



**Industriepark Elsbachtal**  
**Jüchen / Grevenbroich**

**Orientierende Baugrundbeurteilung**  
**und Gründungsempfehlung**

Bearbeitungs-Nr.: 18.175

Aachen, April 2020



---

**Industriepark Elsbachtal, Jüchen / Grevenbroich**  
**Orientierende Baugrundbeurteilung und Gründungsberatung**

---

**Auftraggeber:** RWE Power AG  
Gebirgs- und Bodenmechanik  
Zum Gut Bohlendorf  
50126 Bergheim

**Ansprechpartner:** Frau F. Eidam

**Bestellnummer:** 1000020173-K3-564

---

**Auftragnehmer:** Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH  
Neuenhofstraße 112  
52078 Aachen

**Projektbearbeiter:** Dr.-Ing. M. Nendza

**Bearbeitungsnummer:** 18.175

**Berichtsdatum:** 02.04.2020

**Berichtsumfang:** 33 Seiten (einschließlich Deckblatt und Inhaltsverzeichnis)

**Anlagen:** 6 Anlagen

---



## Inhaltsverzeichnis

1	Vorgang, Bauvorhaben.....	1
1.1	Veranlassung.....	1
1.2	Aufgabenstellung.....	1
1.3	Verwendete Unterlagen.....	1
1.4	Lage, Abmessungen und Höhen.....	2
2	Durchgeführte Untersuchungen.....	4
2.1	Außenarbeiten.....	4
2.2	Geotechnische Laboruntersuchungen.....	4
2.3	Chemische Laboruntersuchungen.....	5
3	Morphologie und geologischer Rahmen.....	5
3.1	Allgemeines.....	5
3.2	Erdbeben, Tektonik.....	6
4	Ergebnisse.....	8
4.1	Baugrundaufbau.....	8
4.2	Hydrogeologische Situation.....	13
4.3	Versickerungsfähigkeit.....	13
4.4	Bodenklassifizierung, Wasser- und Frostempfindlichkeit.....	14
4.5	Bodenkennwerte.....	15
4.6	Einstufung in Homogenbereiche.....	15
4.7	Bohr- und Rammpbarkeit.....	16
4.8	Ergebnisse der chemischen Untersuchungen.....	16
4.9	Verdichtbarkeit und Wiederverwendbarkeit des Aushubmaterials.....	19
5	Gründung.....	20
5.1	Setzungen verfüllter Tagebaue.....	20
5.2	Sicherheit gegenüber Bodenverflüssigung.....	21
5.3	Gründungstiefe / Gründungsboden.....	22
5.4	Mögliche Gründungskonzepte.....	22
5.4.1	Flachgründung auf einer Polsterschicht.....	23
5.4.2	Flachgründung auf einer Bodenverbesserung.....	24



---

6	Hinweise für die Bauausführung .....	25
6.1	Baugrubenböschungen, Verbau .....	25
6.2	Baugrubensohle, Wasserhaltung .....	26
6.3	Abdichtung, Dränung .....	26
6.4	Erdarbeiten .....	27
6.5	Anlage von Verkehrsflächen .....	28
7	Allgemeine Hinweise .....	30

### **Verzeichnis der Anlagen:**

Anl. 1	Lageplan mit Eintragung der Aufschlüsse, M. 1:2.500
Anl. 2	Schnitte durch den Baugrund
Anl. 2.1	Profil 1-1, M.d.L. 1:1000, M.d.H. 1:100
Anl. 2.2	Profil A-A, M.d.L. 1:1000, M.d.H. 1:100
Anl. 2.3	Profil B-B, M.d.L. 1:1000, M.d.H. 1:100
Anl. 2.4	Profil C-C, M.d.L. 1:1000, M.d.H. 1:100
Anl. 2.5	Profil D-D, M.d.L. 1:1000, M.d.H. 1:100
Anl. 3	Schichtenverzeichnisse der Kleinrammbohrungen
Anl. 4	Dokumentation Drucksondierungen
Anl. 5	Dokumentation der bodenmechanischen Untersuchungen
Anl. 5.1	Kornverteilungslinien
Anl. 5.2	Konsistenzgrenzen
Anl. 5.3	Wassergehalte
Anl. 5.4	Glühverluste
Anl. 6	Dokumentation der chemischen Untersuchungen



## **1 Vorgang, Bauvorhaben**

### **1.1 Veranlassung**

Zur Errichtung des Industrieparks Elsbachtal plant die RWE Power AG Flächen zu veräußern. Hierbei handelt es sich um Flächen östlich des Tagebaus Garzweiler sowie südwestlich der Autobahnen A 46 und A 540. Das Projektgebiet wird derzeit landwirtschaftlich genutzt.

### **1.2 Aufgabenstellung**

Die Geotechnisches Büro Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann GmbH (GBD) wurde beauftragt, ein orientierendes Gutachten über die Baugrundverhältnisse im Bereich des geplanten Gewerbegebiets zu erstellen sowie mögliche Gründungskonzepte zu erarbeiten. Folgende Punkte wurden im Rahmen des vorliegenden Gutachtens bearbeitet:

- Baugrundbeurteilung (Gruppierung nach DIN 18196, Einteilung in Homogenbereiche nach DIN 18300),
- Angabe der bodenmechanischen Kennwerte (Rechenwerte),
- Abschätzung der Grundwasserstände und des Schwankungsbereiches,
- Empfehlung zur Gründung einschl. Angabe der zul. Bodenpressungen / Bettungsmodul und Setzungen,
- Angabe von Kennwerten zur Bemessung der Gründung,
- Angaben zur chemischen Belastung und Wiederverwendbarkeit der anfallenden Erdstoffe,
- Allgemeine Hinweise und Empfehlungen zur Bauausführung.

### **1.3 Verwendete Unterlagen**

**Vom Auftraggeber wurden zur Verfügung gestellt:**

- [1] Lageplan Industriepark Elsbachtal, RWE Power AG, Stand 14.03.2018,
- [2] Auskhlungsgrenze und Rekultivierung, RWE Power AG, Stand 04.10.2018,
- [3] Angaben zu Grundwasserständen nach Bergbauende, RWE Power AG, Anfrage 2019,



#### **DIN-Normen, Vorschriften, Regelwerke:**

- [4] DIN EN 1997-1 (09/2009), Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1 Allgemeine Regeln, einschließlich DIN EN 1997-1/NA: 2012-12 Nationaler Anhang,
- [5] DIN 1054, Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, 12/2010, Ergänzende Regeln zu DIN 1997-1,
- [6] DIN EN 1997-2 (10/2010), Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 2 Erkundung und Untersuchung des Baugrundes, einschließlich DIN EN 1997-2/NA: 2010-12 Nationaler Anhang,
- [7] DIN 4020 (12/2010), Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN 1997,
- [8] DIN EN ISO 22475-1 (09/2019), Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren für Boden, Fels und Grundwasser,
- [9] DIN EN ISO 22476-1 (10/2013), Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern,
- [10] DIN EN ISO 22476-2 (03/2012), Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 2: Rammsondierungen,
- [11] DIN EN 1998-1 (12/2010), Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben,
- [12] ZTV E-StB 17 – Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau,

#### **Archiv des Geotechnischen Büros:**

- [13] Hydrogeologische Karte NRW (Blatt Nr. 4905, Grevenbroich), herausgegeben vom Landesamt für Wasser und Abfall NRW, 1979.

### **1.4 Lage, Abmessungen und Höhen**

Das Projektgebiet befindet sich südwestlich der Autobahnen A 46 und A 540 und weist mit Abmessungen von ca. 1200 m x 420 m eine Gesamtfläche von ca. 45 ha auf (s. Abb. 1 und 2). Das geplante Industrie- und Gewerbegebiet liegt fast ausschließlich im Bereich des ehemaligen Tagebaus Garzweiler I und ist somit mehrheitlich aus Kippenböden aufgebaut. Die Mächtigkeit der Kippe beträgt bis zu ca. 110 m.

Die Geländehöhen liegen im untersuchten Bereich zwischen ca. 89 m NHN und 76 m NHN. Dabei ist das Gelände recht eben und weist in südöstlicher Richtung eine leichte Neigung auf.

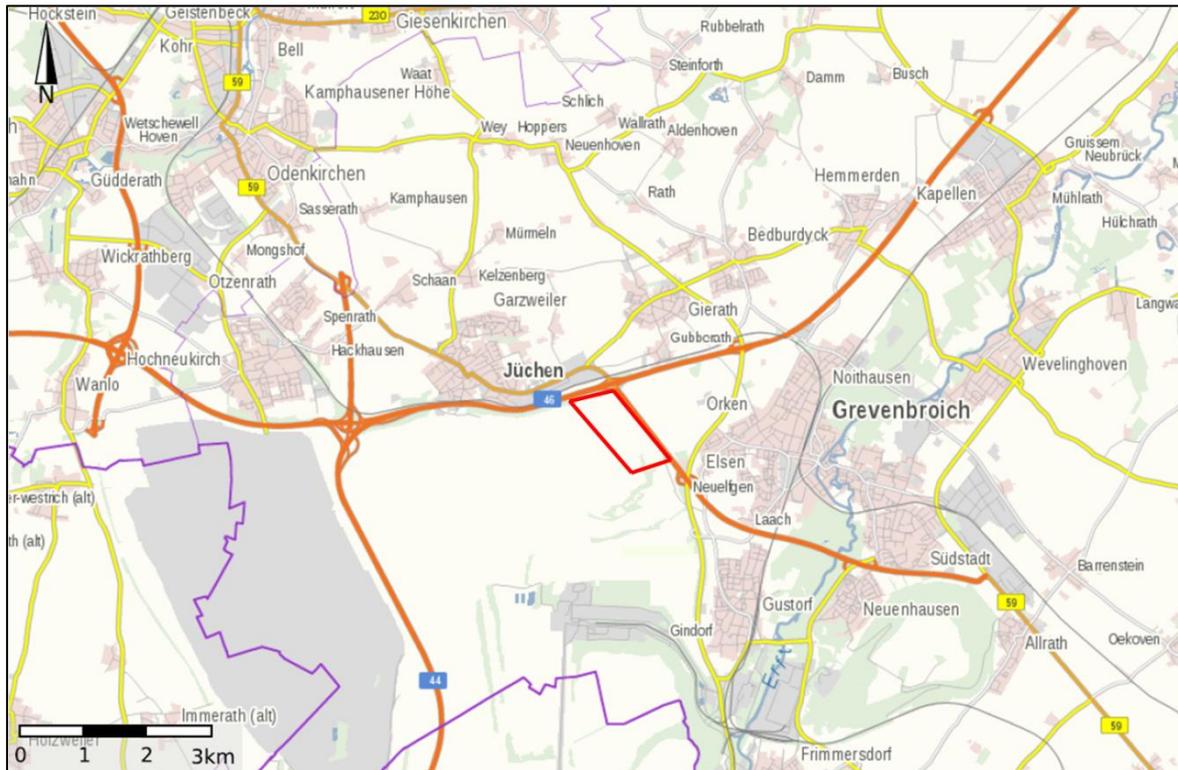


Abb. 1: Allgemeine Einordnung der Lage des Projektgebietes (rote Markierung), Karte aus tim-online, o.M.

Die Umrandung der vorgenannten Fläche ist in Abb. 2 dargestellt (rote Linie).

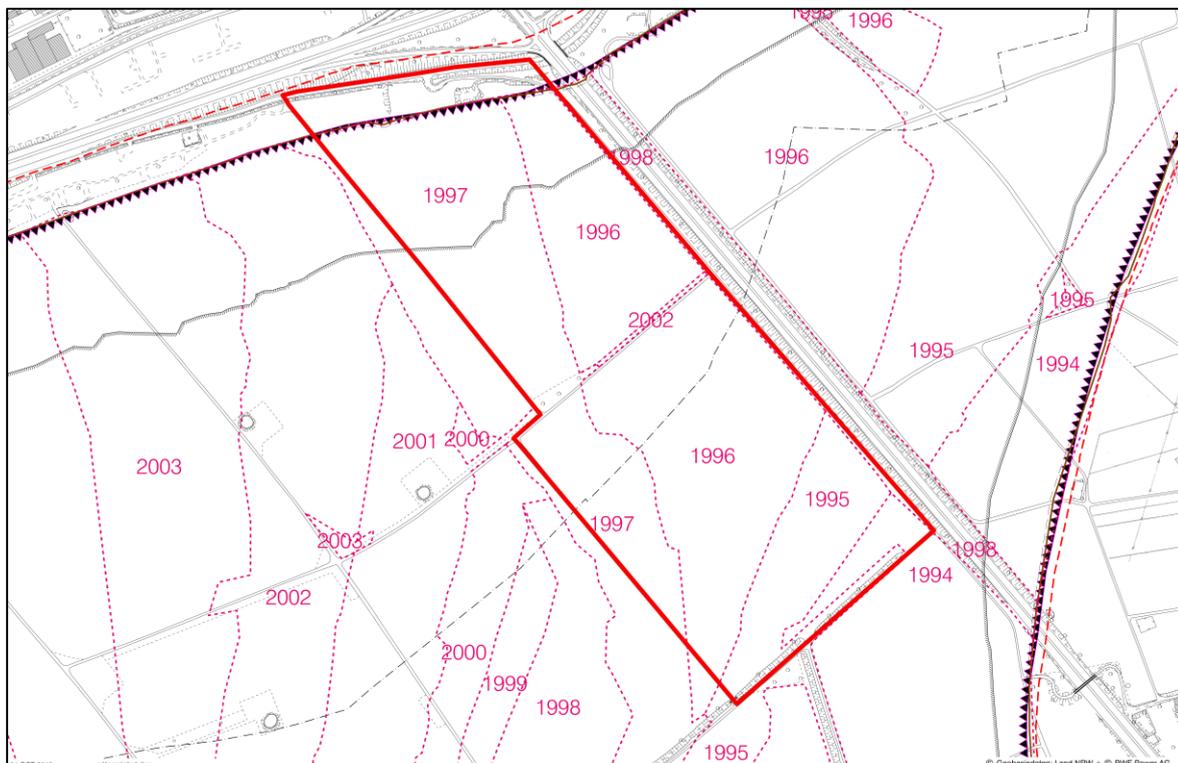


Abb. 2: Lage des Projektgebietes (rote Umrandung); Quelle: RWE Power AG



## **2 Durchgeführte Untersuchungen**

### **2.1 Außenarbeiten**

Vom 10.04.2019 bis zum 30.01.2020 wurden folgende Untersuchungen ausgeführt:

- 28 Kleinrammbohrungen (KRB,  $\varnothing$  35 - 50 mm) mit Aufschlusstiefen zwischen 8,80 m und 10,0 m ( $\Sigma$  278,80 m),
- 1 Schwere Rammsondierung (DPH, Fallmasse 50 kg, Spitzenquerschnitt 15 cm<sup>2</sup>, Fallhöhe 0,5 m) mit Eindringtiefe von 10,0 m ( $\Sigma$  10,0 m),
- 26 Drucksondierungen (CPT) mit Eindringtiefen zwischen 13,06 m und 25,35 m ( $\Sigma$  576,05 m)
- Einmessen der Sondieransatzpunkte in Lage und Höhe mittels GPS in ETRS-Koordinaten.

Je laufendem Meter bzw. bei organoleptischen Auffälligkeiten sowie bei Schichtwechseln wurden gestörte Bodenproben in luftdichte Behälter abgefüllt und im Probenarchiv der GBD GmbH zurückgestellt.

Die Lage der Bohransatzpunkte ist in Anlage 1 verzeichnet. Die Sondierergebnisse sind in Anlage 2 in Bohrprofilen und Rammdiagrammen gemäß DIN 4022, 4023 und DIN EN ISO 22476 dargestellt. Die einzelnen Bohrprofile sowie die zugehörigen Rammdiagramme sind in Anlage 3, die Schichtenverzeichnisse in Anlage 4 wiedergegeben.

### **2.2 Geotechnische Laboruntersuchungen**

Im Baugrundlabor der GBD GmbH wurden an den gewonnenen Bodenproben folgende Untersuchungen ausgeführt:

- 18x Bestimmung der Korngrößenverteilung durch kombinierte Sieb-Schlamm-Analyse nach DIN 18123,
- 9x Bestimmung des Plastizitätsbereiches (Fließ- und Ausrollgrenze) nach DIN 18122,
- 9x Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes nach DIN 18121,
- 9x Bestimmung des Glühverlustes  $V_{GI}$  nach DIN 18128.

Die Ergebnisse der geotechnischen Laboruntersuchungen sind als Anlage 5 beigefügt.



## **2.3 Chemische Laboruntersuchungen**

Aus den gewonnenen Bodenproben wurden 12 horizontgleiche Mischproben zusammengestellt und der Parameterumfang der LAGA TR Boden (2004) im Feststoff und Eluat ausgeführt. Die Bodenproben wurden zur Analyse an ein zertifiziertes Untersuchungslabor weitergegeben.

Die Ergebnisse der chemischen Laboruntersuchungen sind als Anlage 6 beigelegt.

## **3 Morphologie und geologischer Rahmen**

### **3.1 Allgemeines**

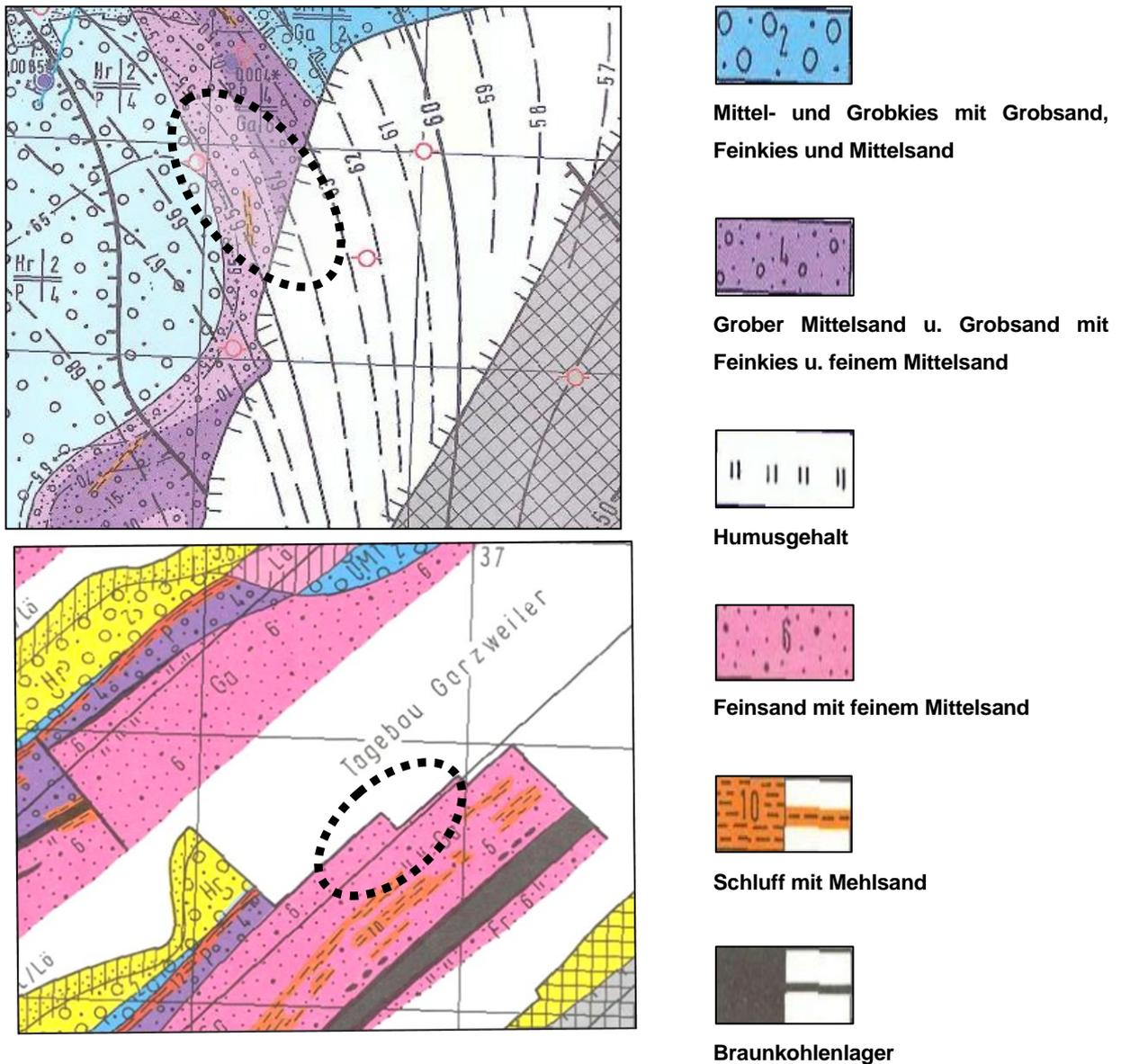
Gemäß den Angaben der Hydrogeologischen Karte (Blatt 4905, Grevenbroich [10]) ist der nicht durch den Tagebau beeinflusste Baugrundaufbau im Projektgebiet von der Hauptflözgruppe Garzweiler geprägt, die durch Wechsellagen von Sanden, Schluffen und Braunkohlelagen gekennzeichnet ist (vgl. Abb. 3). Im ungestörten Zustand ist im Projektgebiet oberflächennah zum Großteil grober Mittelsand und Grobsand sowie Mittel- und Grobkies anzutreffen.

Von 1962 bis 1966 wurde im Bereich des Projektgebietes Kohle bis zur Basis 6A, dem Flöz Morken gewonnen. Dies entspricht einer Teufe von + 27 mNHN im südöstlichen Bereich und - 13 mNHN ca. 300 m vor dem nordwestlichen Ende des Projektgebiets. Die Kippe wurde in den 90er Jahren hergestellt und ist ca. 50 bis 110 m mächtig. Lediglich am Nordrand des Projektgebietes entspricht der ehemalige Tagebaurand der Kippenoberkante, sodass die Kippenmächtigkeit in diesem Bereich auf 0 m zurückgeht. In den Jahren 1994 bis 1997 erfolgte für einen großen Bereich des Projektgebietes die Rekultivierung. Ein schmaler Streifen wurde erst im Jahr 2002 rekultiviert [2].

Die Kippenböden setzen sich aus einem heterogenen Gemisch des Tertiärs und Quartärs zusammen. Die charakteristischen Eigenschaften von Kippenstandorten und die hier zu berücksichtigenden geotechnischen Aspekte bestehen im Wesentlichen darin, dass im Vergleich zu einem Standort mit nicht umgelagerten Baugrundverhältnissen von abweichenden bodenmechanischen Eigenschaften des Baugrundes auszugehen ist. Dies zeigt sich insbesondere durch eine vergleichsweise geringe Lagerungsdichte der Kippenböden, die auch nach dem Abklingen der zeitabhängigen Eigenschaften der Kippenböden (Konsolidation) noch vorherrscht.



Als oberste Schicht des Kippenbodens wurde eine ca. 2 m bis 3 m mächtige Rekultivierungsschicht aus feinkörnigem Boden (Löss/Lösslehm) aufgebracht.



**Abb. 3:** Ausschnitt aus der Hydrogeologischen Karte (Grundriss- und Profilkarte) [13], schwarz-gestrichelte Markierung: Projektgebiet

### 3.2 Erdbeben, Tektonik

Nach DIN EN 1998-1 (12/2010) befindet sich das Projektgebiet in der Erdbebenzone 2 und ist der Untergrundklasse S (Gebieten tiefer Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung) zuzuordnen.



In statischen Berechnungen sind somit auch der Lastfall „Erdbeben“ und die Ausführungshinweise der DIN 4149 zu berücksichtigen. Die Erdbebenzone 2 umfasst Gebiete, denen gemäß dem zugrunde gelegten Gefährdungsniveau ein Intensitätsintervall von 7,0 bis 7,5 zugeordnet ist. Der zugehörige Bemessungswert der Bodenbeschleunigung  $a_g$  beträgt in dieser Erdbebenzone  $0,6 \text{ m/s}^2$ . Für das Projektgebiet ist die Baugrundklasse C und somit das Normspektrum C-T der DIN EN 1998-1 (12/2010) heranzuziehen.

Für die horizontalen elastischen Antwortspektren wird das elastische Antwortspektrum  $S_e(T)$  für die Referenz-Wiederkehrperiode durch folgende Ausdrücke bestimmt:

$$T_A \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = a_{gR} \cdot \gamma_i \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = a_{gR} \cdot \gamma_i \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = a_{gR} \cdot \gamma_i \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T: \quad S_e(T) = a_{gR} \cdot \gamma_i \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2}$$

Dabei ist

$S_e(T)$  die Ordinate des elastischen Antwortspektrums;

T die Schwingungsdauer eines linearen Einmassenschwingers;

$a_{gR}$  der Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung, hier  $0,6 \text{ m/s}^2$ ;

$\gamma_i$  Bedeutungsbeiwert nach Tabelle NA.6, DIN EN 1998, hier:  $\gamma_i = 1,0$ ;

$T_A, T_B, T_C, T_D$  die Kontrollperioden des Antwortspektrums, mit  $T_A = 0$ ; zur Darstellung im Frequenzbereich kann an Stelle der Periode 0 s die Frequenz 25 Hz gesetzt werden, mit konstantem  $S_e$  zu höheren Frequenzen, s. Tab. 1;

S der Untergrundparameter, s. Tab 1;

$\eta$  der Dämpfungs-Korrekturbeiwert mit dem Referenzwert  $\eta = 1$  für 5 % viskose Dämpfung, er kann auch bestimmt werden mit:

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55 \text{ mit } \xi \text{ Wert der viskosen Dämpfung des Bauwerkes in Prozent.}$$



**Tab.1:** Werte der Parameter zur Beschreibung des elastischen horizontalen Antwortspektrums nach DIN EN 1998 (dort Tabelle NA.4) [8]

Untergrundverhältnisse	$S$	$T_B$ s	$T_C$ s	$T_D$ s
A-R	1,00	0,05	0,20	2,0
B-R	1,25	0,05	0,25	2,0
C-R	1,50	0,05	0,30	2,0
B-T	1,00	0,1	0,30	2,0
C-T	1,25	0,1	0,40	2,0
C-S	0,75	0,1	0,50	2,0

Das vertikale elastische Antwortspektrum  $S_{ve}(T)$  für die Referenz-Wiederkehrperiode wird durch folgende Ausdrücke bestimmt:

$$T_A \leq T \leq T_B: \quad S_e(T) = a_{vg} \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 3,0 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: \quad S_e(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0$$

$$T_C \leq T \leq T_D: \quad S_e(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 3,0 \frac{T_C}{T}$$

$$T_D \leq T: \quad S_e(T) = a_{vg} \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2}$$

Dabei beträgt

- die Kontrollperiode  $T_B = 0,05$  s,
- die Kontrollperiode  $T_C = 0,2$  s und
- die Kontrollperiode  $T_D = 2,0$  s.

Weiter gilt  $a_{vg} = 0,5 \cdot a_{gR} \cdot \gamma_i$

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Baugrundaufbau

Nach den durchgeführten Untersuchungen setzt sich das Bodenprofil aus folgenden Schichtgliedern zusammen (von oben nach unten):



### Schicht 1: Auffüllungen / Rekultivierungsboden

Die oberflächennah anstehende Rekultivierungsschicht setzt sich aus feinsandigen sowie schwach tonigen Schluffen zusammen (TL gem. DIN 18196) und weist eine mehrheitlich steife Konsistenz auf. Die Rekultivierungsschicht wurde bis in eine Tiefe von 2,10 m bis 5,30 m u. GOK erkundet. Zur Quantifizierung der organischen Bestandteile wurde an neun Proben der Rekultivierungsschicht die Bestimmung des Glühverlustes mittels Ofenglühen durchgeführt. Mit recht einheitlichen Glühverlusten zwischen  $V_{Gl} = 1,34\%$  und  $V_{Gl} = 3,07\%$  (im Mittel  $V_{Gl} = 2,19\%$ ) ist der Anteil an organischen Bestandteilen verhältnismäßig gering bzw. der Rekultivierungsboden als schwach organogen zu bewerten.

Die Zusammenfassung der Kornverteilungslinien, Konsistenz- und Wassergehaltsbestimmungen können der folgenden Tabelle 2 und 3 und der Abbildung 5 entnommen werden. Die Einzelauswertungen der bodenmechanischen Untersuchungen an den Böden der Rekultivierungsschicht sind in Anlage 5 dokumentiert.

**Tab. 2:** Kenngrößen und Gewichtsanteile der enthaltenen Kornfraktionen des Rekultivierungsbodens

Probe / Bohrung (KRB)	Tiefe	Bodenart	Boden- gruppe	$d_{10}$	$d_{30}$	$d_{60}$	U	C	Ton	Schluff	Sand	Kies
	[m]			[-]	[mm]	[mm]						
A3 G5	3,8 – 4,8	U, t', fs'	TL	0,0019	0,017	0,0329	16,9	4,3	10,1	74,4	15,2	0,4
B'1 G2	0,3 – 1,5	U, fs, t'	TL	0,0027	0,018	0,0313	11,8	3,9	9,1	75,8	15,1	-
B1 G3	1,3 – 2,3	U, fs, t'	TL	0,0035	0,0175	0,0315	9,0	2,3	8,0	75,2	16,8	-
B4 G2	0,3 – 1,5	U, fs, t'	TL	0,0023	0,0175	0,0326	13,9	4,0	9,5	75,1	15,4	-
B6 G2	1,0 – 2,0	U, t', fs'	TL	-	0,017	0,0323	-	-	11,4	72,1	16,2	0,3
B8 G2	1,0 – 2,0	U, t', fs'	TL	0,0027	0,018	0,0308	11,2	3,8	9,0	78,0	13,0	-
C1 G2	1,2 – 2,4	U, fs, t'	TL	0,0039	0,017	0,0324	8,3	2,2	7,5	77,1	15,5	-
D3 G1	0,0 – 1,3	U, fs, t'	TL	0,0022	0,018	0,0359	16,6	3,8	9,8	72,5	17,7	-
D6 G2	1,0 – 2,0	U, fs, t'	TL	0,0023	0,0185	0,0376	16,7	3,8	9,8	71,2	19,0	-

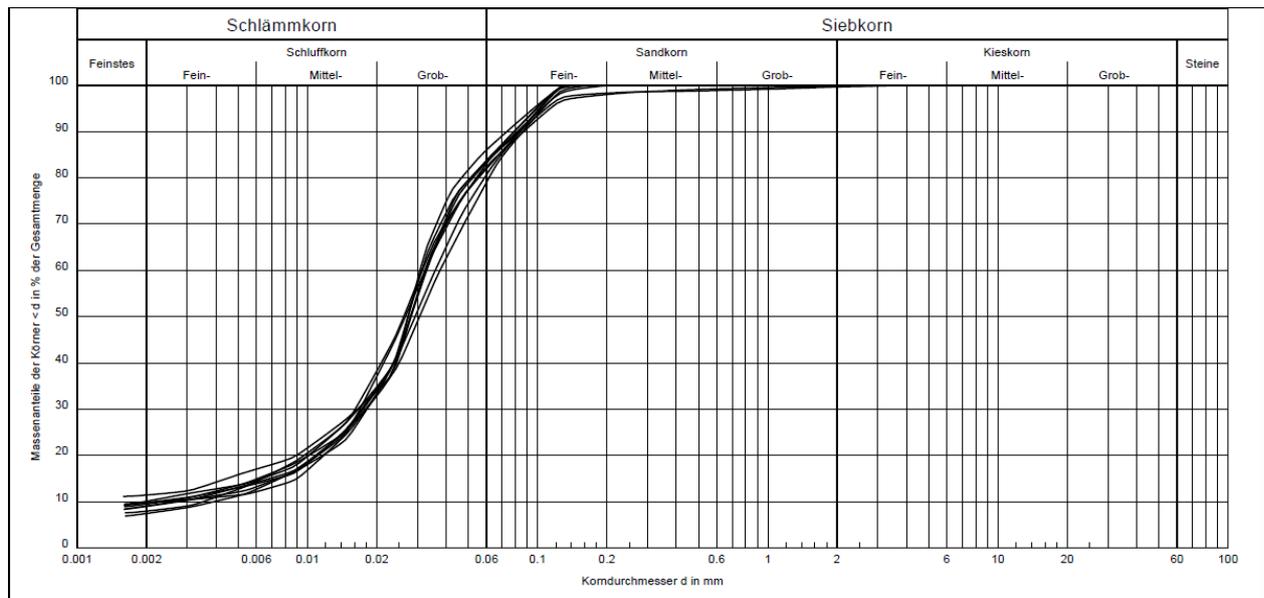


Abb. 4: Kornverteilungslinien Auffüllungen / Rekultivierungsboden (n = 9)

Tab. 3: Zusammenstellung der Ergebnisse der Bestimmung der Konsistenzgrenzen, Rekultivierungsboden

Bohrung (KRB) / Probe	Tiefe [m]	Boden- art [-]	Wasser- gehalt	Fließ- grenze	Ausroll- grenze	Platizitäts- zahl	Konsistenz- zahl	Glühverlust
			w	w <sub>L</sub>	w <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	V <sub>GI</sub>
			[%]	[%]	[%]	[%]	[-]	[%]
A3 G5	3,8 – 4,8	U, t', fs'	20,3	25,7	16,6	9,1	0,59	1,73
B'1 G2	0,3 – 1,5	U, fs, t'	20,9	26,5	18,4	8,1	0,69	1,64
B1 G3	1,3 – 2,3	U, fs, t'	22,7	26,9	17,2	9,7	0,43	2,64
B4 G2	0,3 – 1,5	U, fs, t'	20,9	26,2	16,3	9,9	0,53	1,61
B6 G2	1,0 – 2,0	U, fs, t'	21,4	26,1	15,6	10,5	0,44	3,07
B8 G2	1,0 – 2,0	U, t', fs'	12,8	25,0	16,2	8,8	1,38	2,63
C1 G2	1,2 – 2,4	U, fs, t'	22,2	26,3	18,0	8,3	0,49	2,39
D3 G1	0 – 1,3	U, fs, t'	19,1	26,2	17,2	9,0	0,78	1,34
D6 G2	1,0 – 2,0	U, fs, t'	21,4	26,0	15,5	10,5	0,44	2,64



## Schicht 2: Auffüllungen / Kippenboden

Im Liegenden der Rekultivierungsschicht folgen Kippenböden, die sich aus einem heterogenen Gemisch des Tertiärs und Quartärs (Mischböden) zusammensetzen. Die Hauptbestandteile bilden dabei schluffige Sande und sandige Schluffe, die abwechselnd in unterschiedlichen Mächtigkeiten und Zusammensetzungen geschichtet sind. Sowohl in den Schluffen als auch in den Sanden können Ton- und Schluffbänder eingelagert sein. Lokal sind die Kippenböden auch kiesig ausgebildet. Örtlich begrenzt wurden auch Beton- und Ziegelbruch sowie Braunkohlereste angetroffen. Ein einheitliches Schichtensystem innerhalb der aufgefüllten Kippenböden zeigt sich erwartungsgemäß nicht.

In den abgeteufte Drucksondierungen wurden innerhalb der Kippenböden überwiegend mittlere Spitzendrücke  $q_c$  zwischen 1,0 und 10 MN/m<sup>2</sup> ermittelt. Diese Spitzendrücke belegen eine lockere bis mitteldichte Lagerung (überwiegend nicht bindige Komponenten) bzw. eine weiche bis steife Konsistenz (überwiegend bindige Komponenten).

Im Zuge der Ausführung der Drucksondierungen wurden in den Kippenböden wiederkehrend Tiefenbereiche mit im Vergleich deutlich höheren Spitzendrücken  $q_c$  (zwischen 10 und 40 MN/m<sup>2</sup>) erkundet. Diese Bereiche höherer Festigkeit bzw. Lagerungsdichte weisen auf mögliche Absetzebenen im Rahmen der Tagebauverfüllung hin. Die Belastung mit dem hohen Gewicht der Großgeräte hat zu einer Verdichtung des Bodens in recht einheitlichen Tiefenlagen geführt. Diese nachvollziehbaren ehemaligen Arbeitsebenen der Großgeräte setzen sich vielfach in den jeweils benachbarten Sondierungen auf einem ähnlichen Höhenniveau fort. Die Kippenböden wurden bis zur maximalen Erkundungstiefe von 25 m u. GOK aufgeschlossen und reichen gemäß [2] bis ca. 110 m u. GOK.

Die ermittelten Gewichtsanteile der Kornfraktionen und die Kennzahlen der untersuchten Proben der Kippenböden sind in der folgenden Tabelle 4 zusammengefasst.

**Tab. 4:** Kenngrößen und Gewichtsanteile der enthaltenen Kornfraktionen

Probe / Bohrung (KRB)	Tiefe	Bodenart	Boden- gruppe	$d_{10}$	$d_{30}$	$d_{60}$	U	C	Ton	Schluff	Sand	Kies
	[m]	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]
B1 G6	4,2 – 5,4	S,u',fg',mg'	SU	0,0828	0,34	1,0601	12,8	1,3	-	9,6	61,0	29,4
B'1 G5	0,3 – 1,5	fS,ms,u'	SU	0,0819	0,14	0,1777	2,2	1,2	-	5,3	94,7	-



Probe / Bohrung (KRB)	Tiefe	Bodenart	Boden- gruppe	d <sub>10</sub>	d <sub>30</sub>	d <sub>60</sub>	U	C	Ton	Schluff	Sand	Kies
	[m]	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[%]	[%]	[%]	[%]
C1 G4	3,5 – 4,5	fS,ms,u'	SU	0,0457	0,13	0,1715	3,8	2,1	2,9	9,8	87,4	-
C2 G4	3,3 – 4,3	U,t',ms',gs', fg',mg',gg'	SU*	0,0086	0,034	0,2438	28,4	0,6	5,8	33,7	41,5	19,0
B2 G6	4,0 – 5,1	S,u'	SU*	0,0129	0,15	0,4212	32,6	3,8	5,0	12,3	78,0	4,7
C7 G4	3,0 – 4,2	S,u,fg',mg', gg'	SU*	0,0175	0,115	0,6241	35,6	1,1	3,5	21,2	50,9	24,4
D5 G4	2,8 – 4,0	mS,fs*	SE	0,1363	0,175	0,2784	2,0	0,9	-	-	100,0	-
B5 G6	4,1 – 5,2	fS,ms,u'	SU	0,0819	0,14	0,1826	2,2	1,2	-	5,5	94,2	0,3
C4 G5	4,0 – 5,2	fS,ms*,gs, u'	SU	0,1088	0,165	0,2419	2,2	1,0	-	6,2	92,7	1,1

Die Abbildung 5 zeigt das Kornverteilungsband und die Mittelwertlinie der untersuchten Proben des Kippenbodens. Die einzelnen Kornverteilungslinien können der Anlage 5 entnommen werden.

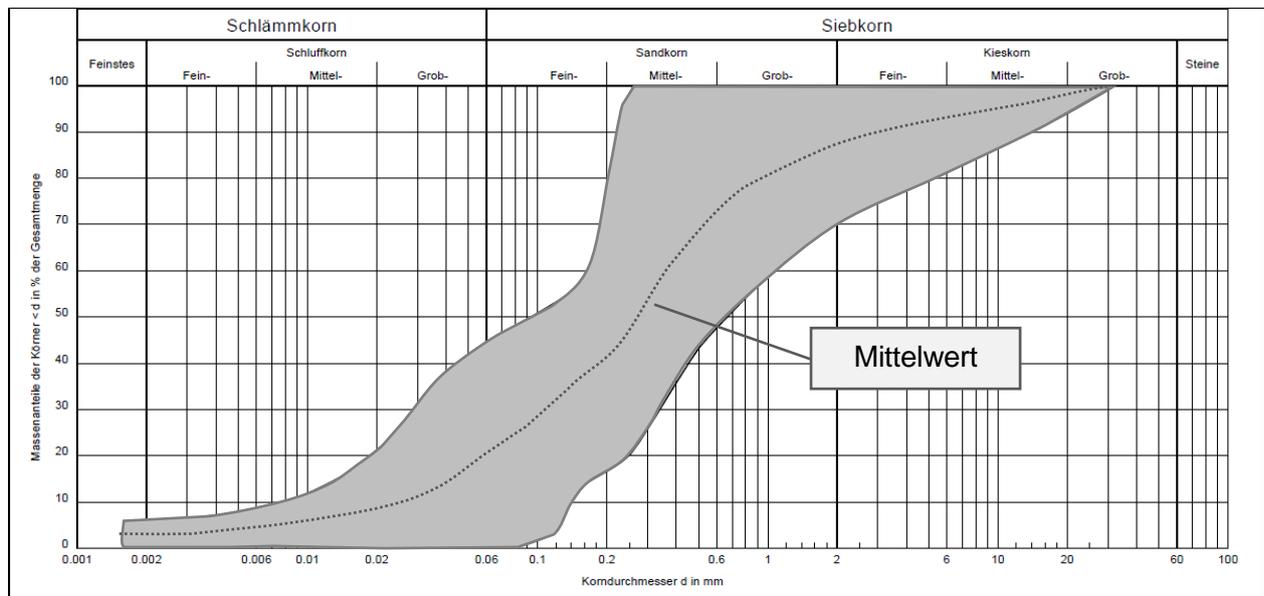


Abb. 5: Kornverteilungsband Auffüllungen / Kippenboden (n = 9)



## 4.2 Hydrogeologische Situation

Durch die Nähe des Projektgebietes zum Tagebau Garzweiler II ist der Grundwasserstand durch die betriebenen Sumpfungmaßnahmen der RWE Power AG beeinflusst. Gemäß [3] liegt der Grundwasserstand in der Tagebauverfüllung aktuell nur wenige Meter über NHN.

Nach Auslaufen des Tagebaus Garzweiler (geplant 2038) und Abschluss der Sumpfungmaßnahmen wird mit der anschließend geplanten Tagebauseeverfüllung in den nachfolgenden Jahrzehnten der Grundwasserspiegel wieder ansteigen. Für den stationären Endzustand kann im Projektgebiet von mittleren Grundwasserständen von bis zu 60 m NHN ausgegangen werden. Darüber hinaus sind natürliche Schwankungen zu berücksichtigen, die in der Größenordnung von 1 – 2 m liegen können [3].

Im Projektgebiet betragen die aktuellen Geländehöhen überall mehr als 75,80 m NHN. Somit ist auch zukünftig von Flurabständen von mindestens 15 m auszugehen. Auf dieser Grundlage hat das Grundwasser keinen Einfluss auf die geplanten Baumaßnahmen im geplanten Industriepark. Dennoch sollte bei der Planung künftiger Bauvorhaben die Möglichkeit der Ausbildung von Schichtenwasserhorizonten innerhalb der gering durchlässigen Rekultivierungsschicht berücksichtigt werden, die sich insbesondere nach länger anhaltenden Niederschlägen zumindest zeitweise oberflächennah aufstauen können.

## 4.3 Versickerungsfähigkeit

Für die Berechnungen von Versickerungseinrichtungen ist das Arbeitsblatt DWA A 138 (2005) maßgebend. Dementsprechend kommen für die Versickerung Lockergesteine in Frage, deren  $k_f$  - Werte im Bereich von  $5 \cdot 10^{-3}$  bis  $1 \cdot 10^{-6}$  m/s liegen. Zudem ist ein Mindestabstand der Sohle des Versickerungsbauwerks zum mittleren höchsten Grundwasser von  $\geq 1$  m einzuhalten.

In den von mehrheitlich bindigen und damit gering durchlässigen Böden geprägten Schichten des Rekultivierungsbodens ist die Versickerungsfähigkeit von anfallendem Oberflächenwasser nicht gegeben. In den tiefer liegenden Kippenböden ist eine Versickerung von Oberflächenwasser grundsätzlich möglich. Dabei muss gewährleistet werden, dass die Kippenböden hydraulisch angebunden werden, z.B. durch Sickerschlitze, Sickerbecken oder Sickerbrunnen. Dies ist bei Mächtigkeiten der überlagernden Schicht von ca. 2 m bis 5 m mit entsprechenden bautechnischen Lösungen grundsätzlich möglich.



Nach vorliegendem Kenntnisstand wird im Rahmen der Erschließung des geplanten Industrieparks u.a. der Bau einer zentralen Versickerungsanlage im südöstlichen Randbereich des Areals geprüft (vgl. Lageplan Anlage 1, Achse 1-1). Aus den ermittelten Kornverteilungen kann für den Kippenboden in dem betreffenden Bereich gemäß dem Verfahren nach Beyer ein Durchlässigkeitsbeiwert von i.M.  $k_f = 4,8 \cdot 10^{-5}$  m/s abgeleitet werden.

Auf dieser Grundlage ist eine zentrale Versickerung von Niederschlagswasser in dem vorgesehenen Bereich unter Einhaltung der Kriterien des zulässigen k-Wert-Bereichs und des Mindestabstands zum mittleren höchsten Grundwasser (Flurabstand ca. 15 m, vgl. Abschnitt 4.2) gemäß DWA-Merkblatt als grundsätzlich möglich zu bewerten. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Bestimmung des k-Wertes auf der Grundlage von Kornverteilungen aus einer heterogenen Auffüllung mit unvermeidbaren Unsicherheiten behaftet ist. Es ist deshalb erforderlich, im Zuge der weiteren Projektplanung die Durchlässigkeit der Kippenböden in dem betreffenden Bereich durch ergänzende Versickerungsversuche vor Ort zu verifizieren.

Darüber hinaus kann eine uneinheitliche Nachsetzung der locker gelagerten Kippenböden infolge einer langfristigen Infiltration größerer Wassermengen nicht ausgeschlossen werden. Dies ist bei der weiteren Planung der zentralen Versickerungsanlage und der Festlegung von Mindestabständen zu geplanten Bauwerken zu berücksichtigen.

#### 4.4 Bodenklassifizierung, Wasser- und Frostempfindlichkeit

Im Untersuchungsbereich ist mit den in der Tabelle 7 angegebenen Bodengruppen nach DIN 18196 sowie Bodenklassen nach DIN 18300 (2012) zu rechnen. Ferner werden die Bodenschichten nach ihrer Frostempfindlichkeit (ZTVE-StB 17) beurteilt.

Tab. 5: Bodengruppen, Bodenklassen und Frostempfindlichkeit

Schicht	Bodengruppen nach DIN 18196	Bodenklassen nach DIN 18300 (2012)	Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 17
1 – Auffüllungen, Rekultivierungsboden	A [TL, UL]	3 – 4	sehr frostempfindlich (F3)
2 – Auffüllungen, Kippenboden	A [SU, SU*, SE]	3 – 4	nicht bis sehr frostempfindlich (F1 – F3)



Weitgehend schluffiges und toniges Bodenmaterial ist wegen des Korngrößenanteils  $< 0,06$  mm wasserempfindlich. Bei Wasserzutritt in Verbindung mit mechanischer Beanspruchung können diese Böden unter Festigkeitsverlust in fließende Bodenarten übergehen. Sie sind ferner sehr frostempfindlich (Klasse F3 nach ZTVE-StB 17).

#### 4.5 Bodenkennwerte

Die Bodenkennwerte werden nach den Ergebnissen der Material- und Konsistenzansprache in den Kleinrammbohrungen, dem Bohrwiderstand, den Ergebnissen der Druck- und Rammsondierungen, den bodenmechanischen Laboruntersuchungen und Erfahrungswerten abgeschätzt.

Den Bodenschichten können folgende Kennwerte zugeordnet werden:

##### Schicht 1 (Rekultivierungsboden)

Wichte des feuchten Bodens	$\gamma = 18 - 20 \text{ kN/m}^3$ , i.M. $19 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi' = 25^\circ - 30^\circ$ , i.M. $27,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 2 - 6 \text{ kN/m}^2$ , i.M. $4 \text{ kN/m}^2$
Steifemodul	$E_s = 4 - 8 \text{ MN/m}^2$ , i.M. $6 \text{ MN/m}^2$

##### Schicht 2 (Kippenboden)

Wichte des feuchten Bodens	$\gamma = 17 - 20 \text{ kN/m}^3$ , i.M. $19 \text{ kN/m}^3$
Reibungswinkel	$\varphi' = 25^\circ - 35^\circ$ , i.M. $32,5^\circ$
Kohäsion	$c' = 0 - 4 \text{ kN/m}^2$ , i.M. $2 \text{ kN/m}^2$
Steifemodul	$E_s = 8 - 45 \text{ MN/m}^2$ , i.M. $15 \text{ MN/m}^2$

#### 4.6 Einstufung in Homogenbereiche

Die Einstufung des anstehenden Baugrundes in Homogenbereiche nach VOB/C ist der Tabelle 6 zu entnehmen. Die Einstufung erfolgt unter Berücksichtigung der Geotechnischen Kategorie GK 2 und enthält die Anforderungen nach DIN 18300 und DIN 18301.



**Tab. 6:** Einstufung des Baugrundes in Homogenbereiche nach VOB/C

<b>Einteilung in Homogenbereiche - Industriegebiet Elsachtal</b>					
für die Einteilung nach DIN 18300 und DIN 18301					
Nr.	Eigenschaft/Kennwerte Beschreibung	bestimmt nach	Einheit	Schicht nach Baugrundgutachten	
				1 Rekultivierungsboden	2 Kippenboden
1a	Tonmassenanteil	DIN 18123	%	0 - 15	0 - 10
1b	Schluffmassenanteil	DIN 18123	%	60 - 80	0 - 40
1c	Sandmassenanteil	DIN 18123	%	0 - 20	30 - 100
1d	Kiesmassenanteil	DIN 18123	%	0 - 5	0 - 30
2a	Massenanteil an Steinen	DIN EN ISO 14688-2	%	0	0
2b	Massenanteil Blöcke		%	0	0
2c	Massenanteil große Blöcke		%	0	0
3	Dichte	DIN 18125-2	kN/m <sup>3</sup>	18 - 20	17 - 20
4	Kohäsion	DIN 18137	kN/m <sup>2</sup>	0 - 6	0 - 4
5	undrännierte Scherfestigkeit	DIN 18136	kN/m <sup>2</sup>	0 - 50	0 - 35
6	Wassergehalt	DIN EN ISO 17892-1	%	15 - 25	5 - 25
7	Konsistenz	DIN EN ISO 14688-1	-	weich - steif	weich - steif
8	Konsistenzzahl	DIN 18122-1	-	0,4 - 1,4	0,4 - 0,8
9	Plastizitätszahl	DIN 18122-1	%	8 - 11	8 - 10
10	Lagerungsdichte	DIN 18126	%	-	sehr locker - dicht
11	Kalkgehalt	DIN 18129	%	0 - 4	0 - 2
12	Organischer Anteil	DIN 18128	%	0 - 4	0 - 10
13	Abrasivität	NF P18-579	g/t	20 - 350	50 - 450
14	Bodengruppe	DIN 18196	-	A [TL, UL]	A [SE, SU*, SU]
15	ergänzende ortsübl. Be- zeichnung	-	-	Rekultivierungsboden	Kippenboden
	<b>Homogenbereich</b>			<b>A</b>	<b>B</b>

#### 4.7 Bohr- und Rammpbarkeit

Die Bohr- und Rammpbarkeit ist in den erkundeten Kippenböden aufgrund der überwiegend geringen Lagerungsdichte grundsätzlich gegeben. Es ist jedoch zu beachten, dass in den Bereichen der erkundeten Absetzebenen mit erhöhten Bohr- und Rammwiderständen gerechnet werden muss. Bei der Ausführung von Rammarbeiten sind ggf. Lockerungsbohrungen erforderlich.

#### 4.8 Ergebnisse der chemischen Untersuchungen

Für die Beurteilung der Böden hinsichtlich chemischer Belastungen wurden sechs Mischproben (MP) des Rekultivierungsbodens und sechs Mischproben des Kippenbodens auf die Parameterliste nach LAGA TR Boden (2004) untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Anlage 6 dokumentiert.



**Tab. 7:** Ergebnisse der chemischen Untersuchungen von Bodenmischproben

Probe	Schicht	Sondierungen	Entnahmetiefen m u. GOK	Zuordnungswert nach LAGA (maßgebender Parameter)
MP I - R	Rekultivierungsboden	A1 B1 B'1 C1 D1	0,3 - 1,5 0,4 - 1,3 1,5 - 2,4 0,0 - 1,2 1,1 - 2,1	Z0
MP II - R	Rekultivierungsboden	A2 B2 C2 D2 D3	0,4 - 1,5 0,3 - 1,1 1,2 - 2,3 0,3 - 1,6 1,3 - 2,3	Z0
MP III - R	Rekultivierungsboden	A3 B3 C3 A4 B4	0,4 - 1,6 0,35 - 1,4 1,1 - 2,2 0,35 - 1,6 1,5 - 2,0	Z0
MP IV - R	Rekultivierungsboden	C4 D4 B5 C5 D5	0,35 - 1,6 0,35 - 1,3 0,4 - 1,4 1,2 - 2,5 0,4 - 1,4	Z0
MP V - R	Rekultivierungsboden	B6 C6 D6 D7	2,0 - 3,0 1,0 - 2,0 2,0 - 2,8 0,9 - 1,8	Z0
MP VI - R	Rekultivierungsboden	B7 C7 B8 C8	1,0 - 2,0 1,0 - 2,0 2,0 - 3,2 1,0 - 2,0	Z1.2 (Blei)
MP I - K	Kippenboden	A1 B1 B'1 C1 D1	3,0 - 4,2 3,1 - 4,2 2,4 - 3,5 2,4 - 3,5 3,1 - 4,1	Z0
MP II - K	Kippenboden	A2 B2 C2 D2 D3	2,6 - 3,8 2,9 - 4,0 2,3 - 3,3 3,0 - 4,3 2,3 - 3,0	Z0



Probe	Schicht	Sondierungen	Entnahmetiefen m u. GOK	Zuordnungswert nach LAGA (maßgebender Parameter)
MP III - K	Kippenboden	A3 B3 C3 A4 B4	4,8 - 5,3 2,7 - 4,0 2,2 - 3,1 2,9 - 4,1 3,1 - 4,4	Z1.2 (Sulfat)
MP IV - K	Kippenboden	C4 D4 B5 C5 D5	2,8 - 4,0 2,7 - 4,0 3,0 - 4,1 2,5 - 3,4 4,0 - 5,3	Z1.1 (TOC)
MP V - K	Kippenboden	B6 C6 D6 D7	3,0 - 4,0 3,0 - 4,0 2,8 - 3,5 3,0 - 4,0	Z0
MP VI - K	Kippenboden	B7 C7 B8 C8	3,1 - 4,0 4,2 - 5,0 3,2 - 4,0 3,0 - 3,9	Z2 (Cadmium, Blei, Zink, Sulfat)

### Rekultivierungsboden

Der aus Löß bzw. Lößlehm bestehende Rekultivierungsboden ist bis auf eine Ausnahme in die Verwertungsklasse Z0 nach LAGA TR 20 Boden (2004) einzustufen. Damit ist eine Verwertung in einem uneingeschränkten offenen Einbau möglich.

Nur die Probe MP VI - R zeichnete sich durch einen leicht erhöhten Blei-Gehalt im Feststoff und im Eluat aus. Das Material ist in die Verwertungsklasse Z1.2 einzuordnen. Damit ist ein offener Einbau innerhalb der wasserungesättigten Bodenzone mit einem Mindestabstand von einem Meter zum höchsten zu erwartenden Grundwasserspiegel in hydrogeologisch günstigen Bereichen möglich.

### Kippenböden

Die Kippenböden sind aus verschiedenen natürlichen Bodenmaterialien zusammengesetzt. Die Stoffgehalte schwanken daher in etwas weiteren Grenzen.

Drei der untersuchten Proben sind unbelastet. Die durch sie repräsentierten Böden können als Z0-Material uneingeschränkt verwertet werden.



Die MP IV - K ist allein aufgrund ihres TOC-Gehaltes in die Verwertungsklasse Z1.1 einzustufen. Alle anderen untersuchten Parameter sind sehr gering konzentriert. Der TOC-Gehalt ist augenscheinlich auf Humus oder Braunkohlenreste zurückzuführen und damit chemisch unbedenklich. Der Boden kann z.B. innerhalb einer durchwurzelbaren Bodenzone verwertet werden. Unterhalb der durchwurzelbaren Bodenzone ist er mit einem Mindestabstand von einem Meter zum höchsten zu erwartenden Grundwasserspiegel einzubauen.

Das durch die Probe MP III - K repräsentierte Bodenmaterial ist in die Verwertungsklasse Z1.2 einzustufen. Ausschlaggebend ist ein leicht erhöhter Sulfatgehalt im Eluat von 36 mg/l. Der Befund ist toxikologisch unbedenklich, der Grenzwert der Trinkwasserverordnung für Sulfat beträgt 250 mg/l. Das Material kann innerhalb der wasserungesättigten Bodenzone mit einem Mindestabstand von einem Meter zum höchsten zu erwartenden Grundwasserspiegel in hydrogeologisch günstigen Bereichen eingebaut werden.

Eine Ausnahme bildet das durch die Probe MP VI - K repräsentierte Bodenmaterial. Hier wurde ein erhöhter Gehalt an Cadmium im Feststoff nachgewiesen, welcher zu einer Einstufung des Bodenmaterials in die Verwertungsklasse Z2 führt. Da parallel auch andere Schwermetalle in leicht erhöhten Konzentrationen nachgewiesen wurden, liegt der Verdacht nahe, dass lokal in geringem Umfang Aschen oder Schlacken z.B. als Wegebaumaterial in den Boden eingebracht worden ist. Er kann außerhalb von Deponien, aber unter einer technischen Dichtschicht und oberhalb des Grundwasserspiegels verwertet werden.

Es ist in diesem Zusammenhang darauf hinzuweisen, dass die Untersuchungsergebnisse auf punktuellen Aufschlüssen basieren und die Stoffkonzentration örtlich differieren kann. Es wird daher empfohlen, im Rahmen der Erdarbeiten konkreter Projekte eine baubegleitende Deklarationsanalytik der Aushubmassen durchzuführen.

#### **4.9 Verdichtbarkeit und Wiederverwendbarkeit des Aushubmaterials**

Im Projektgebiet stehen vielfach fein- und gemischtkörnige Böden an, die sich bei Wasserzutritt bzw. weicher Konsistenz nicht auf einen ausreichenden Verdichtungsgrad von 95 % bzw. 97 % der einfachen Proctordichte verdichten lassen. Sie sollten nicht zur sackungsfreien Verfüllung von Arbeitsräumen oder unter Zuwegungen wiedereingebaut, sondern ausschließlich zur Gelände-



profilierung eingesetzt werden. Die Wiederverwendbarkeit der überwiegend nicht bindigen Böden ist aus bodenmechanischer Sicht grundsätzlich gegeben.

## 5 Gründung

### 5.1 Setzungen verfüllter Tagebaue

Allgemein können im Bereich verfüllter Tagebaue zusätzlich zu den auflastbedingten Setzungen durch eine Bebauung, grundsätzlich auch die folgenden Setzungsanteile auftreten:

- Setzungen des Liegenden der Kippe durch deren Auflast (Wiederbelastung),
- Setzungen der Kippe infolge Eigengewicht,
- Sonstige Setzungseinflüsse (z.B. Grundwasseranstieg).

Setzungen des Liegenden können im vorliegenden Fall aufgrund der relativ großen Kippenmächtigkeit (bis ca. 110 m) und des Kippenalters (mehrheitlich 23 Jahre) ausgeschlossen werden.

Hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung von Konsolidationssetzungen von Kippenböden können näherungsweise die von LANGE (1979) angegebenen Beziehungen herangezogen werden. Danach ergibt sich für eine halblogarithmisch aufgetragene Zeitsetzungslinie eine Steigung von

$$\begin{aligned} a &= 0,37 \cdot h + 9,25 \pm 9,25 \text{ [cm]} \\ &= 40,7 \text{ bzw. } 50,0 \text{ cm} \end{aligned}$$

mit  $h$  = Kippenmächtigkeit [m].

Der Zeitpunkt des Eintretens der Endsetzung ( $s < 1$  cm) ergibt sich aus der Formel:

$$t_E = \frac{1}{10^{1/a-1}} = 17,2 \text{ bzw. } 21,2 \text{ Jahre.}$$

Nach den Plänen der RWE Power AG [2] wurde die Verfüllung des Tagebaus zum Großteil 1997 abgeschlossen. Nur in einem kleinen Teilbereich wurde bis 2002 abgelagert. Setzt man auf der sicheren Seite liegend die maximale Kippenmächtigkeit mit einheitlich 110 m an, wären die Konsolidationssetzungen der Kippenböden nach maximal 21,2 Jahren abgeschlossen. Da der Zeitpunkt



der Endverfüllung nun 23 Jahre zurückliegt, können mit ausreichender Sicherheit für die Bausubstanz schädliche Kippeneigensetzungen (d.h. Konsolidationssetzungen infolge Eigengewicht) ausgeschlossen werden.

Infolge des Grundwasserwiederanstieges können bei Kippen von Braunkohlentagebauen zusätzliche Setzungen i.W. infolge von Materialumlagerungen vor allem der bindigen Komponenten nicht ausgeschlossen werden. Als maximale Größenordnung lässt sich ein Wert von 0,8 – 1,5 % der eingestauten Kippenhöhe  $h'$  angeben. Laut Angaben der RWE Power AG liegen die Erfahrungswerte für das Rheinische Revier deutlich unterhalb dieser Beträge oder weisen sogar leichte Hebungen infolge von Auftriebseffekten auf.

Bei einem zu erwartenden Grundwasseranstieg von langfristig ca. 55 m (vgl. Abschnitt 4.2) sind demnach im ungünstigsten Fall Setzungen in der Größenordnung von bis zu ca. 80 cm anzunehmen, die gegen den Tagebaurand gegen Null auslaufen. Solche Setzungen würden jedoch großflächig und relativ gleichmäßig auftreten.

Für das Projektgebiet des geplanten Industrieparks ist zu berücksichtigen, dass die Kippe nicht entsprechend der ungünstigen Annahme des o.g. Ansatzes in ihrer vollständigen Mächtigkeit mit einer lockeren Lagerung ansteht. Im Rahmen der ausgeführten Baugrunderkundung wurden ehemalige Absetzebenen mit einer Stärke von mehreren Metern und einer mindestens mitteldichten bis dichten Lagerung angetroffen (vgl. Abschnitt 4.1). In größerer Tiefe können weitere ehemalige Arbeitsebenen mit vergleichbaren Eigenschaften innerhalb der Kippe angenommen werden. Auf der Grundlage dieses Sachverhaltes ist die untere Grenze der o.g. Bandbreite möglicher Setzungen infolge des Grundwasserwiederanstiegs für das Projektgebiet in Ansatz zu bringen. Daraus ergeben sich rechnerisch ca. 40 cm Setzungen, die sich großflächig und gleichmäßig einstellen. Mit kleinräumigen Differenzsetzungen mit unverträglichen Auswirkungen auf die geplante Bebauung ist daher nicht zu rechnen.

## **5.2 Sicherheit gegenüber Bodenverflüssigung**

Die potenzielle Gefahr einer Bodenverflüssigung infolge von Erdbebeneinwirkung ist in lockern Tagebaukippen grundsätzlich nicht auszuschließen. Die Möglichkeit besteht insbesondere bei enggestuften, locker gelagerten Sanden mit Grundwassereinfluss. Der Bereich des geplanten Industrieparks ist langfristig durch die grundwasserabsenkenden Sumpfungsmaßnahmen des Tagebaus



Garzweiler beeinflusst, welche große Teile des Kippenkörpers voraussichtlich noch über mehrere Dekaden trocken halten.

Das potenzielle Risiko einer Bodenverflüssigung ist am Standort Garzweiler als nicht ausgeprägt zu bewerten, da auf der Grundlage der ermittelten Kornverteilungen mehrheitlich schluffige Sandgemische verkippt werden, die aufgrund ihres bindigen Anteils einen Verflüssigungsmechanismus deutlich weniger begünstigen. Aus den ermittelten Kornverteilungen ergibt sich ein mittlerer Feinkornanteil (Kornfraktion  $< 0,06$  mm) von ca. 17 % (vgl. Abschnitt 4.1).

### **5.3 Gründungstiefe / Gründungsboden**

Die im Projektgebiet geplanten gewerblichen Gebäude besitzen in der Regel kein bzw. maximal ein Untergeschoss. Unter dieser Voraussetzung ist davon auszugehen, dass die Gründungssohle in der Rekultivierungsschicht (ohne UG) bzw. im Übergangsbereich zum Kippenboden (mit UG) liegt.

### **5.4 Mögliche Gründungskonzepte**

Grundsätzlich ergeben sich mit zunehmenden Bauwerkslasten und –größen auch eine Zunahme der Einwirktiefe der Last. Aus diesem Grunde kommen für die Bebauung ehemaliger Tagebaue bevorzugt leichte Bauweisen in Betracht.

Bei größeren Bauvorhaben wird durch die Vergleichmäßigung der Belastung in der Gründungsebene z.B. durch konstruktiv bewehrte Bodenplatten zwar insgesamt eine geringere Belastung pro Flächeneinheit erreicht, allerdings steigt in diesem Fall mit der Größe der Lastfläche auch ihre Einwirktiefe und damit das Setzungsmaß wieder an. Bei größeren Bauvorhaben ist daher eine tiefreichende Baugrundverbesserung empfehlenswert, um die Zusammendrückbarkeit der Schichtenfolge insgesamt zu reduzieren.

Tiefgründungen bis auf den gewachsenen Boden scheiden dagegen aufgrund der Mächtigkeit der Kippen von bis zu 110 m aus.



#### 5.4.1 Flachgründung auf einer Polsterschicht

Maßgeblich für die zu wählende Gründung ist neben den aufzunehmenden Lasten die Tragfähigkeit und Mächtigkeit der Rekultivierungsschicht. Die erkundete Rekultivierungsschicht weist in der relevanten Gründungstiefe ( $> 1$  m u. GOK) geringe Tragfähigkeiten auf.

Bei einer Polstergründung wird ein nach geotechnischen Gesichtspunkten bemessener Bodenaustausch unter den Fundamenten oder der Bodenplatte ausgeführt, um zum einen eine bessere Lastverteilung erzielen zu können und zum anderen die zusammendrückbaren Schichten in ihrer Mächtigkeit zu verringern. Somit können die Setzungen des zu gründenden Gebäudes reduziert werden. Für geringe bis mittlere Bauwerkslasten sind in der Regel Polsterschichten mit einer Stärke von  $d \geq 0,80$  m vorzusehen.

Für die Polsterschicht kommen bevorzugt weitgestufte Sand-Kies-Gemische (z.B. Kiessande mit einer Körnung 0/32 ( $U > 7$ ) oder Schotter-Splitt-Sand-Gemische mit einer Körnung 0/45 ( $U > 7$ ) bzw. RCL-Material mit entsprechendem Eignungszeugnis und chemischer Unbedenklichkeit in Frage. Stahlwerksschlacken und MV-Aschen scheiden grundsätzlich aus. Das Kiespolster ist mit einem seitlichen Überstand über die Fundamente von mind. 0,15 m (an der Polsteroberfläche) lagenweise aufzubauen. Das Material ist auf mindestens 98 % der einfachen Proctordichte zu verdichten. In der Polsterschicht ist ein Lastausbreitungswinkel von  $45^\circ$  (bei Polsterstärken  $> 50$  cm auch bis  $60^\circ$ ) zu berücksichtigen, der seitliche Überstand an der Polsterunterkante beträgt daher bezogen auf die Polsteroberkante i.d.R. mind. die Polsterstärke.

Der Aushub ist rückschreitend mit einer zahnlosen Baggerschaufel so vorzunehmen, dass das Baugrubenplanum nicht mehr befahren und in seiner Struktur nicht beeinträchtigt wird. Das Erdplanum ist vor dem Einbau der Polsterschicht intensiv mittels Schafffußwalze statisch nachzuverdichten. Gegebenenfalls ist bei einer weichen Konsistenz des Rekultivierungsbodens grobes, gut verzahnendes Material (Grobschlag, RCL) in die Aufstandsfläche einzuarbeiten. Fertige Planumsflächen sind umgehend mit der Polsterschicht zu ballastieren und vor dem Aufweichen durch Niederschläge zu schützen. In diesem Zusammenhang wird auf die Wasserempfindlichkeit / Witterungsempfindlichkeit der oberflächennahen bindigen Böden besonders hingewiesen.

Die Stärke der Polsterschicht ist im Einzelfall auf der Grundlage projektbezogener Baugrunduntersuchungen und Setzungsberechnungen unter Einbeziehung der geplanten Lasten zu ermitteln. Für



den Fall, dass in ein evtl. weiches Planum Grobschlag eingearbeitet werden muss (s.o.), kann die Polsterschicht um das Maß der Grobschlagschicht (i.d.R. 20 cm) reduziert werden.

Auf der verdichteten Polsterschicht kann für Streifenfundamente eine Sohlpressung von

$$\sigma_{zul} = 180 \text{ kN/m}^2$$

bzw. ein Bemessungswert des Sohlwiderstands gem. DIN 1054 (2010-12)

$$\sigma_{R,d} = 250 \text{ kN/m}^2$$

zugelassen werden.

Zur Vorbemessung einer Bodenplatte auf einer mindestens 0,80 m mächtigen Polsterschicht kann ein Bettungsmodul von

$$k_s = 2,0 \text{ MN/m}^3$$

in Ansatz gebracht werden. Hierbei handelt es sich um einen plausiblen Mindestwert, der nach Vorlage eines Lastenplans und im Kontext einer projektbezogenen Baugrunderkundung ggf. noch angepasst werden kann.

An die Polsterschicht unter der Flachgründung werden die folgenden Verdichtungsanforderungen gestellt:

$D_{Pr}$	$\geq$	98 %
$E_{v2}$	$\geq$	80 MN/m <sup>2</sup>
$E_{v2} / E_{v1}$	$\leq$	2,5

Die Einhaltung der Verdichtungsanforderungen ist im Rahmen der Eigen- und Kontrollprüfungen nachzuweisen.

#### **5.4.2 Flachgründung auf einer Bodenverbesserung**

Als ein weiteres mögliches Gründungskonzept für höhere Bauwerkslasten ist die Durchführung einer Bodenverbesserungsmaßnahme zu nennen. Bei den gegebenen geotechnischen Randbedingungen kommt hier bevorzugt das Rüttelstopfverfahren in Betracht. Bei Ausführung des Rüttelstopfverfahrens erfolgt eine Tiefenverdichtung des Bodens ohne Bodenförderung. Das Verfahren ist



besonders geeignet bei bindigen und gemischtkörnigen Böden geringer Tragfähigkeit. Durch Einbringen eines Tiefenrüttlers erfolgt ein Verdrängen des anstehenden Bodens. In den entstandenen Hohlraum wird durch intermittierendes Ziehen des Rüttlers grobkörniges Material (z.B. Schotter oder Kies-Sand-Gemische) eingefüllt und verdichtet. Es entsteht eine verdichtete, eng mit dem Boden verzahnte Tragsäule im Boden. Es werden Stopfsäulen in einem zuvor festzulegenden Raster mit einem Abstand von ca. 1,8 m hergestellt. Im Zusammenwirken zwischen anstehendem Boden und den Stopfsäulen wird eine deutliche Verbesserung des Last-Setzungsverhaltens erzielt, sodass auch hohe Bauwerklasten verträglich abgetragen werden können. An der Oberkante der Säulen ist eine min. 0,40 m mächtige Ausgleichsschicht lagenweise und verdichtet herzustellen. Auf der Oberfläche der Ausgleichsschicht kann eine Flachgründung mit Streifenfundamenten oder einer Gründungsplatte erfolgen. Für die genaue Festlegung der Ausführungsrandbedingungen des Rüttelstopfverfahrens ist eine projektbezogene Bemessung (z.B. nach dem Verfahren nach Priebe) erforderlich.

Auf der Grundlage von Erfahrungswerten kann für die Vorbemessung einer Gründung auf einer Rüttelstopfverdichtung von einer Sohlpressung von

$$\sigma_{zul} = 250 \text{ kN/m}^2$$

bzw. von einem Bemessungswert des Sohlwiderstands gem. DIN 1054 (2010-12)

$$\sigma_{R,d} = 350 \text{ kN/m}^2$$

ausgegangen werden.

## **6 Hinweise für die Bauausführung**

### **6.1 Baugrubenböschungen, Verbau**

Die oberflächennahen Baugruben zur Herstellung der Fundamente können bis max. 5 m ohne rechnerischen Nachweis der Standsicherheit nach DIN 4124 unter  $\beta = 45^\circ$  abgeböschert werden.

An den Böschungsschultern ist ein den Vorgaben der DIN 4121 entsprechender lastfreier Schutzstreifen vorzusehen. Bei längeren Standzeiten sind die Böschungen mit Baufolien gegen Niederschläge zu schützen.



## 6.2 Baugrubensohle, Wasserhaltung

Baugruben sollten erst unmittelbar vor Baubeginn, möglichst bei trockener Witterung geöffnet werden. Freigelegte Flächen sind vor dem Aufweichen durch Niederschläge zu schützen und nach Möglichkeit direkt durch das Aufbringen der Polsterschicht zu ballastieren.

Es wird darauf hingewiesen, dass die im Baufeld anstehenden Böden überwiegend wasserempfindlich und nur eingeschränkt befahrbar sind.

Anfallendes Tag-, Schichten- und Grundwasser ist im Bauzustand über eine offene Wasserhaltung (Pumpensumpf) zu fassen und abzuleiten. Oberflächenwasserzuflüsse in die offene Baugrube sind zu verhindern.

## 6.3 Abdichtung, Dränung

Nach den vorliegenden Untersuchungen kann aufgrund von anfallendem Schichtenwasser ein Wasserzustrom in die verfüllten Arbeitsräume nicht ausgeschlossen werden. Dies kann zu einem Aufstau des anfallenden Niederschlagswassers führen.

Unter der Voraussetzung der Ausführung einer als Flächenfilter wirkenden Polsterschicht gemäß Abschnitt 5.4.1 sowie für den Fall der Anordnung einer umlaufenden Ringdrainage wird ein Schutz der erdberührten Bauteile gegen „Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser bei Bodenplatten und erdberührten Wänden mit Dränung“ (Wassereinwirkungsklasse W1.2-E) gemäß DIN 18533 als ausreichend bewertet. In diesem Fall ist vorab zu prüfen, ob eine Ringdrainage durchführbar sowie genehmigungsfähig ist. Für Bauwerke ohne Unterkellerung ist der Schutz der erdberührten Bauteile gegen „Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser bei Bodenplatten und erdberührten Wänden“ (Wassereinwirkungsklasse W1-1-E) ausreichend. Voraussetzung hierbei ist die Anordnung einer als Flächenfilter wirkenden Polsterschicht.

Ist eine dauerhaft funktionstüchtige Ringdrainage nicht möglich bzw. nicht genehmigungsfähig, wird je nach Gründungstiefe die Ausbildung der erdberührten Bauteile gegen „mäßige Einwirkung von drückendem Wasser  $\leq 3$  m Eintauchtiefe“ (Wassereinwirkungsklasse W2.1-E) bzw. „hohe Einwirkung von drückendem Wasser  $> 3$  m Eintauchtiefe“ (Wassereinwirkungsklasse W2.2-E) gemäß DIN 18533 empfohlen. In diesem Fall sind die kapillarbrechenden Eigenschaften des Polsters unterhalb der Gründungselemente nicht erforderlich.



## 6.4 Erdarbeiten

Für die Ausführung der Erdarbeiten sind die Vorschriften der ZTVE-StB 17 maßgebend. Der Einbau des Materials und die erzielte Verdichtung sind regelkonform zu überprüfen. Auf die Abhängigkeit der Erdarbeiten von der Witterung wird besonders hingewiesen. Oberflächennahe organische Oberböden der landwirtschaftlichen Vornutzung sind vor dem Aufbringen der Tragschichten vollständig abzutragen.

Der Bodenaushub sollte erst unmittelbar vor Baubeginn möglichst bei trockener Witterung erfolgen. Der Aushub ist rückschreitend mit einer zahnlosen Baggerschaufel insbesondere im Bereich der Rekultivierungsschicht so vorzunehmen, dass das Baugrubenplanum nicht mehr befahren und in seiner Struktur beeinträchtigt wird. Freigelegte Flächen auf bindigen Böden sind umgehend mit einer Polsterschicht zu ballastieren und vor dem Aufweichen durch Niederschläge zu schützen.

Wo das Gelände befahren werden muss (Zufahrten, Materiallagerplatz) müssen Baustraßen angelegt werden. Hierzu ist ggf. nach dem Abschieben des Oberbodens bei Antreffen von weichen, bindigen Böden die untere Lage aus grobem, gut verzahnendem Material (Schotter, RCL o.ä.) aufzubringen und diese statisch einzubauen. Bei entsprechender Eignung des Materials (weitgestufte Sand-Kies-Gemische, Grobschlag, inertes RCL-Material) können die Baustraßen im Anschluss mit in den ungebundenen Aufbau der Straße bzw. der Parkplätze als Frostschuttschicht integriert werden.

Das ggf. aufzunehmende bindige Bodenmaterial ist zur sackungsfreien Verfüllung von Arbeitsräumen ungeeignet und sollte nur zur Profilierung oder Geländegestaltung eingesetzt werden.

Alternativ kann zur Gewährleistung der Befahrbarkeit des Geländes eine Bodenconditionierung mittels Kalk- / Zementzugabe durchgeführt werden. Dabei erfolgt unter Einsatz einer Bodenfräse eine Homogenisierung des Boden-Bindemittel-Gemisches bis in eine Tiefe von ca. 25 – 35 cm. In diesem Zusammenhang sind die Hinweise gemäß der FGSV Merkblätter zur „Herstellung, Wirkungsweise und Anwendung von Mischbindemitteln“ und über „Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln“ zu beachten.



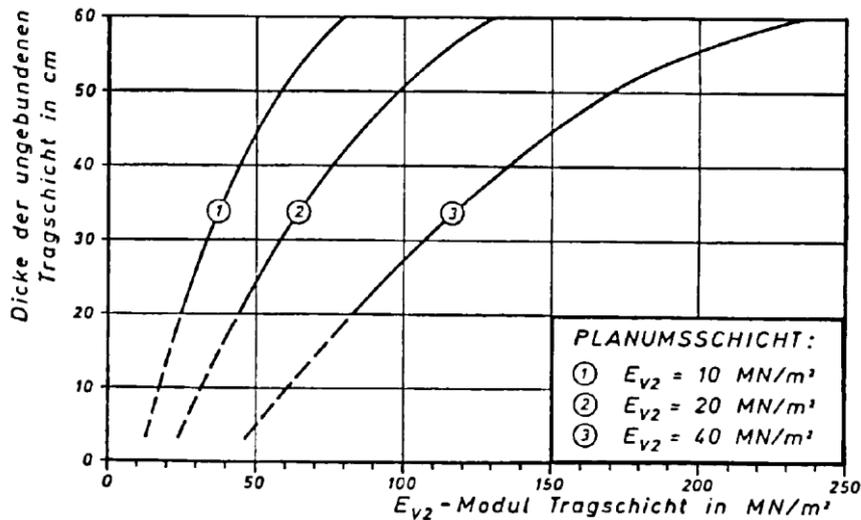
## 6.5 Anlage von Verkehrsflächen

Die im Projektgebiet oberflächennah anstehenden Böden sind überwiegend sowohl wasser- als auch frostempfindlich. Sie sind daher im Bereich der geplanten Verkehrsflächen gegen geeignetes, insbesondere auch frostsicheres Material auszutauschen. Die Stärke der ungebundenen Tragschicht hängt sowohl von der Ausgestaltung der Verkehrsflächen als auch von der Tragfähigkeit der oberflächennah anstehenden Bodenschichten ab. Ein frostsicherer Straßenunterbau erfordert jedoch eine Mindeststärke von 60 cm unter Fahrbahnoberkante. Die Anordnung eines Geotextils der Klasse 2 zwischen dem anstehenden Boden und der Frostschutzschicht wird empfohlen. Bei weicher Konsistenz des Bodens wird empfohlen, eine Packlage aus einem gut verzahnenden, groben Schotter- bzw. RCL-Gemisch (z.B. Körnung 45/X) in den weichen Untergrund einzuwalzen. In dem Fall entfällt das Geotextil.

An dieser Stelle wird nochmal darauf hingewiesen, dass aufgrund der Wasserempfindlichkeit der bindigen Böden die Aushubebene zeitnah mit geeignetem Material abgedeckt bzw. ballastiert wird.

Der Straßenunterbau ist auf 100 % Proctordichte zu verdichten. Als Material geeignet sind z.B. lehmfreier Kies der Gruppen GW – GI nach DIN 18196, Brechsand-Splitt-Gemische oder Brechsand-Splitt-Schotter-Gemische. Alternativ kann auch ein entsprechend abgestuftes Bauschutt-Recycling-Material eingesetzt werden.

Es ist auf den weich bis steifen bzw. locker gelagerten Böden von einem  $E_{v2}$ -Wert  $< 25 \text{ MN/m}^2$  auszugehen. Die Stärke der ungebundenen Tragschicht kann in Abhängigkeit von diesem Wert und nach Erfordernis für den nach RStO geforderten Wert auf der ungebundenen Tragschicht aus dem folgenden Diagramm (Abb. 10) abgegriffen werden. Die genaue Stärke der Tragschicht ist auf der Grundlage von Plattendruckversuchen in einem Probefeld vor Beginn der Arbeiten festzulegen.



**Abb. 6:** Stärke der ungebundenen Tragschicht in Abhängigkeit von der Tragfähigkeit des Erdplanums und des nach RStO erforderlichen Wertes

Nach ZTVE-StB 17 ergeben sich für die verschiedenen Bodenarten und die unterschiedlichen Tiefen unter dem Planum die Anforderungen nach Tabelle 10.

**Tab. 8:** Anforderungen an das 10 %-Mindestquantil<sup>1)</sup> für den Verdichtungsgrad  $D_{Pr}$  bzw. an das 10 %-Höchstquantil<sup>2)</sup> für den Luftporenanteil  $n_a$

	Bereich	Bodengruppen	$D_{Pr}$ in %	$n_a$ in Vol.-%
1	Planum bis 1,0 m Tiefe bei Dämmen und 0,5 m Tiefe bei Einschnitte	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	100	-
2	1,0 m unter Planum bis Dammsohle	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU; ST	98	-
3	Planum bis Damm- sohle und 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GU*, GT*, SU*, ST* U, T, OU <sup>3)</sup> , OT <sup>3)</sup>	97	12 <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Das Mindestquantil ist das kleinste zugelassene Quantil, unter dem nicht mehr als der vorgegebene Anteil von Merkmalswerten (z.B. für den Verdichtungsgrad) der Verteilung zugelassen ist.

<sup>2)</sup> Das Höchstquantil ist das größte zugelassene Quantil, über dem nicht mehr als der vorgegebene Anteil von Merkmalswerten (z.B. für den Luftporenanteil) der Verteilung zugelassen ist.

<sup>3)</sup> Für Böden der Gruppen OU und OT gelten die Anforderungen nur dann, wenn ihre Eignung und Einbaubedingungen gesondert untersucht und im Einvernehmen mit dem Auftraggeber festgelegt wurden.



- <sup>4)</sup> Wenn die Böden nicht verfestigt oder qualifiziert verbessert werden können, empfiehlt sich bei Einbau von wasserempfindlichen gemischt- und feinkörnigen Böden eine Anforderung an das 10 %-Höchstquantil für den Luftporenanteil von 8 Vol.-%. Dies ist in der Leistungsbeschreibung anzugeben.

## 7 Allgemeine Hinweise

Die Beschreibung der Baugrundverhältnisse beruht auf punktuellen Aufschlüssen, zwischen denen linear interpoliert wurde. Abweichungen zwischen Aufschlüssen sind möglich. Die vorliegende orientierende Baugrundbeurteilung und Gründungsempfehlung basiert auf einer entsprechend der Aufgabenstellung ausgelegten Baugrunderkundung. Im Zuge der konkreten Planung von Bauvorhaben sind ergänzend projektbezogene Baugrunderkundungen durchzuführen und Gründungsempfehlungen zu erarbeiten. Die Hinweise für die Bauausführung in Abs. 6 sind zu beachten.

Eine weitere fachtechnische Begleitung der Maßnahme durch den geotechnischen Gutachter wird empfohlen.

Dr.-Ing. M. Nendza