



## BAUGRUNDGUTACHTEN (GEOTECHNISCHER BERICHT)

Bauvorhaben : **Neubau eines Zentraldepots**  
**Leo-Herwegen-Straße**  
**Flurstück 3/2432 Ammendorf**  
**06132 Halle (Saale)**

Geschäftszeichen: 62-041001-16-22  
Auftrags-Nr. : B23-073  
Projekt-Nr. : 3072

Auftraggeber : Kulturstiftung Sachsen-Anhalt  
Leitzkau | Am Schloss 4  
39279 Gommern



Geschäftsführer  
Dipl.-Geol. Wedekind, U.



Bearbeiter  
Dipl.-Geol. Bsteh, R.  
Sachverständiger für Geotechnik nach EASV

Erfurt, den 23. August 2023

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ALLGEMEINES</b> .....	<b>4</b>
1.1	VORGANG .....	4
1.2	STANDORT & BAUBESCHREIBUNG .....	5
1.3	KAMPFMITTELBELASTUNG .....	6
1.4	ALTLASTENVERDACHT .....	8
<b>2</b>	<b>FESTSTELLUNG</b> .....	<b>9</b>
2.1	ALLGEMEINES .....	9
2.2	GEOLOGISCHE SITUATION .....	10
2.3	BAUGRUNDVERHÄLTNISSE .....	13
2.4	HYDROLOGISCHE VERHÄLTNISSE .....	19
2.5	VORHANDENE GRÜNDUNG .....	20
<b>3</b>	<b>GRÜNDUNGSTECHNISCHE SCHLUSSFOLGERUNGEN</b> .....	<b>20</b>
3.1	BAUGRUNDEIGNUNG .....	20
3.2	EMPFEHLUNGEN ZUR GRÜNDUNG .....	21
<b>4</b>	<b>TECHNISCHE HINWEISE ZUR BAUAUSFÜHRUNG</b> .....	<b>24</b>
4.1	BODENKLASSIFIZIERUNG NACH VOB/C 2012 .....	24
4.2	BODENKLASSIFIZIERUNG NACH VOB/C 2019 (HOMOGENBEREICHE) .....	24
4.3	VERWENDBARKEIT DES AUSHUBS .....	25
4.4	BÖSCHUNGEN, VERBAU UND ARBEITSRAUMBREITEN .....	26
4.5	VERKEHRSLÄCHEN .....	27
4.6	WASSERHALTUNGSMABNAHMEN .....	28
4.7	BAUWERKSABDICHTUNG .....	29
4.8	WEITERE HINWEISE .....	30
<b>5</b>	<b>CONSULTING UND QUALITÄTSMANAGEMENT</b> .....	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>BERECHNUNGSKENNWERTE</b> .....	<b>34</b>
<b>7</b>	<b>BERECHNUNG</b> .....	<b>35</b>
<b>8</b>	<b>SCHLUSSBEMERKUNGEN</b> .....	<b>38</b>

## **Anlagenverzeichnis**

- A 1    Aufschlussplan
- A 2    Aufschlussprofile
- A 3    Profile der Rammsondierungen
- A 4    Ergebnis Erdstoffprüfung
- A 5    Einteilung der Erdstoffe in Homogenbereiche
- A 6    Fotodokumentation (digital)
- A 7    Radiologische Vorerkundung

## 1 Allgemeines

### 1.1 Vorgang

Im April 2023 wurde dem INGENIEURBÜRO FÜR BAUGRUND JACOBI der Auftrag für Baugrunduntersuchungen in Halle, Leo-Herwegen-Straße, erteilt. Dabei sollte ein Gutachten erstellt werden.

Grundlage des Auftrags war das Angebot K23-089 bzw. die Ausschreibung 62-04001-16-22 vom 18.02.2023 mit dem darin enthaltenen Leistungsumfang.

Für bodenmechanische Laborversuche sowie chemische Analysen, wurde der Nachtrag K23-089-2 am 02.06.2023 eingereicht.

Neben den einschlägigen Vorschriften und Richtlinien standen für die Ausarbeitung des Gutachtens folgende Unterlagen zur Verfügung:

- U 1 Auftrag vom April 2023
- U 2 Lageplan mit Ausschlusspunktangaben Stand 18.02.2023
- U 3 8 Schichtenverzeichnisse der am 25/26.05.2023 abgeteuften Rammkernsondierungen
- U 4 4 Sondierverzeichnisse der am 25/26.05.2023 abgeteuften schweren Rammsondierungen
- U 5 Geologische Karte (GK25), Maßstab 1:25.000
- U 6 Ingenieurgeologische Karte der Auslaugungserscheinungen, Maßstab 1:100.000
- U 7 Hydrologische Karte Deutschlands, Maßstab 1:200.000 (HÜK 200)
- U 8 Hintergrundwerte im Grundwasser von Deutschland (HGW) (BGR, 2014-2023)
- U 9 Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (2023): Liegenschaftskataster, Orthofoto, DGM, Schutzgebiete, Hochwassergebiete, URL: [https://www.geodatenportal.sachsen-anhalt.de/mapapps/resources/apps/viewer\\_v40/index.html?lang=de](https://www.geodatenportal.sachsen-anhalt.de/mapapps/resources/apps/viewer_v40/index.html?lang=de)
- U 10 Landesamt für Landesvermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt (2023): Geologie, Bohrdokumentation, URL: <https://webs.idu.de/lagb/lagb-default.asp?thm=bdb&tk=4537>
- U 11 Bundesamtes für Strahlenschutz Karte "Radon-Konzentration im Boden" des Bundesamtes für Strahlenschutz, URL: <https://www.imis.bfs.de/geoportal/>
- U 12 Stadt Halle, Fachbereich Umwelt, Untere Bodenschutzbehörde/Altbergbau Az. 67.1.1.08 (17.05.2023): Auskunft zum Altlastverdacht: Grundstück „Leo-Herwegen-Str.“ in der Stadt Halle (Saale), Gemarkung Ammendorf, Flur 3, Flurstück 2432
- U 13 Polizeiinspektion Halle (Saale) (27.04.2023): Anfrage wegen Kampfmittelbelastung bezüglich der Maßnahme – Baugrunduntersuchung für den Neubau einen Zentraldepots



---

in Halle (Saale), Leo-Herwegen-Straße, Gemarkung Ammendorf, Flur 3, Flurstück 2432 (TF)

Der Plan [U2] war Grundlage unseres Kostenangebotes und der Festlegung der Bohr- und Sondierpunkte.

## 1.2 Standort & Baubeschreibung

In Halle ist der Neubau eines Zentraldepots geplant. Der Standort befindet sich im Süden der Stadt im Ortsteil Ammendorf, in einem ehemaligen Industriegebiet. Auf dem Gelände befand sich ehemals ein Werk für den Waggonbau genutzt.

Das Gelände ist zum größten Teil nach 1990 mit Beton versiegelt worden. Des Weiteren sind Betonstraßen, Bodenplatten und Fundamente, Gleisanlagen sowie weitere versiegelte Flächen aus Pflaster, teils mit Zementbettung sowie Schotterflächen vorhanden. Im Norden des untersuchten Areals befindet sich eine mit Büschen und Bäumen überwucherte, nicht versiegelte Fläche.

Mündlich wurde durch den Bauherrenvertreter mitgeteilt, dass es noch keine Entwurfspläne für den Neubau gibt. Jedoch kann von mehrgeschossigem Depotgebäude mit oder ohne Keller ausgegangen werden. Des Weiteren sollen umfangreiche Grün- und Außenflächen gestaltet werden

Das Bauvorhaben wird, aufgrund der ungünstigen Baugrundverhältnisse, der Geotechnischen Kategorie 2 (GK2, mittlerer Schwierigkeitsgrad) zugeordnet. In Abhängigkeit der Bauweise ist eine Abstufung auf die Kategorie 1 (GK 1, geringer Schwierigkeitsgrad) möglich. Dies ist im Zuge weiterer Planung zu prüfen.



Abbildung 1: Lageübersicht des Untersuchungsgebietes (eingenordet, ohne Maßstab; © LVerGeo).

### 1.3 Kampfmittelbelastung

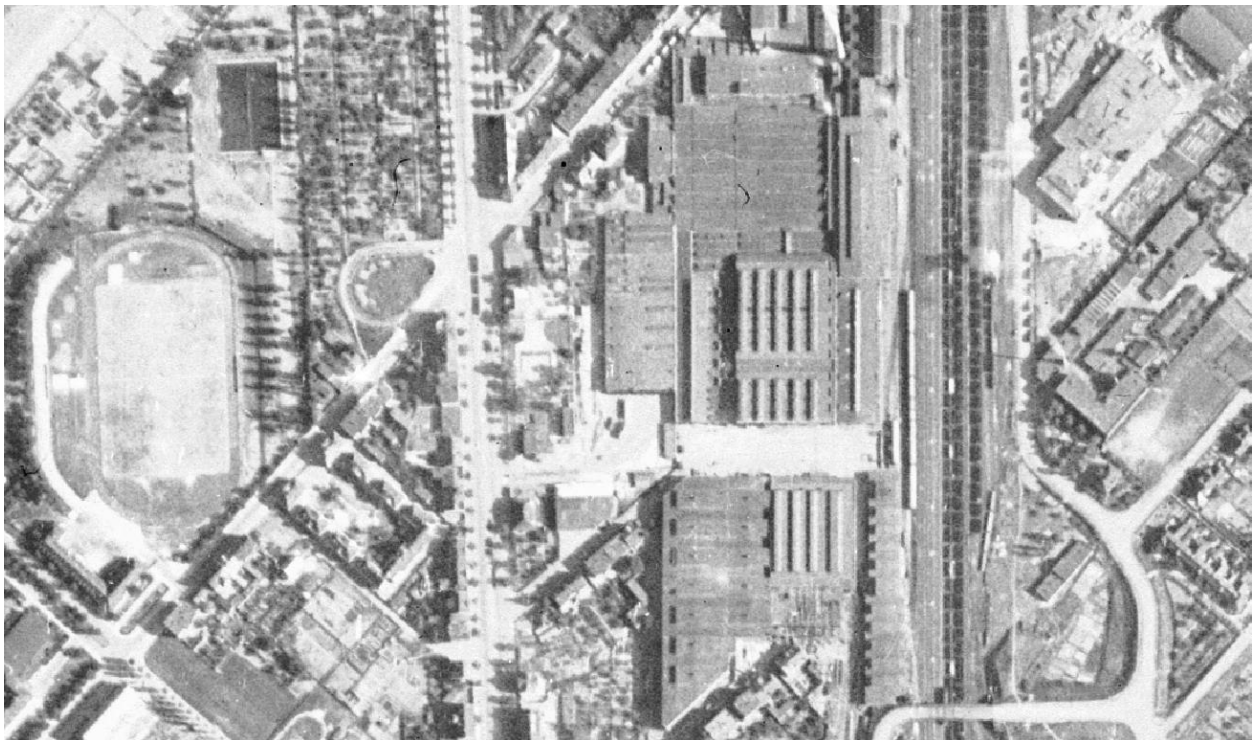
Die Polizeiinspektion Halle teilt mit, ... dass sich Ihr Vorhaben in einem, als kampfmittelbelastet gekennzeichneten Bereichen befindet. Es ergeht folgende Verfügung:

1. Sollten die Arbeiten der geplanten Maßnahmen in Tiefenlagen von bereits bestehenden Trassen bzw. innerhalb vorhandener Straße, Wege und Plätze ausgeführt werden, die nachweislich nach 1945 entstanden bzw. grundhaft ausgebaut und saniert worden sind, kann auf eine Überprüfung auf Kampfmittel abgesehen werden.
2. Sind die bestehenden Trassen, vorhandenen Straßen, Wege und Plätze vor 1945 entstanden, sind Sie verpflichtet, vor der Durchführung von Tiefbauarbeiten und sonstigen erdengreifenden Maßnahmen die Fläche durch ein geeignetes Privatunternehmen überprüfen zu lassen.

*3. Sollte sich bei dieser Überprüfung erweisen, dass der Boden tatsächlich mit Kampfmitteln belastet ist, sind diese vor Beginn der Bauarbeiten durch den Kampfmittelbeseitigungsdienst des Landes Sachsen-Anhalt oder ein geeignetes Privatunternehmen beseitigen zu lassen*

Die Luftbildaufnahme von 1953 zeigt die unbeschädigten Werkhallen des VEB Waggonbau Ammendorf. Die Satellitenaufnahme von April 2006 zeigt den beginnenden Rückbau der Werkhallen.

Da sich die Aufschlusspunkte innerhalb der Werkhallen befindet, wird für die Baugrunderkundung davon ausgegangen, dass das Gelände nicht vom Bombenabwurf betroffen oder nach 1945 beräumt wurde. Die Erkundungsmaßnahmen werden dem Verfügungspunkt 1 zugeordnet.



**Abbildung 2: Luftbild 1953 mit unbeschädigten Werkhallen (eingeordnet, ohne Maßstab; © LVermGeo).**





Abbildung 3: Satellitenaufnahme 04/2006 mit Aufschlusspunkten und Rückbau Werkhallen (eingeordnet, ohne Maßstab; © AeroWest).

#### 1.4 Altlastenverdacht

Nach Aussage der Unteren Bodenschutzbehörde [U 12] ist das Grundstück in der "Datei schädlicher Bodenveränderungen und Altlasten" auf Grund langjähriger gewerblicher- bzw. industrieller Nutzung (ehemals Waggonbau Ammendorf) erfasst.

Das Grundwasser im Industriegebiet Halle-Ammendorf ist großräumig mit leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffen (LHKW) verunreinigt.

## 2 Feststellung

### 2.1 Allgemeines

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse wurden am 25/26.05.2023 auftragsgemäß 8 Rammkernsondierungen (RKS) für den Neubau durchgeführt. Dabei wurden die RKS im Kleinrammbohrverfahren mit einem Durchmesser von  $d = 80$  bis  $36$  mm nach DIN EN ISO 22475-1 bis in Tiefen von  $3,0$  bis  $5,6$  m unter Oberkante (OK) vorhandenes Gelände abgeteuft. Die Baggerschürfe wurden bis in eine Tiefe von  $3,2$  m geführt. Die aufgeschlossenen Bodenschichten wurden in Anlehnung an die DIN EN ISO 14688-1 ingenieurgeologisch angesprochen. Es sind gestörte Bodenproben entnommen worden.

Die abgeteuften schweren Rammsondierungen (DPH) erreichte eine Tiefe von  $2,1$  bis  $4,1$  m u. Geländeoberkante (GOK).

Die Aufschlusstiefe der Rammkernsondierungen wurde durch die Dichte/Festigkeit des Untergrundes begrenzt. Die Geräteauslastung wurde erreicht.

Die Lage der Aufschlusspunkte wurde zusammen mit dem Bauherren vor Ort an die Örtlichkeiten angepasst. Der Aufbruch der versiegelten Fläche wurde teils abweichend vom Leistungsverzeichnis, aufgestemmt. Aufgrund von lockeren Schotterlagen zwischen den einzelnen Betonlagen verkeilte sich das Kernbohrgerät mehrfach. Die Bohrung RKS 8 wurde aufgrund von Beton/Bohrhindernissen im Bereich der „Grünfläche“ mehrfach angesetzt. An einigen Ansatzpunkten wurden Grünflächen gerodet, um eine Zuwegung zu schaffen.

Die Ansatzpunkte der Sondierungen sind im Aufschlussplan Anlage A 1 dargestellt.

Als lokaler Höhenbezugspunkt gilt die Oberkante (OK) Kanaldeckel (80024810) mit  $+95,44$  m Höhe.

Der maximale Höhenunterschied zwischen den Bohrpunkten beträgt somit  $0,32$  m.

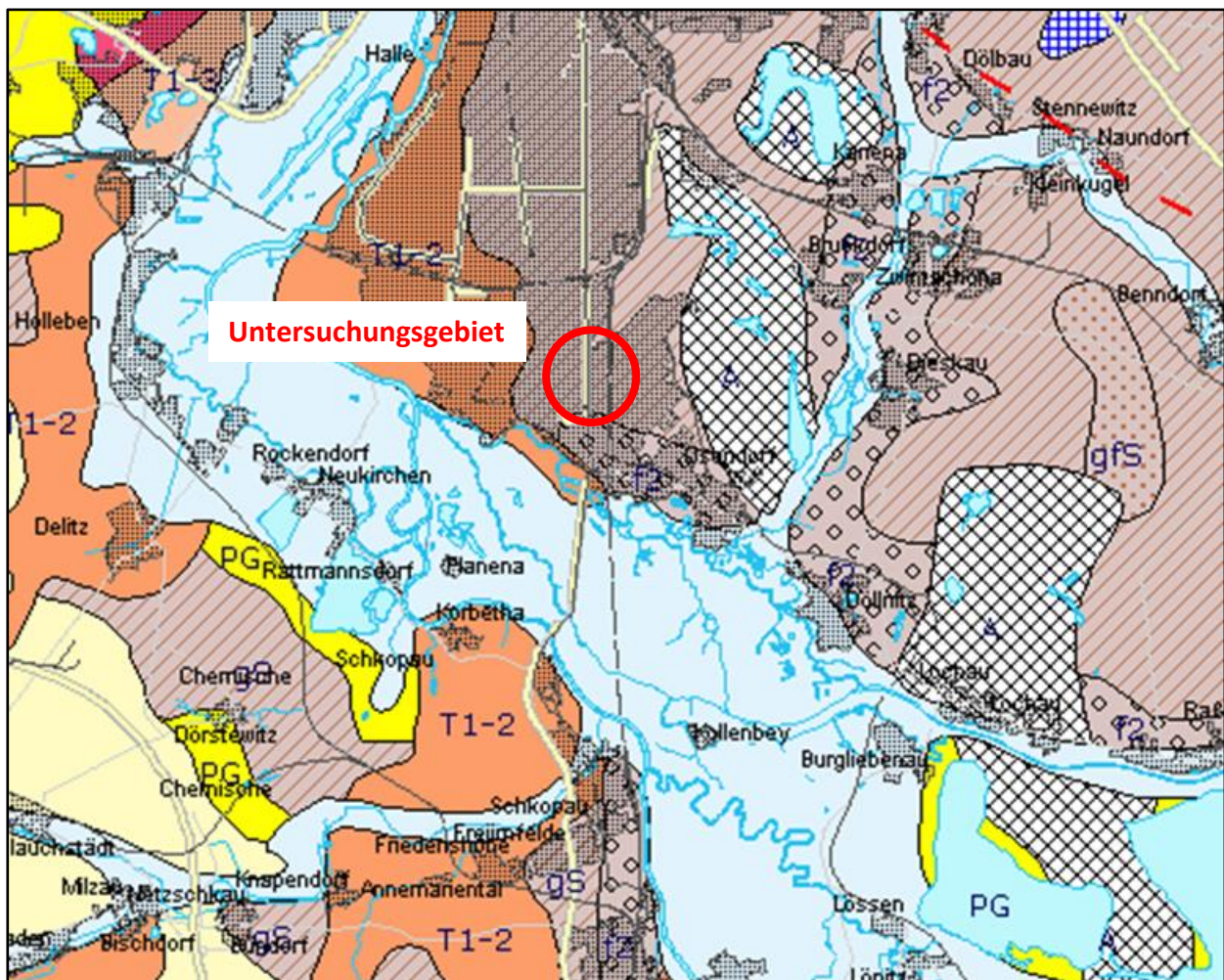
Die Höhenkoten dienen ausschließlich dem höhenmäßigen Vergleich der Aufschlüsse untereinander und sind nicht im Sinne einer Ingenieurvermessung, z.B. für Planungszwecke, zu verwenden.







































## 2.2 Geologische Situation

Der Standort befindet sich im Bereich tertiärer Festgesteine. Diese sind durch den Buntsandstein mit einer Wechsellagerung von Ton-, Schluff- und Sandsteinen geprägt.

Im Untersuchungsgebiet wird das Festgestein von Grundmoränen Ablagerungen (gQS) aus Geschiebelehmen und Sanden sowie Sanden und Kiesen der Mittelterrassen (f2QiH-S) überlagert. Diese sind überwiegend weichselzeitlichen, quartären Alters. Auf den Sedimenten lagern überwiegend Braunerden, teils aus Auesedimenten und Lösslehm gebildet auf.



Geologie					
	Künstliche Aufschüttung AQh		Endmoränen geQS		Keuper, ungegliedert
	Moorerde, Moor, Torf oQh		Grundmoränen gQS		Oberer Keuper ( Rhät )
	Flußablagerungen, Auen f4Qh		Glazilimnische Bildungen glQS		Mittlerer Keuper
	Dünen, Flugsand eQp-h		Mittelterrassen f2QiH-S		Unterer Keuper
	Löß, Lößlehm, Flotssand, elQW		Limnische Bildungen lQiH/ z.T. Kieselgur		Muschelkalk, ungegliedert
	Niederterrassen, Talsand f3QW		Glazifluviatile Bildungen gfQE		Mittlerer und Oberer Muschelkalk
	Glazifluviatile Bildungen gfQW		Endmoränen geQE		Unterer Muschelkalk
	Endmoränen geQW		Grundmoränen gQE		Buntsandstein, ungegliedert
	Grundmoränen gQW		Glazilimnische Bildungen glQE		Oberer Buntsandstein ( Röt )
	Limnische Bildungen lQiE		Ober-, Präglazialterrassen f1Q		Mittlerer Buntsandstein
	Oser gfoQs, Kames gfkQS z.T. Weichsel		Neogen ( Miozän )		Unterer Buntsandstein
	Glazifluviatile Bildungen gfQS		Paläogen ( Paläozän bis Oligozän )		
			Maastricht		

**Abbildung 4: Übersicht Geologie (eingenordet, ohne Maßstab; © LVerGeo).**

### Erdfall-/Senkungsgefährdung

Auslaugungsgefährdete Bestandteile sind nicht vertreten. Die Gefahr von Untergrundschwächen besteht nicht.

### Erdbebeneinwirkung

Das Baugelände befindet sich nach der DIN EN 1998-1/NA:2011-01 Bild NA.1 in keiner Erdbebenzone.

### Radon-Konzentration im Boden

Das Baugelände befindet sich, nach der Karte "Radon-222 Konzentration in Bodenluft (90. Perzentil Prognose)" des Bundesamtes für Strahlenschutz, im Gebiet mit einer Konzentration von geschätzten 60.000 bis 850.000 Bq/m<sup>3</sup>.

Das Radonpotential liegt, entsprechend dem Bundesamt für Strahlenschutz, bei 17,9.

Die o.g. Werte geben eine Orientierung darüber, wie Radon in der Bodenluft einen Meter unter der Erdoberfläche regional verteilt ist. Aussagen zu Einzelgebäuden können ausschließlich nur durch individuelle Messungen getroffen werden. Die Auswertung der beauftragten Radonmessung ist in Anlage A 8 beigefügt.

Entsprechende Maßnahmen zum Umgang mit Radon in Bezug auf die Bauwerksabdichtung können dem Radon-Handbuch Deutschland (Hrsg. Bundesamt für Strahlenschutz) sowie der DIN TS 18117-1:2021-09 entnommen werden.

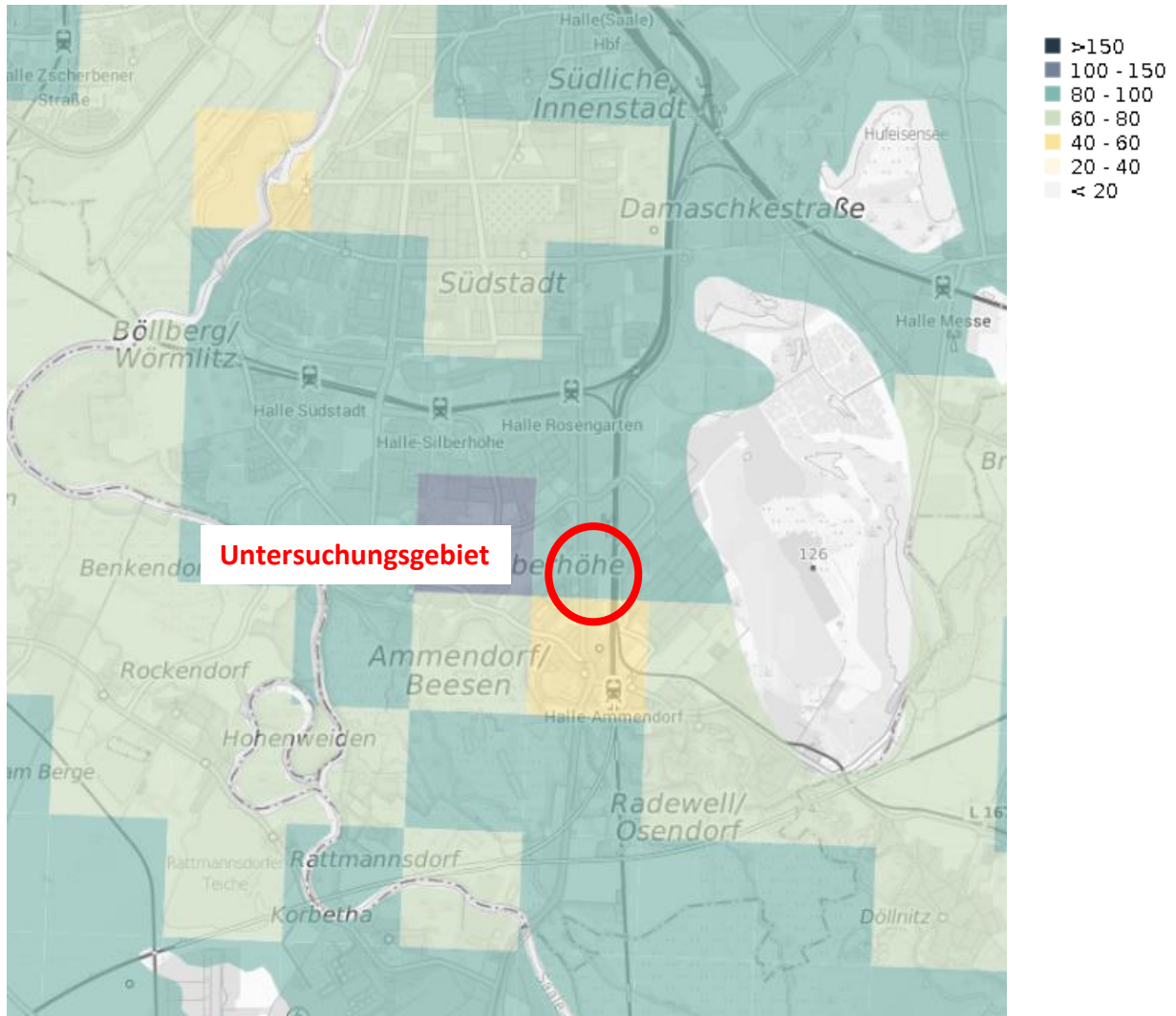


Abbildung 5: Karte "Radon-222-Konzentration in Bodenluft (90. Perzentil, Prognose)" des Bundesamtes für Strahlenschutz in kBq/m<sup>3</sup> (eingeordnet, ohne Maßstab, ©BfS-Kartendienst).



### 2.3 Baugrundverhältnisse

Der Baugrund lässt sich im Aufschlussbereich zusammenfassend als ein 5-Schichtsystem beschreiben.

**Tabelle 1: Übersicht der Schichten.**

Schicht	Bodenart	Schichtuntergrenze [m u. GOK]	Aufschluss
1	Oberboden	0,05 bis 0,4	RKS 5/23, RKS 7/23, RKS 8/23
2	Schottertragschicht	0,4 bis 1,0	SCH 2/23 RKS 1/23 bis RKS 8/23
3	Auffüllung	0,7 bis 1,3	SCH 1/23, SCH 2/23 RKS 1/23, RKS 5/23, RKS 6/23
4	Auelehm	1,5 bis 2,0	SCH 2/23 RKS 1/23, bis RKS 8/23
5	Mittelterrasse	≥ 3,2 bis ≥ 5,2	SCH 1/23, SCH 2/23 RKS 1/23 bis RKS 8/23

Bedingt durch das Aufschlussverfahren können die tatsächlichen Tiefen von den gemessenen Tiefen abweichen. Naturbedingt kann der Schichtverlauf im Untergrund Schwankungen unterworfen sein. Grundsätzlich gilt nach DIN 4020:2010-12 Abschn. 2.1.1: „Aufschlüsse in Boden und Fels sind als Stichproben zu bewerten. Sie lassen für zwischenliegende Bereiche nur Wahrscheinlichkeitsaussagen zu [...].“

Detaillierte Angaben zur Bodenhauptart, Baugrundsichtung, Beimengungen, Beschaffenheit und Farbe können den Bohrprofilen in Anlage A 2 entnommen werden.

Für die Einteilung und Bewertung der Erdstoffe wurden Korngrößenverteilungen nach DIN 18123 sowie die Zustandsgrenzen nach DIN 18122 herangezogen. Die genauen Ergebnisse sind der Anlage A 3 zu entnehmen.

Eine chemische Beurteilung der Erdstoffe der Schichten 1 und 2 erfolgt in dem Bericht zur Abfallcharakterisierung S23-105.

## Verkehrsflächen-Oberbau

Die versiegelten Flächen sind in mehrere Bereiche zu gliedern. Der südliche Bereich, der ehemaligen Montagehalle mit Kranbahnen, wurde nach 2005 großflächig versiegelt. Die Betonstärke beträgt (RKS 4, 6) 20 bis 23 cm. Es wurde eine Bewehrung aus 7 bis 14 mm starkem Stahlgeflecht und einer Maschenbreite von ca. 10x10 cm angetroffen. Unterhalb folgt eine Schottertragschicht.

Im nördlichen und östlichen Teil befanden sich Produktionsgebäude, welche mit und ohne Fußboden zurückgebaut wurden. Insbesondere sind im Osten (RKS 1, 3 und SCH 1) Bodenplatten mit Fußbodenaufbau verblieben. Die Stärke des Betons(-estrich) beträgt ca. 10 bis 25 cm. Im Bereich RKS 2 wurde unterhalb der Betonschicht eine Schotterlage angetroffen, welche eine weitere Betonschicht mit einer Stärke von rd. 8 cm überdeckte. Des Weiteren sind Pflasterungen aus Schlackesteinen (ca. 15 bis 20 cm Stärke) sowie Betonplatten verschiedener Größen mit einer Stärke von 3 bis 5 cm, teils im Betonbett, vorhanden.

### Schicht 1: Oberboden/Bewuchs

Als Geländedeckschicht steht oberhalb der Auffüllungen, Schotterflächen sowie teils der Verkehrsflächen Oberboden an. Dieser hat sich nach dem Rückbau des Areals aus Bewuchs (bis 5 cm) gebildet. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass es lokal zu Anschüttungen von Oberboden im Zuge des Rückbaus kam.

**Tabelle 2: Geotechnische Klassifizierung der Schicht 1: Oberboden.**

Parameter	Klassifizierung
Bodenart	<b>Oberboden</b> (anthropogen beeinflusst) Sand, schwach schluffig, sehr schwach kiesig, org. Beimengungen Sand und Kies, schwach organische Beimengungen
Bodengruppen (DIN 18196)	[OH]
Färbung	braun
Lagerungsdichte (anhand Bohrfortschritt)	locker
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit	groß
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTV E-StB 17)	F 3
Verdichtbarkeitsklasse (ZTV A-StB 12)	-
Bodengruppen (ATV-DVWK-A 127)	-
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f^A$	$\leq 10^{-5}$ m/s

<sup>A</sup> Kann in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, Kornverzahnung und dem Feinkornanteil weiter variieren.

## Schicht 2:    Schottertragschicht

Die aufgefüllte **Tragschicht** unterhalb der Betondecke besteht aus einem Erdstoffgemisch, welches überwiegend mit sandig, kiesigen Materialien durchsetzt ist. Die Kornzusammensetzung ist über die Baufeldfläche Schwankungen unterworfen.

Die Schichtstärke schwankt zwischen 30 und 55 cm.

Angaben über die Qualifizierung der Materialien nach ZTV E-StB 17 oder ZTV SoB-StB 20 können aufgrund der Erkundung mittels RKS nicht getätigt werden.

**Tabelle 3: Geotechnische Klassifizierung der Schicht 2: Schottertragschicht.**

Parameter	Klassifizierung
Bodenart	<b>Schottertragschicht</b> (teils unqualifiziert) Kies, sandig, teils schwach steinig Fremdbestandteile, lokal Beton- und Ziegelbruch ≤ 5-15%
Bodengruppen (DIN 18 196)	[GW]
Färbung	grau, weiß, gelb
Lagerungsdichte (anhand Bohrfortschritt)	locker bis mitteldicht
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit	gering
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTV E-StB 17)	F 1
Verdichtbarkeitsklasse (ZTV A-StB 12)	V 1
Bodengruppen (ATV-DVWK-A 127)	G 1
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f^A$	$5 \cdot 10^{-5}$ m/s bis $10^{-2}$ m/s

<sup>A</sup> kann in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, Kornverzahnung und dem Feinkornanteil weiter variieren

## Schicht 3:    Auffüllung

Unterhalb der Deckschichten stehen lokal Auffüllungen mit Mächtigkeiten von 0,2 bis 1,0 m an. Im Bereich von Leitungen und Fundamenten kann die Tiefe sowie Stärke abweichen und größer bzw. tiefer ausfallen.

Bei dem Auffüllungsmaterial handelt es sich überwiegend um umgelagerten natürlichen Boden der Schicht 4 (Auelehm). Als Fremdstoffe wurden Reste von Ziegeln, Tonrohren, Beton, Glas und Kabeln angetroffen. Der Fremdstoffanteil schwankt teils lokal stark von ≤ 5 % bis ≥ 50 %. Beim Aushub des Schurfes 1 sowie bei RKS 3 und RKS 5 wurde ein auffälliger, teils beißender Petroleumgeruch festgestellt. Diese Schichten wurden separat chemisch untersucht (siehe S23-105)

Fundamente, Kanäle und Leitungen sind überwiegend im Untergrund verblieben. Dies sollte bei der Ausschreibung wie auch Bauausführung berücksichtigt werden.

Örtlich sind durchaus tiefer aufgefüllte Bereiche und kleine Hohlräume innerhalb der Auffüllung möglich. Im Bereich von Leitungen oder Kanälen sind tiefer aufgefüllte Bereiche zu erwarten.

Die Lagerungsdichte liegt mit geringen Schwankungen vorwiegend im lockeren Bereich. Die bindigen Erdstoffe lagen in einem steifen Zustand vor.

Infolge der schwankenden Zusammensetzung ist das Tragfähigkeits- und Formänderungsverhalten nicht genau definierbar. Daher sind die im Abschnitt 6 der Auffüllung zugeordneten bodenmechanischen Kennwerte als Durchschnittswerte zu betrachten. Für bautechnische Zwecke ist die Auffüllung als Gründungsschicht aufgrund ihrer inhomogenen Struktur und unterschiedlichen bzw. geringen Lagerungsdichten nicht geeignet. Bei einer Belastung der Auffüllung treten differierende, teilweise starke Verformungen auf.

**Tabelle 4: Geotechnische Klassifizierung der Schicht 3: Auffüllung.**

Parameter	Klassifizierung
Bodenart	<b>Auffüllung</b> Schluff, stark sandig, sehr schwach kiesig, sehr schwach org. Beimengungen Sand, schluffig bis stark schluffig, sehr schwach kiesig, sehr schwach org. Beimengungen Kies und Sand, schluffig Fremdbestandteile: Ziegel, Kohle, Glas, Tonrohr, Beton
Bodengruppen (DIN 18196)	[TL, SU*, GU*]
Färbung	rot, braun, grau
Plastizität	leichtplastisch (TL)
Lagerungsdichte (anhand Bohrfortschritt)	locker bis mitteldicht
Konsistenz	steif (TL)
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit	gering bis groß
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTV E-StB 17)	F 3
Verdichtbarkeitsklasse (ZTV A-StB 12)	V 2 bis V 3
Bodengruppen (ATV-DVWK-A 127)	G 3 bis G 4
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f^A$	$5 \cdot 10^{-7}$ m/s bis $10^{-2}$ m/s

<sup>A</sup> Kann in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, Kornverzahnung und dem Feinkornanteil weiter variieren.

#### Schicht 4:    Auelehm

Unterhalb der Auffüllungen sowie Deckschichten setzt der natürliche Boden in Form von sandigen, schluffigen Aueablagerungen ein. Bedingt durch die Vornutzung des Geländes kann diese Schicht anthropogen umgelagert sein. Beim Aushub des Schurfes 1 sowie bei RKS 3 und RKS 5 wurde ein auffälliger, teils beißender Petroleumgeruch festgestellt.

Der Auelehm reicht bis in Tiefen zwischen 1,5 und 2,0 m.

Mit der schweren Rammsondierung (Anlage A 3) wurden Schlagzahlen  $N_{10}$  von 0 bis 9 ermittelt. Im Mittel sind die Schlagzahlen  $\leq 5$ . Dies entspricht einer sehr lockeren bis lockeren Lagerung.

Der erkundete Lehm ist aufgrund der Korngrößenzusammensetzung als sehr bewegungs- und wasserempfindlich einzustufen. Insbesondere bei Wasserzutritt unter dynamischer Beanspruchung (Befahren, Rammen, Verdichten) kann dieser seinen Zustand ungünstig verändern und zum Fließen sowie Walken neigen.

**Tabelle 5: Geotechnische Klassifizierung der Schicht 4: Auelehm.**

Parameter	Klassifizierung
Bodenart	<b>Auelehm</b> Sand, schluffig bis stark schluffig, sehr schwach kiesig Sand und Schluff, sehr schwach kiesig
Bodengruppen (DIN 18196)	SU*, SU*-TL
Färbung	braun
Plastizität	leichtplastisch (TL)
Lagerungsdichte (anhand Bohrfortschritt und DPH)	sehr locker bis locker (SU*)
Konsistenz	steif bis halbfest (TL)
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit	groß
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTV E-StB 17)	F 3
Verdichtbarkeitsklasse (ZTV A-StB 12)	V 2 bis V 3
Bodengruppen (ATV-DVWK-A 127)	G 3 bis G 4
Durchlässigkeitsbeiwert $k_r^A$	$10^{-7}$ m/s bis $10^{-4}$ m/s

<sup>A</sup> Kann in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, Kornverzahnung und dem Feinkornanteil weiter variieren.

## Schicht 5:     **Mittelterrasse**

An die Auelehme schließen die Schotter der Mittelterrasse an. Im Übergang zur überlagernden Aue, wurde lokal eine bis zu 0,3 m starke Sandlagen angetroffen. Die Mittelterrasse wurde nicht durchstoßen.

Mit der schweren Rammsondierung (Anlage A 3) wurden überwiegend Schlagzahlen  $N_{10}$  von  $\geq 20$  bis  $\geq 50$  ermittelt. Dies entspricht überwiegend einer dichten bis sehr dichten Lagerung. Lokal sind sandigere Lagen mit Schlagzahlen  $N_{10}$  von 7 bis 15 und einer mitteldichten Lagerung angetroffen worden (DPH 2, 2,6 bis 2,9 m u. GOK).

**Tabelle 6: Geotechnische Klassifizierung der Schicht 5: Mittelterrasse.**

Parameter	Klassifizierung
Bodenart	<b>Mittelterrasse</b> Kies, sandig Sand, schwach schluffig bis schluffig, schwach kiesig Sand, teils kiesig
Bodengruppen (DIN 18196)	SU*, SU, SE, SW, GW
Färbung	ocker, gelbbraun, gelb, grau, weiß
Lagerungsdichte (anhand Bohrfortschritt und DPH)	locker bis mitteldicht (Sande) mitteldicht bis sehr dicht (SW, GW)
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit	sehr gering bis groß
Frostempfindlichkeitsklasse (ZTV E-StB 17)	F 1 (SE, SW, GW) bis F 3 (SU*)
Verdichtbarkeitsklasse (ZTV A-StB 12)	V 1 (SE, SW, GW) V 2 (SU, SU*)
Bodengruppen (ATV-DVWK-A 127)	G 1 (SE, SW, GW) bis G 3 (SU*)
Durchlässigkeitsbeiwert $k_f$ <sup>A</sup>	$10^{-7}$ m/s bis $10^{-2}$ m/s

<sup>A</sup> Kann in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, Kornverzahnung und dem Feinkornanteil weiter variieren.

## 2.4 Hydrologische Verhältnisse

### 2.4.1 Hydrogeologie

Wasser wurde bei keinem der durchgeführten Aufschlüsse angeschnitten.

Mit dem Anschnitt von Grundwasser ist im baulich relevanten Bereich nicht zu rechnen.

Die Hydrogeologische Karte weist als oberes Grundwasserstockwerk die quartären Lockergesteine aus. Aus Umliegenden Bohrungen ist ein Grundwasserflurabstand von 3,9 bis 4,3 m bekannt. Die entspricht Höhen zwischen 90,4 und 90,9 m.

Der Höchste anzunehmende Grundwasserstand (HGW) ist anhand der vorliegenden Informationen auf etwa 3,0 m unter GOK (ca. 92 m NHN) anzusetzen. Wir empfehlen dies im Zuge der fortschreitenden Planung durch die Abfrage eine nahegelegenen Grundwassermessstelle beim entsprechenden Träger bestätigen zu lassen.

Unabhängig vom Grundwasserstand, weisen wir darauf hin, dass aufgrund der umliegenden bindigen Böden Stau- und Schichtwasserbildungen nicht ausgeschlossen werden können.

Im Hinblick auf die geplante Bebauung bedeutet die Wassersituation, dass z.B. in Baugruben oder verfüllten Arbeitsräumen im Bereich gering bis schlecht durchlässiger Erdstoffe die Böden wie „Badewannen“ wirken können, in denen sich zulaufendes Schicht- und Sickerwasser anstauen kann. Das heißt es kann sich auch ein höherer Wasserstand als der Bemessungsgrundwasserstand einstellen.

Der Bereich liegt außerhalb eines Trinkwassereinzugs- sowie Hochwassergebietes. Das Grundwasser ist am Standort als „Gewässer mit normalen Schutzbedürfnissen“ einzuordnen.

### 2.4.2 Versickerungsfähigkeit

Die Wasseraufnahmefähigkeit bzw. Versickerungsfähigkeit des Bodens ist gut. Ursache der guten Durchlässigkeit ist das Kies-Sand-Gemisch der Mittelterrasse sowie des sandigen Auelehms. Für eine Versickerung werden weitere Untersuchungen notwendig.

Eine Versickerung in der Auffüllung ist aufgrund möglicher Verunreinigungen nicht zulässig. Wir weisen darauf hin, dass eine Versickerung durch den Auelehm dieser auf chemische Verunreinigungen in Bezug auf den Altlasten zu überprüfen ist (siehe S23-105).

### **2.4.3 Beton- und Stahlaggressivität**

Anhand der Karte für Hintergrundwerte im Grundwasser (HGW) 1:250.000 sind am Standort Sulfatkonzentrationen von 228 mg/l (50 Perzentil) bis 864 mg/l (95 Perzentil) möglich. Dies entspricht der Expositionsklasse für Betonaggressivität XA1 bis XA2. Das bedeutet, das Grundwasser ist schwach bis stark Beton angreifend.

### **2.5 Vorhandene Gründung**

Die Gründungen der Altbebauung erfolgte im Bereich hoher Lasten über Einzel- und Streifenfundamente auf/in der Mittelterrasse (Schicht 5). Die Fundamente binden teils mehrere Dezimeter in die Schicht ein. Bei den Baggerschüfen wurden Fundamenttiefen tragender und hoch belasteter Elemente von 2,0 bis 2,6 m sowie von Bauteilen mit geringen Lasten (z.B. Frostschräge) von 0,8 m festgestellt. Bodenplatten ohne Lastanforderungen wurden als Flachgründung mit rd. 30 cm Tragschicht auf dem Auelehm (Schicht 4) gegründet.

Auf dem gesamten Gelände sind Schächte, Kanäle und Einzel-/Streifenfundamente jeglicher Art und Größe im Untergrund verblieben. Diese bestehen aus Beton und oder Ziegel.

## **3 Gründungstechnische Schlussfolgerungen**

### **3.1 Baugrundeignung**

#### **3.1.1 Eignung als Standort**

Der Standort ist für die vorgesehene Bebauung aus baugrundtechnischer Sicht unter Berücksichtigung folgender erschwerender Bedingungen geeignet:

- Geringe Tragfähigkeit des in hoher Mächtigkeit anstehenden Auffüllungen und Auelehme
- Eingetragene Altlast, großflächige Verunreinigung des Grundwassers mit LHKW [U 12].
- Überwiegend versiegelte Flächen
- Durchzuführende Tiefenenttrümmerung
- Erhöhte Radonkonzentration in Bodenluft (s. Abschnitt 2.2)



### 3.1.2 Eignung der Baugrundsichten zur Gründung

Tabelle 7: Eignung der Baugrundsichten zur Gründung.

Schicht	Bodenart	Eignung als Gründungsschicht
1	Oberboden	nicht geeignet
2	Schottertragschicht	geeignet für Verkehrsflächen und Bauwerke unterer Ordnung
3	Auffüllung	nicht geeignet
4	Auelehm	nicht geeignet
5	Mittelterrasse	geeignet

## 3.2 Empfehlungen zur Gründung

### 3.2.1 Gründungsart & Gründungstiefe

Für das Bauvorhaben liegen keine Entwurfspläne vor. Jedoch kann von einem mehrgeschossigem Depotgebäude ausgegangen werden. Eine Unterkellerung ist noch nicht geklärt.

Vor Baubeginn müssen die Bauwerksreste vollständig tiefenenttrümmert und entfernt werden.

Die OK FFB EG wird auf derzeitige GOK eingeordnet.

Bei der Gründung des nicht unterkellerten Gebäudes ist darauf zu achten, dass diese auf einem Erdstoff mit annähernd gleichen Tragfähigkeitseigenschaften zu erfolgen hat. Nach den beschriebenen Baugrundverhältnissen wäre dies die **Mittelterrasse (Schicht 5)**. Der Kies liegt in schwankenden Tiefen vor, deshalb ist bereichsweise mit Tiefergründungen zu rechnen. Mit örtlichen, geringen Tiefergründungen, z.B. bei Anschnitt einer Sand- oder Tonlinse in Höhe der geplanten Gründungssohle muss gerechnet werden.

Aufgrund der Altlast, der teils mächtigen Auffüllungen sowie der gering tragfähigen Auelehme schlagen wir die Gründung über Einzel-/ und Streifenfundamente als wirtschaftlichste Lösung vor. Somit müssen Altfundamente nur in Teilbereichen entfernt werden und der Bodenaustausch wird auf ein Minimum reduziert.

### Gründungsvariante 1: Einzel-/Streifenfundamente (nicht unterkellert)

Die Bauwerkslasten werden über **Einzel-/Streifenfundamente** in den Untergrund eingetragen.

Die Gründung erfolgt, wie zuvor beschrieben, einheitlich auf der Mittelterrasse (Schicht 5). Dieser steht ab Tiefen von 1,5m bis 2,0 m unter aktuellem Gelände an. Dabei ist zu beachten, dass die Fundamente die Gründungsschicht sauber (mind. 0,3 m) anschneiden. Der Auelehm, der Oberboden und die Auffüllungen sind vollständig zu durchstoßen.

Eine frostsichere Einbindung der umlaufenden Fundamente von mindestens 1,0 m unter Oberfläche endgültigem Gelände (Frosteinwirkungszone II) ist zu gewährleisten.

Die Auffüllungen und Erdstoffe sind nur bedingt standsicher, so dass örtlich mit erhöhtem Nachfall bzw. Einschalungsarbeiten zu rechnen ist.

Örtlicher Nachfall ist möglich und unmittelbar vor dem Betonieren herauszunehmen, ggf. sind stellenweise Einschalungsarbeiten erforderlich.

Die Gründungssohle sollte durch einen Baugrundsachverständigen abgenommen werden. Sie ist auf ihre Gleichmäßigkeit und mögliche Schwachstellen zu prüfen, ggf. werden Tiefergründungen (Magerbeton) notwendig.

Da sich die Gründungstiefen unterscheiden können, sind beim Einbau der Streifenfundamente Stufen einzuplanen, welche eine Höhe von maximal 0,50 m nicht überschreiten dürfen.

Die nicht freitragende Fußbodenplatte (zwischen den Streifenfundamenten) ist separat auf einem 15 cm mächtigen kapillarbrechenden Kies (z.B. 4/16) zu gründen. Darunter ist ein mind. 30 cm dicker, gut verdichtungsfähiger lastverteilernder Kies oder Schotter (0/45) einzubringen. Die Ausführung der Bodenplatte ist z.B. Nach Lohmeyer & Lohmeyer an die Nutzung anzupassen. Wird für das Polster ein Schotter bzw. Kies mit Frostschutzqualität und einer Wasserdurchlässigkeit von  $k_f \geq 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$  verwendet, so kann auf die kapillarbrechende Kiesschicht verzichtet werden. Zwischen Schotterpolster und der tonigen Schachtsohle ist ein trennendes Geovlies einzubauen.

Die Schacht- und Betonierarbeiten haben eine Einheit zu bilden und sind unmittelbar nacheinander auszuführen. Die Gründungssohle ist gegen Witterungseinflüsse zu schützen, z.B. durch den sofortigen Einbau der Gründung.

## Gründungsvariante 2: Stahlbetongründungsplatte (unterkellert)

Die Bauwerkslasten werden über eine **Stahlbetongründungsplatte** mit untergelagertem lastverteilenden stabilisierenden Kies- oder Schotterpolster in den Untergrund eingetragen. Die Gründung erfolgt dabei einheitlich auf der Mittelterrasse. Dieser steht ab Tiefen von ca. 1,5 m bis 2,0 m unter aktuellem Gelände an. Der Oberboden, Auelehm und die Auffüllungen sind vollständig zu entfernen.

Eine frostsichere Einbindung der Polstergründung von mindestens 1,0 m unter Oberfläche endgültigem Gelände ist zu gewährleisten. Die Mindestdicke des Polsters ist im Zuge der Planung genauer zu definieren und an die Gründungstiefe anzupassen. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist bei einer Gründung auf der Mittelterrasse eine Sauberkeitsschicht ausreichend. Das Planum ist intensiv nachzuverdichten. Sand- und Tonlinsen sind auszutauschen.

Die Gründungssohle ist vor Niederschlägen zu schützen bzw. die Arbeiten sind zügig ohne Wartezeiten durchzuführen.

Vor dem Einbau des Polsters ist eine Baugrundabnahme erforderlich zu empfehlen, um den Horizont des natürlichen Bodens und dessen Tragfähigkeit sicher festzulegen, ggf. werden Tiefergründungen erforderlich. Bei Tiefschachtungen ist das Polster abzutreten, die einzelnen Stufen sollten dabei einen Höhengsprung von 0,30 m nicht überschreiten.

Die Kellerhinterfüllung hat durch den lagenweisen Einbau eines bindigen Erdstoffes (z. B. Aushubmaterial der Schicht 4) zu erfolgen, um einen Sickerwasserzufluss zum Gebäude zu unterbinden.

Der Einbau des Polsters hat in einzelnen Lagen von 20 bis 30 cm unter Erreichung eines Verdichtungsgrades  $D_{Pr} \geq 100\%$  zu erfolgen. Die Verdichtung des Polsters ist aktenkundig zu prüfen. Die Anforderungen sind im Zuge der Planung anzupassen.

Für das Polster ist ein gut verdichtungsfähiges weitgestuftes Material (z.B. Schotter oder Kies der Körnung 0/45 oder 0/56) zu verwenden. Das Material muss mindestens im oberen Meter, ab Oberkante endgültigem Gelände, frostbeständige Qualitäten aufweisen (der Feinkornanteil  $\leq 0,063$  mm hat maximal 5 % zu betragen).

Um eine ausreichende Lastausbreitung zu gewährleisten, ist das Polster in den Randbereichen so auszubilden, dass ausgehend von UK Plattenaußenkante und unterstem Böschungspunkt ein Winkel von  $\beta = 45^\circ$  eingehalten wird.

Sollten sich örtlich von der ermittelten Schichtung abweichende Schichtenfolgen während des Aushubs ergeben, so ist mit unserem Büro Rücksprache zu halten. Unser Büro steht Ihnen nach Absprache für eine Abnahme der Gründungssohle sowie Verdichtungs- und Tragfähigkeitsprüfungen zur Verfügung.

## 4 Technische Hinweise zur Bauausführung

### 4.1 Bodenklassifizierung nach VOB/C 2012

Für die Kalkulation der Erdarbeiten erfolgt neben der Einteilung in Homogenbereiche gemäß Abschnitt 4.2 die Einteilung der Erdstoffe und deren Lösbarkeit gemäß DIN 18300:2012-09.

**Tabelle 8: Übersicht zu Boden-/Felsklassen nach DIN 18300:2012-09.**

Schicht	Bodenart	Boden-/Felsklasse (DIN 18300:2012-09)
1	Oberboden	Bk. 1
2	Schottertragschicht	Bk. 3 <sup>A</sup>
3	Auffüllung	Bk. 3-4 <sup>A,B</sup>
4	Auelehm	Bk. 3-4 <sup>B</sup>
5	Mittelterrasse	Bk. 3

<sup>A</sup> Bauwerksreste u.a. in der Auffüllung sind getrennt nach Aufmaß abzurechnen.

<sup>B</sup> Bodenarten nach den Klassen 3 und 4, jedoch mit über 30 % Masseanteil an Steinen sowie Bodenarten mit höchstens 30 % Masseanteil an Blöcken der Korngröße über 200 bis 630 mm sind der Bodenklasse 5 nach Abstimmung mit dem Baugrundgutachter und nach Aufmaß zuzuordnen. Bodenarten mit über 30 % Masseanteil an Blöcken sind der Boden-/Felsklasse 6 nach Abstimmung mit dem Baugrundgutachter und nach Aufmaß zuzuordnen.

### 4.2 Bodenklassifizierung nach VOB/C 2019 (Homogenbereiche)

Für die Einteilung in Homogenbereiche wurden die aus unserer Sicht erforderlichen Laborversuche und Felduntersuchungen durchgeführt (gemäß Eurocode 7 und der Länderanpassung durch die DIN 4020 sowie in Anlehnung an die aktuelle VOB/C). Weiterhin haben wir Erfahrungswerte sowie Kennwerte aus umliegenden Baumaßnahmen herangezogen.

Die Erdstoffe wurden anhand Ihrer Eigenschaften in folgende Homogenbereiche i.A.a. DIN 18300:2019-09 (Erdarbeiten) und DIN 18320:2019-09 (Landschaftsbauarbeiten) eingeteilt:

**Tabelle 9: Übersicht zur Einteilung der Homogenbereiche.**

Schicht	Bodenart	Homogenbereich DIN 18300 (Erdarbeiten) <sup>A</sup>		Homogenbereich DIN 18320 (Landschafts- bauarbeiten) <sup>A</sup>
		Lösen und Laden	Einbauen und Verdichten <sup>B</sup>	
1	Oberboden	-	-	LA 1
2	Schottertragschicht	EA <sub>LL</sub> 1	EA <sub>EV</sub> 1	-
3	Auffüllung		EA <sub>EV</sub> 2 <sup>C</sup>	-
4	Auelehm	EA <sub>LL</sub> 2	EA <sub>EV</sub> 3 <sup>C</sup>	-
5	Mittelterrasse	EA <sub>LL</sub> 3	EA <sub>EV</sub> 4	-

<sup>A</sup> Homogenbereiche sind nach Festlegung der einzusetzenden Erdbaugeräte durch den Planer zu verifizieren.

<sup>B</sup> Die Wiedereinbaufähigkeit ist abhängig von der Zuordnung nach LAGA M 20 im Hinblick auf den vorsorgenden Boden- und Grundwasserschutz.

<sup>C</sup> Organische Böden bzw. Böden mit org. Beimengungen sind für einen Wiedereinbau in technischen Bauwerken nicht geeignet.

Die detaillierte Einteilung der Homogenbereiche mit Angabe der Eigenschaften und Kennwerte sowie der sich ergebenden Bandbreiten sind der Anlage A 5 zu entnehmen.

### 4.3 Verwendbarkeit des Aushubs

**Tabelle 10: Verwendbarkeit des Aushubs.**

Schicht	Bodenart	Eignung als				
		Kulturboden	Gelände- regulierung unbelasteter Flächen	Boden- austausch	Bauwerks- hinter- füllung	Leitungs- graben- verfüllung
1	Oberboden	✓	✓	x	x	x
2	Schottertragschicht	x	✓	✓	✓	✓
3	Auffüllung	x	✓	(✓)	✓	✓
4	Auelehm	x	✓	x	✓	✓
5	Mittelterrasse	x	✓	✓	✓	✓

x = ungeeignet, ✓ = geeignet, (✓) = bedingt geeignet

Eventuell auftretende Steine oder Blöcke (Durchmesser > 63 mm) sind auszusortieren.

Erdstoffe, die nicht wiederverwendet werden können, sind entsprechend fachgerecht zu entsorgen (s. Bericht zur Abfallcharakterisierung S23-105).

Bei einer Zwischenlagerung ist in jedem Fall darauf zu achten, dass die Erdstoffe ordnungsgemäß vor Witterungseinflüssen geschützt werden. Um die Erdstoffe ordnungsgemäß einbauen zu können, empfehlen wir eine getrennte Lagerung voneinander.

Für einen fachgerechten Einbau sollten die Erdstoffe einen optimalen Wassergehalt besitzen. Um diesen zu erreichen, muss dem Aushub ggf. Wasser hinzugegeben bzw. entzogen werden.

#### 4.4 Böschungen, Verbau und Arbeitsraumbreiten

Alle Arbeiten an Böschungen, Verbau und Arbeitsräumen müssen gemäß DIN 4124 ausgeführt werden.

Bis in eine Tiefe von 1,25 m können Baugrubenwände senkrecht gestaltet werden. Bei der Ausführung von temporären Baugrubenböschungen sind gemäß DIN 4124 folgende Böschungswinkel einzuhalten:

**Tabelle 11: Böschungswinkel.**

Schicht	Kurzbeschreibung	Böschungswinkel $\beta$ [°]
2	Schottertragschicht	$\leq 45$
3	Auffüllung	
4	Auelehm	
5	Mittelterrasse	

Werden lockere bis sehr lockere (z.B. Bauschuttnester), aufgeweichte Bereiche oder Rutschflächen angeschnitten, so ist der Böschungswinkel in Abstimmung mit dem Baugrundgutachter und Bauleiter zu verringern. Ab einer Böschungshöhe von mehr als 5,0 m ist die Standsicherheit nachzuweisen.

Baugeräte und Fahrzeuge bis 12 t Gesamtgewicht müssen einen Abstand von mindestens 1,0 m, Baugeräte und Fahrzeuge mit 12 – 40 t von mindestens 2,0 m zwischen der Außenkante der Aufstandsfläche und der Böschungskante einhalten. Zudem ist an den Böschungsoberkanten ein mindestens 1,0 m breiter Streifen lastfrei zu halten. Die Böschungsoberfläche ist vor Erosion zu schützen.

Zum Schutz vor Witterungseinflüssen sind Böschungen bei länger offenstehenden Baugruben mit einer über die Bauzeit UV-beständigen Folie abzuhängen. Die Folie ist an der Böschungskrone und am Böschungsfuß zu befestigen. An der Böschungskrone ist eine Wassersperre zur

Vermeidung des Oberflächenwasserabflusses über die Böschung anzuordnen.

In Bereichen, wo die Baufreiheit eingeschränkt ist oder eine zusätzliche Belastung auf die Böschung ausgeübt wird oder ein Abböschchen nicht präferiert wird, ist nach DIN 4124 ein Verbau auszuführen. Das Einrammen von Verbauteilen ist zur Vermeidung von Erschütterungen nicht empfehlenswert. Verbauträger bzw. -elemente sind in vorgebohrte Öffnungen zu stellen.

Erschütterungsmessungen nach DIN 4150-3 sollten zur Überwachung der Verbaumaßnahmen durchgeführt werden.

Bei der Baugrubenplanung sind neben der Einbindetiefe die Grundwasserstände, Höchstwasserstände, Schichtwasseranschnitte, Wasserhaltung und Verbauart zu berücksichtigen.

#### 4.5 Verkehrsflächen

Die vorhandenen Verkehrsflächen erfüllen nicht die Vorgaben gemäß RStO 12. Ggf. ist nach Rücksprache mit der zuständigen Behörde, zur Angleichung an den vorhandenen Verkehrsflächenaufbau, eine Reduzierung des geplanten Aufbaus vorzunehmen.

Die Bemessung der Verkehrsflächen hat gemäß der RStO 12 und Anpassungen durch die ZTV E-StB 17 zu erfolgen.

**Tabelle 12: Anzunehmende Frostempfindlichkeitsklasse und Tragfähigkeit je Schicht.**

Schicht	Bodenart	Frostempfindlichkeitsklasse	geforderte Tragfähigkeitswerte nach Verdichtung von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ (RStO 12 und ZTV E-StB 17)
2	Schottertragschicht	F 1	<u>Großteils</u> erreichbar
3	Auffüllung	F 3	<u>teils nicht erreichbar</u> , Bodenaustausch min. 20 cm
4	Auelehm	F 3	<u>nicht</u> erreichbar, Bodenaustausch min. 20 cm

Für die Festlegung der Mehr- oder Minderdicken (Tabelle 7 in RStO 12) des Aufbaus können die in Tabelle 13 genannten Werte verwendet werden. Alle Angaben sind vom zuständigen Fachplaner gegenzuprüfen.

**Tabelle 13: Mehr- oder Minderdicken für die Gesamtdicke des frostsicheren Oberbaus gemäß RStO 12.**

Örtliche Verhältnisse		Mehr- oder Minderdicke [cm]
Frosteinwirkung	Zone II	+ 5
Kleinräumige Klimaunterschiede	keine	0
Wasserverhältnisse im Untergrund	kein Grund- oder Schichtenwasser dauernd oder zeitweise höher als 1,5 m unter Planum	0
Lage der Gradiente	Geländehöhe bis Damm $\leq 2,0$ m	0
Entwässerung	Rinnen und Abläufe	- 5
<b>Mehr- bzw. Minderdicke insgesamt</b>		<b>0</b>

Die Anforderungen und Bauweisen von Straßen ist den Tafeln 1 bis 5 sowie für Rad- und Gehwege der Tafel 6 der RStO 12 zu entnehmen.

Die Forderungen hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Verdichtung sind der RStO 12 zu entnehmen. Der lagenweise Einbau sollte mittels statischen Plattendruckversuchen (DIN 18134) im Raster geprüft werden.

#### 4.6 Wasserhaltungsmaßnahmen

Bei der geplanten Baumaßnahme ist nicht mit dem Anschnitt von Grundwasser zu rechnen. Die Gründungsarbeiten sind möglichst zu Zeiten geringer Grundwasserstände und Niederschlagswahrscheinlichkeit (z.B. Spätsommer oder Herbst) auszuführen. So können aufwendige bauzeitliche Wasserhaltungsmaßnahmen in der Regel vermieden bzw. verringert werden.

Zu Zeiten ungünstiger Wasserstände ist aufgrund anfallenden Oberflächen- und/ oder Schichtenwassers durchaus mit Wasserhaltungsmaßnahmen zu rechnen. Anfallendes Wasser ist dann mittels Pumpensumpf über eine offene Wasserhaltung abzuführen. Stärkere Wasseraustritte aus der Böschung oder aus der Sohle sind separat zu fassen und abzuleiten bzw. abzapfen.

Ggf. erforderliche Wasserhaltungsmaßnahmen sind entsprechend des Bauablaufplanes in Verbindung mit den Gründungstiefen und Grundwasserständen separat zu bemessen.



Die Gründungsarbeiten sind zügig durchzuführen bzw. die Gründungssohlen sind vor Witterungseinflüssen zu schützen. Ein Offenstehen von Baugrube und Fundamentgräben ist zu vermeiden.

#### 4.7 Bauwerksabdichtung

Die Wahl der Abdichtung muss nach DIN 18533-1, in Abhängigkeit der örtlichen hydrologischen Situation (siehe Abschnitt 2.4) sowie der anstehenden Böden (siehe Abschnitt 2.3), gewählt werden. Diese ist im Zuge der fortschreitenden Planung zu überprüfen und anzupassen.

Sofern es seitens des Fachplaners keine Einwände gibt, kann bei Bodenplatten ohne Unterkellerung auf stark wasserdurchlässigem Baugrund oder Bodenaustausch ( $k > 10^{-4}$  m/s) und Gewährleistung, dass der Schicht- bzw. Stauwassereinfluss maximal 0,5 m unter der Abdichtungsebene liegt, auf die Wassereinwirkungsklasse W 1.1-E reduziert werden. Andernfalls ist eine Abdichtung gemäß Wassereinwirkungsklasse W 1.2-E oder ggf. W 2.1-E anzuwenden.

Die maßgebende Wassereinwirkungsklasse, Abdichtungsbauart sowie die Rissklasse, Rissüberbrückungsklasse, Raumnutzungsklasse und Zuverlässigkeitsanforderungen nach DIN 18533-1 sind vom Fachplaner festzulegen.

Alternativ zu einer Abdichtung nach DIN 18533-1 kann auch eine Abdichtung nach der **WU-Richtlinie** des DAfStB (wasserundurchlässigen Beton mit Rissweitenbeschränkung) erfolgen. Hierbei ist jedoch die Wasserdampfdiffusion durch den WU-Beton zu beachten.

Es ist rechtzeitig für eine fachgerechte Ableitung anfallender Wässer zu sorgen. Spätestens bei Herstellung der Dachfläche ist das anfallende Wasser auch im Rohbauzustand fachgerecht vom Baukörper abzuleiten.

#### 4.8 Weitere Hinweise

- Bei unterschiedlichen Gründungstiefen der Gründungskörper sind diese unter einem Winkel von  $\beta \leq 30^\circ$  abzutreten.
- Zur Vermeidung von niederschlagsbedingten Erdstoffdurchnässungen im Gründungsbereich sind die Erd- und Betonierarbeiten zügig durchzuführen. Dies gilt besonders, wenn die Erdarbeiten in ungünstigen Jahreszeiten wie Frühjahr und Winter ausgeführt werden. Die Baugrubensohle ist schnell zu überdecken oder zu schützen. Aufgeweichte Bereiche unter der Gründungssohle sind grundsätzlich zu entfernen.
- Die Lösegeräte sind zur Freilegung der Schacht- und Gründungssohlen mit ungezählten Löffeln bzw. Körben auszurüsten, da schachtungsbedingte Auflockerungen nur bedingt durch Verdichtungsmaßnahmen zu beseitigen sind. Es sind im Bereich der bindigen Materialien ausschließlich statisch wirkende Verdichtungsgeräte zu verwenden. Es ist rückschreitend auszuheben und eine dynamische Beanspruchung bei der Verdichtung auszuschließen.
- Auf Grund der Vorbebauung, muss mit Aushuberschwernissen durch im Untergrund verbliebene Bauwerksreste, Betonbruch oder ähnliches gerechnet werden. Dies sollte bei der Ausschreibung wie auch Bauausführung berücksichtigt werden.
- Werden Erdstoffpolster (z.B. zum Bodenaustausch unter Verkehrsflächen bzw. unterhalb von Gründungen) eingebaut, so sind diese mit einem klassifizierten, hoch ungleichförmigen und weit abgestuften Material (möglichst Schotter oder Betonrecycling 0/45) durchzuführen. Der maximale Korndurchmesser des Austauschmaterials sollte  $\frac{2}{3}$  der jeweiligen Schütthöhe nicht übersteigen. Vor dem Auftrag ist die Schachtsohle zu verdichten. Der Einbau hat lagenweise unter Erreichung von  $\geq 100\%$  der Proctordichte zu erfolgen. Die Verdichtung und Tragfähigkeit ist i.A.a. die ZTV-E StB (z.B. statische oder dynamische Plattendruckversuche) zu überprüfen. Der Erdstoff muss eine günstige Einbaufeuchte besitzen und ist in Lagen von 0,20 m bis 0,30 m einzubauen. Die Lagen sind mit auf den Erdstoff abgestimmten Maschinen zu verdichten.

- Ein Befahren des fertigen Planums der Gründung bzw. der Verkehrsflächen (außer zum Verdichten) ist zu vermeiden. Nicht überschüttete Geotextilen dürfen auf keinen Fall befahren werden (Vorkopfschüttung).
- Für die Deponierung (Zwischenlagerung) von Erdstoffen ist ein Verdichtungsgrad von etwa 92 % bis 95 % der Proctordichte einzuhalten. Zur Entwässerung der Erdstoffdeponie sind die einzelnen Lagen mit einem leichten Gefälle einzubauen, welches ca. 4% betragen sollte. Die Stärke der eingebauten Lagen richtet sich nach dem Verdichtungsgerät, darf jedoch nie größer als die maximale Einflusstiefe desselben sein.
- Hinter- und Verfüllungen haben mit gemischtkörnigen Materialien (z.B. Aushub Schicht 2 bis 4, Vorabsieb etc.) mit einem  $k_f$ -Wert  $\leq 1 \cdot 10^{-6}$  m/s zu erfolgen, um das konzentrierte Einsickern von Oberflächenwassern zu verhindern. Hierbei ist ein Verdichtungsgrad von  $D_{pr} \geq 97 \%$  einzuhalten. In Bereichen, in denen eine Oberflächenbefestigung auf der Hinter-/Verfüllung vorgesehen ist (Fußböden, Terrassen, Verkehrsflächen), ist auf UK Tragschicht (= Erdplanum Verkehrsflächenaufbau) ein  $E_{v2} \geq 45$  MN/m<sup>2</sup> unter Erreichung von  $D_{pr} \geq 98 \%$  zu erzielen. Wird diese nicht erfüllt, kann nach Rücksprache mit dem Gutachter/Planer ein zusätzlicher Einbau von Schotter-, Kies- oder Betonrecyclingmaterial erfolgen.
- Wird bei den Erdbauarbeiten unerwartet Grund- oder Schichtwasser angetroffen, sind die Arbeiten sofort einzustellen und der Baugrundgutachter ist umgehend zu informieren. Im Zuge eines Ortstermins, muss die Gründungsempfehlung mit dem Baubeteiligten abgestimmt und ggf. angepasst werden.
- Werden, während der Schachtarbeiten örtlich abweichende Untergrundverhältnisse gegenüber den (punktuellen) Baugrunderkundungen festgestellt, so ist unser Büro umgehend zwecks Abstimmung und ggf. Anpassung der Baugrundempfehlungen zu benachrichtigen.
- Gemäß DIN EN 1997-2:2010-10 (EC 7-2) Abschnitt 2.5 ist eine Inspektion der Baugrubensohle durchzuführen.

- Für die erforderlichen Baugrundabnahmen bzw. Dichteprüfungen sowie fortlaufende Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten stehen wir Ihnen nach Absprache zur Verfügung.

## **5 Consulting und Qualitätsmanagement**

### Leistungsverzeichnis

Wir empfehlen die Mitarbeit bzw. Zusammenarbeit zwischen Planungsbüro und Baugrundgutachter beim Erstellen der Ausschreibung im Bereich Erd-/Tiefbauarbeiten. Dadurch können Ausschreibungsfehler minimiert bzw. vermieden werden. Vor allem die Angaben zur Einstufung der Erdstoffe für die Wiederverwendbarkeit und Entsorgung sind häufige Mehrkostenträger. Ebenso können wir unterstützend bei der Beschreibung der Tiefgründung, Verkehrsflächen, etc. in Vorbereitung oder zur Überprüfung mitwirken.

### Abfallmanagement

Wir empfehlen bei Maßnahmen ab 2.000 m<sup>3</sup> bzw. 4.000 t Erdaushub ein Abfallmanagement durchzuführen. Dazu wird im Zuge der Ausschreibung der Erdarbeiten bzw. ausschreibungsvorbereitend ein Raster über die Baufeldfläche gelegt und mittels Schürfe die Erdstoffe je max. 1.000 t beprobt. Anschließend wird der Entsorgungsweg durch Abfragen bei Annahmestellen geklärt, festgelegt und kann im Zuge der Ausschreibung/Vergabe dem zukünftigen Tiefbauunternehmen vorgegeben werden. Somit können Nachträge, Mehrkosten oder Verzögerungen deutlich vermindert werden.

Da zum 01.08.2023 offiziell die Ersatzbaustoffverordnung bzw. Mantelverordnung (Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung) in Kraft tritt und damit die derzeit gültige LAGA M20 abgelöst wird, ist die Bedeutung eines Abfallmanagements umso wichtiger. Gerne können wir Ihnen für das Abfallmanagement ein, auf ihr Vorhaben angepasstes Angebot zukommen lassen.

### Bauberatungen

Zu Beginn der Maßnahme empfehlen wir eine Bauanlaufberatung mit Bauherrn, Planungsbüro, Tiefbaufirma und Baugrundgutachter durchzuführen, um den Ablauf und die Koordination

abzustimmen. Somit können auf Probleme und Schwierigkeiten bei den Arbeiten früh eingegangen und grundlegend vermieden werden.

#### Gründungssohle

Eine Überwachung und Abnahme der Gründungssohlen ist zu empfehlen, um die Tragfähigkeit und die angenommenen Berechnungskennwerte, siehe Abschnitt 6 und 7, zu bestätigen.

#### Baugrubenplanung & Baugrubenberechnung

Die Planung der Baugrube und des Verbaus ist der wichtigste Schritt zur Realisierung einer Baumaßnahme. Mit der Verbau- und Baugrubenplanung erstellen wir für das jeweilige Projekt eine statisch und wirtschaftlich optimierte Lösung. Somit erhalten Sie eine Planung für eine gründungsfertige Baugrube für das Vorhaben.

Unser Büro steht Ihnen gerne für diese Planungsleistung zur Verfügung.

#### Schotterpolster Hallenboden

Der Einbau des Schotterpolsters unterhalb der Bodenplatte sollte mittels statischen Plattendruckversuchen (DIN 18134) im Raster geprüft werden. Wir empfehlen das Anlegen von Probefeldern zur Überprüfung des verwendeten Schotters und der geplanten Schichtdicke.

Forderung in Abhängigkeit der Bauweise.

Unser Büro steht Ihnen gerne für Tragfähigkeits- und Dichteprüfungen zur Verfügung.

## 6 Berechnungskennwerte

Auf Grundlage der durchgeführten Erkundungs- und Laborergebnisse sowie unter Einbeziehung von Erfahrungs- und Literaturwerten werden den maßgeblichen Baugrundsichten in sinnvoller Verallgemeinerung folgende charakteristischen Bodenkennwerte zugeordnet. Zu beachten ist die Zuordnung der Tabellenwerte zu bestimmten Lagerungsdichten und Konsistenzen.

**Tabelle 14: Übersicht der Bodenkennwerte.**

Schicht	Bodenart	Zustand/ Lagerung	natürliche Rohwichte $\gamma_k (\gamma)$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Wichte unter Auftrieb $\gamma_k' (\gamma')$ [kN/m <sup>3</sup> ]	wirksamer Reibungs- winkel $\varphi_k' (\varphi')$ [°]	wirksame Kohäsion $c_k' (c')$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Steife- modul $E_{s,k} (E_s)$ [MN/m <sup>2</sup> ]	un- dränier- te Scherfest- igkeit $c_u$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	Oberboden	locker	<b>17</b> (16-18)	<b>7</b> (6-8)	<b>17,5</b> (15-18)	<b>4</b> (3-5)	-	-
2	Schottertragschicht	locker bis mitteldicht	<b>19</b> (19-20)	<b>9</b> (9-10)	<b>28</b> (27-30)	<b>2</b> (0-3)	(10-25)	-
3	Auffüllung	locker bis mitteldicht	<b>17</b> (16-20)	<b>9</b> (6-12)	<b>30</b> (20-32)	<b>3</b> (0-6)	(5-10)	<b>5-25</b>
4	Auelehm (SU*-TL)	sehr locker bis locker, steif	<b>17</b> (16-19)	<b>9</b> (9-11)	<b>30</b> (25-32)	<b>3</b> (0-5)	<b>8</b> (3-10)	<b>5-30</b>
5	Mittelterrasse	mitteldicht bis dicht	<b>21</b> (20-21)	<b>12</b> (11-12)	<b>35</b> (32-37)	<b>0</b> (0-4)	<b>40</b> (30-120)	-
	<i>Schotterpolster</i>	dicht	<b>21</b>	<b>11</b>	<b>34-38</b>	<b>0</b>	<b>40-60</b>	-

( ) Schwankungsbereich der Bodenkennwerte (z. B. für Grenzwertbetrachtungen sowie abhängig von Lagerung/Konsistenz, Erdstoffart und Tiefenlage)

## 7 Berechnung

### Gründungsvariante 1: Einzel-/Streifenfundamente

Die in Tabelle 16 aufgeführten Bemessungswerte des Sohlwiderstands  $\sigma_{R,d}^A$  für Streifenfundamente wurden mittels erdstatischer Berechnungsverfahren bei Gründung auf der **Mittelterrasse (Schicht 5)** berechnet. Dabei wurden neben der Schichtenfolge, dem Bemessungsgrundwasserstand und o. g. Bodenkennwerten (Tabelle 14) folgende Berechnungsgrundlagen festgesetzt:

**Tabelle 15: Berechnungsgrundlagen Streifenfundamente.**

Parameter		Wert
Normen		EC 7, DIN 1054, DIN 4017:2006
Grundbruchsicherheit	$\gamma_{R,v}$	1,4 (Teilsicherheitskonzept EC 7, BS-P ständige Bemessungssituation)
Setzungsbegrenzung	s	2,0 cm
Fundamentlänge	a	10 m
Grenztiefe	p	20 %
Vorbelastung		0 kN/m <sup>2</sup>
Auflast (Grundbruch)		0 kN/m <sup>2</sup>
Fundamenteigenlast		0 kN/m <sup>2</sup> (nicht berücksichtigt)

**Tabelle 16: Bemessungswert des Sohlwiderstands  $\sigma_{R,d}$  bei Gründung auf der Mittelterrasse (Schicht 5).**

		$\sigma_{R,d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]		
b [m]		0,5	0,8	≥ 1,2
d [m]				
≥ 2,0		920	810	640

(a – Fundamentlänge; b – Fundamentbreite; d – Einbindetiefe; Bei kursiv geschriebenen Werten ist die Setzungsbeschränkung von 2,0 cm maßgebend.)

<sup>A</sup> Bemessungswert des Sohlwiderstands  $\sigma_{R,d} = \sqrt{2} \cdot \text{charakt. zulässige Sohlspannung } \sigma_0$

**Tabelle 17: Berechnungsgrundlagen Einzelfundamete.**

Parameter		Wert
Normen		EC 7, DIN 1054, DIN 4017:2006
Grundbruchsicherheit	$\gamma_{R,v}$	1,4 (Teilsicherheitskonzept EC 7, BS-P ständige Bemessungssituation)
Setzungsbegrenzung	s	2,0 cm
Fundamentlänge	a	b
Grenztiefe	p	20 %
Vorbelastung		0 kN/m <sup>2</sup>
Auflast (Grundbruch)		0 kN/m <sup>2</sup>
Fundamenteigenlast		0 kN/m <sup>2</sup> (nicht berücksichtigt)

**Tabelle 18: Bemessungswert des Sohlwiderstands  $\sigma_{R,d}$  bei Gründung auf der Mittelterrasse (Schicht 5).**

		$\sigma_{R,d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]		
$a \times b$ [m]		1,0 x 1,0	2,0 x 2,0	3,0 x 3,0
d [m]				
$\geq 2,0$		1400	890	560

(a – Fundamentlänge; b – Fundamentbreite; d – Einbindetiefe; Bei kursiv geschriebenen Werten ist die Setzungsbeschränkung von 2,0 cm maßgebend.)

Zwischenwerte können geradlinig interpoliert werden. Bei außermittiger Belastung gelten die angegebenen Bemessungswerte des Sohlwiderstands für die mittig belastete Ersatzfläche gemäß DIN 4017, Blatt 2.

### Gründungsvariante 2: Stahlbetongründungsplatte

#### *Berechnung mittels Steifzahlen*

Die Bemessung der Bodenplatte hat vorzugsweise nach dem **Steifzahlverfahren** zu erfolgen.

#### *Berechnung mittels Bettungsziffern*

Die in Für die Angabe des Bettungsmoduls werden die, mittels der Grundbruch- und Setzungsberechnung ermittelten, Bemessungswerte des Sohlwiderstands  $\sigma_{R,d}$  und die Setzungen für vordefinierte Fundamentabmessungen zu Grunde gelegt (die Bettungsmoduln sind nach Lastangabe durch Statik zu prüfen).



Tabelle 20 aufgeführten Bemessungswerte des Sohlwiderstands  $\sigma_{R,d}^B$  sowie Bettungsmodule  $k_s$  können bei Betrachtung verschiedener Fundamentabmessung bei Gründung auf der **Mittelterrasse (Schicht 5)** mit unterlagerndem Schotterpolster in Ansatz gebracht werden. Dabei wurden neben der Schichtenfolge, dem Bemessungsgrundwasserstand und o. g. Bodenkennwerten (Tabelle 14) folgende Berechnungsgrundlagen festgesetzt:

**Tabelle 19: Berechnungsgrundlagen Stahlbetongründungsplatte.**

Parameter		Wert
Normen		EC 7, DIN 1054, DIN 4017:2006
Grundbruchsicherheit	$\gamma_{R,v}$	1,4 (Teilsicherheitskonzept EC 7, BS-P ständige Bemessungssituation)
Setzungsbegrenzung	s	2,0 cm
Grenztiefe	p	20 %
Einbindetiefe		0 m u. OK Polster
Vorbelastung		25 kN/m <sup>2</sup>
Auflast (Grundbruch)		0 kN/m <sup>2</sup>
Fundamenteigenlast		0 kN/m <sup>2</sup> (nicht berücksichtigt)

Für die Angabe des Bettungsmoduls<sup>C</sup> werden die, mittels der Grundbruch- und Setzungsberechnung ermittelten, Bemessungswerte des Sohlwiderstands  $\sigma_{R,d}$  und die Setzungen für vordefinierte Fundamentabmessungen zu Grunde gelegt (die Bettungsmoduln sind nach Lastangabe durch Statik zu prüfen).

**Tabelle 20: Bemessungswerte des Sohlwiderstands und Bettungsmodule für Stahlbetongründungsplatte bei Gründung auf der Mittelterrasse (Schicht 5).**

Fundament a x b [m]	Mächtigkeit Gründungspolster [m]	Bemessungswert des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Setzung s [cm]	Bettungsmodul $k_s$ [MN/m <sup>3</sup> ]
1,0 x 1,0	≥ 0,0	230	0,3	69
1,0 x 10,0	≥ 0,0	320	0,8	30
10,0 x 10,0	≥ 0,0	250	2,0	10

(a – Fundamentlänge; b – Fundamentbreite; Bei kursiv geschriebenen Werten ist die Setzungsbeschränkung von 2,0 cm maßgebend.)

<sup>B</sup> Bemessungswert des Sohlwiderstands  $\sigma_{R,d} = \sqrt{2} \cdot \text{charakt. zulässige Sohlspannung } \sigma_0$

<sup>C</sup> Bettungsmodul ist keine Bodenkenngröße, sondern abhängig von: Fundamentform und -größe, Fundamentlast, umliegenden Lasteinflüssen, Baugrundsichtung

Um die Mitwirkung des Bodens am Plattenrand zu berücksichtigen, kann nach Abstimmung eine Anhebung des Bettungsmoduls für einen Plattenrandstreifen erfolgen.

## **8 Schlussbemerkungen**

Insbesondere unter Berücksichtigung der geologischen Gesamtsituation ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den realisierten Erkundungen um Punktaufschlüsse handelt, weshalb Abweichungen von der erkundeten Bodenschichtung möglich sind. Sollten beim Erdaushub abweichende Bodenverhältnisse festgestellt werden, ist der Gutachter vor dem Fortgang der Arbeiten zu informieren.

Generell ist bei Baumaßnahmen auf gewerblich genutzten Flächen darauf zu achten, dass Nester mit Verunreinigungen oder auffällige Anschüttungen, die durch eine stichprobenartige Untersuchung nicht zu erfassen sind, erst bei den Erdarbeiten angetroffen werden können. Beim Antreffen derartiger Verunreinigungen ist der Gutachter unverzüglich zur Klärung der weiteren Vorgehensweise einzuschalten.

Der Gutachter ist zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern, wenn sich Fragen ergeben, die im vorliegenden Gutachten nicht erörtert wurden.

Die im vorliegenden Gutachten getroffenen Aussagen beziehen sich nur auf die Einstufung des Bodens bezüglich seiner Eignung als Baugrund. Eine Beurteilung eventuell auftretender umweltrelevanter Verschmutzungen wurde für die Auffüllungen (Schicht 3) sowie für die natürlichen Erdstoffe (Schicht 4 bis 5) in dem Bericht zur Abfallcharakterisierung S23-105 vorgenommen.

**Für Rückfragen stehen wir Ihnen jederzeit gern zur Verfügung.**





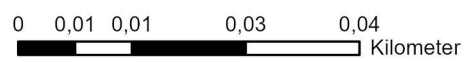
32.707473E

5701917N



**SACHSEN-ANHALT**

Landesamt für Vermessung und  
Geoinformation Sachsen-Anhalt  
Telefon: 0391 567-8585  
Fax: 0391 567-8686  
E-Mail: [service.lvermgeo@sachsen-anhalt.de](mailto:service.lvermgeo@sachsen-anhalt.de)  
Internet: <https://www.lvermgeo.sachsen-anhalt.de>



Maßstab 1:1.000

Bezugssystem: ETRS 1989 UTM Zone 32N

**Sachsen-Anhalt-Viewer**

Lage 1000

erstellt am: 14.06.2023

© GeoBasis-DE / LVermGeo 2023

Ingenieurbüro für Baugrund JACOBI GmbH

Boden - Baugrund - Geotechnik - Hydrogeologie - Altlasten - Erdstatik - Schadstoffe in Gebäuden

Gustav-Weißkopf-Straße 4 - 99092 Erfurt

Projekt: Neubau eines Zentraldepots - Leo-Herwegen-Straße - Halle (Saale)



Projektnr.: B23-073

Anlage: 1

Maßstab ca. 1:1000

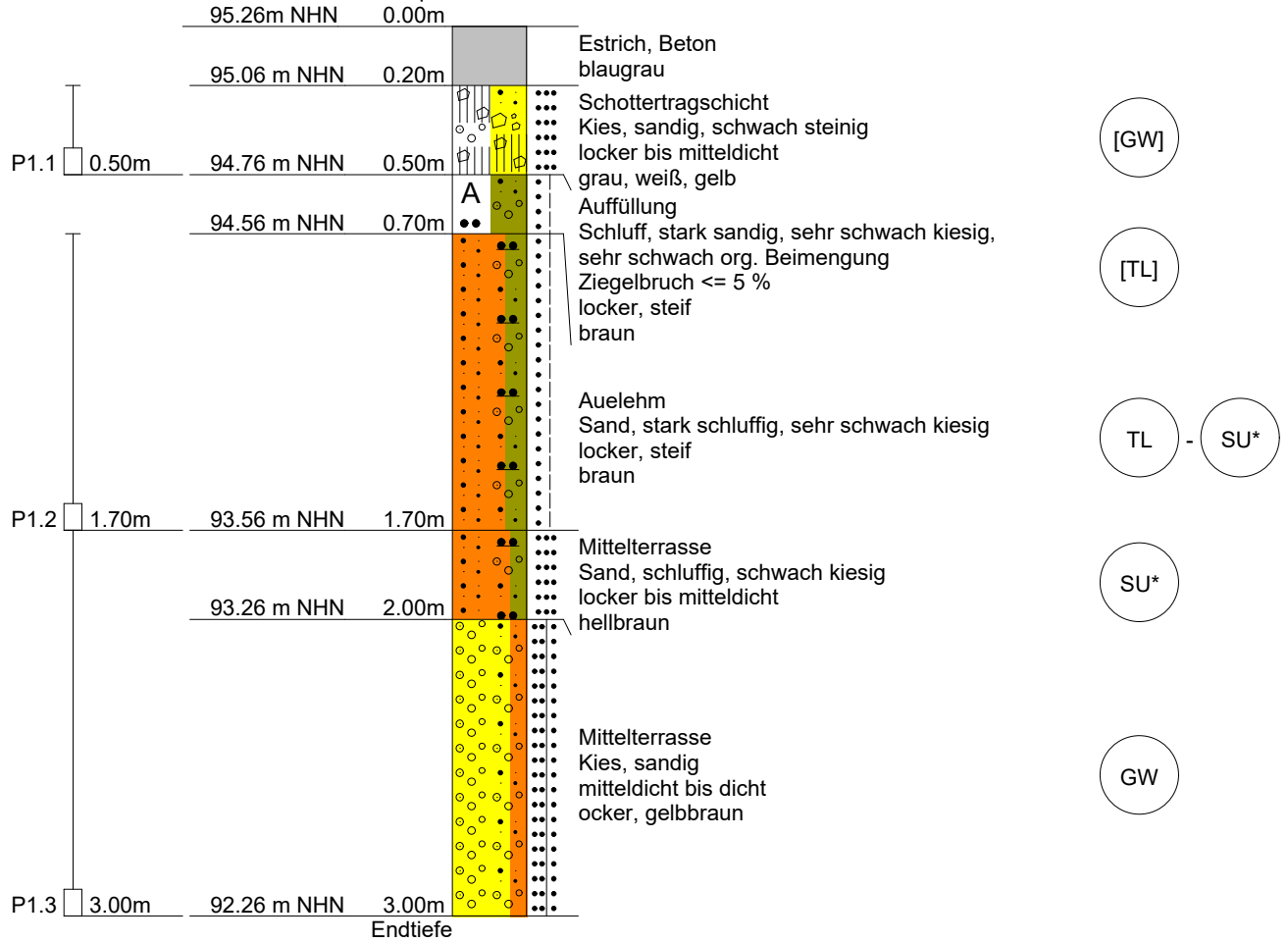
Datum: 25.05.2023





# RKS 01/23

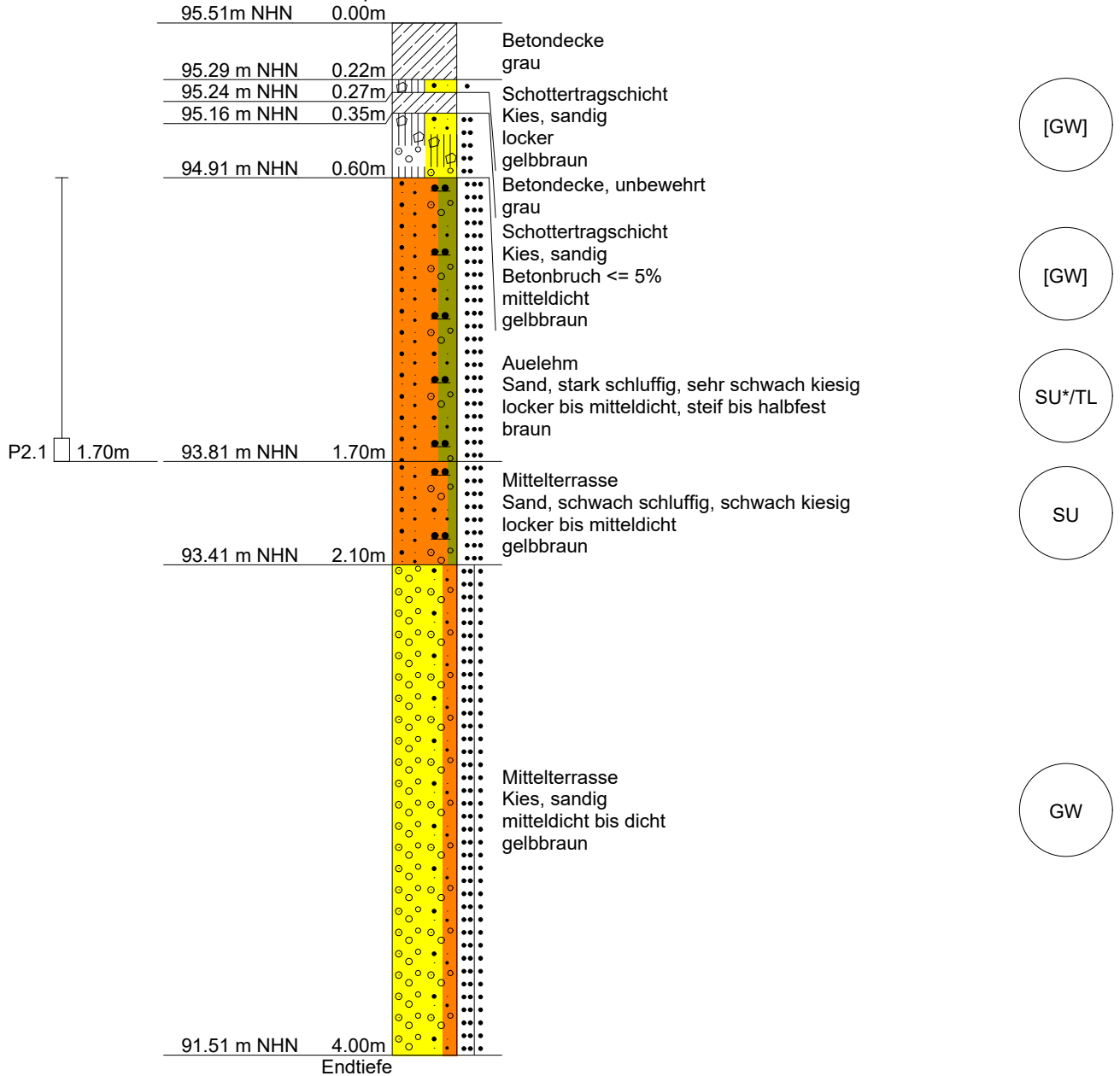
Ansatzpunkt: 95.26 m NHN



kein weiterer Rammfortschritt  
kein Grundwasser angetroffen

# RKS 02/23

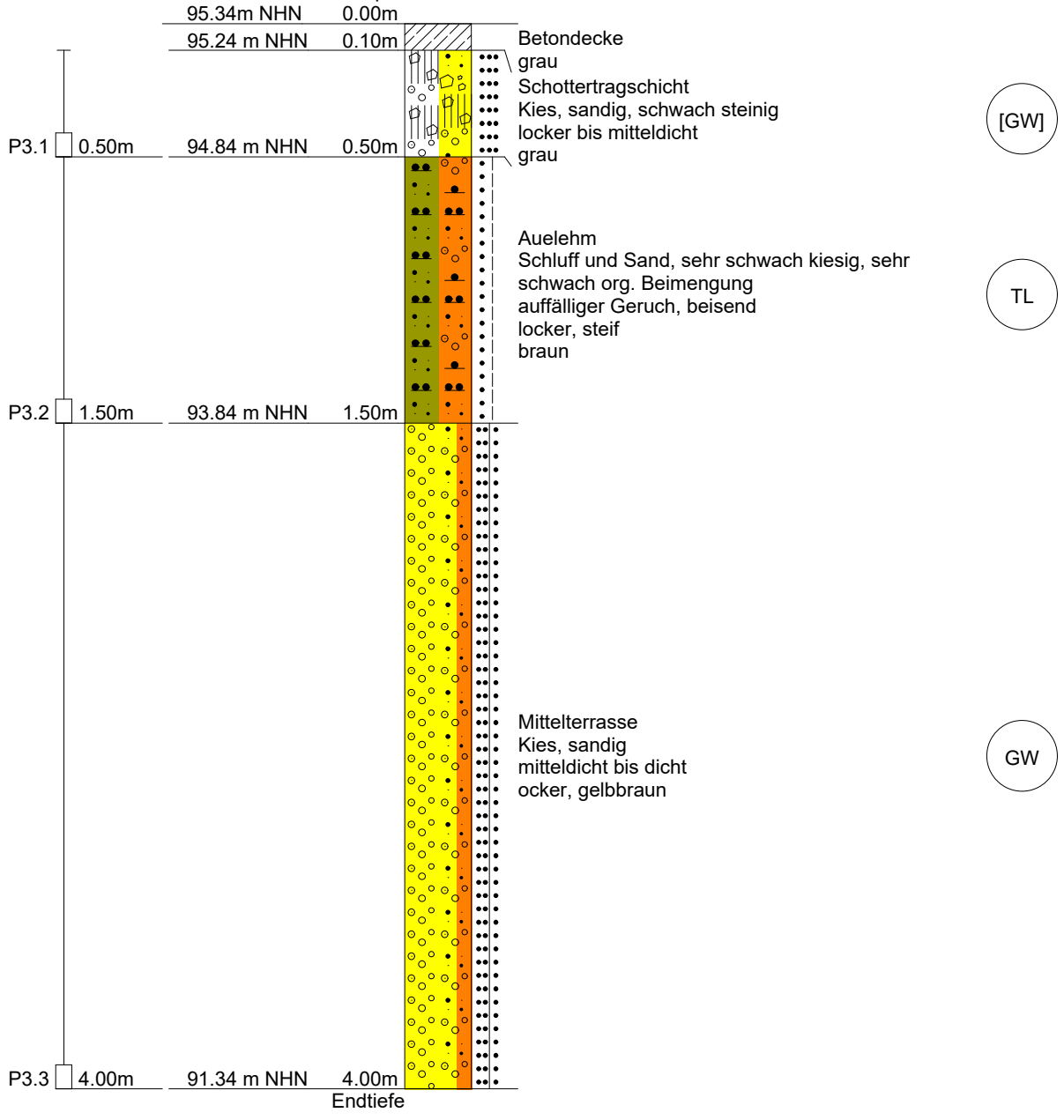
Ansatzpunkt: 95.51 m NHN



kein weiterer Rammfortschritt  
kein Grundwasser angetroffen

# RKS 03/23

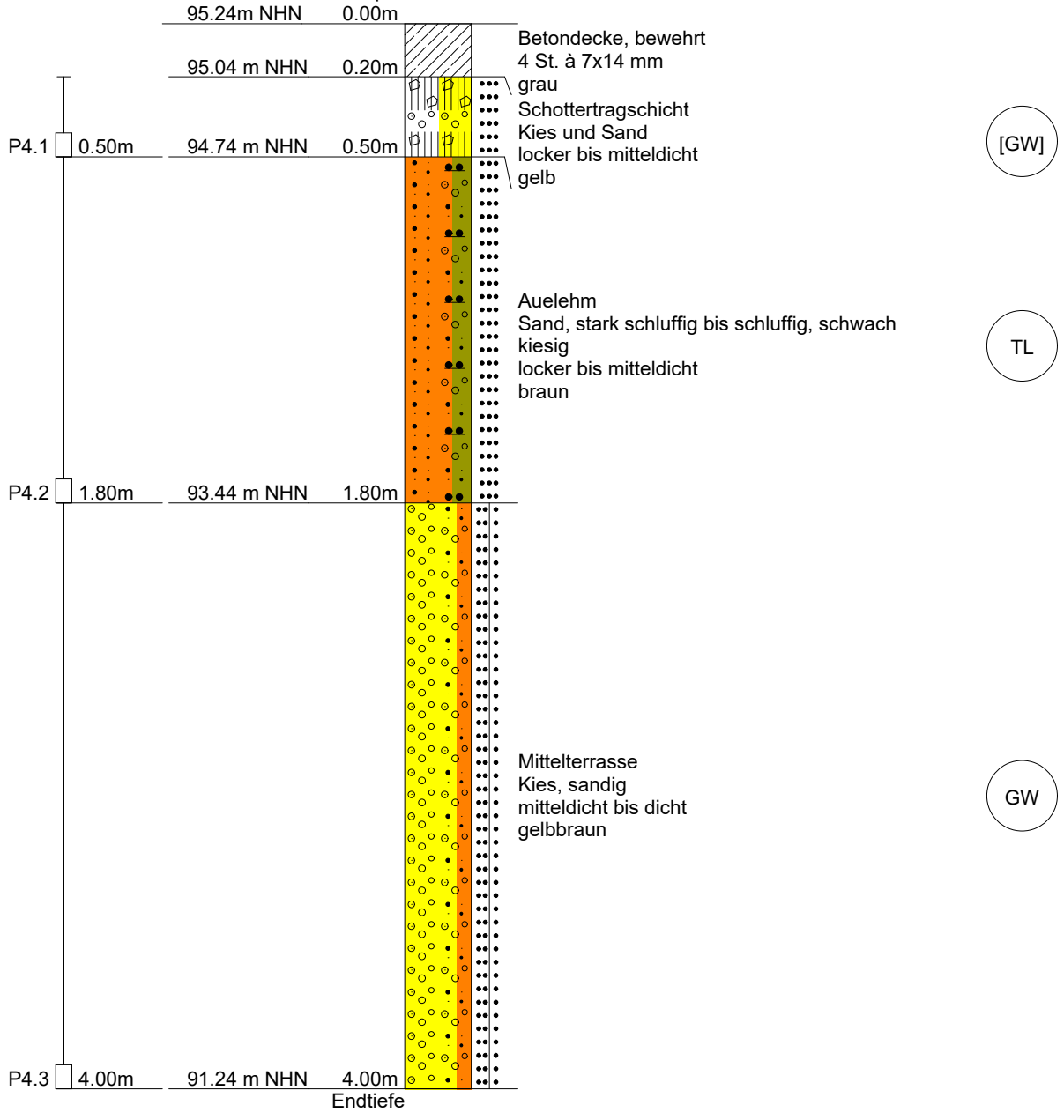
Ansatzpunkt: 95.34 m NHN



kein weiterer Rammfortschritt  
kein Grundwasser angetroffen

# RKS 04/23

Ansatzpunkt: 95.24 m NHN

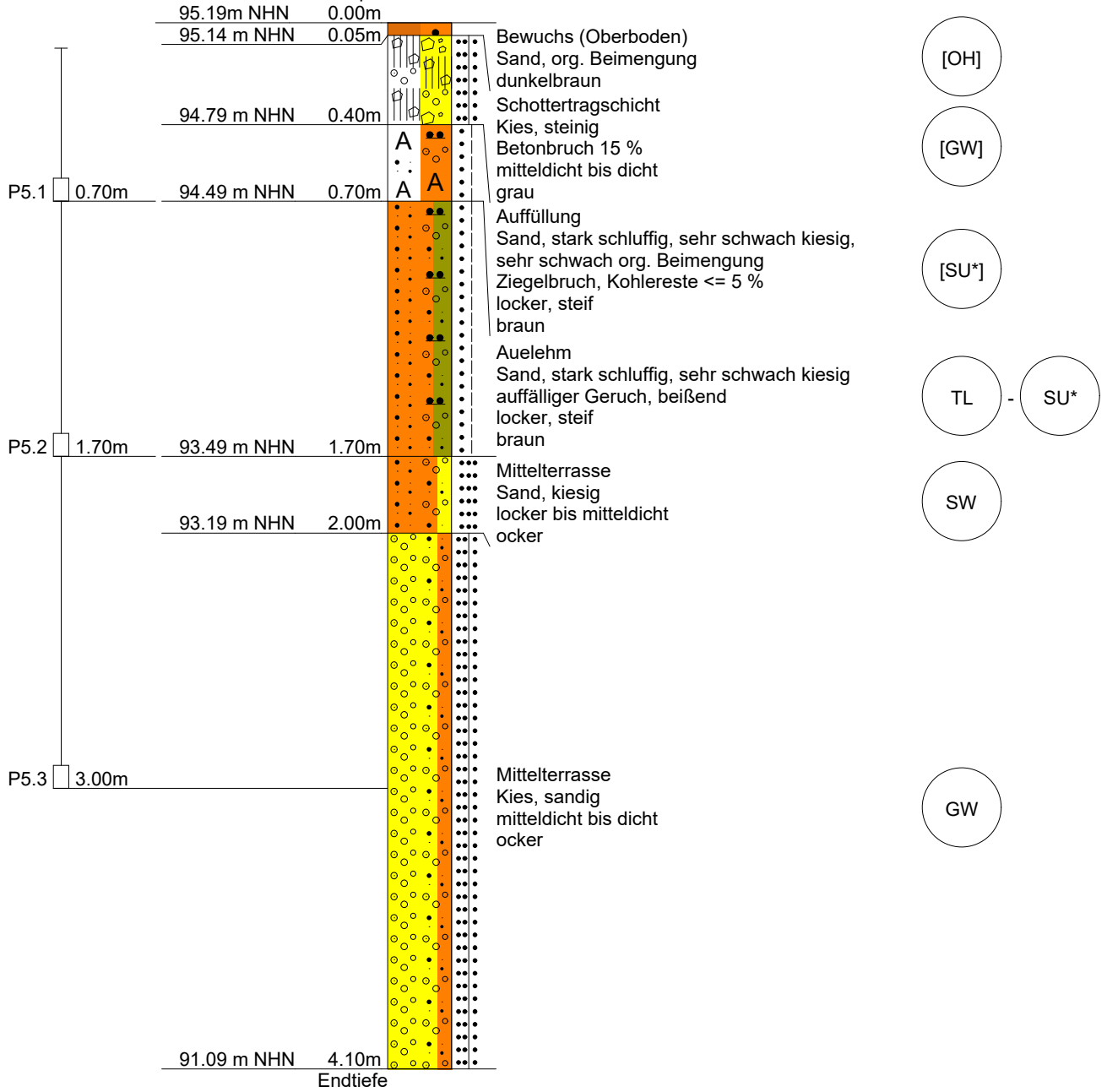


kein weiterer Rammfortschritt  
kein Grundwasser angetroffen



# RKS 05/23

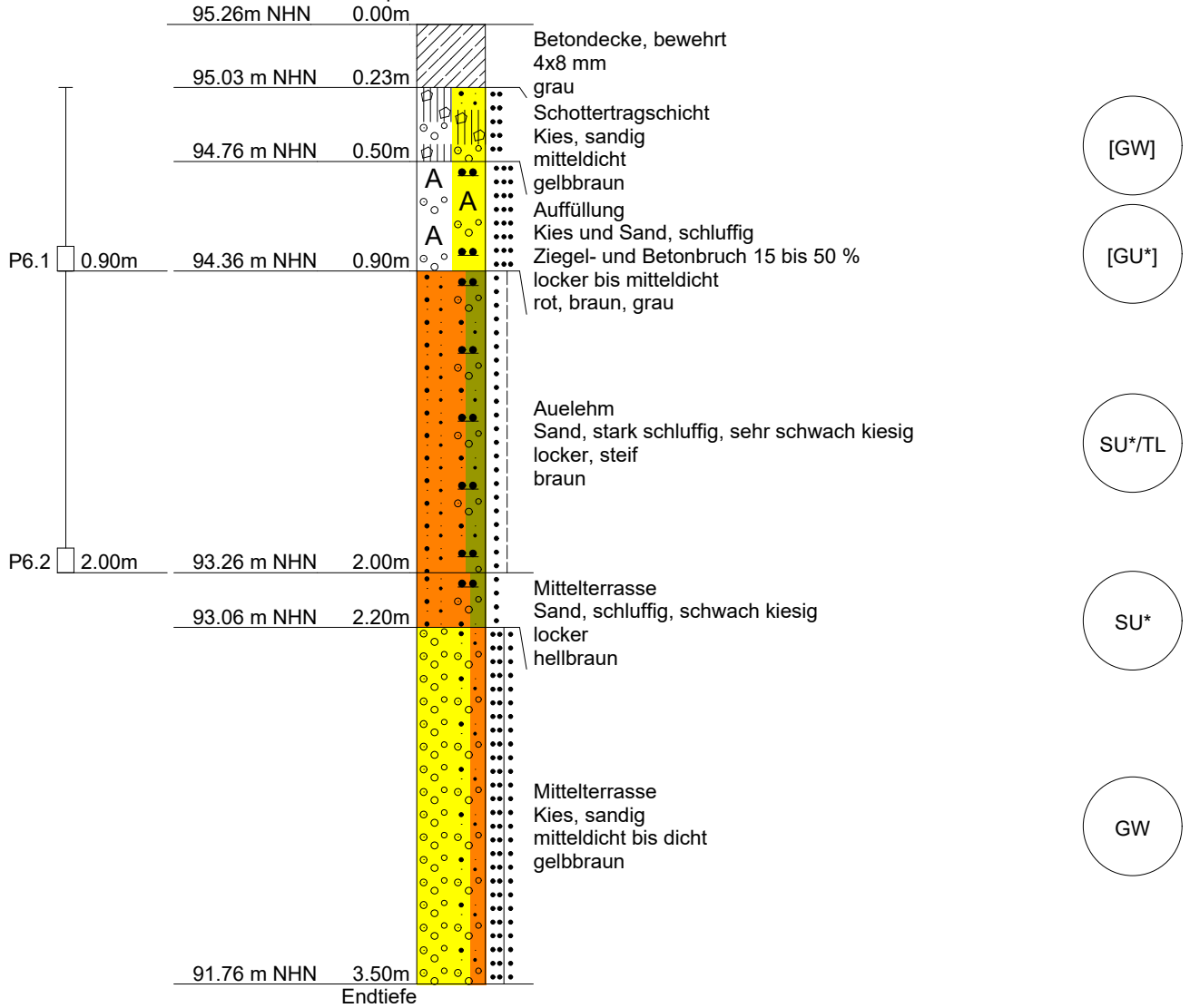
Ansatzpunkt: 95.19 m NHN



kein weiterer Rammfortschritt  
kein Grundwasser angetroffen

# RKS 06/23

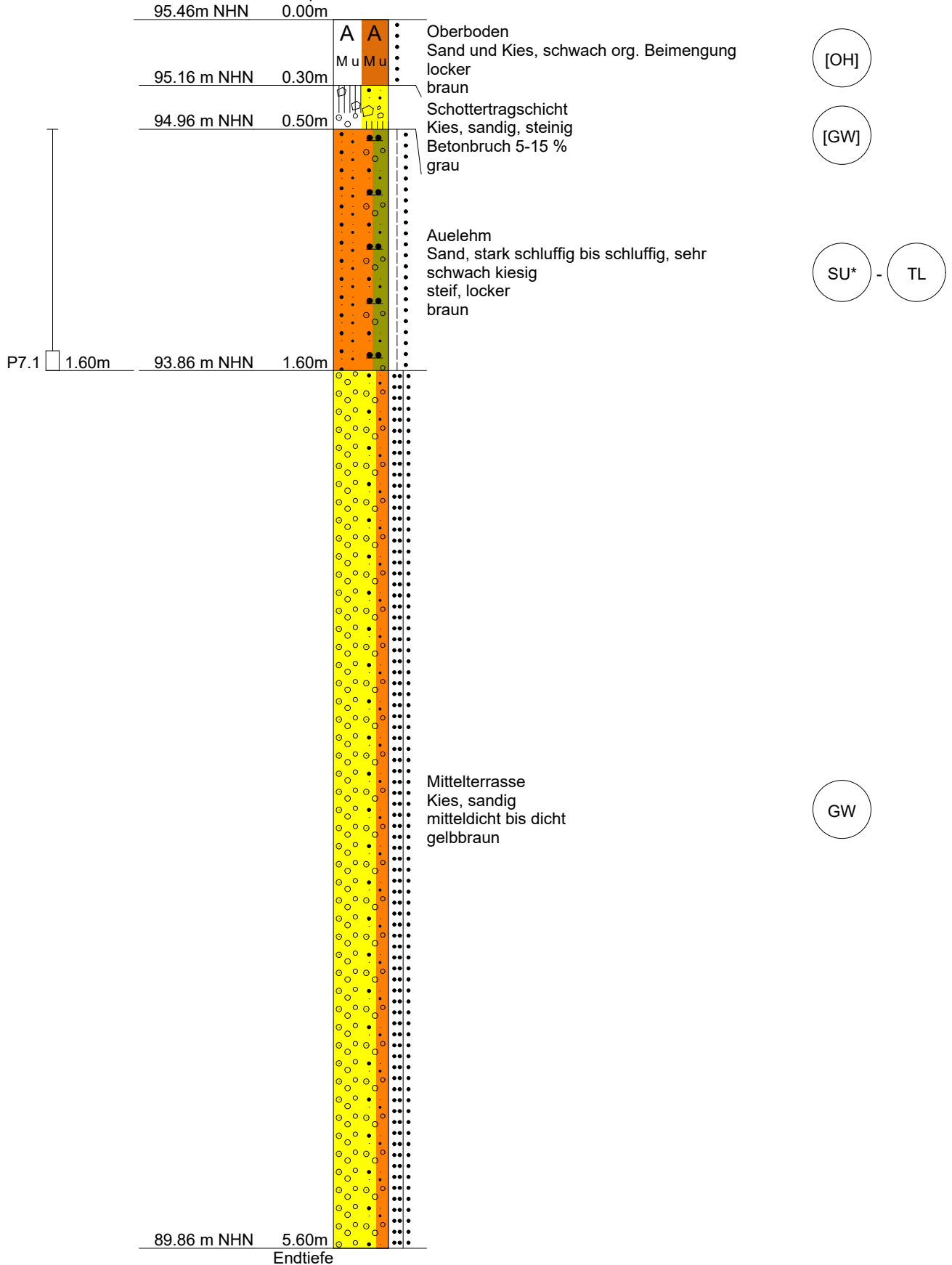
Ansatzpunkt: 95.26 m NHN



kein weiterer Rammfortschritt  
kein Grundwasser angetroffen

# RKS 07/23

Ansatzpunkt: 95.46 m NHN

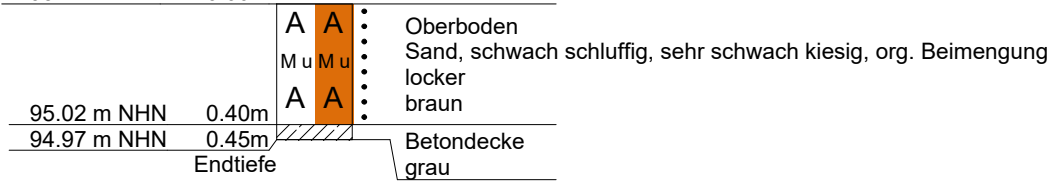


kein weiterer Rammfortschritt  
kein Grundwasser angetroffen

# RKS 08a-b/23

Ansatzpunkt: 95.42 m NHN

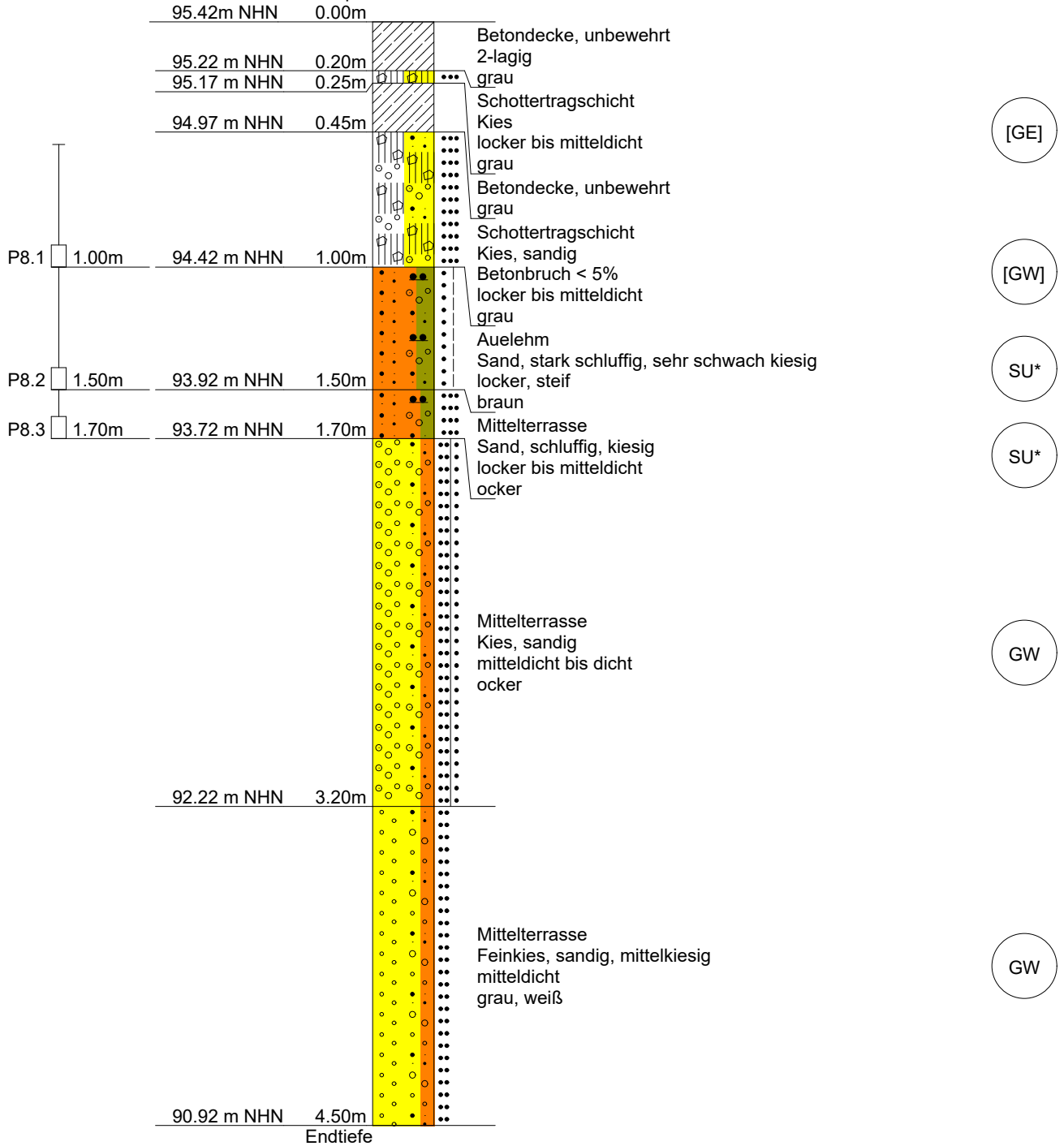
95.42m NHN 0.00m



kein weiterer Rammfortschritt  
kein Grundwasser angetroffen

# RKS 08c/23

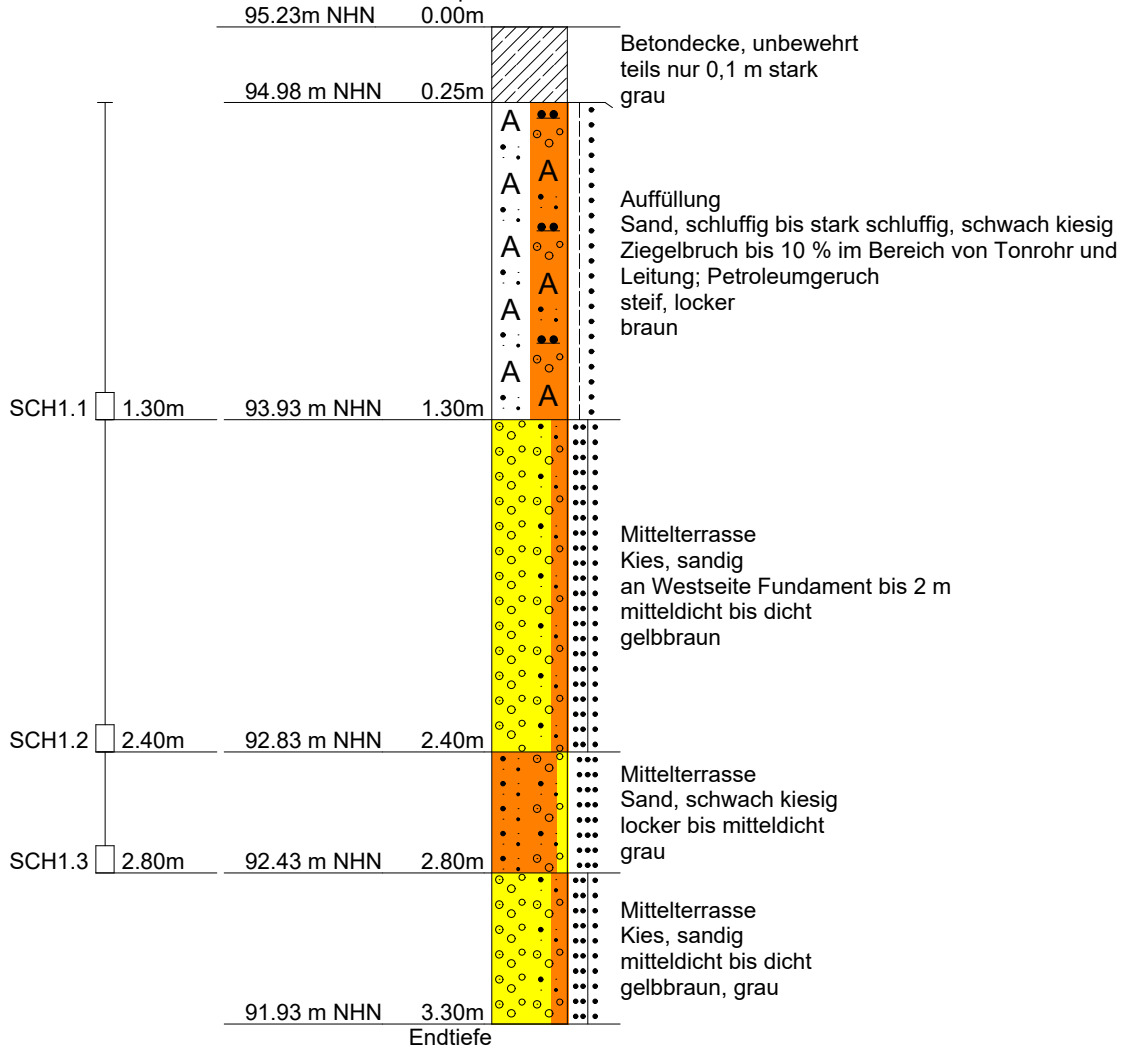
Ansatzpunkt: 95.42 m NHN



kein weiterer Rammfortschritt  
kein Grundwasser angetroffen

# SCH 1

Ansatzpunkt: 95.23 m NHN



[SU\*]

GW

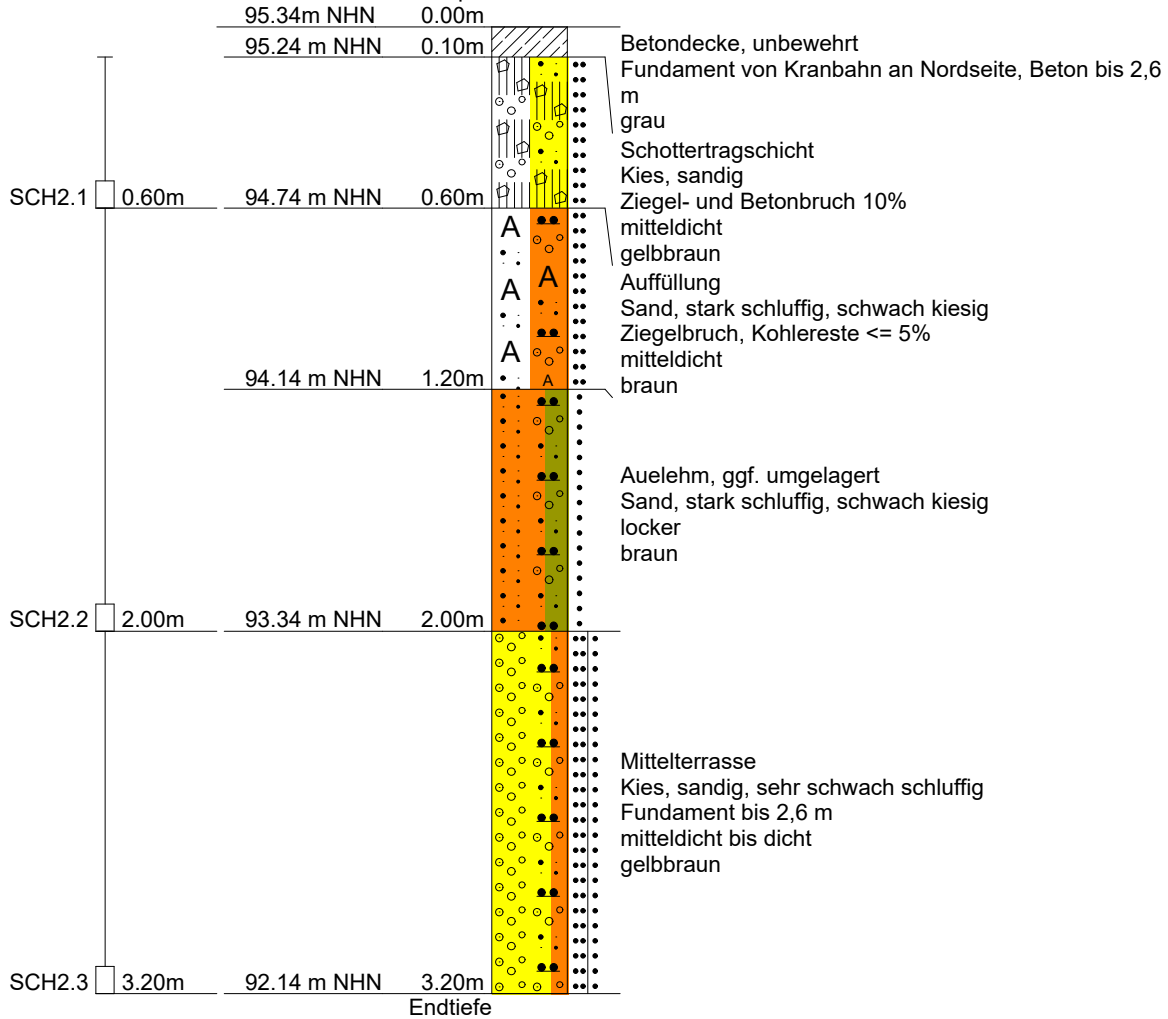
SE

GW

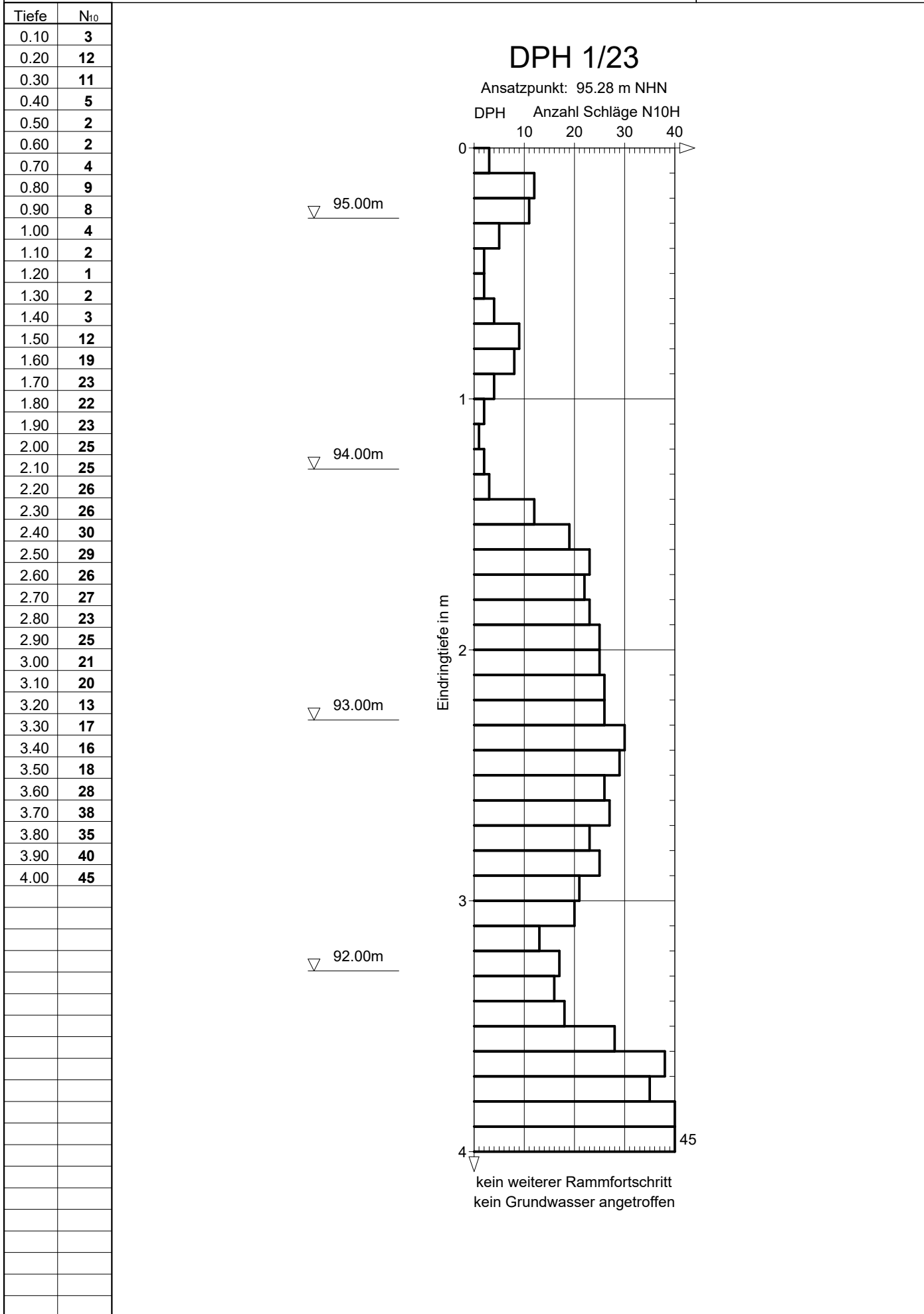
kein Grundwasser angetroffen

# SCH 2

Ansatzpunkt: 95.34 m NHN



kein Grundwasser angetroffen







Projekt: Neubau eines Zentraldepots - Leo-Herwegen-Straße - Halle

Tiefe	N <sub>10</sub>
0.10	0
0.20	5
0.30	3
0.40	5
0.50	5
0.60	4
0.70	3
0.80	3
0.90	3
1.00	5
1.10	5
1.20	3
1.30	3
1.40	2
1.50	1
1.60	2
1.70	2
1.80	7
1.90	21
2.00	40
2.10	50

# DPH 3/23

Ansatzpunkt: 95.24 m NHN

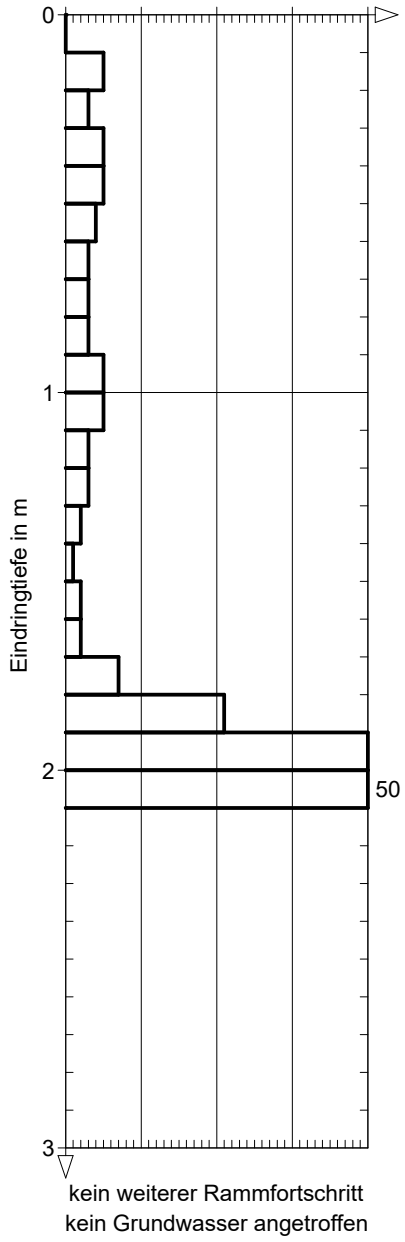
DPH Anzahl Schläge N10H

10 20 30 40

▽ 95.00m

▽ 94.00m

▽ 93.00m



Tiefe	N <sub>10</sub>
0.10	0
0.20	0
0.30	0
0.40	5
0.50	5
0.60	3
0.70	3
0.80	1
0.90	1
1.00	1
1.10	1
1.20	1
1.30	1
1.40	0
1.50	1
1.60	4
1.70	24
1.80	24
1.90	27
2.00	34
2.10	52

▽ 95.00m

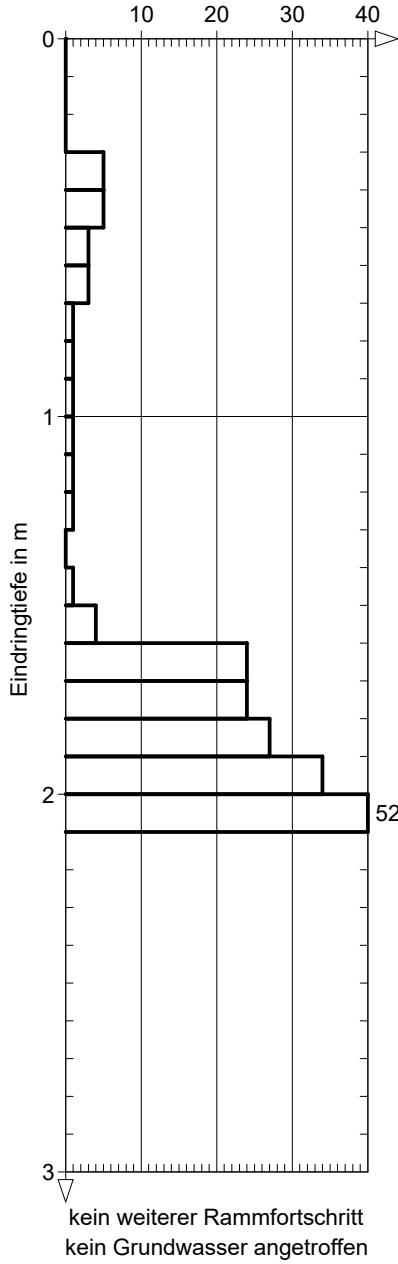
▽ 94.00m

▽ 93.00m

## DPH 4/23

Ansatzpunkt: 95.46 m NHN

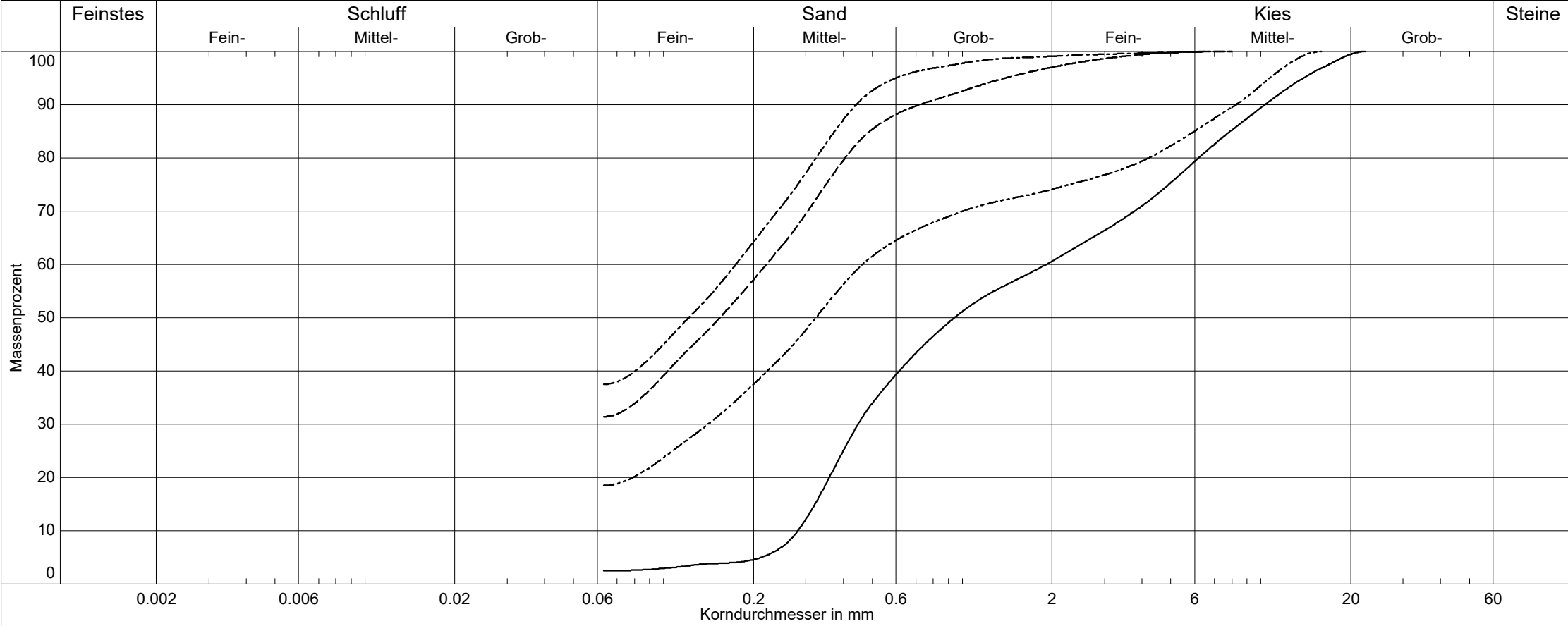
DPH Anzahl Schläge N10H



# Kornverteilung

DIN 18 123-5

Bauvorhaben Neubau eines Zentraldepots - Leo-Herwegen-Straße - Halle



Labornummer	——— P3.3	----- P6.2	----- P8.2	----- P8.3	
Entnahmestelle	RKS 3	RKS 6	RKS 8	RKS 8	
Entnahmetiefe	1,7-4,0	0,8-2,0	1,0-1,5	1,5-1,7	
Ungleichförm. Cu	6.8	-	-	-	
Krümmungszahl Cc	0.4	-	-	-	
Bodenart	mS,gs,fg,mg	mS,ū,fs,gs'	mS,ū,fs	mS,fs,u,mg',fg',gs'	
Bodengruppe	SI	SÜ	SÜ	SÜ	
Wassergehalt	2.6 %	14.1 %	12.5 %	7.3 %	
kf nach Beyer	5.0E-04 m/s	-	-	-	
kf nach Kaubisch	- (0.063 <= 10%)	1.4E-07 m/s	4.1E-08 m/s	2.3E-06 m/s	
kf nach Seiler	1.4E-03 m/s	-	-	-	
Bodenklassifizierung	grSa	siSa	siSa	grsiSa	
Anteil < 0.063 mm	2.5 %	31.4 %	37.5 %	18.5 %	

**Bodenklassifizierungen und -einteilung in Homogenbereiche nach VOB/C**

Homogenbereiche i. A. a. ATV DIN 13320:2019-09 (Landschaftsbauarbeiten), ATV DIN 18300:2019-09 (Erdarbeiten), ATV DIN 18301:2019-09 (Bohrarbeiten) und ATV DIN 18304:2019-09 (Rammarbeiten)					
Schicht	1	2	2	3	5
Bodenklassen (DIN 18300:2012)	1	3	3-4	4	6
<b>Eigenschaften und Kennwerte - Lockergestein/Boden</b>					
ortsübliche Bezeichnung	Oberboden	Schotter-tragschicht	Auffüllung	Auelehm	Mittelterrasse
Bodengruppe (DIN 18196)	A, OH	A, GW	A, TL, SU*, GU*	SU*, TL	GW
Massenanteil Ton [%] (d < 0,002 mm)	n.e.	0-1	1-15	2-20	0-5
Massenanteil Schluff [%] (d = 0,002-0,063 mm)	n.e.	0-9	10-40	30-70	5-15
Massenanteil Sand [%] (d = 0,063-2 mm)	n.e.	15-40	25-80	20-50	20-60
Massenanteil Kies [%] (d = 2-63 mm)	n.e.	40-90	10-70	0-10	40-90
Massenanteil Steine <sup>A</sup> [%] (d = 63-200 mm)	n.e.	0-15	0-15	0-5	5-30
Massenanteil Blöcke <sup>A</sup> [%] (d = 200-630 mm)	n.e.	0-5	0-5	0-1	0-5
Massenanteil große Blöcke <sup>A</sup> [%] (d > 630 mm)	n.e.	0-1	0-1	0-1	0-1
organischer Anteil [%]	n.e.	0-1	0-15	0-5	0-5
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	n.e.	1,9-2,0	1,6-2,0	1,6-1,9	2,0-2,1
Wassergehalt [%]	n.e.	5-20	5-30	10-30	5-25
Plastizitätzahl I <sub>p</sub>	n.e.	-	0,05-0,20	0,05-0,25	-
Konsistenzzahl I <sub>c</sub>	n.e.	-	0,75-1,00	0,75-1,25	-
Lagerungsdichte I <sub>D</sub> [%]	n.e.	15-50 (locker bis mitteldicht)	15-50 (locker bis mitteldicht)	<15-35 (sehr locker bis locker)	35-85 (mitteldicht bis dicht)
Kohäsion in kN/m <sup>2</sup>	n.e.	-	0-6	0-5	0-4
undränierete Scherfestigkeit in kN/m <sup>2</sup>	n.e.	-	5-25	5-30	-
Abrasivität CAI	n.e.	3,5-4,5 (stark bis extrem abrasiv)	0,5-2,0 (schwach bis stark abrasiv)	0,3-0,5 (kaum abrasiv)	3,5-4,5 (stark bis extrem abrasiv)
umweltrelevante Inhaltsstoffe	Siehe Abfallcharakterisierung S23-XXX				
<b>Homogenbereiche DIN 18300:2016-09 Erdarbeiten: Lösen und Laden<sup>B</sup></b>	-	EA <sub>LL</sub> 1		EA <sub>LL</sub> 2	EA <sub>LL</sub> 3
<b>Homogenbereiche DIN 18300:2016-09 Erdarbeiten: Einbauen und Verdichten<sup>B,C,D</sup></b>	-	EA <sub>EV</sub> 1	EA <sub>EV</sub> 2 <sup>D</sup>	EA <sub>EV</sub> 3 <sup>D</sup>	EA <sub>EV</sub> 4
<b>Homogenbereiche DIN 18320:2019-09 Landschaftsbauarbeiten</b>	LA 1	-	-	-	-

<sup>A</sup> Angaben ohne Gewähr

n.e. = Angaben nicht erforderlich

<sup>B</sup> unter Beachtung der einsetzbaren Erdbaugeräte (Lösen und Laden → Annahme: Bagger; Einbauen und Verdichten → Annahme: Rüttelplatte). Bei Einsatz abweichender Erdbaugeräte, sind die Homogenbereiche ggf. entsprechend anzupassen.

<sup>C</sup> Die Wiedereinbaufähigkeit ist abhängig von der Zuordnung nach LAGA M 20 sowie dem Abstand zum Grundwasserstand. Dies ist von Planerseite zu überprüfen.

<sup>D</sup> Organische Böden bzw. Böden mit organischen Beimengungen sind für einen Wiedereinbau in technischen Bauwerken nicht geeignet

<sup>E</sup> Tonstein mit erhöhten Gips-/ Anhydritbeimengungen sowie Gips/Anhydrit sind für einen Wiedereinbau nicht geeignet

**Radiologische Vorerkundung für das Bauvorhaben  
„Neubau eines Zentraldepots“  
auf der Leo-Herwegen-Straße Flurstück 3 / 2432 Ammendorf in Halle (Saale)**

**Auftraggeber:** Ingenieurbüro für Baugrund Jacobi GmbH  
Gustav-Weißkopf-Straße 4  
99094 Erfurt

**Projektname:** Radiologische Vorerkundung für das Bauvorhaben  
„Neubau eines Zentraldepots“  
auf der Leo-Herwegen-Straße Flurstück 3 / 2432 Ammendorf in Halle (Saale)

**Projektnummer:** 230530-03

**Auftragnehmer:** IAF-Radioökologie GmbH

**Autor:** Dipl.-Ing. (BA) R. Baumert

Radeberg, den 22.06.2023



Dr. rer. nat. habil. Hartmut Schulz  
Geschäftsführer



Die Akkreditierung gilt für die in Abschnitt 3 des Berichtes dargestellten Ergebnisse der ODL-Messungen (SOP 4-01, 2014-08), Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft (SOP 4-02, 2018-11) und Radionuklidanalysen (SOP 3-09, 2018-11). Die im Bericht enthaltenen Bewertungen basieren auf diesen Ergebnissen.

Wilhelm-Rönsch-Str. 9  
01454 Radeberg  
Tel. +49 (0) 3528 48730-0  
Fax +49 (0) 3528 48730-22  
E-Mail [info@iaf-dresden.de](mailto:info@iaf-dresden.de)

Geschäftsführer:  
Dr. rer. nat. habil. Hartmut Schulz  
Dr. rer. nat. Christian Kunze  
Dipl.-Ing. (BA) René Baumert  
Handelsregister: HRB 9185  
Amtsgericht Dresden

Bankverbindung:  
HypoVereinsbank Dresden  
IBAN: DE92 8502 0086 5360 1794 29  
SWIFT (BIC): HYVEDEMM496

---

**Inhalt**

1	Veranlassung und Aufgabenstellung.....	3
2	Zur rechtlichen Situation .....	4
3	Radiologische Erkundung des Baugrunds .....	5
3.1	Baugrundsituation .....	5
3.2	Messverfahren zur Einschätzung der radiologischen Situation.....	6
3.3	Darstellung der Messergebnisse und Berechnungen .....	7
3.3.1	Messung der Ortsdosisleistung der Gammastrahlung (ODL).....	7
3.3.2	Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft und der Gaspermeabilität des Bodens.....	7
3.3.3	Radionuklidanalysen der Bodenproben .....	9
3.3.4	Abschätzung der Radonkonzentration in der Bodenluft .....	9
3.4	Bewertung des Radonrisikos.....	10
4	Zusammenfassung und Empfehlungen zur praktischen Bauausführung.....	14
5	Literaturverzeichnis.....	15

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1:	Statistische Kennwerte zu den ODL-Werten, angegeben als Umgebungs- Äquivalentdosis $H^*(10)$ .....	7
Tabelle 2:	Ergebnisse der Messungen der Radonkonzentrationen in der Bodenluft ( $C_{Rn-Boden}$ ) und der Gaspermeabilitäten ( $k$ ) des Bodens.....	8
Tabelle 3:	Spezifische Aktivitäten (Messunsicherheit 10% - 35%) der relevanten Radionuklide in den Proben, bezogen auf die Trockenmasse.....	9
Tabelle 4:	Einteilung der Radonklasse nach dem Radonverfügbarkeitsindex RVI.....	11
Tabelle 5:	Einschätzung des Baugrunds nach der Radonaktivitätszahl $R_{na}$ .....	12
Tabelle 6:	Einschätzung des Radonpotenzials des Baugrunds .....	13

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1:	Lage des geplanten Baufeldes (ohne Maßstab; <a href="http://www.geodatenportal.sachsen-anhalt.de">www.geodatenportal.sachsen-anhalt.de</a> ).....	3
Abbildung 2:	Teilansichten des geplanten Baufelds zum Zeitpunkt der Messungen (26.05.2023).....	5
Abbildung 3:	Teilansichten des geplanten Baufelds zum Zeitpunkt der Messungen (26.05.2023).....	5
Abbildung 4:	Räumliche Verteilung der gemessenen ODL-Werte (nSv/h).....	7
Abbildung 5:	Räumliche Lage der Messpunkte zur Bestimmung der Radonkonzentration in der Bodenluft und der Gaspermeabilität des Bodens (BL) sowie der Entnahmepunkte der Bodenproben (BP).....	8
Abbildung 6:	Abhängigkeit der Radonaktivitätszahl ( $R_{na}$ ) bzw. der Radonklasse von der Radonkonzentration in der Bodenluft und der Permeabilität des Bodens.....	11

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Gemäß dem durch die Ingenieurbüro für Baugrund Jacobi GmbH, Gustav-Weißkopf-Straße 4 in 99094 Erfurt erteilten Auftrag vom 17.04.2023 sind durch die IAF-Radioökologie GmbH (IAF) radiologische Untersuchungen zu einem eventuell bestehenden Radonrisiko bezüglich der geplanten Errichtung eines Zentraldepots, Leo-Herwegen-Straße Halle (Saale) durchzuführen (s. Abbildung 1). Als Neubau sind ein nichtunterkellertes 3 bis 4 geschossiges Gebäude vorgesehen.

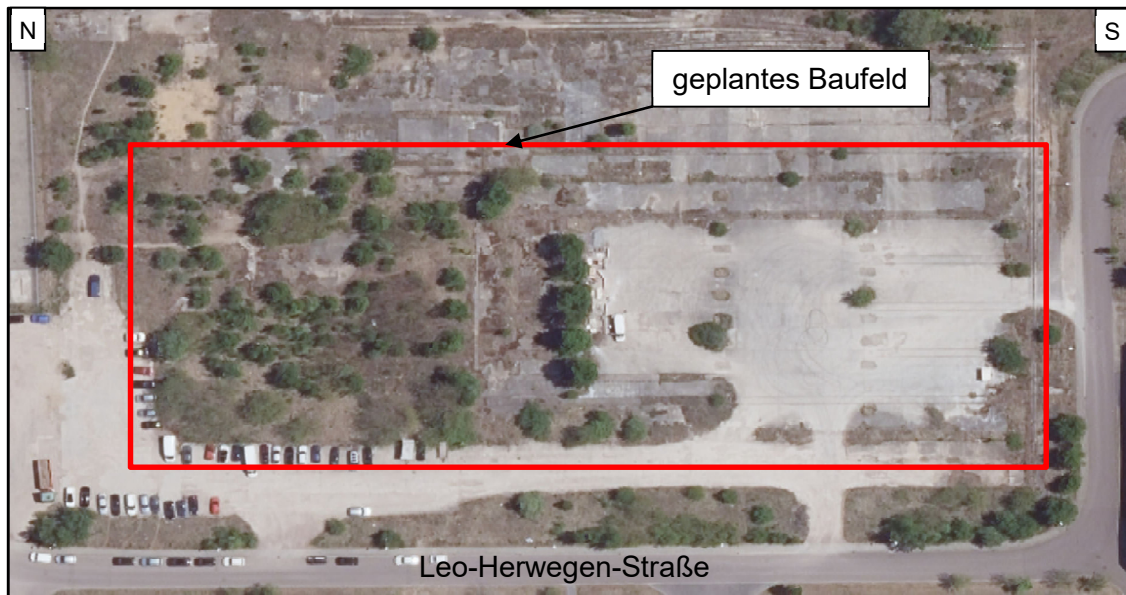


Abbildung 1: Lage des geplanten Baufeldes (ohne Maßstab; [www.geodatenportal.sachsen-anhalt.de](http://www.geodatenportal.sachsen-anhalt.de))

Für eine belastbare Bewertung des Radonrisikos sind auf dem vorgesehenen Baugrundstück Überblicksmessungen der Ortsdosisleistung (ODL) der Gammastrahlung sowie In-situ-Messungen zur Bestimmung der Radonkonzentration in der Bodenluft und der Gaspermeabilität des Bodens durchzuführen. Zusätzlich sind in Bodenproben die spezifischen Aktivitäten der relevanten natürlichen Radionuklide im akkreditierten Labor von IAF zu bestimmen. Die Ergebnisse der radiologischen Untersuchungen bilden die Grundlage für entsprechende Schlussfolgerungen hinsichtlich eines bestehenden Radonrisikos des zu bebauenden Baugrunds. In Abhängigkeit von den Untersuchungsergebnissen sind Empfehlungen für eine radongeschützte Bauweise für das geplante Gebäude zu unterbreiten. Die Untersuchungsergebnisse werden im Abschnitt 3 diskutiert.



---

## 2 Zur rechtlichen Situation

Nach dem Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [1] vom 27.06.2017 und der novellierten Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [2] vom 29.11.2018 gelten erweiterte Regelungen bzgl. des Radonschutzes (§§121 - 132 StrlSchG, §§153 - 158 StrlSchV). Für Aufenthaltsräume und Arbeitsplätze wurde ein Referenzwert von  $300 \text{ Bq/m}^3$  (Jahresmittelwert) als Radoninnenraumkonzentration fixiert.

Nach §123 Abs. 1 Satz 1 des StrlSchG ist derjenige, der ein Gebäude mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen errichtet (in der Regel ist das der Bauherr), verpflichtet, geeignete Maßnahmen zu treffen, um den Zutritt von Radon aus dem Baugrund zu verhindern oder erheblich zu erschweren. Aufgrund der geologischen Bedingungen ist es in Deutschland in großen Gebieten aber nicht wahrscheinlich, dass durch den Zutritt von Bodenluft in die Gebäude in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen der Referenzwert von  $300 \text{ Bq/m}^3$  (§124, StrlSchG) überschritten wird. Dort sind die Maßnahmen, die heute Stand der Technik sind, ausreichend um das Schutzziel zu erreichen, dass durch das StrlSchG angestrebt wird. Deshalb sind in diesem Fall erforderliche Maßnahmen zum Radonschutz als erfüllt anzusehen, wenn die nach den anerkannten Regeln der Technik erforderlichen Maßnahmen zum Feuchteschutz durchgeführt worden sind (§123 Abs. 1 Ziff. 1, StrlSchG).

Die radiologische Vorerkundung für das Bauvorhaben zielt darauf ab, dass eventuell bestehende Radonrisiko durch entsprechende radiologische Messungen, die Grundlage für ein belastbares Bewertungsschema sind, einzuschätzen und ausgehend von den Ergebnissen entsprechende Empfehlungen für Maßnahmen zur Minimierung des Radonrisikos geben zu können.

### 3 Radiologische Erkundung des Baugrunds

#### 3.1 Baugrundsituation

Das für das Zentraldepot vorgesehene Baufeld befindet sich in der Leo-Herwegen-Straße, Flurstück 3 / 2432 Ammendorf in Halle (Saale) in einem ehemaligen Industriegebiet und ist gegenwärtig eine unbebaute Brachfläche. Es wird im Westen von einer Bahnlinie und im Osten von der Leo-Herwegen-Straße begrenzt. Im Süden des Untersuchungsgebietes befinden sich Gewerbegebäude, im Norden der Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt. Vor 1990 befand sich auf dem Gelände des zukünftigen Zentraldepots ein Werk für Waggonbau. Nach 1990 wurden die Firmengebäude rückgebaut und das Gelände zu großen Teilen mit Beton versiegelt. Zum jetzigen Zeitpunkt ist der südliche Bereich durch Betonstraßen, Betonplatten und Fundamente, Gleisanlagen, versiegelte Pflasterflächen und Schotterflächen geprägt. Der nördliche Teil des Untersuchungsgebietes ist mit Büschen und Bäumen bewachsen und nicht versiegelt. Einen optischen Eindruck von der Untersuchungsfläche zum Zeitpunkt der Messungen vermitteln die Abbildung 2 und Abbildung 3.



Abbildung 2: Teilansichten des geplanten Baufelds zum Zeitpunkt der Messungen (26.05.2023)

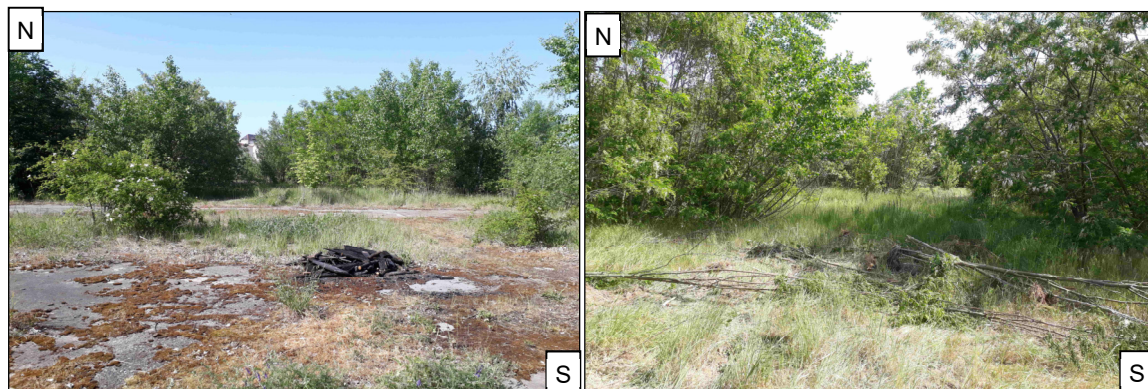


Abbildung 3: Teilansichten des geplanten Baufelds zum Zeitpunkt der Messungen (26.05.2023)

Gemäß dem durch das Ingenieurbüro für Baugrund JACOBI GmbH, Straße des Friedens 4 in 99094 Erfurt erstellten Baugrundgutachten [3], besteht der Untergrund bis in eine Tiefe von maximal 5,2 m uGOK aus Schotter der Mittelterrasse, Auelehmen, Auffüllung und Schottertragschicht. Der nicht versiegelte Teil der Untersuchungsfläche ist zusätzlich noch mit einer 0,4 m mächtigen Oberbodenschicht bedeckt.

Im nördlichen Bereich des Baufeldes wurden oberhalb der Schottertragschicht versiegelte Flächen mit Betonplatten mit einer Mächtigkeit von 0,1 m bis 0,25 m erkundet. Die versiegelten Flächen im Süden weisen oberhalb der Schottertragschicht einen bewährten Beton mit einer Mächtigkeit von bis zu 0,23 m auf. Auf einem Teil der versiegelten Flächen wurden oberhalb der Schottertragschicht zusätzlich Pflasterungen aus Schlackesteinen und Betonplatten verschiedener Größe, die teilweise in Betonbettung verlegt sind, vorgefunden.

Unter dem Oberboden bzw. Verkehrsflächenoberbau folgt bis maximal 1 m Tiefe eine Schottertragschicht. Die darunter liegenden Auffüllungen bis 1,3 m uGOK bestehen aus überwiegend umgelagerten natürlichen Boden mit geringfügigen Anteilen an Fremdstoffen. Der Fremdstoffanteil setzt sich aus Ziegel-, Ton-, Beton-, Glas-, und Kabelresten zusammen. Unter den Auffüllungen folgt bis maximal 2 m Sondierungstiefe Auelehm/-sand, bestehend aus Schluff-Sand-Gemisch. Der Auelehm/-sand liegt auf Schotter mit einer Dicke von 5,2 m der Mittelterrasse auf. Die Auelehm/-sandschicht ist lokal mit bis zu 0,3 m mächtigen Sandlagen durchzogen.

Gemäß dem Baugrundgutachten [3] kann die Gründung des Zentraldepots über Streifen- und Einzelfundamente erfolgen. Die umlaufenden Fundamente sind frostsicher, mindestens 1 m unter der Oberfläche des endgültigen Geländes einzubinden. Wenn Gebäudeteile auf nicht tragfähigem Untergrund mit Auffüllung und Erdstoff errichtet werden, sind gegebenenfalls Tiefgründungen notwendig. Für eine diesbezügliche Abklärung sollte eventuell ein Bauwerksachverständiger hinzugezogen werden. Beim Einbau der Streifenfundamente sind die unterschiedlichen Gründungstiefen zu beachten. Hierfür ist der Einbau der Streifenfundamente in Stufen mit bis zu einer maximalen Höhe von 0,5 m zulässig. Nicht freitragende Fußbodenplatten sind separat auf eine 0,45 m mächtige Kies-Schicht zu gründen. Wobei 0,15 m kapillarbrechender Kies (z.B. 4/16) und darunter 0,3 m gut lastverteilernde Kiese oder Schotter (0/45) einzubauen sind.

### 3.2 Messverfahren zur Einschätzung der radiologischen Situation

Die Messverfahren zur Einschätzung der radiologischen Situation des Baugrunds basieren hauptsächlich auf den nachfolgend aufgeführten Kenngrößen:

- Die Ortsdosisleistung (ODL) der Gammastrahlung wird mit einem geeichten Dosisleistungsmessgerät der Firma AUTOMESS ca. 1 m über der Geländeoberfläche bestimmt und als Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*10$  in nSv/h angegeben.
- Die spezifischen Aktivitäten von Bodenproben ( $A_{\text{Boden}}$  in Bq/kg) werden im akkreditierten Labor der IAF mittels Gammaskopimetrie bestimmt.
- Die Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft ( $C_{\text{Rn-Boden}}$  in kBq/m<sup>3</sup>) wird mit dem Radonmonitor RTM (Fa. Sarad) durchgeführt, wobei vorzugsweise Bodenluft aus einer Tiefe von ca. 1,0 m angesaugt wird.
- Die Gaspermeabilität des Bodens ( $k$  in m<sup>2</sup>) wird aus der erforderlichen Zeit, ein definiertes Bodenluftvolumen bei konstantem Unterdruck anzusaugen, bestimmt [4].

### 3.3 Darstellung der Messergebnisse und Berechnungen

#### 3.3.1 Messung der Ortsdosisleistung der Gammastrahlung (ODL)

Die radiologischen Vor-Ort-Messungen auf der Untersuchungsfläche erfolgten am 26.05.2023. Die an der Geländeoberkante gemessenen ODL-Werte in 1 m Höhe sind in der Abbildung 4 räumlich eingeordnet. Die statistischen Kennwerte zu den ODL-Messungen sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

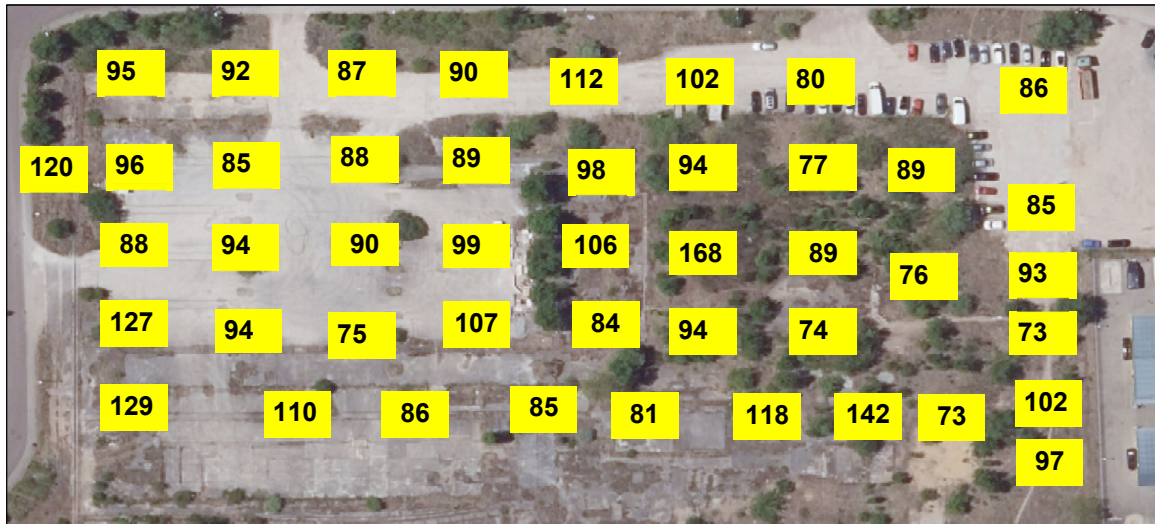


Abbildung 4: Räumliche Verteilung der gemessenen ODL-Werte (nSv/h)

Tabelle 1: Statistische Kennwerte zu den ODL-Werten, angegeben als Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$

Anzahl der Messpunkte	Min [nSv/h]	Max [nSv/h]	Mittelwert [nSv/h]	Median [nSv/h]
45	73	168	96	92

Die Ergebnisse der ODL-Messungen verdeutlichen, dass die Messwerte in einem weiten Bereich von 73 nSv/h bis 168 nSv/h variieren (arithmetischer Mittelwert: 96 nSv/h). Insgesamt liefern damit die ODL-Werte keine direkten Hinweise darauf, dass oberflächennah Substrate mit erhöhten Radionuklidgehalten vorhanden sein könnten. Diese In-situ-Messergebnisse werden auch durch die Ergebnisse der Radionuklidanalysen bestätigt (vgl. Abschnitt 3.3.3).

#### 3.3.2 Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft und der Gaspermeabilität des Bodens

Die Bodenluftmessungen wurden in ca. 1,0 m uGOK durchgeführt und spiegeln die Radonsituation an den erdberührenden Außenwänden wider. Die räumliche Lage der Messpunkte zur Bestimmung der Radonkonzentrationen in der Bodenluft ( $C_{Rn-Boden}$ ) und der Gaspermeabilitäten des Bodens ( $k$ ) (Beprobungspunkte BP1 bis BP10) sind in der Abbildung 5 dargestellt.



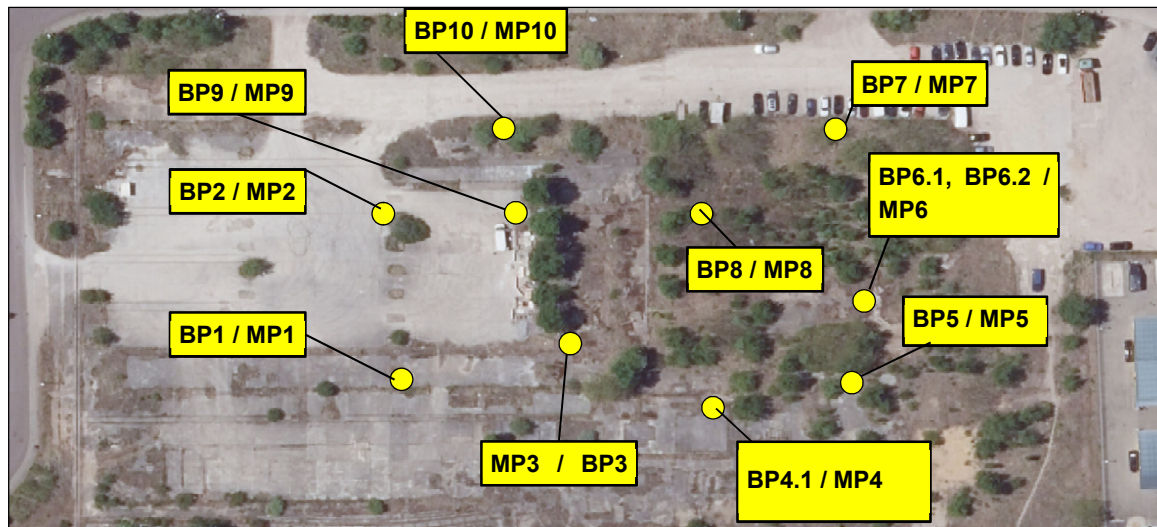


Abbildung 5: Räumliche Lage der Messpunkte zur Bestimmung der Radonkonzentration in der Bodenluft und der Gaspermeabilität des Bodens (BL) sowie der Entnahmepunkte der Bodenproben (BP)

Die Ergebnisse der Bodenluftmessungen und der Messungen der Gaspermeabilität sind in der Tabelle 2 zusammengefasst. Die Radonkonzentrationen variierten in einem Bereich zwischen  $17 \text{ kBq/m}^3$  (BL10) und  $57 \text{ kBq/m}^3$  (BL1). Die Bestimmung der Gaspermeabilität des oberflächennahen Bodens führte zu Werten, die in einem sehr ausgedehnten Messwertbereich zwischen  $0,071 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$  (BL8) und  $100 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$  (BL10) anzusiedeln sind. Sie spiegeln die stark heterogene Zusammensetzung des Untergrunds, bestehend aus Sanden, Lehmen, Kiesen und Auffüllungen, wider.

Tabelle 2: Ergebnisse der Messungen der Radonkonzentrationen in der Bodenluft ( $C_{\text{Rn-Boden}}$ ) und der Gaspermeabilitäten (k) des Bodens

Messpunkt	Messtiefe [m uGOK]	Radonkonzentration in der Bodenluft [ $\text{kBq/m}^3$ ]	Gaspermeabilität [ $\text{m}^2$ ]
BL1	ca. 1,0	57	$8,5\text{E-}13$
BL2	ca. 1,0	25	$1,1\text{E-}11$
BL3	ca. 1,0	19	$6,7\text{E-}12$
BL4	ca. 1,0	31	$5,2\text{E-}13$
BL5	ca. 1,0	27	nicht auswertbar
BL6	ca. 1,0	31	$1,0\text{E-}10$
BL7	ca. 1,0	37	$2,9\text{E-}12$
BL8	ca. 1,0	28	$7,1\text{E-}14$
BL9	ca. 1,0	32	$2,5\text{E-}11$
BL10	ca. 1,0	17	nicht auswertbar

### 3.3.3 Radionuklidanalysen der Bodenproben

Das Radonpotenzial der im Baugrund vorliegenden Substrate wurde durch Radionuklidanalysen von Bodenproben, die durch IAF mittels Handbohrung aufgeschlossen wurden, zusätzlich spezifiziert. Die in ca. 1,0 m uGOK entnommenen Proben aus den Sanden, Lehm und Auffüllungen bilden die radiologische Situation im Bereich der angenommenen Gründungsschicht ab. In den Bodenproben sind die spezifischen Aktivitäten der relevanten Radionuklide der U-238-Zerfallsreihe (U-238 und Ra-226) und der Th-232-Zerfallsreihe (Ra-228 und Th-228) im akkreditierten Labor der IAF bestimmt worden. Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Spezifische Aktivitäten (Messunsicherheit 10% - 35%) der relevanten Radionuklide in den Proben, bezogen auf die Trockenmasse

Probenbezeichnung	Probenahmetiefe [m uGOK]	Substrat	U-238 [Bq/kg]	Ra-226 [Bq/kg]	Ra-228 [Bq/kg]	Th-228 [Bq/kg]
BP1	0,5	Sand, Auffüllung	17	17	20	20
BP2	0,5	Sand, Auffüllung	22	20	23	23
BP3	1 bis 2	Kies	19	19	21	21
BP4.1	0,5 bis 1	Auffüllung, natürl. Boden	33	30	34	35
BP5	0,5	Sand, Kies, Auffüllung	14	15	16	16
BP6.1	0,5 bis 1,6	Lehm, Sand, Auffüllung	26	31	35	35
BP6.2	0,5	Sand, Lehm, Kies, Auffüllung	23	22	26	25
BP7	0,5	Sand, Kies, Auffüllung	25	26	28	27
BP8	0,5	Lehm, Sand, Auffüllung	15	17	19	19
BP9	1	Sand, Lehm, Auffüllung	29	25	32	32
BP10	0,5	Sand, Auffüllung	18	18	17	17

Die Ergebnisse der Radionuklidanalysen belegen, dass die untersuchten Substrate keine erhöhten Radionuklidgehalte aufweisen. Die für die Abschätzung der Radonkonzentration in der Bodenluft relevante spezifische Ra-226-Aktivität variiert zwischen 17 Bq/kg und 31 Bq/kg (vgl. Abschnitt 3.3.4).

### 3.3.4 Abschätzung der Radonkonzentration in der Bodenluft

Die Abschätzung des Radonpotenzials des Baugrunds basiert vor allem auf den Ergebnissen der Radionuklidanalysen (vgl. Kapitel 3.3.3). Bei überwiegend durch Diffusion geprägten Transportprozessen im Baugrund sind in ca. 1,0 m Tiefe Messwerte der Radonkonzentration in der Bodenluft zu erwarten, die den Zusammenhang zwischen spezifischer Ra-226-Aktivität, Radon-Emanation und Bodenluftvolumen für die untersuchten Schichten im Rahmen der jeweiligen Messgenauigkeiten widerspiegeln. In guter Näherung kann die zu erwar-

tende Radonkonzentration  $\bar{C}_{Rn}$  in der Bodenluft für die abgelagerten mineralischen Substrate über folgende Beziehung abgeschätzt werden:

$$\bar{C}_{Rn} = \frac{A_{Ra-226} \cdot E \cdot \rho}{n}, \quad (1)$$

wobei

$A_{Ra-226}$ : spezifische Aktivität von Ra-226 im untersuchten Boden [Bq/kg]

$\rho$ : Dichte des Bodens bzw. Baugrunds [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$E$ : Emanationskoeffizient des Bodens bzw. Baugrunds und

$n$ : Porosität des Bodens bzw. Baugrunds sind.

Bei einer geschätzten Bodendichte von  $1,5 \text{ g}/\text{cm}^3$ , einer Radon-Emanation von  $E = 0,2$  und einer typischen Porosität von  $n = 0,3$  ergibt sich die einfache Näherungsformel

$$\bar{C}_{Rn} \approx A_{Ra-226} \left[ \frac{\text{kBq}}{\text{m}^3} \right] \quad (2)$$

Die nach (1) oder (2) berechnete Radonkonzentration in der Bodenluft  $\bar{C}_{Rn}$  wird für die weitere quantitative Abschätzung des Radonrisikos herangezogen, um eine quantitative Diskussion führen zu können.

Für die im Baugrund vorhandenen Substrate können somit auf Grundlage der Radionuklidanalytik (vgl. Abschnitt 3.3.3) die zu erwartenden Radonkonzentrationen abgeschätzt werden, wobei auch eine Schwankung der bodenphysikalischen Parameter und der Emanation um jeweils 30% in Betracht gezogen werden muss. Es ist somit für den Baugrund unter Betrachtung der spezifischen Ra-226-Aktivitäten (vgl. Tabelle 3) ein Wertebereich der Radonkonzentrationen in der Bodenluft von  $13 \text{ kBq}/\text{m}^3$  bis  $130 \text{ kBq}/\text{m}^3$  zu prognostizieren, der gut mit den Ergebnissen der In-situ-Messungen übereinstimmt (vgl. Abschnitt 3.3.2).

### 3.4 Bewertung des Radonrisikos

Für die Bewertung des Radonrisikos des Baugrunds ist die Radonverfügbarkeit in der Gründungsschicht entscheidend, die auf der Kenntnis der Radonkonzentration in der Bodenluft und der Gaspermeabilität basiert. In Anlehnung an die Darstellung von Roßbander et al. [5] sowie Schulz et al. [6] wird das Radonrisiko für den Baugrund bei bindigen Böden mit Permeabilitätswerten  $k \leq 10^{-12} \text{ m}^2$  über die **Radonaktivitätszahl**  $R_{na}$  nach Slunga [7] und bei Böden mit Permeabilitätswerten von  $k > 10^{-12} \text{ m}^2$  über den **Radonverfügbarkeitsindex RVI** (s. a. [8], [9], [10]) bewertet.

Die **Radonaktivitätszahl**  $R_{na}$  ist durch

$$R_{na} = \log \left[ 6 \cdot C_0 \cdot k^{1/13} \right] - 3 \quad (3)$$

definiert, wobei  $C_0$  die bei einer Mehrfachbeprobung ermittelte maximale Radonkonzentration im Boden oder die um den Faktor 2 vergrößerte mittlere Radonkonzentration in etwa 0,8 m Tiefe darstellt. Der Normalbereich (normal) ist durch Radonaktivitätszahlen definiert, die im Bereich  $1 < R_{na} \leq 2$  anzusiedeln sind. Der entsprechende Wertungsmaßstab, der von normal bis sehr hoch reicht, sowie die Abhängigkeit der Radonkonzentration in der Bodenluft

von der Gaspermeabilität bei vorgegebener Radonaktivitätszahl  $R_{na}$  ist in der Abbildung 6 dargestellt, die auch entsprechende Kommentare zur empfohlenen bautechnischen Ausführung hinsichtlich des Radonschutzes enthält.

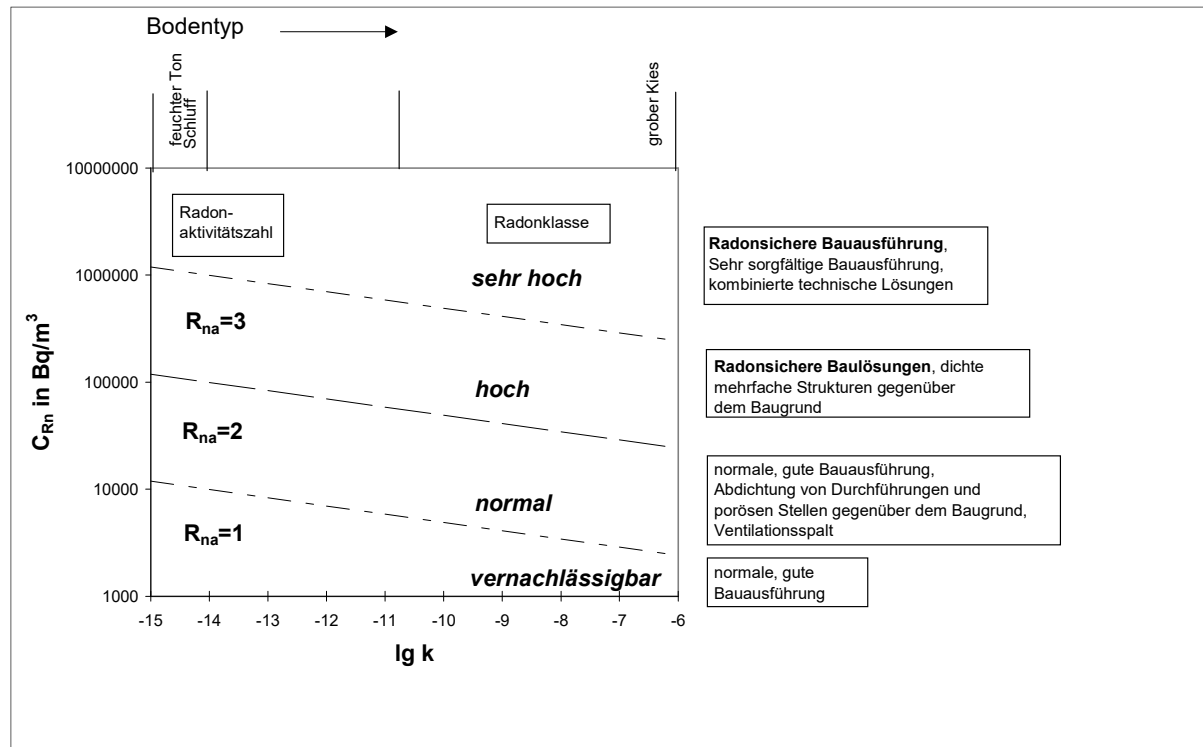


Abbildung 6: Abhängigkeit der Radonaktivitätszahl ( $R_{na}$ ) bzw. der Radonklasse von der Radonkonzentration in der Bodenluft und der Permeabilität des Bodens

Der **Radonverfügbarkeitsindex RVI** ist durch

$$RVI [Bq/m] = C_{Rn} [Bq/m^3] \cdot k [m^2] \quad (4)$$

definiert. Der entsprechende Wertungsmaßstab (Einteilung der Radonklasse nach Radonverfügbarkeitsindex RVI), der von niedrig bis hoch reicht, ist in der Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Einteilung der Radonklasse nach dem Radonverfügbarkeitsindex RVI

RVI	Bewertung des Radonrisikos
$RVI < 10^{-8} Bq/m$	<b>NIEDRIG</b>
$10^{-8} Bq/m < RVI \leq 10^{-6} Bq/m$	<b>NORMAL</b>
$RVI > 10^{-6} Bq/m$	<b>HOCH</b>

Die Ergebnisse der Gaspermeabilitätsmessungen variieren zwischen  $2,9 \cdot 10^{-14} m^2$  und  $1,7 \cdot 10^{-11} m^2$ . Für die Einordnung des Baugrunds hinsichtlich seines Radonrisikos werden deshalb je nach Permeabilität die Radonaktivitätszahl ( $R_{na}$ ) oder der Radonverfügbarkeitsindex (RVI) sowie im Übergangsbereich beide Berechnungsmethoden als Bewertungsmaßstab



ins Kalkül gezogen. Die resultierenden Bewertungen des Radonrisikos für den Baugrund sind in der Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Einschätzung des Baugrunds nach der Radonaktivitätszahl  $R_{na}$

Messpunkt	Radonkonzentration in der Bodenluft [kBq/m <sup>3</sup> ]	Gaspermeabilität [m <sup>2</sup> ]	RVI [Bq/m]	Bewertung des Radonrisikos	Radonaktivitätszahl $R_{na}$	Radonklasse
MP1	57	8,5E-13	4,83E-08		1,9	normal
MP2	25	1,1E-11	2,84E-07	NORMAL	1,6	
MP3	19	6,7E-12	1,27E-07	NORMAL	1,5	
MP4	31	5,2E-13	1,61E-08		1,6	normal
MP5	27	<5E-11	2,70E-07	NORMAL	1,7	
MP6	31	<5E-11	3,10E-06	HOCH	1,8	
MP7	37	2,9E-12	1,06E-07	NORMAL	1,8	
MP8	28	7,1E-14	1,99E-09		1,5	normal
MP9	32	2,5E-11	1,83E-06	NORMAL	1,8	
MP10	17	<5E-11	1,70E-06		1,5	

Aus den Ergebnissen der radiologischen Untersuchungen folgt, dass der Baugrund nach der Radonaktivitätszahl  $R_{na}$  in die Radonklasse **normal** einzustufen ist, wobei bereits der Übergang zur Radonklasse **hoch** erreicht wird. Nach dem Radonverfügbarkeitsindex RVI ist der Baugrund dem Radonrisiko **NORMAL** zuzuordnen.

Durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) wurde eine Methode zur Bestimmung des Radonpotenzials im Boden entwickelt. Das Radonpotenzial soll als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung dienen, ob ein Gebiet als Radonvorsorgegebiet gemäß Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [1] auszuweisen ist und somit zusätzliche Maßnahmen zum Radonschutz erforderlich sind (vgl. Abschnitt 2). Nach [11], basierend auf den Untersuchungen in [12], ist das Radonpotenzial RP durch

$$RP = \frac{C_0 [\text{kBq/m}^3]}{-\log(k) - 10} \quad (5)$$

definiert. Die Analyse nach Schwellen (s. [11]), bei denen die Fehlklassifizierungsrate weniger als 10% ergab, führte zur Bestimmung einer Schwelle des Radonpotenzials RP von rund 44 als untere Schwelle für ein prognostiziertes Radonvorsorgegebiet. Des Weiteren ergab die Auswertung, dass bei einem Radonpotenzial von weniger als 20 mit 90%iger Wahrscheinlichkeit die Kriterien für Radonvorsorgegebiete nicht eingehalten werden. In dem Bereich zwischen dem Radonpotenzial von 20 und 44 ist keine gesicherte Aussage zu treffen,

ob in diesen Gebieten die Wahrscheinlichkeit, den Referenzwert in Innenräumen zu überschreiten bei mindestens 10% liegt oder nicht.

Die Tabelle 6 enthält die aus den Messwerten nach (5) berechneten Werte des Radonpotenzials. Die Ergebnisse belegen, dass bei den angewendeten Bewertungsmaßstäben die Schwelle des Radonpotenzials RP von rund 44 an keinem Messpunkt überschritten wird.

Tabelle 6: Einschätzung des Radonpotenzials des Baugrunds

Messpunkt	Radonkonzentration in der Bodenluft [kBq/m <sup>3</sup> ]	Gaspermeabilität [m <sup>2</sup> ]	Radonpotenzial RP nach [11]
BL1	57	8,5E-13	27
BL2	25	1,1E-11	27
BL3	19	6,7E-12	16
BL4	31	5,2E-13	14
BL5	27	1,0E-11	27
BL6	31	>5E-11	>44
BL7	37	2,9E-12	24
BL8	28	7,1E-14	9
BL9	32	2,5E-11	44
BL10	17	>5E-11	>44

## 4 Zusammenfassung und Empfehlungen zur praktischen Bauausführung

Aus den Ergebnissen der radiologischen Untersuchungen folgt, dass der Baugrund nach der Radonaktivitätszahl  $R_{na}$  in die Radonklasse **normal** einzustufen ist, wobei bereits der Übergang zur Radonklasse **hoch** erreicht wird. Nach dem Radonverfügbarkeitsindex RVI ist der Baugrund dem Radonrisiko **NORMAL** zuzuordnen. Das Radonpotenzial RP von rund 44 nach [11] wird als untere Schwelle für ein prognostiziertes Radonvorsorgegebiet nicht überschritten.

Im Sinne einer beständigen Vorsorge ist bereits bei einem normalen Radonrisiko zu beachten, dass die Medieneinbindungen, die durch die Bodenplatten bzw. erdberührenden Außenwände geführt werden, durch entsprechende Dichtungsmaßnahmen so auszuführen sind, dass die Intrusion von radonhaltiger Bodenluft durch Risse oder Leckagen vollständig unterminiert wird. Diese Maßnahme ist insbesondere unter dem Blickwinkel zu sehen, dass z.B. durch Temperaturen im Gebäude von ca. 18 - 24 °C dauerhaft ein Unterdruck induziert wird, der dem Ansaugen von radonhaltiger Bodenluft durch Risse oder Leckagen in die Gebäude Vorschub leistet [13]. Wegen des induzierten Unterdrucks kann es deshalb selbst bei niedrigeren Radonkonzentrationen in der Bodenluft zu Problemen führen, wenn die Gebäudehülle nicht fachgerecht abgedichtet wird und möglicherweise anderweitige Leckagen zum Baugrund nicht beachtet werden [14]. Die Radondichtheit ist in jedem Fall zu prüfen.

Des Weiteren ist darauf hinzuweisen, dass bei Luftwechselraten in Innenräumen von  $< 0,2 \text{ h}^{-1}$  bereits die Radongenerierung in den Baumaterialien dazu führen kann, dass erhöhte Innenraumradonkonzentrationen auftreten. Es ist deshalb für eine ausreichende Belüftung der Aufenthaltsräume zu sorgen [15].

Aus den Ergebnissen der radiologischen Messungen auf dem Baufeld für die geplanten Gebäude und den angewendeten Bewertungsmaßstäben sollten die nachfolgend aufgeführten Empfehlungen für die Minimierung des Radonrisikos beachtet werden:

- Alle Durchörterungen der Bodenplatten und erdberührenden Außenwänden sollten grundsätzlich radondicht ausgeführt werden. Wenn dies nicht erfolgt, kann durch Leckagen radonhaltige Bodenluft angesaugt werden bzw. ungehindert eintreten. Zur Sicherstellung einer qualitätsgerechten Abdichtung aller Medieneinbindungen sollte ihre Radondichtheit experimentell nachgewiesen werden, bevor weitere bauliche Maßnahmen im Gebäude im Bereich der Durchörterungen, wie z.B. Einbringung von Estrich, Einbau von Ständerwerken für Gipskartonwände, Anschluss von Rohrleitungen an die Durchörterungen usw., ausgeführt werden.
- Die ggf. zum Feuchtigkeitsschutz auf die Bodenplatten aufzubringenden Bitumenschweißbahnen sollten ein entsprechendes Radonzertifikat besitzen und fachgerecht sowie **vollflächig verklebt** auf der jeweiligen Grundplatte und an den Außenseiten der aufgehenden Außenwände, wenn diese mit dem Baugrund in Verbindung stehen, aufgebracht werden. Solche Bitumenschweißbahnen mit Radonzertifikat sind nur geringfügig teurer als andere. Die Verlegung hat vollflächig auch unterhalb der aufgehenden Wände zu erfolgen bzw. es sind die Wandanschlüsse der Flächenabdichtung an die senkrechten Wände fachgerecht auszuführen [15]. Eine Überprüfung der sachgerechten Ausführung und Bewertung der Radondichtheit wird empfohlen.

- Auch bei erdberührten Bauteilen aus „WU-Beton“ sind die Durchörterungen der Bodenplatten bzw. der mit dem Baugrund in Verbindung stehenden aufgehenden Wände grundsätzlich radondicht auszuführen. Auch in diesem Fall wird empfohlen, die Qualität der Abdichtung bzgl. der Radondichtheit zu prüfen.
- Besonders problematisch stellt sich nach unseren Erfahrungen die Abdichtung der Mediendurchführungen und Durchdringungen des Fußbodens bzw. erdberührenden Außenwänden (z.B. Grundleitungen, ELT, TELEKOM und sonstige Aussparungen) dar. Nur bei fachgerechter Verarbeitung sind solche wichtigen Maßnahmen letztlich auch als ausreichend radondicht zu bezeichnen. Hier kommt es auch auf eine ordnungsgemäße Bauausführung und Bauüberwachung an. Es wird empfohlen, diese Abdichtungen vor dem weiteren Bauprozess, insbesondere vor Verlegung und Anbindung der Flächenabdichtung, auf Radondichtheit zu prüfen, um letztlich auch den fachgerechten Einbau der Dichtelemente zu dokumentieren.
- Nach Fertigstellung des Zentraldepots sollte die Radonsituation in den Innenräumen erfasst und der Erfolg der Radon Schutzmaßnahmen dokumentiert bzw. noch vorhandene Defizite benannt werden.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung vom 27. Juni 2017, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 42
- [2] Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036)
- [3] Baugrundgutachten (Geotechnischer Bericht), FLST. 3/2432, 06132 Ammendorf Halle (Saale); Ingenieurbüro für Baugrund JACOBI GmbH, 15.06.2023
- [4] A. Damkjaer, U. Korsbech: A Small-Diameter Probe for In Situ Measurements of Gas Permeability, Radiat. Prot. Dosim. 45 (1992) 85
- [5] W. Roßbänder, F. Ohlendorf, B. Ullrich, L. Fuhrmann: Bewertung des Radonrisikos eines Baugrundes, Bauingenieur 70 (1995) 41
- [6] H. Schulz, W. Horn, F. Ohlendorf, W. Roßbänder, K. Schönfeld: Bewertung des Radonrisikos eines Baugrundes, Bericht auf der 18. Sitzung des Arbeitskreises „Uranbergbau und radioaktive Altlasten“ (AKURA), Johanngeorgenstadt, Oktober 1999
- [7] E. Slunga: Radon Classification of Building Ground. Radiation Protection Dosimetry 24 (1988) 39
- [8] H. Surbeck: Überlegungen zum Radonrisiko eines Baugrundes, 1993
- [9] H. Surbeck: G. Piller, Die Suche nach der Ursache für erhöhte Radonkonzentrationen in Wohnungen der Region La Chaux-de-Fonds, Bundesamt für Gesundheitswesen, Bern 1992
- [10] Surbeck, H. 1993: Radon Monitoring in Soils and Water. Nucl. Tracks Radiat. Meas., 22/1-4, 463-468
- [11] Peter Bossew und Bernd Hoffman, Die Prognose des geogenen Radonpotentials in Deutschland und die Ableitung eines Schwellenwertes zur Ausweisung von Radon-

vorsorgegebieten, Bundesamt für Strahlenschutz BfS-SW-24/18, 2018,  
urn:nbn:de:0221-2017122814454

- [12] Neznal M., et al. (2004), The new method for assessing the radon risk of building sites. Czech Geol. Survey Special Papers, 16, Czech Geol. Survey, Prague, 47 p. <http://www.radon-vos.cz/pdf/metodika.pdf> (accessed 28 April 2015)
- [13] H. Schulz: Aktueller Kenntnisstand zu Radon in Gebäuden, 1. Sächsischer Radontag, Dresden Juli 2007
- [14] H. Schulz und R. Baumert: Bauablauf und Radonmessungen / Empfehlungen für Bauherren, 5. Sächsischer Radontag, Dresden September 2011
- [15] R. Gellermann, H. Schulz: "Erhöhte natürliche Radioaktivität in Baugrund und Baustoffen - neue Anforderungen an die Ingenieurplanung Planen und Bauen", Beratende Ingenieure, September 2004, Springer-VDI-Verlag, 26 - 31