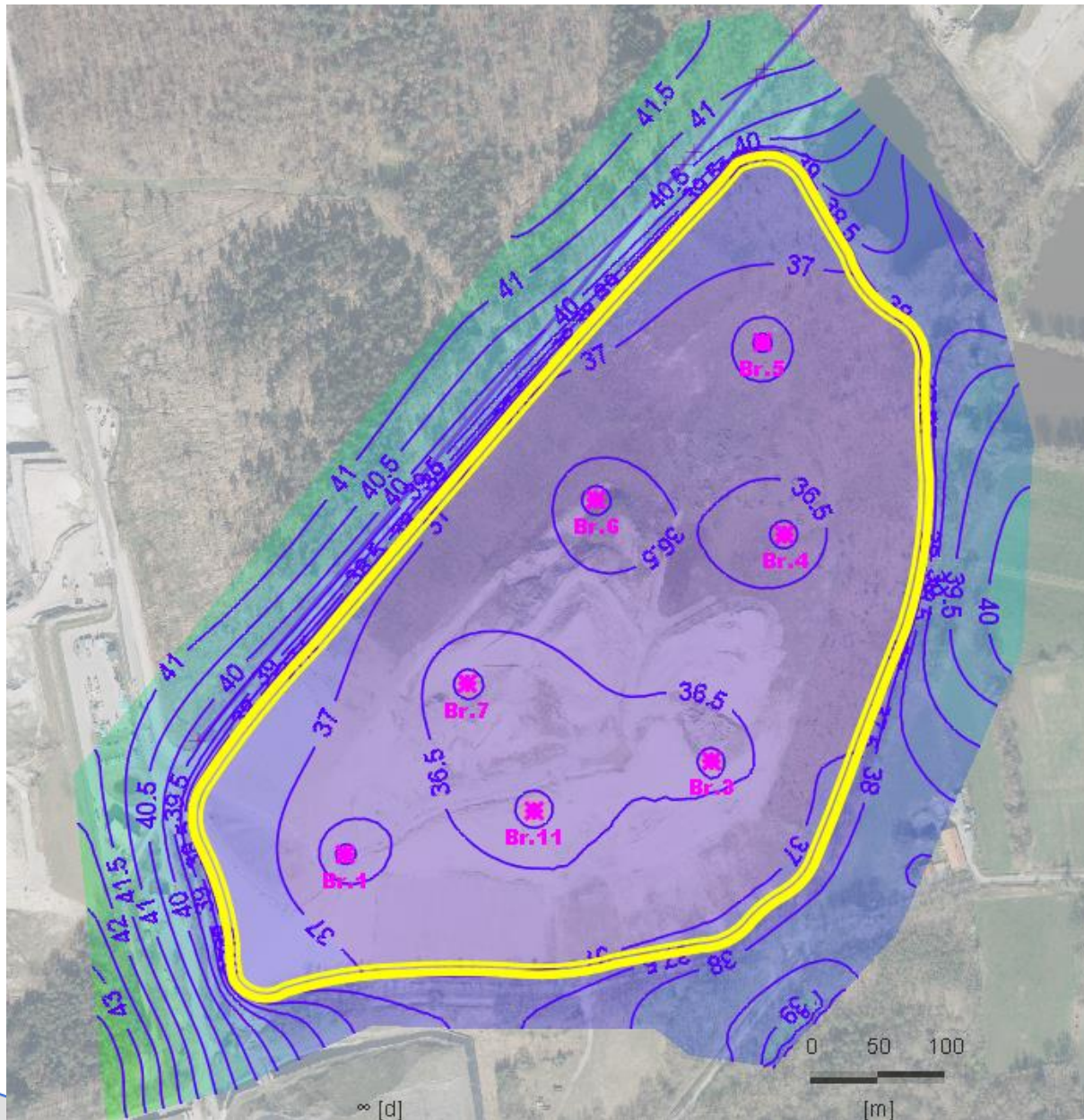
# Variante D: Standrohspiegelhöhen – Schicht 1 (Slice 12)



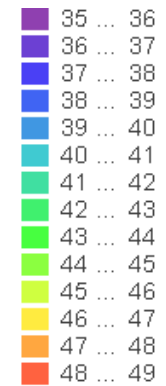
[M NHN]



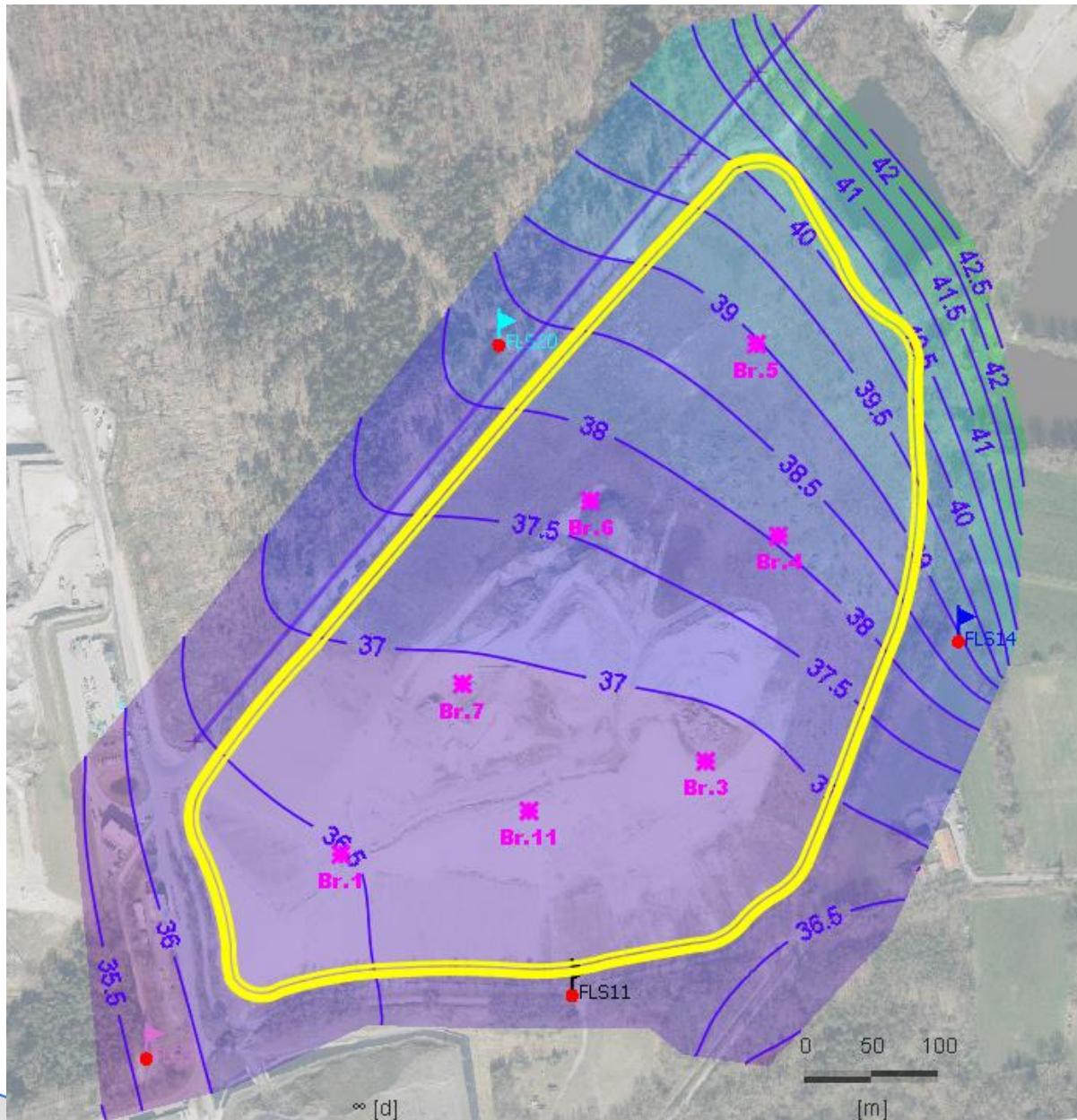
## Variante D: Standrohspiegelhöhen – Basis Verfüllung (Slice 17)



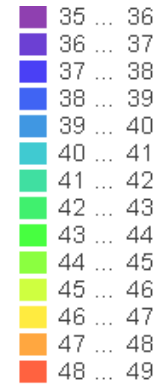
[M NHN]



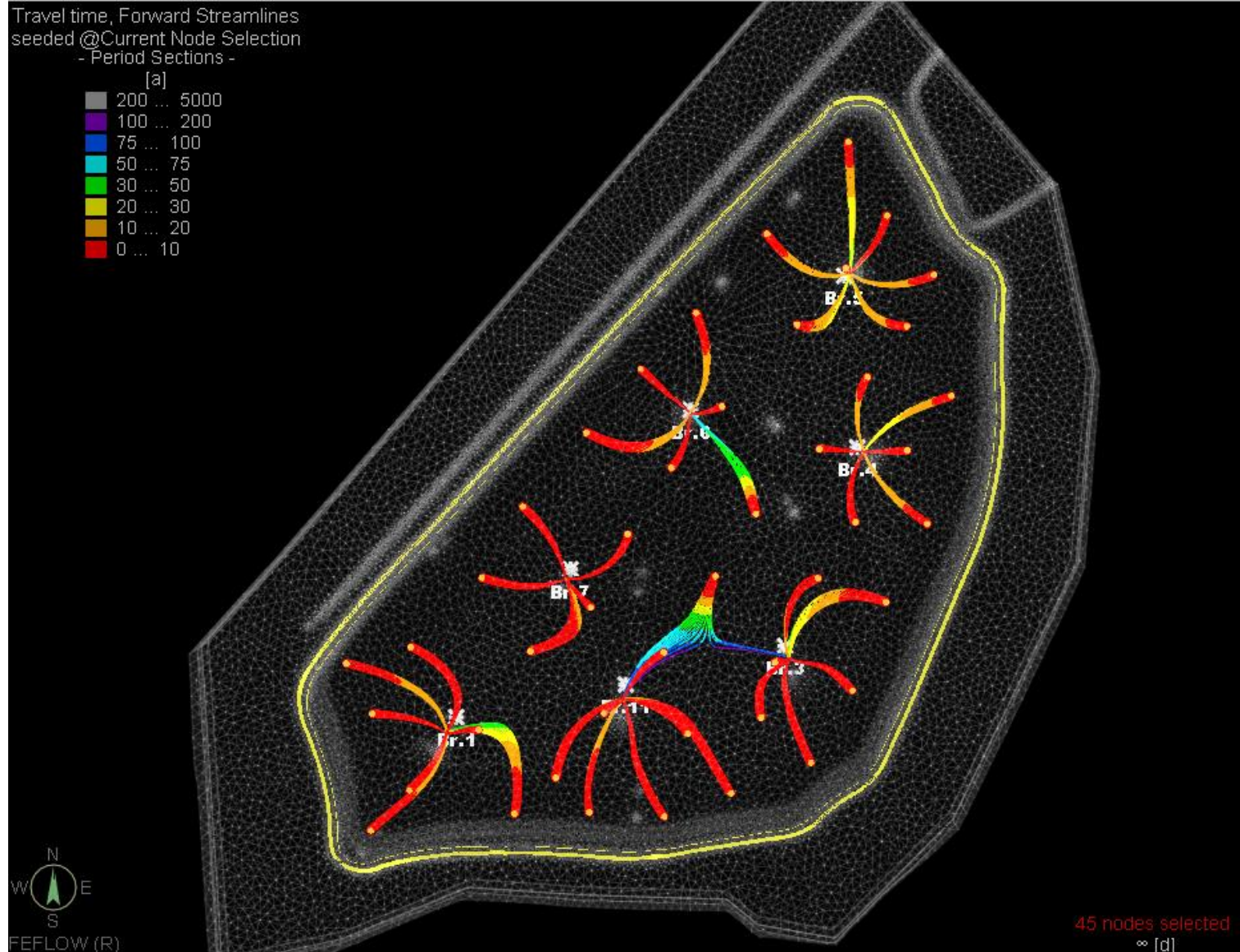
# Variante D: Standrohrspiegelhöhen – Schicht 2 (Slice 24)



[M NHN]

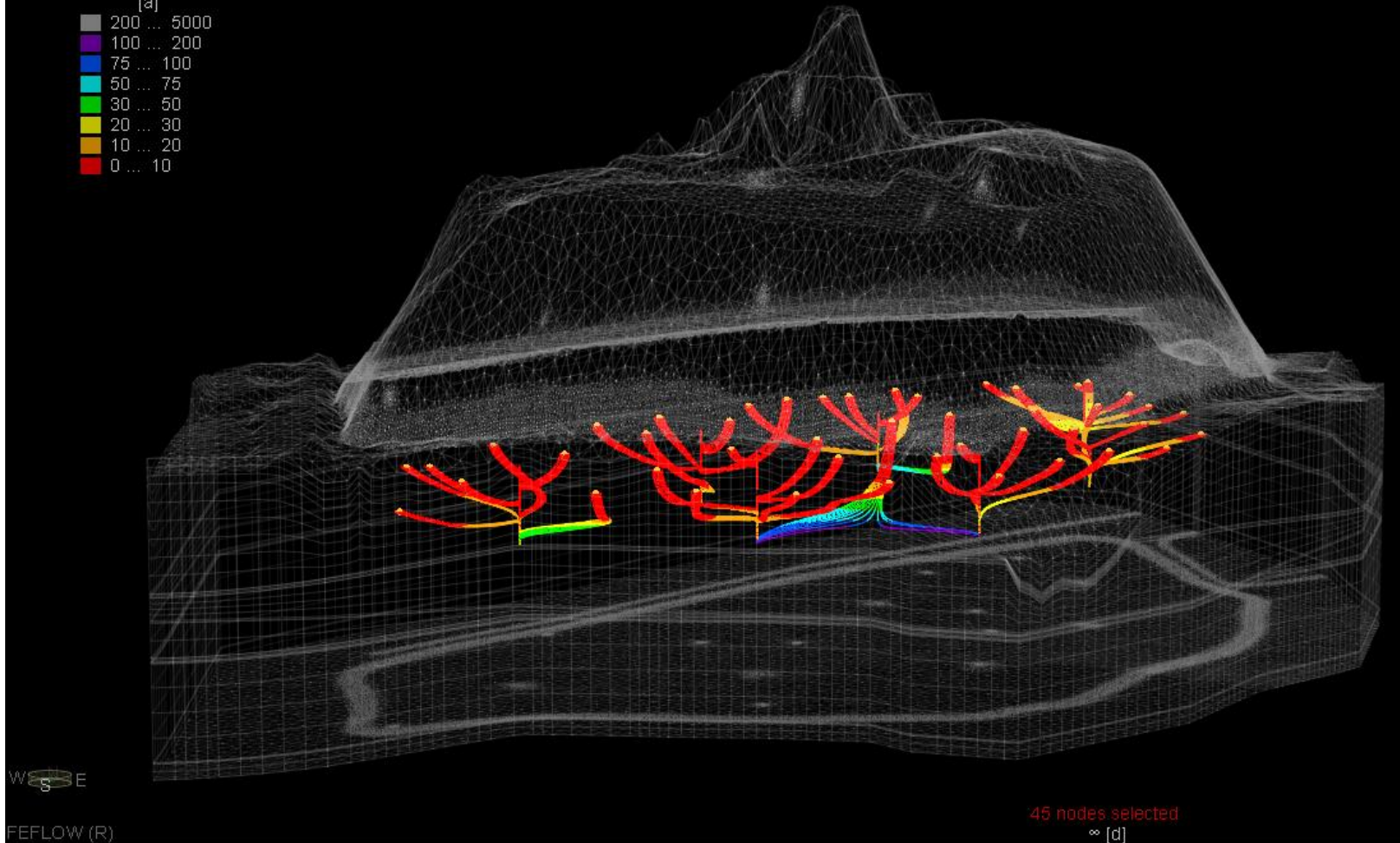
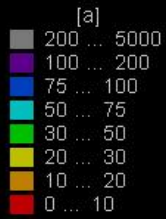


# Variante D: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Oberfläche des Sickerwassers) Blick von oben

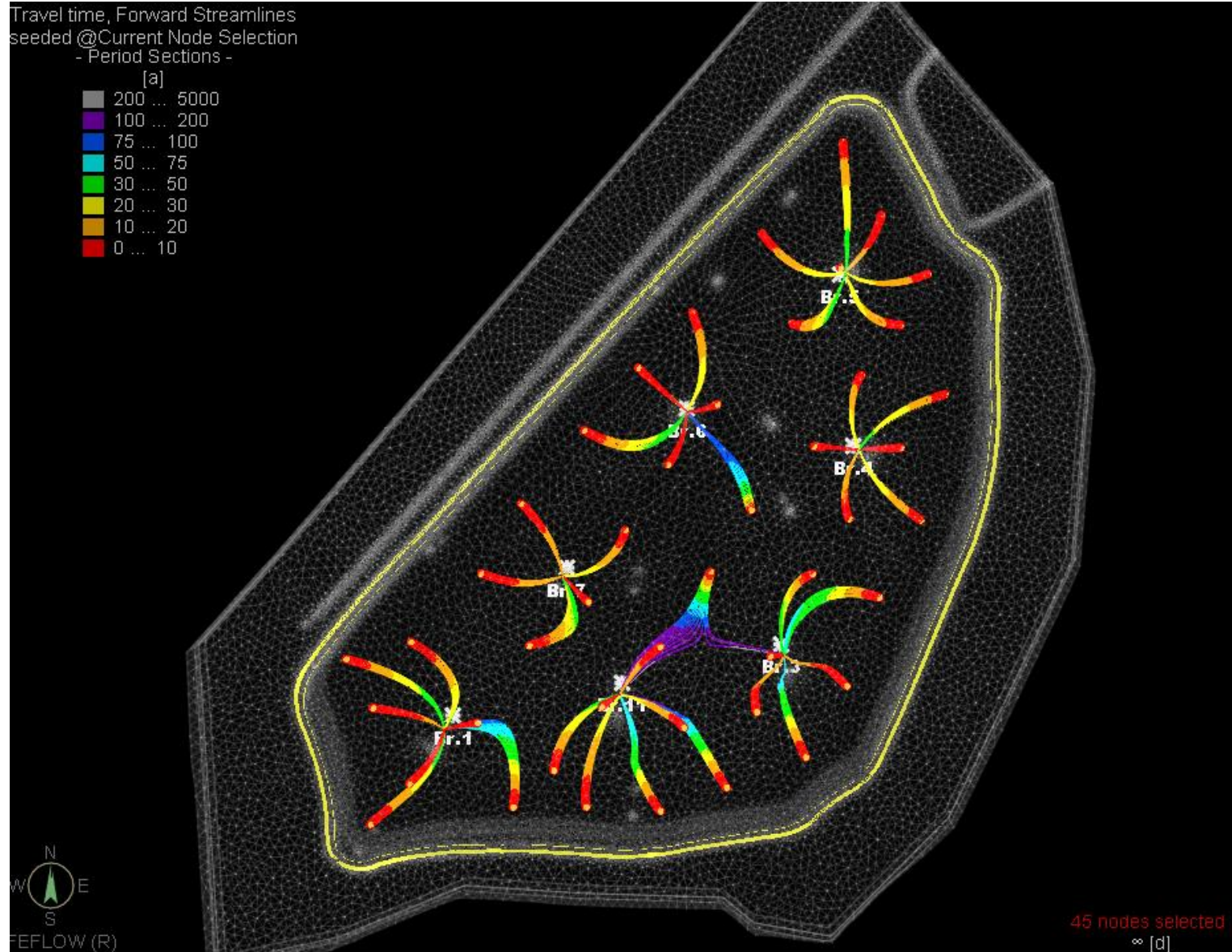


# Variante D: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Oberfläche des Sickerwassers) 3D-Blick von Süden

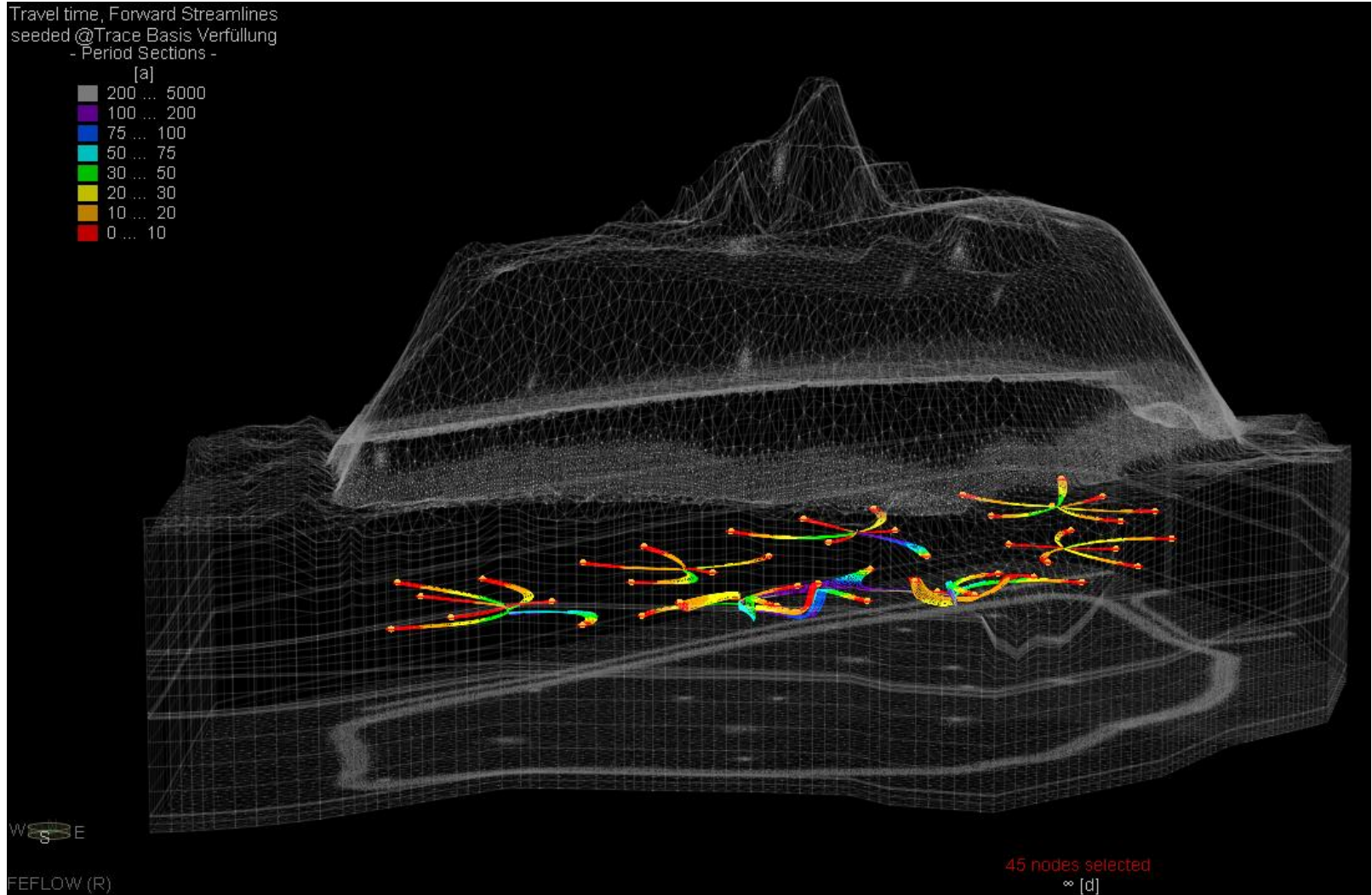
Travel time, Forward Streamlines  
seeded @Current Node Selection  
- Period Sections -



# Variante D: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Basis der Verfüllung) Blick von oben



# Variante D: Tracer-Fließwege und -Fließzeiten (Startpunkte ca. Basis der Verfüllung) 3D-Blick von Süden



# Bilanzen der Sickerwasserhaltung

Gesamt-Bilanz	Variante A			Variante B			Variante C			Variante C		
	Zufluss [m³/a]	Abfluss [m³/a]	Gesamt [m³/a]	Zufluss [m³/a]	Abfluss [m³/a]	Gesamt [m³/a]	Zufluss [m³/a]	Abfluss [m³/a]	Gesamt [m³/a]	Zufluss [m³/a]	Abfluss [m³/a]	Gesamt [m³/a]
Neubildung Verfüll.	3 116,5	0,0	3 116,5	3 116,5	0,0	3 116,5	3 116,5	0,0	3 116,5	3 116,5	0,0	3 116,5
<b>Förderung</b>	0,0	-5 285,2	<b>-5 285,2</b>	0,0	-5 199,1	<b>-5 199,1</b>	0,0	-5 315,5	<b>-5 315,5</b>	0,0	-5 293,2	<b>-5 293,2</b>
Verfüllrand	1 948,8	0,0	1 948,8	1 886,5	0,0	1 886,5	1 927,3	0,0	1 927,3	1 910,1	0,0	1 910,1
Basis Verfüllung	240,0	- 37,3	202,7	228,3	- 55,6	172,7	289,5	- 27,7	261,8	275,5	- 35,7	239,9
Bilanz	5 305,2	-5 322,5	- 17,2	5 231,3	-5 254,7	- 23,4	5 333,2	-5 343,2	- 10,0	5 302,1	-5 328,9	- 26,8
<b>SW - Rückhalt [%]</b>			<b>99,3</b>			<b>98,9</b>			<b>99,5</b>			<b>99,3</b>
Bilanz-Fehler [%]			- 0,3			- 0,4			- 0,2			- 0,5
num. Bilanz-Fehler [%]			< 0,001			< 0,001			< 0,001			< 0,001

positive Werte = Wasserzutritt in die Verfüllung; negative Werte = Förderung und Wasseraustritt aus der Verfüllung

Neubildung Verfüll. = Grundwasserneubildung in der Verfüllung, entspricht 15 mm/a

Förderung = errechnete Förderraten bei angesetzttem dauerhaften / gesteuerten Wasserstand im Brunnen

Verfüllrand = Wasseraustausch über den seitlichen Rand der Verfüllung

Basis Verfüllung = Wasseraustausch über die Basis der Verfüllung

Sickerwasser (SW) - Rückhalt = Effizienz der Wasserhaltung in der Verfüllung (prozentuales Verhältnis der aus der Verfüllung austretenden Sickerwassermenge zum Gesamt-Sickerwasserumsatz in der Verfüllung)

Rest - Sickerwasseraustritte aus der Verfüllung	
Variante A	37,3 [m³/a]
Variante B	55,6 [m³/a]
Variante C	27,7 [m³/a]
Variante D	35,7 [m³/a]



# Bilanzen der Sickerwasserbrunnen

Förderraten u. Förderanteile	Variante A		Variante B		Variante C		Variante D	
	[m³/a]	[%]	[m³/a]	[%]	[m³/a]	[%]	[m³/a]	[%]
Brunnen 1	-855,2	16,2	-940,9	18,1	-807,6	15,2	-850,9	16,1
Brunnen 2	-257,9	4,9	-272,6	5,2	-186,2	3,5	0,0	0,0
Brunnen 3	-759,3	14,4	-756,5	14,6	-660,8	12,4	-685,3	12,9
Brunnen 4	-808,3	15,3	-778,8	15,0	-732,5	13,8	-742,4	14,0
Brunnen 5	--	--	-834,5	16,1	-805,7	15,2	-810,7	15,3
Brunnen 6	--	--	-800,1	15,4	-745,9	14,0	-756,2	14,3
Brunnen 7	-751,4	14,2	-815,7	15,7	-695,3	13,1	-716,6	13,5
Brunnen 8	-487,4	9,2	--	--	--	--	0,0	0,0
Brunnen 9	-691,1	13,1	--	--	--	--	0,0	0,0
Brunnen 10	-674,7	12,8	--	--	--	--	0,0	0,0
Brunnen 11	--	--	--	--	-681,5	12,8	-731,0	13,8
Summe	-5 285,2	100,0	-5 199,1	100,0	-5 315,5	100,0	-5 293,2	100,0

## Technische Daten Unterwasserpumpe Grundfos

### Schalt- und Regelgerät CU 300

Elektronisches Schalt- und Regelgerät mit Zweiweg-Kommunikation zwischen Motor und CU 300 zur Regelung und zum Schutz von 3" Unterwasser- pumpen Baureihe SQE/SQE-NE bis 11 A für Nennspannungen von 1x200 V bis 1x240 V, 50/60 Hz, PE.

Zur Überwachung und zum Schutz folgender Parameter (Einstellung über R100):

- Zweiweg-Kommunikation
- Überspannung
- Unterspannung
- Trockenlaufschutz
- Überlastschutz durch Drehzahlanpassung
- Motorübertemperatur
- Überlast
- Sensoralarmanzeige externer Sensoren

Alle Parameter werden am Gerät durch Leuchtdioden angezeigt.

Das CU 300 enthält standardmäßig:

- Ein/Aus/Reset-Taster mit Leuchtdiodenanzeige
- Selbstdiagnose der Steuerkarte mit Leucht- diodenanzeige
- Selbstdiagnose des Leistungsteiles für interne Spannungsversorgung 5V, 10V, 24V und Überlast durch Leuchtdioden
- Digitaleingang + 24 VDC für externen Start/ Stop

- Konstantdruckregelung mittels Sensoren
- Grundwasserabsenkfunktion
- Regelung für konstanten Wasserstand im Brunnen mittels Sensoren
- Drehzahlverstellung der SQE Pumpe durch Potentiometer (Typ SPP 1)
- Ausdrucken aktueller Betriebsdaten über IR-Drucker

R100 und erf. Sensoren sind nicht im Liefer- umfang enthalten.

#### TECHNISCHE DATEN:

Rel. Luftfeuchte :	95 %
Spannungstoleranz :	+6/-10% der Nennspannung
Vorsicherung :	max. 16 A

#### TECHNISCHE DATEN:

Prüfkennzeichen auf dem Typenschild:	UL, CUL, JET, CISPR-14-tickmark, CE
--------------------------------------	-------------------------------------

#### WERKSTOFFE:

Material:	PPO
-----------	-----

#### INSTALLATION:

Umgebungstemperatur:	-30 .. 50 °C
----------------------	--------------

- 2 Analogeingänge für externe Sensoren (0-20 mA, 4-20 mA, 0-10 VDC, 2-10 VDC)
- Anschluss für potentialfreie Sammelstörmeldung
- Automatische Wiedereinschaltfunktion
- Infrarotschnittstelle für drahtlose Infrarot- Kommunikation mit Handbedien- und Diagnosegerät R100

Zusätzlich sind folgende Funktion mit dem R100 möglich:

- Drahtlose Infrarot-Kommunikation ermöglicht die Anpassung der werksseitigen Einstellungen und die Überwachung der Installation durch Aufrufen aktueller Betriebsdaten, z.B. Stromverbrauch, Versorgungsspannung, Anzahl der Betriebsstunden und Pumpenstarts sowie der Leistungsaufnahme.

#### ELEKTRISCHE DATEN:

Netzfrequenz:	50 / 60 Hz
Bemessungsspannung:	1 x 100-240 V
Bemessungsstrom:	12 A
Schutzart (gemäß IEC 34-5):	IP55

#### SONSTIGES:

Nettogewicht:	2 kg
Sprache:	D
Herkunftsland:	TH
Zolltarif Nr.:	85044095

## Unterwasserpumpe SQE 2-50 NE

Mehrstufige 3"-Unterwasserpumpe, geeignet

- zur Hauswasserversorgung
- zur Befüllung von Behältern
- zur Bewässerung
- zur Grundwasserabsenkung
- für Anwendungen im Umweltschutz.

Die Pumpe verfügt über schwimmend gelagerte Laufräder, jedes mit eigenem Wolframkarbid/Keramik-Lager.

Die Pumpe ist ausgestattet mit:

- Sanftanlauffunktion
- Trockenlaufschutz
- Schutz gegen Axialschubumkehr
- Überspannungs- (> 315 V) und Unterspannungs- schutz (<150V)
- Überlastungsschutz
- Schutz gegen Überhitzung.

Die Pumpe wird von einem 1-phasigen Permanent- magnetmotor angetrieben. Der Motor zeichnet sich durch einen hohen Wirkungsgrad über einen weiten Leistungsbereich aus. Zur Vermeidung von Druckschlägen und hohem Anlaufstrom ist die Pumpe mit einem Sanftanlauf (max. 2 sec.) ausgestattet. Die Pumpe ist mit zwei Ösen für die Befestigung der (Niro) Seilsicherung versehen.

## FÖRDERMEDIUM:

Fördermedium:	Wasser
Medientemperaturbereich:	0 .. 35 °C
Medientemperatur während des Betriebs:	20 °C
Dichte:	998.2 kg/m <sup>3</sup>

## TECHNISCHE DATEN:

Nennförderstrom:	2 m <sup>3</sup> /h
Nennförderhöhe:	43 m
Approvals:	CE,PCBC,RCM,EAC,CN Rohs Exempt,Morocco,UKCA,SEPRO
ISO Abnahmekl.:	ISO9906:2012 3B

## WERKSTOFFE:

Pumpe:	Stainless steel EN 1.4401 AISI 316
Laufradwerkstoff:	Verbundwerkstoff
Laufrad:	SOLEF 8808/0902 PVDF-CF10
Motor:	Edelstahl DIN W.-Nr. 1.4401

Pumpen der Baureihe SQ/E werden werksseitig mit einem austauschbaren Motorkabel ausgeliefert. Pumpen der Baureihe SQE-NE werden ohne Motorkabel geliefert. Passende Kabel (Teflon- oder Trinkwasserkabel) können Sie der aktuellen Preisliste entnehmen.

#### **INSTALLATION:**

Max. Betriebsdruck:	15 bar
Anschluss	Rp1 1/4
Druckstutzen:	
Minimaler Brunnendurchmesser:	76 mm

#### **ELEKTRISCHE DATEN:**

Bauart des Motors:	MSE3-NE
Leistungsaufnahme P1:	1 kW
Motorbemessungsleistung P2:	0.7 kW
Netzfrequenz:	50 Hz
Bemessungsspannung:	1 x 200-240 V
Bemessungsstrom:	5.3 A
Leistungsfaktor:	1.00
Nenn-Drehzahl:	10700 1/min
Einschaltart:	Direkt
Schutzart (gemäß IEC 34-5):	IP68
Wärmeklasse (IEC 85):	F
Motor - Produktnummer:	97778391

Name des Unternehmens:

Angelegt von:

Telefon:

Datum:

21.07.2023

Projekt: Verfüllung Mühlenberg

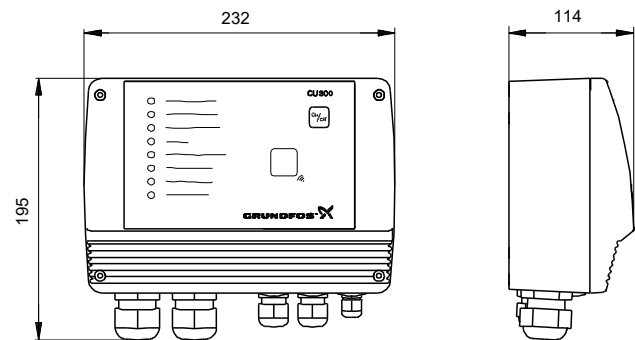
Referenznummer:

Kunde:

Kundennummer:

Kontakt:

Beschreibung	Daten
<b>Allgemeine Informationen:</b>	
Produktbezeichnung:	CU 300
Produktnummer:	<a href="#">96427037</a>
EAN-Nummer:	5700391376689
<b>Technische Daten:</b>	
Prüfkennzeichen auf dem Typenschild:	UL, CUL, JET, CISPR-14-tickmark, CE
<b>Werkstoffe:</b>	
Material:	PPO
<b>Installation:</b>	
Umgebungstemperatur:	-30 .. 50 °C
<b>Elektrische Daten:</b>	
Netzfrequenz:	50 / 60 Hz
Bemessungsspannung:	1 x 100-240 V
Bemessungsstrom:	12 A
Schutzart (gemäß IEC 34-5):	IP55
Relai:	250 VAC / 8A / AC-1
<b>Sonstiges:</b>	
Nettogewicht:	2 kg
Sprache:	D
Herkunftsland:	TH
Zolltarif Nr.:	85044095



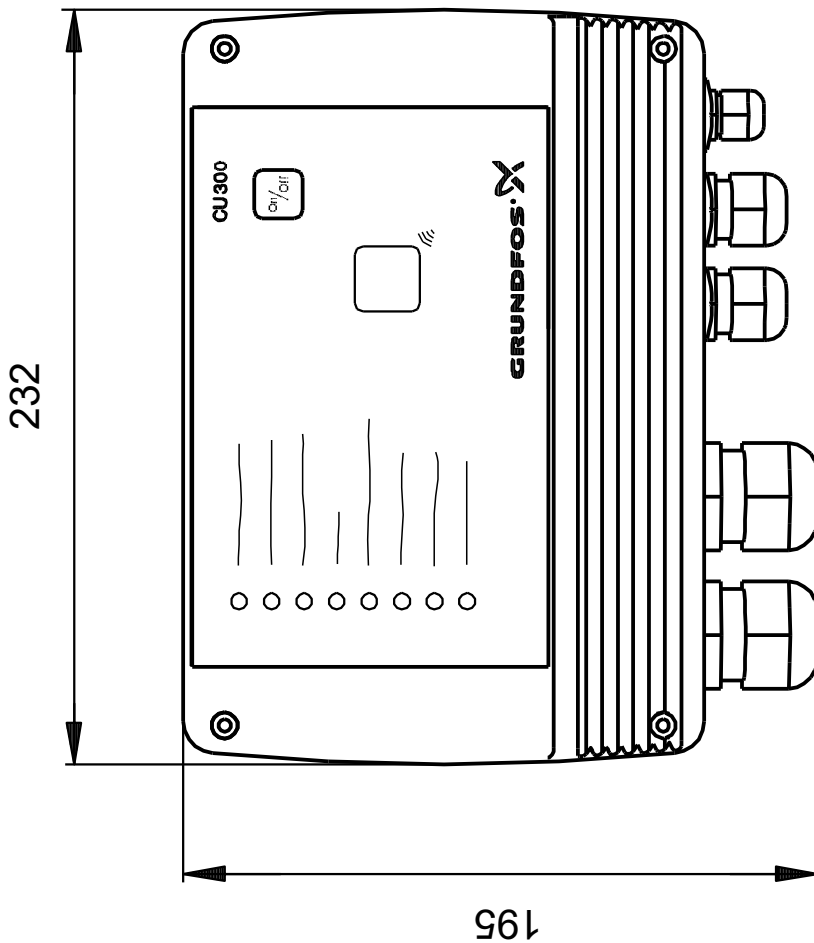
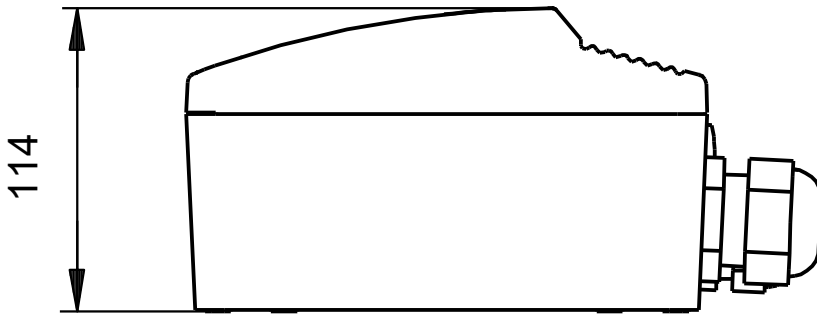
See Installation and Operating Instructions

Siehe Montage- und Betriebsanleitung

Voir Notice d'installation et d'entretien

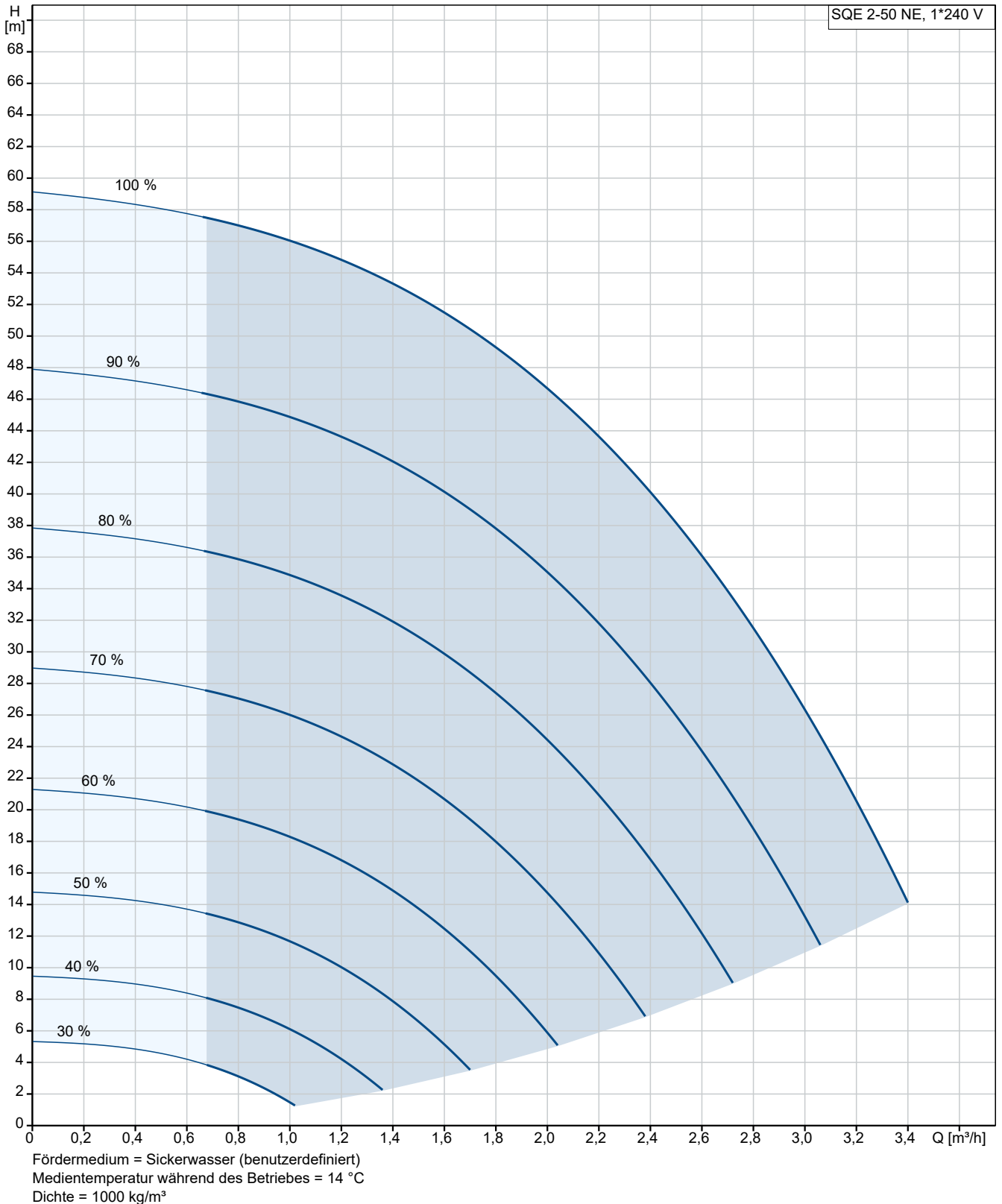
Se monterings- og driftsinstruktion

## 96427037 CU 300



Achtung! Soweit nicht anders angegeben, handelt es sich um Millimeterangaben (mm). Die vereinfachte Maßzeichnung zeigt nicht alle

## 97778404 SQE 2-50 NE 50 Hz





**Projekt:** Verfüllung Mühlenberg

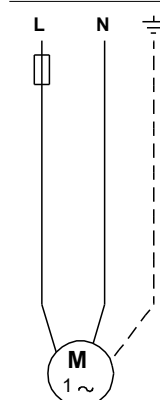
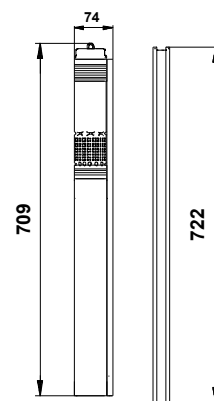
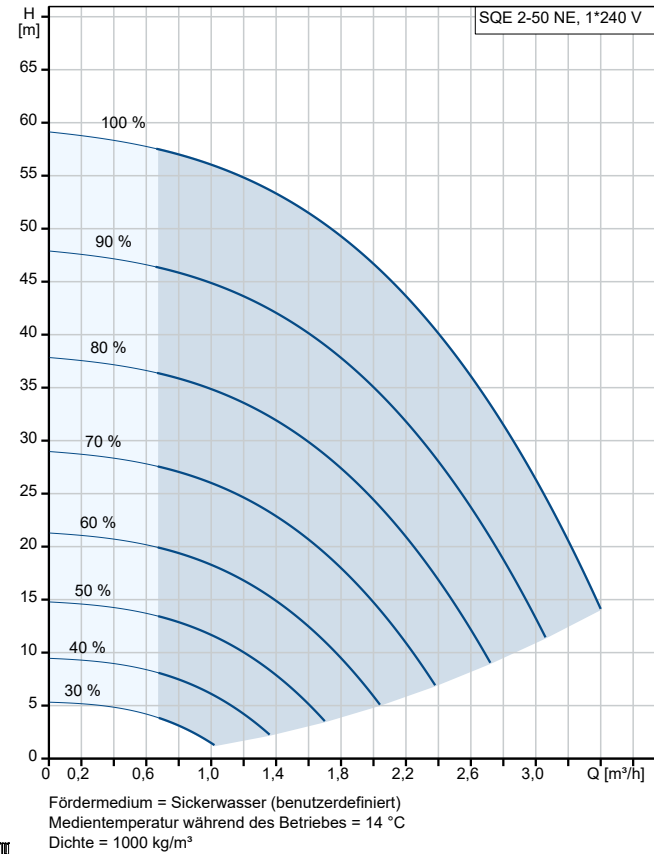
**Referenznummer:**

**Kunde:**

**Kundennummer:**

**Kontakt:**

Beschreibung	Daten
<b>Allgemeine Informationen:</b>	
Produktbezeichnung:	SQE 2-50 NE
Produktnummer:	97778404
EAN-Nummer:	5710624313480
<b>Technische Daten:</b>	
Nennförderstrom:	2 m <sup>3</sup> /h
Nennförderhöhe:	43 m
Anzahl der Stufen:	3
Approvals:	CE,PCBC,RCM,EAC,CN Rohs Exempt,Morocco,UKCA,SEPRO
ISO Abnahmekl.:	ISO9906:2012 3B
Produktnummer Pumpe o. Motor:	96033645
Code Model:	B
Rückschlagklappe:	kein Rückschlagventil
<b>Werkstoffe:</b>	
Pumpe:	Stainless steel
Pumpe:	EN 1.4401
Pumpe:	AISI 316
Laufwerkstoff:	Verbundwerkstoff
Laufwerkstoff:	SOLEF 8808/0902 PVDF-CF10
Motor:	Edelstahl
Motor:	DIN W.-Nr. 1.4401
Motor:	AISI 316
<b>Installation:</b>	
Max. Betriebsdruck:	15 bar
Anschluss Druckstutzen:	Rp1 1/4
Minimaler Brunnendurchmesser:	76 mm
<b>Fördermedium:</b>	
Fördermedium:	freie Eingabe
Medientemperaturbereich:	0 .. 35 °C
Medientemperatur während des Betriebs:	14 °C
Dichte:	1000 kg/m <sup>3</sup>
<b>Elektrische Daten:</b>	
Bauart des Motors:	MSE3-NE
Leistungsaufnahme P1:	1 kW
Motorbemessungsleistung P2:	0.7 kW
Netzfrequenz:	50 Hz
Bemessungsspannung:	1 x 200-240 V
Bemessungsstrom:	5.3 A
Leistungsfaktor:	1.00
Nenn-Drehzahl:	10700 1/min
Einschaltart:	Direkt
Schutzart (gemäß IEC 34-5):	IP68
Wärmeklasse (IEC 85):	F
eingebauter Motorschutz:	Ja
Temperaturschutz:	intern
Motor - Produktnummer:	97778391
<b>Art der Steuerung:</b>	
Kommunikation mit der CU 300:	Kommunikation mit CU 300/CU 301 möglich
<b>Sonstiges:</b>	
Nettogewicht:	4.64 kg





Name des Unternehmens:

Angelegt von:

Telefon:

Datum:

21.07.2023

Projekt: Verfüllung Mühlenberg

Referenznummer:

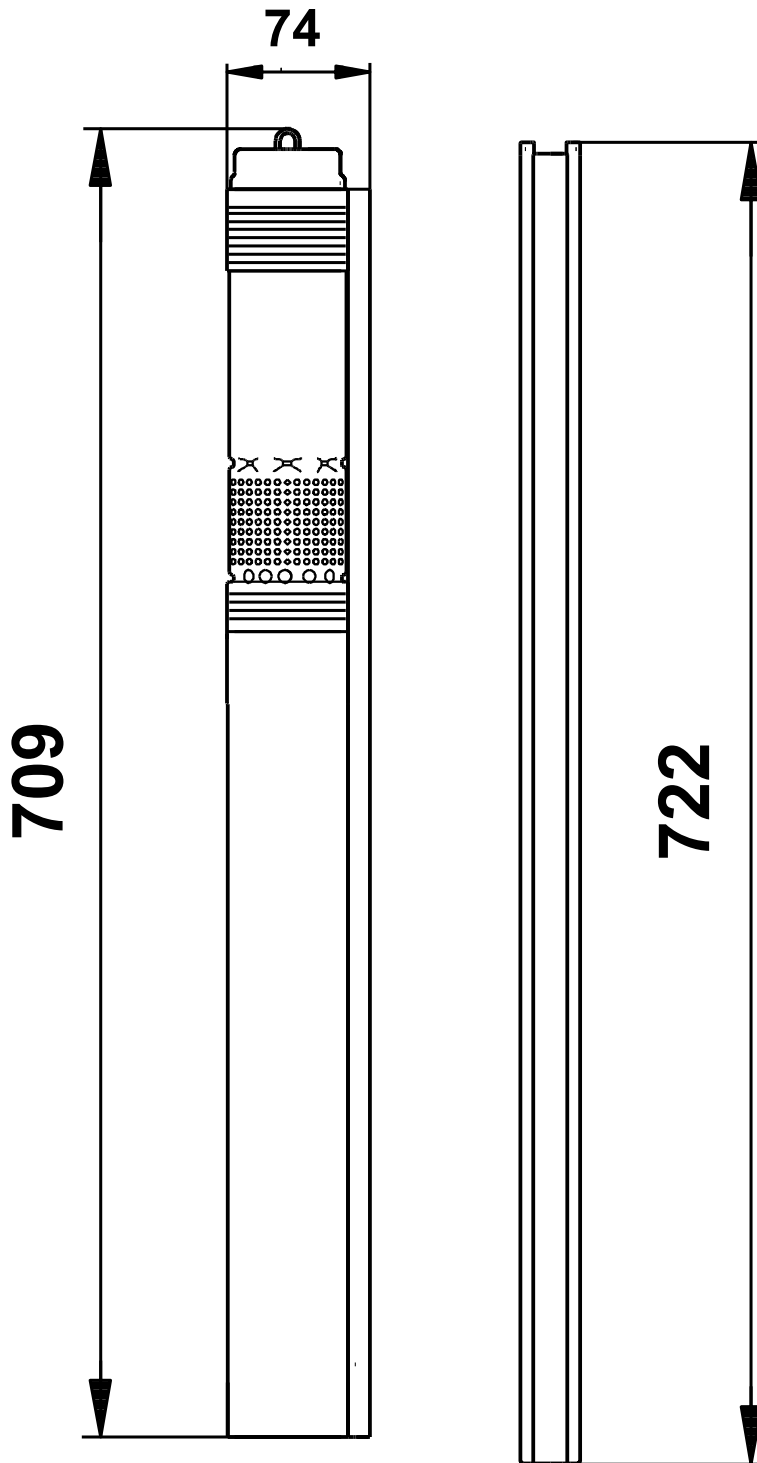
Kunde:

Kundennummer:

Kontakt:

Beschreibung	Daten
Bruttogewicht:	5.37 kg
Verkaufsregion:	EU/S-AMREG/APREG/Japan/Australia
Herkunftsland:	DE
Zolltarif Nr.:	84137029

## 97778404 SQE 2-50 NE 50 Hz



Achtung! Soweit nicht anders angegeben, handelt es sich um Millimeterangaben (mm). Die vereinfachte Maßzeichnung zeigt nicht alle

## PE-FILTER/VOLLWANDROHRE

### Anwendung:

Filter und Vollwandrohre aus Polyethylen für Deponiebohrungen, Umwelttechnik und Sickerwasser

**Werkstoff:** PEHD

**Verbindung:** C-Gewindeverbindung (TNA) nach Werknorm

**Farbe:** schwarz

**Lieferlänge:** Fixlängen von 1,0–6,0 m erhältlich  
Durch die C-Gewindeverbindung ergeben sich Minderlängen von 60–100 mm.



SDR 17			
Außen-Ø	Wandstärke	Gewicht	Kleinste Schlitzweite
[mm]	[mm]	[kg/m]	[mm]
90	5,4	1,47	0,30
110	6,6	2,19	0,30
125	7,4	2,79	0,50
140	8,3	3,49	0,50
160	9,5	4,56	0,50
180	10,7	5,76	0,75
200	11,9	7,11	0,75
225	13,4	9,01	0,75
250	14,8	11,00	1,00
280	16,6	13,90	1,00
315	18,7	17,60	1,00
355	21,1	22,30	1,00
400	23,7	28,20	2,00
450	26,7	35,70	2,00

SDR 11			
Außen-Ø	Wandstärke	Gewicht	Kleinste Schlitzweite
[mm]	[mm]	[kg/m]	[mm]
63	5,8	1,06	0,30
75	6,8	1,48	0,30
90	8,2	2,14	0,50
110	10	3,18	0,75
125	11,4	4,11	0,75
140	12,7	5,12	0,75
160	14,6	6,72	1,00
180	16,4	8,49	1,00
200	18,2	10,50	1,00
225	20,5	13,30	1,00
250	22,7	16,30	2,00
280	25,4	20,40	2,00
315	28,6	25,80	2,00
355	32,2	32,80	2,00
400	36,3	41,60	2,00
450	40,9	52,70	2,00

Schlitzweiten von 0,30–3,00 mm sind möglich, jedoch muss die geringste Schlitzweite für das entsprechende Rohr beachtet werden.

### Trinkwasserzugelassene PEHD-Rohre auf Anfrage

**lieferbar.** Technische Angaben können der obigen Tabelle entnommen werden.

## QUARZFILTERKIES

### Anwendung:

Filterkiese werden in den Ringraum zwischen Filter- und Bohrlochwand geschüttet. Sie dienen dem Zurückhalten von Feinsanden aus dem umgebenden Bodenbereich.

Der Filterkies wird entsprechend der Siebanalyse gewählt.

Filterkiese sind genormt, d. h. sie müssen eine runde, nicht scharfkantige Beschaffenheit aufweisen, um nicht die Filterschlitzte zu versperren.

### Quarzfilterkies für den Brunnenbau gemäß DIN 4924 und EN 12904

#### Beschaffenheit:

- Natürlicher Quarzsand und Quarzkies
- Kantengerundete Form
- Frei von organischen Verunreinigungen
- Hochwertige Qualität aufgrund modernster Aufbereitungstechnik

#### Anwendungsgebiete:

- Schachtbrunnen
- Schlagbrunnen
- Bohrbrunnen
- Horizontalfilterbrunnen

Die Beschaffenheit des Quarzfilterkieses ist eine wichtige Voraussetzung für die Qualität und Lebensdauer von Brunnen.

#### Hinweis:

Quarzfilterkies wird auch in Filtern für die Trinkwasseraufbereitung eingesetzt.

#### Verpackungseinheit:

In Säcken zu je 25 kg und Big-Bag á 1.000 kg

Wir bieten unseren Quarzfilterkies in den folgenden Körnungen an:



- 1 0,40 – 0,80 mm
- 2 0,71 – 1,20 mm
- 3 1,00 – 2,00 mm
- 4 2,00 – 3,15 mm
- 5 3,15 – 5,60 mm
- 6 5,60 – 8,00 mm

Andere Körnungen auf Anfrage verfügbar.

## SCHLAUCHSTEIGLEITUNG

Die flexible Schlauchsteigleitung ist ein Produkt, das für spezielle Anwendungsfälle entwickelt wurde.

Der Schlauch wird im Extrusionsverfahren als hochverschleißfester Flachslauch gefertigt. Der innere und äußere Mantel besteht aus Polyurethan (PU) und ist mit einer rundgewebten Polyesterreinlage versehen.

Um die Montage von Kabeln und Tauchelektroden zu vereinfachen ist ein polyurethanverstärktes Band mit Schlaufen auf den Schlauch vulkanisiert.

### Vorteile

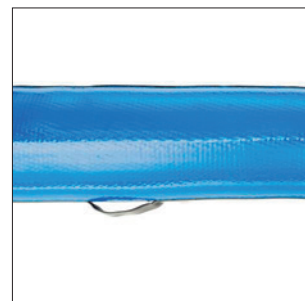
- Geringer Platzbedarf bei Lagerung und Transport
- Schnelle Montage und Demontage, gerade bei zeitlich begrenztem Einsatz
- Trinkwasserzulassung nach KTW

### Anwendungsgebiete:

- Entwässerung Bergbau und Industrie
- Landwirtschaftliche Bewässerung
- Gewässerüberwachung
- Testbrunnen
- Deponieentwässerung

### Optionales Zubehör:

- Auf-/Abroll-Haspel
- Abfangschelle
- Zentrierungen



Detail: Schlaufe



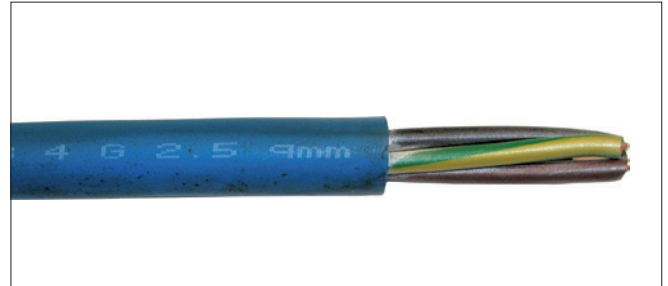
Schlauchkupplung

Technische Daten										
Durchmesser	Zoll	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3	4	5	6
	mm	25	32	38	51	65	76	102	127	152
Berstdruck	[bar]	50	90	65	57	57	57	57	57	57
Zugfestigkeit	[kg]	750	3.450	3.450	4.000	5.500	7.000	12.000	15.000	20.000
max. empfohlene Dauerlast (a)	[kg]	180	700	700	1.600	2.200	2.800	4.800	6.000	8.000
Gewicht ohne Kupplung	[gr/m]	165	270	350	570	800	980	1.400	2.000	2.610
max. Einbautiefe	[m]	100	300	260	260	260	260	260	260	260
Längung - max.	[%]	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Dehnung - max.	[%]	15	15	15	15	15	15	15	15	15
max. Arbeitsdruck	[bar]	15	30	26	26	26	26	26	26	26
Maximal empf. Durchsatz	[l/min]	120	200	270	500	800	1.200	2.000	3.000	4.500
Betriebstemperatur	[°C]	-40° bis +50° C								
ph-Wert bei Wasser unter 30°C		4 bis 9								
ph-Wert bei Wasser 30 - 50°C		5 bis 9								
Länge	[m]	200 m auf Spule gewickelt, andere Längen auf Anfrage								

## UNTERWASSERKABEL

### Anwendung:

Geeignet für den ständigen Einsatz im Trinkwasser und zum Anschluss von elektrischen Betriebsmitteln (Unterwasserpumpen) bis zu Temperaturen von 60 °C. Die Leitungen sind chlorbeständig (31 °C, bis 0,5 mg/l).



Unterwasserkabel	
Farbe:	blau
Nennspannung U <sub>0</sub> :	450 V
Nennspannung U:	750 V
Prüfspannung:	2,5 kV
Ausführung:	rund
Schutzleiter:	Ja
Aderkennzeichnung:	VDE 0293 bzw. DIN EN 50525-1
Leiter-Material:	Cu, blank
Leiter-Klasse:	Kl.5 = feindrähtig
Aderisolation:	Gummi (EPR) 3GI3, halogenfrei
Mantelmaterial:	Gummi (EPR) EM6
flammwidrig:	VDE 0482-332-1-2/IEC 60332-1
Max. zulässige Leitertemp.:	90 °C
Zulassungen:	Elastomerleitlinie (ELL) des UBA, ACS

Typ	DA	Gewicht
	max. [mm]	[kg/km]
3 x 1,5	10,4	130
3 x 2,5	12,5	187
4 x 1,5	11,7	157
4 x 2,5	13,6	150
4 x 4	15,8	335
4 x 6	17,5	428
4 x 10	22,9	746
4 x 16	27,5	1.124
4 x 25	32,9	1.500
4 x 35	36,6	2.100
4 x 50	42,5	3.000

Weitere Querschnitte auf Anfrage







## Anlage 4 - Kostenschätzung Bohrbrunnen mit Förderanlagen und MSR-Technik

Pos	Leistung	Menge	Einheit	EP	GP
1.	Sickerwasserförderung + Sickerwassermonitoring				
1.1.	Vorarbeiten				
1.1.1.	BE + Sicherungsmaßnahmen für Vorsondierung	1	psch	30.000 €	30.000 €
1.1.2.	Vorsondierung / Baugrunduntersuchung	6	Stk	6.000 €	36.000 €
1.1.3.	Einbau von Peilrohren und Messwertgebern	6	Stk	3.000 €	18.000 €
1.1.4.	Baustraßen/Wegebau (Schotterfahrweg) auf Rekultivierung	1	psch	30.000 €	30.000 €
1.2.	Bohrbrunnen				
1.2.1.	Baustelleneinrichtung	1	psch	180.000 €	180.000 €
1.2.1.	Vorlaufende Sicherungsarbeiten	1	psch	40.000 €	40.000 €
1.2.2.	Bohrarbeiten, Förderrohre, Peilrohr, Auskiesung	6	Stk	65.000 €	390.000 €
1.2.4.	Brunnenstube als Betonschachtbauwerk	6	Stk	12.000 €	72.000 €
1.2.5.	Förderpumpe mit Frequenzumrichter	6	Stk	6.500 €	39.000 €
1.2.6.	Techn. Ausrüstung Brunnenstube (E-Anschluss, Messwerterfassung, Signalgeber, Fernwirkungsanlage)	6	Stk	14.500 €	87.000 €
1.2.7.	Wiederherstellung (Oberfl.abdicht, Drainage, Rekultivierung)	1	psch	150.000 €	150.000 €
1.3.	Umbau Schachtbrunnen C				
1.3.1.	Einbau Förderleitung, Peilrohr, Auskiesung	1	psch	18.000 €	18.000 €
1.3.2.	Brunnenstube als Betonschachtbauwerk	1	psch	12.000 €	12.000 €
1.3.3.	Förderpumpe mit Frequenzumrichter	1	Stk	6.500 €	6.500 €
1.3.4.	Techn. Ausrüstung Brunnenstube (E-Anschluss, Messwerterfassung, Signalgeber, Fernwirkungsanlage)	1	Stk	14.500 €	14.500 €
1.3.5.	Wiederherstellung (Oberfl.abdicht, Drainage, Rekultivierung)	1	psch	25.000 €	25.000 €
1.4.	Umbau Schachtbrunnen zu Messstellen				
1.4.1.	Einbau Förderleitung, Peilrohr, Auskiesung	4	Stk	27.000 €	108.000 €
1.4.2.	Umbau Kopfbereich für Messungen	4	Stk	6.500 €	26.000 €
1.4.5.	Wiederherstellung (Oberfl.abdicht, Drainage, Rekultivierung)	1	Stk	25.000 €	25.000 €
1.5.	Messstellen + Datenerfassung einschl. Installation				
1.5.1.	Messdiver 2" für Peilrohre	15	Stk	2.800 €	42.000 €
1.5.2.	Datenübertragungsbox	15	Stk	1.600 €	24.000 €
1.5.3.	MSR-Zentrale	1	Psch	170.000 €	170.000 €
2.	Sickerwasserableitung				
2.1.	Rohrleitungen im Bereich der Verfüllung				
2.1.1.	Einzelleitungen PEHD Brunnen - Sammelleitung	1	psch	42.000 €	42.000 €
2.1.2.	Sammelleitung PEHD Sammler bis Übergabeschacht	1	psch	28.000 €	28.000 €
2.1.3.	Übergabeschacht PEHD	1	psch	24.000 €	24.000 €
2.2.	Transportleitung zur Deponie Eichenallee				
2.2.1.	Transportleitung PEHD	1	psch	90.000 €	90.000 €
2.2.2.	Zwischenschächte PEHD mit Reinigungszugang	2	Stk	18.000 €	36.000 €
2.2.3.	Auslaufbauwerk mit Messstation Durchflussmessung	1	psch	30.000 €	30.000 €
2.2.4.	Anpassung Speicherbecken	1	psch	100.000 €	100.000 €

Pos	Leistung	Menge	Einheit	EP	GP
3.	Stromversorgung und Messdatenerfassung				
3.1.	Leerrohre				
3.1.1.	Leerrohre E-Versorgung	1	psch	28.000 €	28.000 €
3.1.2.	Leerrohre Messdaten	1	psch	36.000 €	36.000 €
3.2.	Stromversorgung				
3.2.1.	Stromtrasse Verkabelung	1	psch	40.000 €	40.000 €
3.2.2.	Unterstation Mühlenberg	1	psch	80.000 €	80.000 €
3.2.3.	Stromanbindung Brunnen	11	Stk	6.000 €	66.000 €
3.3.	MSR-Verkabelung				
3.3.1.	Verkabelung Brunnen	11	Stk	4.500 €	49.500 €
3.3.2.	Verkabelung Messstellen	15	Stk	3.500 €	52.500 €
3.3.3.	Verteilerstation Mühlenberg	1	psch	60.000 €	60.000 €
Zulage	Reserve für Unvorhergesehenes				250.000 €
<b>Investitionskosten, netto</b>					<b>2.555.000 €</b>

*Hinweis:*

*Bei der Kostenschätzung wurden die durch die Firma Nottenkämper erzielbaren Preiskonditionen beim Konzerneinkauf von Baumaterialien sowie die Übernahme von Teilleistungen mit eigenem Personal zum Selbstkostenpreis berücksichtigt.*