WITTLER
INGENIEURBÜRO
GEOLOGIE
UND UMWELT

Gutachten

zu Bodenuntersuchungen

für das Bauvorhaben

Bebauungsplan-Gebiet „An der Schallenburg“

in 50321 Brühl-Schwadorf

- Baugrunderkundung -

Gemarkung: Schwadorf
Flur: 02
Flurstück: verschiedene

Auftraggeber:
Yanmaz Projektentwicklungsgesellschaft mbH & Co. KG
Badorfer Straße 79
50321 Brühl

Projekt 170993
Mai, Juni, September 2017

WITTLER INGENIEURBÜRO
GEOLOGIE UND UMWELT
DIPLOM GEOLOGIN
BEATE WITTLER VDI

AM MERTENSHOF 21
50859 KÖLN
T +49 (0) 221 4972645
F +49 (0) 221 3569865
M +49 (0) 177 4972645
BW@WITTLER-INGENIEURBUERO.DE
WWW.WITTLER-INGENIEURBUERO.DE

Inhalt

1. Sachstand 4
2. Untersuchungsgelände 5
2.1 Geologie und Hydrologie 5
2.2 Planungen 6
3. Untersuchungsergebnisse 6
3.1 Untergrundschichtung 6
3.2 Untergrundwasser 8
4. Geotechnische Einstufungen der Böden 9
4.1 Bodenkennwerte und Bodenklassifizierung 9
4.2 Einteilung in Homogenbereiche 10
4.3 Tektonische Beanspruchung 11
5. Gründung von Hochbauten 12
5.1 Tragfähigkeit der gründungsrelevanten Schichten 12
5.2 Empfehlungen zur Gründung von Hochbauten nördliches und zentrales B-Plan Gebiet 13
5.2.1 Gründung von nicht unterkellerten Gebäuden 13
5.2.2 Gründung von unterkellerten Gebäuden 16
5.3 Empfehlungen zur Gründung von Hochbauten südliche Spitze B-Plan Gebiet 18
5.4 Abdichtung erdberührter Bauteile 18
5.5 Wasserhaltung 20
5.6 Anlegen von Baugrubenböschungen 20
5.6.1 Freigeböschte Gruben 20
5.6.2 Kraftschlüssig verbaute Gruben 21
5.7 Erdbebenzone 21
6. Empfehlungen zum Straßenbau 21
6.1 Frostsichere Oberbaudicke 21
6.2 Tragfähigkeit des Planums 22
7. Empfehlungen zum Kanal- und Leitungsbau 23
7.2 Sohlbefestigung 23
7.3 Grabenverbau 24
7.4 Wasserhaltung 24

7.5 Wiederverfüllung des Kanalgrabens 25
8. Versickerung von Niederschlagsabflüssen der Dach- und Verkehrsflächen 26
8.1 Dezentrale Versickerung der Dachflächenabflüsse der Wohnbebauung 27
8.2 Dezentrale Versickerung der Niederschlagsabflüsse der Verkehrsflächen 28
8.3 Zentrale Versickerung der Dach- und der Straßenabflüsse in ein Versickerungsbecken ..29
9. Schlussbemerkung 30

Tabellen

Tabelle 1: Höchstgrundwasserstände gemäß UVO (NRW Umweltdaten vor Ort)

Tabelle 2: Bodenkenngrößen nach DIN 1055

Tabelle 3: Bodenklassifizierung

Tabelle 4: Unterteilung der Böden in Homogenbereiche nach VOB 2016: Lockergesteinsböden

Tabelle 5: Kenngrößen zur Berechnung der Plattengründung in bindigen Deckschichten nach dem Bettungsmodulverfahren

Tabelle 6: Kenngrößen zur Berechnung der Plattengründung in bindigen Deckschichten nach dem Steifemodulverfahren

Tabelle 7: Kenngrößen zur Berechnung der Plattengründung in rolligen Terrassensedimenten nach dem Bettungsmodulverfahren

Tabelle 8: Kenngrößen zur Berechnung der Plattengründung in rolligen Terrassensedimenten nach dem Steifemodulverfahren

Tabelle 9: Exemplarische Bemaßung von Rohr-Rigolen zur Versickerung der Dachflächenwässer

Tabelle 10: Exemplarische Bemaßung von Mulden-Rigolen zur Versickerung der Straßenabflüsse

Anlagen

1. Übersichtsplan, M ca. 1 : 25.000
2. Städtebaulicher Entwurf, Variante 2A, April 2017, M ca. 1 : 1.000
3. Lageplan mit Bohransatzpunkten und Rammsondierungen, M ca. 1 : 1.000
4. Baugrundtechnische Profilschnitte
5. Exemplarische Berechnungen von Versickerungsanlagen

1. Sachstand

Auf einem ca. 2,5 ha großen Gelände „An der Schallenburg" in Brühl-Schwadorf plant die Yanmaz Projektentwicklungsgesellschaft mbH & Co. KG ein Neubaugebiet. Das im Bebauungsplan-Verfahren unter der Bezeichnung „B-Plan Gebiet An der Schallenburg" geführte Areal soll mit Wohnbebauung und neuen Erschließungsstraßen bebaut werden.

Für diese Neubaumaßnahmen wurde das Wittler Ingenieurbüro mit der Durchführung von Bodenuntersuchungen zu baugrundtechnischen Aspekten beauftragt. Die Untersuchungen beschreiben die Untergrundsituation im geplanten Baugebiet; die Beurteilung erfolgt unter gründungs- und tiefbautechnischen Aspekten für die vorgesehene Wohnbebauung und für die erforderlichen Straßen- und Kanalbaumaßnahmen.

Im Rahmen dieser Beauftragung ist folgender Leistungsumfang erbracht worden:

- Abteufen von 10 Kleinrammbohrungen (KRB 1 – KRB 10) mit einem Durchmesser von 50 mm bis in eine maximale Teufe von 5,4 m unter Gelände am 10.04.2017 und am 11.05.2017; größere Teufen sind mit dem eingesetzten Bohrgerät bei den angetroffenen Untergrundverhältnissen nicht zu erreichen
- Niederbringen von 5 Schweren Rammsondierungen DPH (DPH 4, DPH 7, DPH 9, DPH 11) 15) unmittelbar neben den jeweiligen Kleinrammbohrungen bis in eine maximale Rammteufe von 7,6 m unter GOK
- Ansprache des Bohrgutes nach DIN 4022/4023 bzw. nach DIN EN ISO 22475-1 und nach organoleptischen Befunden, Darstellung in Bohr- und Rammprofilen
- Einmaß der Bohrpunkte nach Lage und Höhe; für die Aufnahme der Höhe wurden diverse Kanaldeckel in der Straße „An der Schallenburg" genutzt, deren NN-Höhen aus dem zur Verfügung stehenden Kanalplan entnommen wurden
- Entnahme von 72 Feststoff-, Bodenproben in gasdichten Glasgefäßen
- Erstellung des vorliegenden Gutachtens unter den oben genannten Aspekten

Die Untersuchungen des Geländes unter geohydrologischen und umwelthygienischen bzw. altlastenspezifischen Aspekten sind in separaten Gutachten enthalten.

Die Yanmaz Projektenwicklungsgesellschaft mbH & Co. KG stellte folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Rhein-Erft-Kreis Katasteramt: Auszug aus dem Liegenschaftskataster, Flurkarte NRW 1:1000; 03.11.2016
- Städtebaulicher Entwurf, Variante 2A, M ca. 1 : 1.000, April 2017

Weiterhin wurden folgende Unterlagen verwendet:

- Geologische Karte von Nordrhein Westfalen, Blatt C 5106 Köln, M 1 : 100.000, 1986
- Geologische Karte von Preußen, Blatt 5107 Brühl, M 1 : 25.000, 1930

Eine Recherche zu Grundwasserständen und Überschwemmungsgefährdungen in der Digitalen Datenbank UVO (NRW Umweltdaten vor Ort) wurde vorgenommen.

2. Untersuchungsgelände

Das ca. 2,5 ha große Plangebiet liegt südlich des Stadtzentrums von Brühl im Stadtteil Schwadorf. Das dreieckige, spitz nach Süden zulaufende Projektareal wird entlang seines südöstlichen Schenkels von der Straße „An der Schallenburg" begrenzt. Im Südwesten reicht es bis an die rückwärtig gelegenen Gärten der Wohnhäuser der Lindenstraße bzw. der Bonnstraße. Im Nordwesten markieren die Flurstücke 265 und 266 die Grenze des Plangebietes.

Im Westen ragt das Grundstück Bonnstraße 379 aus dem ansonsten dreieckigen Grundriss des B-Plan-Gebietes heraus. Das Grundstück, auf welchem ein landwirtschaftlicher Gemüseanbaubetrieb mit Wohngebäuden, Scheunen und mehreren Gewächshäusern vorhanden ist, ist noch Teil des Plangebietes Ansonsten ist das Projektareal - bis auf ein weiteres Bogen-Gewächshaus an der Nordgrenze - unbebaut und wird aktuell zum Gemüseanbau genutzt.

Morphologisch weist das Gelände nur geringe Höheunterschiede auf. Die gemessen Geländehöhen variieren zwischen ca. 64,0 mNN im nördlichen und zentralen, sowie mit ca. 64,8 mNN im südlichen Bereich des Untersuchungsareals.

Entlang der südlichen Spitze des Geländes strömt der Dickopsbach, von Norden kommend Richtung Osten ab. Entlang der Grenze des Plangebietes fließt der Bach unterirdisch in einen Rohr gefasst; erst östlich der Straße „An der Schallenburg" tritt er wieder offen im Bachbett zu Tage.

2.1 Geologie und Hydrologie

Großräumlich betrachtet gehört das Projektareal zur Niederrheinischen Bucht, einer Beckenstruktur die im Tertiär (Oligozän) in das Rheinische Schiefergebirge eingesunken ist. Sie trennt das rechtsrheinische Bergische Land von der linksrheinisch gelegenen Eifel. Seit dem Einbruch des Beckens im Oligozän wechselten sich festländische und marine Phasen ab. Durch die damit auch wechselnden Sedimentationsbedingungen entstanden im Tertiär bis zu 1.000 m mächtige Abfolgen von Sanden, Kiesen und Tonen mit Braunkohleeinschaltungen.

Die jüngere quartäre Schichtenfolge der Niederrheinischen Bucht wird von fluviatilen Terrassenablagerungen des Rheins geprägt. In weiten Bereichen werden die Terrassensedimente von jungen kalt- bzw. eiszeitlichen Lößsedimenten überlagert.

Laut Geologischer Karte von Nordrhein Westfalen, Blatt C 5106 Köln und Geologische Karte 5107 Brühl steht im Untersuchungsgebiet eine mehrere Meter mächtige Lößlehm- bzw. Lößdecke an, die den pleistozänen Sanden und Kiesen der Mittelterrasse des Rheins aufliegt. Die quartären Terrassensedimente besitzen Mächtigkeiten zwischen 30 m und 40 m und lagern den tertiären Sedimenten auf.

In den bindigen Lößsedimenten ist kein zusammenhängender Grundwasserspiegel zu erwarten. Ein erstes Grundwasserstockwerk liegt innerhalb der Mittelterrassensande und-kiese, die hier als Porenwasseraquifer wirksam sind.

2.2 Planungen

Die Planungen sehen die Erschließung des 2,5 ha großen Projektareals für Wohnbebauung vor. Die Gebäude des landwirtschaftlichen Betriebes und das Gewächshaus im Nordwesten des Areals werden im Vorfeld rückgebaut. Der Vorentwurf sieht den Neubau von ca. 20 Doppel- und Reihenhäusern mit insgesamt 44 Wohneinheiten vor. Des Weiteren ist der Bau von 5 Mehrfamilienwohnhäusern geplant. Ob die Gebäude unterkellert werden, steht zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht fest.

Die verkehrsmäßige Erschließung des Gebietes von Südosten ist über drei Zufahrtsstraßen geplant, die von der Straße „An der Schallenburg" abzweigen. Im Südwesten erfolgt die Anbindung an die Lindenstraße über eine Anschlussstraße, die durch eine Baulücke zwischen den Häusern Lindenstraße Nr. 12 und Nr. 16 geführt wird.

Die von den versiegelten Flächen des B-Plangebietes abfließenden Niederschlagsabflüsse sollen in den Untergrund versickert werden. Da die genaue Parzellierung der Baugrundstücke in der jetzigen Vorentwurfsphase noch nicht feststeht, kann die Art der Versickerung – dezentral oder zentral - hier noch nicht abschließend festgelegt werden.

Bei ausreichendem Platzangebot ist davon auszugehen, dass das von den Dachflächen abfließende Niederschlagswasser über Rigolen dezentral auf den Baugrundstücken selbst versickert wird. Bei zu geringem Platzangebot wird alternativ die Installation einer zentralen (bzw. semizentralen) Versickerungsanlage erwogen.

Die Versickerung der Niederschlagabflüsse der Verkehrsflächen steht ebenfalls noch nicht fest. Es wird zum einen eine dezentrale Versickerung über Mulden- bzw. Mulden-Rigolen diskutiert, die randlich der Verkehrswege angeordnet werden. Alternativ ist eine zentrale Versickerung der Straßenabflüsse über ein Versickerungsbecken angedacht. Ein genauer Standort für die Installation von zentralen Versickerungsanlagen steht zurzeit noch nicht fest.

3. Untersuchungsergebnisse

Die geotechnischen Untersuchungen, die mittels 10 Kleinrammbohrungen und 5 Schweren Rammsondierungen durchgeführt wurden, dienen der Ermittlung der Lagerungsdichten bzw. der Konsistenzen der im Untergrund anstehenden Böden.

3.1 Untergrundschichtung

Auf dem Untersuchungsgelände wurde, ausgenommen die Bohrung KRB 10 im Süden des Gebietes, ein 3-schichtiger Untergrundaufbau bestehend aus **humosen Oberboden**, **Lößlehm bzw. Schwemmlöß**, sowie den **Kiesen und Sanden der Mittelterrasse** des Rheins angetroffen. In der Bohrung KRB 5, die auf einem Feldweg im Norden des Gebietes angesetzt wurde, bildet ein **aufgefüllter Schotter** als Wegebefestigung das oberster Schichtglied.

Ein deutlich abweichender Untergrundaufbau wurde in der Bohrung KRB 10 in der südlichen Spitze des B-Plan Gebietes erbohrt. Hier steht unter der Lößlehmdecke ein weichplastischer humoser Ton an, der entweder als **Teichsediment** oder als **Hochflutsediment** des nahen Dickopsbaches angesprochen werden kann. Unterhalb dieses Tons stehen dann wieder die Sande und Kiese der Mittelterrasse an.

Nachfolgend werden die angetroffenen Schichten kurz beschrieben. Details zur Zusammensetzung, zur Abfolge und zur Mächtigkeit der Schichten sind den geotechnischen Profilschnitten im Anhang zu entnehmen.

Schicht 1: Humoser Oberboden
Mit Ausnahme der Bohrung KRB 5 wurde in allen Bohrungen ein humoser, tonig-schluffiger Oberboden mit wechselnden Anteilen an Feinsand als oberstes Schichtglied angetroffen. Die großen Mächtigkeiten des Oberbodens von 0,5 m bis 0,9 m erklären sich durch die Nutzung der Flächen für den Gemüseanbau. Durch häufiges Unterpflügen und Umwerfen der bewachsenen Krume (Gründünung) kommt es zu einer Humusbildung bzw. Humusanreicherung bis in größeren Tiefen.

Schicht 2: Tragschicht (nur KRB 5)
In der Bohrung KRB 5 wurde eine 0,5 m dicke Schottertragschicht angetroffen, die hier als Wegebefestigung eingebaut wurde. Die Tragschicht setzt sich aus sandig-schluffigen Rund- und Brechkornmaterialien zusammen.

Schicht 3: Lößlehm/Schwemmlöß
Unterhalb des Oberbodens steht ein tonig-feinsandiger Schluff an, der genetisch einen Lößlehm darstellt. Die Konsistenz des Lößlehms variiert von weichen bis zu steifen Konsistenzen. Die Verteilung der unterschiedlichen Konsistenzbereiche ist sowohl in laterale als auch in horizontaler Richtung regellos und somit nicht vorhersagbar.

Zur Teufe hin ist häufig eine sukzessive Zunahme der Sandfraktion festzustellen. Zudem treten gerundete Feinkiese als Nebengemengeteil hinzu. Es ist anzunehmen, dass es sich bei diesem Horizont um einen Schwemmlöß handelt, in den Anteile der unterlagernden Terrassensande und -kiese eingearbeitet wurden. Aufgrund des hohen Schluffanteils besitzt der Boden die bodenmechanischen Eigenschaften eines bindigen, weich- bis steifplastische Bodens.

Die Unterkante der Lößdeckschichten (Lößlehm und Schwemmlöß) liegt in Tiefen zwischen 2,6 m und 3,1 m unter Geländeoberkante. Eine Ausnahme bildet, wie oben beschrieben, die angetroffen Abfolge im der Bohrung KRB 10. Hier hält der Lößlehm nur bis in eine Teufe von 1,7 m u. GOK aus und wird von einem humosen Ton unterlagert.

Schicht 4: Hochflut-/ Teichsediment (nur KRB 10)
In der südlichen Spitze des Untersuchungsgeländes wurde in der Bohrung KRB 10 ab einer Teufe von 1,7 m unter GOK ein stark schluffiger, humoser Ton unterhalb des Lößlehms angetroffen. Die Genese des Bodens ist nicht eindeutig bestimmbar. Aufgrund des hohen Humusanteils und seines typischen geschichteten Aussehens ist zu vermuten, dass es sich um

Sedimente eines ehemaligen Teiches handelt. Aber auch eine Entstehung als Hochflutablagerung des nahe gelegenen Dickopsbaches ist möglich.

Der Wassergehalt der bindigen Horizontes wurde nach Geländebefund mit feucht bis nass feucht angesprochen. Die Konsistenzen reichen von sehr weich (fast breiig) bis weich, was auch von den durchgängig erzielten geringen Schlagzahlen der Schweren Rammsondierungen zwischen 0 und 1 Schlag pro 10 cm Eindringtiefe bestätigt wird.

Schicht 5: Kiese und Sande der Mittelterrasse
Unterhalb des Lößes bzw. des Teichsedimentes wurden in allen Bohrungen bis zu den erbohrten Endteufen ausschließlich nicht-bindige (rollige) Flussablagerungen der Mittelterrasse angetroffen. Die Sande und Kiese besitzen teilweise einen geringen Schluffanteil. Die Schlagzahlen dokumentieren für die oberen Abschnitte des Terrassensedimentes eine mitteldichte Lagerung, die dann bereits nach wenigen Dezimetern in eine dichte Lagerung übergeht.

3.2 Untergrundwasser

Grundwasser wurde bis zu den erreichten Endteufen nicht angetroffen. Das geförderte Bohrgut war, mit Ausnahme des durchnässten Teichsedimentes in Bohrung KRB 10, größtenteils feucht.

Gemäß der Hochwassergefahren- und Risikokarte der digitalen Datenbank des Internetportal UVO (NRW Umweltdaten vor Ort) liegt das Erschließungsgebiet außerhalb eines festgesetzten Überschwemmungsgebietes sowie außerhalb einer Wasserschutzzone.

In der nachfolgenden Tabelle sind die höchsten gemessenen Grundwasserstände der in der digitalen Datenbank des Internetportal UVO (NRW Umweltdaten vor Ort) gelisteten Messstellen im Umfeld des Erschließungsgebietes verzeichnet.

Tabelle 1: Höchstgrundwasserstände gemäß UVO (NRW Umweltdaten vor Ort)

Messstelle	Lage zum Untersuchungsgelände	Höchstwasserstand	Datum der Messung
Brühl 8	ca. 1,3 km südöstlich	44,55 mNN	7/1982
Brühl Notbr. 11PR3	ca. 0,5 km südlich	47,61 mNN	4/1979
Brühl	ca. 1,2 km östlich	43,61 mNN	2/2003
WBV Schwadorf	ca. 0,85 m nordöstlich	42,17 mNN	5/2006
Brühl 5	ca. 1,2 km nordwestlich	47,41 mNN	12/1981

Auch wenn die Messstellen nicht in unmittelbarer Nähe des Baugebietes liegen, so lassen sich doch mit ausreichender Genauigkeit die Flurabstände des obersten Grundwasserstockwerkes für das Baugebiet ableiten. Bezogen auf die mittlere Geländehöhe von 64,2 mNN des Untersuchungsgeländes errechnet sich unter Berücksichtigung des oben angegebenen höchsten Grundwasserstandes ein Flurabstand von ca. 16,5 m.

Die Werte korrelieren gut mit den, im Grundwassergleichenplan des Erftverbandes (Stand Oktober 2015) verzeichnetet Wasserspiegelhöhen. Für das B-Plangebiet werden hier Wasserspiegel zwischen 44 mNN und 46 mNN angegeben.

Nach Angaben des Erftverbandes (Telefonat mit Herrn Diez am 27.06.2017) besteht keine Beeinflussung des Obersten Grundwasserstockwerkes durch Sümpfungsmaßnahmen aktueller Braunkohletagebauten in der Niederrheinischen Bucht. Die im Grundwassergleichenplan angegebenen Wasserstände spiegeln – trotz der noch vorhandenen Entnahmen z.B. durch die chemische Industrie in Wesseling – ungefähr die natürlichen Grundwasserverhältnisse wieder.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass nach den vorliegenden Daten die in den Untergrund einbindenden Bauwerke nicht vom freien Grundwasserspiegel beeinflusst werden.

4. Geotechnische Einstufungen der Böden

Die geotechnische Einstufung der Böden ist in den folgenden Kapiteln enthalten.

4.1 Bodenkennwerte und Bodenklassifizierung

Die bodenmechanischen Kennwerte und die Bodenklassifizierung der in den Bohrungen angetroffenen relevanten Bodenarten können aufgrund der Bodenansprache und Probenbeurteilung wie in den nachfolgenden Tabellen 2 und 3 angenommen werden.

Tabelle 2: Bodenkenngrößen nach DIN 1055

Bodenart	γ [KN/m³]	γ' [KN/m³]	φ' [°]	c' [KN/m²]	E_S (KN/m²)
Tragschicht mitteldicht	19	11	32,5	0	50.000
Lößlehm/Schwemmlöß weich	20	10	27,5	0	3.000
Lößlehm/Schwemmlöß weich-steif	20	10	27,5	0 - 2	6.000
Teich-/ Hochflutsediment sehr weich-weich	15	7	17,5	0	500
Mittelterrasse Sande und Kiese mitteldichtdicht gelagert	19	11	35,0	0	50.000
Mittelterrasse Sande und Kiese dicht gelagert	20	12	37,5	0	80.000

γ = Wichte des erdfeuchten Bodens γ' = Wichte des Bodens unter Auftrieb
φ' = Reibungswinkel des drainierten Bodens, bzw. Ersatzreibungswinkel inklusive Kohäsionsanteil
c' = Kohäsion des drainierten Bodens E_S = Steifeziffer

Tabelle 3: Bodenklassifizierung

Bodenart	Bodenklassifizierung nach		Frostempfind-lichkeits-klasse nach ZTVE StB 94	Verdicht-barkeits-klasse nach ZTVA-Stb 97	Eindringwider-stände bei Ramm- und Rüttelarbeiten
	DIN 18196	DIN 18300			
Tragschicht	GW	3	F 1	V 1	mittel
Löß/Schwemmlöß	UL, SU*	4, 2[1)]	F 3	V 3	gering; Tragfähigkeitsverlust durch Verflüssigung des Bodens möglich
Teich-?/ Hochflutsediment	OT, OU, TL, UL	4, 2[1]	F 3	V 3	gering; Tragfähigkeitsverlust durch Verflüssigung des Bodens möglich
Mittelterrasse Sand und Kiese, mitteldicht gelagert	SW, GW	3	F 1	V 1	mittel
Mittelterrasse, Sand und Kiese, dicht gelagert	SW, GW	3	F 1	V 1	hoch bis Rammung nicht möglich

2[1)] bei Durchnässung und oder dynamischer Beanspruchung Übergang in Bodenklasse 2 möglich

4.2 Einteilung in Homogenbereiche

Mit dem Erscheinen des Ergänzungsbandes zur VOB 2012 im September 2015 wurden die Boden- und Felsklassen (BK 1-7) in den relevanten ATV-Normen des VOB/C durch die Homogenbereiche ersetzt. Für die Ausschreibung von Bauleistungen sind daher Boden und Fels in Homogenbereiche einzuteilen.

In einem Homogenbereich werden Böden bzw. Felsschichten zusammengefasst, die im Rahmen eines Gewerkes (z.B. für Erdarbeiten, Nassbaggerarbeiten, Bohrarbeiten, Rammarbeiten, Wasserhaltungsmaßnahmen etc.) für einsetzbare Baugeräte ähnliche Eigenschaften besitzen. Sind umweltrelevante Inhaltstoffe in den Böden enthalten, so sind diese bei der Einteilung in Homogenbereich zu beachten.

Jeder Homogenbereich eines Gewerkes ist, je nach Geotechnischer Kategorie (GK 1 bis GK 3) des Bauvorhabens, durch verschiedene Bodenkennwerte zu charakterisieren. Hierbei ist der Zustand des Bodens vor dem Lösen maßgebend. Bei den angegebenen Eigenschaften und Kennwerten handelt es sich nicht um charakteristische Kennwerte für geotechnische oder statische Berechnungen, sondern um mögliche Spannweiten, die zur Abschätzung der Bearbeitbarkeit der relevanten Boden- und Felsschichten dienen.

Bei der folgenden Einteilung der Homogenbereiche für das vorliegende Bauvorhaben wurden etwaige Kontaminationen der Bodenschichten nicht berücksichtigt. Die somit vorläufige Einteilung erfolgte auf Grundlage der nachfolgend empfohlenen Erdbau –und Gründungsmaßnahmen. Aus den o.g. Angaben ergeben sich folgende vier Homogenbereiche (A und D), deren Kennwerte und Eigenschaften in der nachfolgenden Tabelle angegeben werden.

Tabelle 4: Unterteilung der Böden in Homogenbereiche nach VOB 2016: Lockergesteinsböden

	A	B	C		D
Schicht Nr.	1	2	3	4	5
Ortsübliche Bezeichnung	Oberboden	Tragschichten Oberbau	Lößlehm/ Schwemmlöß	Teich-?/ Hochflutsediment	Mittelterrasse Sande und Kiese
Bodenart Kornverteilung	--	S, g'-g* (x), u' Schluff 0 - 15 % Sand 80 - 50 % Kies 10 - 80 %	U, t'', fs-s* Ton 2 - 20% Schluff 40 - 90 % Sand 10 - 50 % Kies 5 %	T, u-u* Ton 20 - 80% Schluff 20 - 50 % Sand < 10 % Kies 0 %	S-G Ton 0 - 1 % Schluff 0 - 5 % Sand 10 - 100 % Kies 0 - 90 %
Anteil Steine/Blöcke [%]	< 5/ 0	< 10/ 0	0/0	0/0	< 20/< 5
Dichte und Wichte [kN/m³]	--	18 – 22	18 - 20	14 - 17	19 – 22
Kohäsion	0	0	0 - 10	0	0
undrainierte Scherfestigkeit [kN/m²]	--	0	0 - 40	0 - 30	0
Wassergehalt [Gew. %]	--	5 – 15	5-25	15-30	10 - 30
Konsistenz	--	-	weich bis steif	sehr weich-weich	--
Plastizität	--	-	leichtplastisch	leichtplastisch	--
Lagerungsdichte	--	mitteldicht - dicht	--	--	mitteldicht-dicht
Organischer Anteil	< 10 %	< 2 %	< 2 %	5 - 15 %	0 %
Bodengruppe DIN 18196	OU		UL, SU*	OT, OU, TL, UL	SW, SI, SE, GW, GI GE
Bodengruppe DIN 18915	2 - 6	-	-	-	-

Die aufgeführten Spannweiten der Bodenkennwerte und Bodeneigenschaften beruhen auf Angaben in der Fachliteratur bzw. aus Erfahrungswerten aus vergleichbaren Bauvorhaben in der näheren Umgebung. Einige der abgefragten Eigenschaften wurden geschätzt. Ansonsten wären aufwendigere und somit teurere Aufschlussverfahren bzw. Untersuchungen in einem Erdlabor erforderlich. Werden im Zuge des Planungsprozesses bis zur Ausschreibung andere Bauverfahren angestrebt, so ist die vorgenommene Unterteilung zu überprüfen und ggf. anzupassen.

4.3 Tektonische Beanspruchung

Nach DIN 4149:2005-04 lässt sich das Grundstück der Erdbebenzone 2 zuordnen. Die weiteren Angaben lauten:

- Untergrundklasse: T
- Baugrundklasse: C bei Gründungen in den Lößschichten
  B bei Gründungen in den Kiesen und Sanden der Mittelterrasse

5. Gründung von Hochbauten

Das Plangebiet weist in weiten Bereichen einen einheitlichen Baugrund bestehend aus einem ca. 3 m mächtigen Lößlehm- bzw. Schwemmlößhorizont, der den dicht gelagerten Kiesen und Sanden der Mittelterrasse des Rheins auflagert. Einzig in der südlichen Spitze des Plangebietes wurde ein abweichender Untergrundaufbau angetroffen. Hier stehen wenig tragfähige, sehr weiche bis breiige Teichsedimente in gründungsrelevanter Tiefe im Untergrund an, so dass dieser Bereich bei der nachfolgenden tiefbautechnischen Beurteilung des Baugrundes gesondert behandelt wird.

In der jetzigen Vorentwurfsphase des Erschließungsprojektes liegen noch keine konkreten Planungshöhen für die Gründungen der Gebäude vor. Da erfahrungsgemäß der Aufwand für die Erdarbeiten zur Erschließung möglichst gering gehalten werden soll, ist davon auszugehen, dass die bestehenden Geländehöhen ungefähr erhalten bleiben. Für die geplante Wohnbebauung mit Doppel-, Reihen- und Mehrfamilienhäusern ist mit einer zwei-, maximal dreigeschossigen Bauweise zu rechnen.

Für die gründungstechnische Beurteilung des Baugrundes wird im Folgenden zuerst auf die Tragfähigkeit der einzelnen Schichtglieder eingegangen, danach werden die daraus resultierenden Folgen für die geplante Bebauung erörtert. Bei letzterem wird zwischen den Gründungen von unterkellerten und nicht unterkellerten Gebäuden unterschieden.

5.1 Tragfähigkeit der gründungsrelevanten Schichten

Der Oberboden und der weichplastische **Lößlehm/Schwemmlöß** sind für eine direkte Beanspruchung mit den zu erwartenden Gebäudelasten nicht geeignet. Erst in weich bis steifer Konsistenz weisen die Lößböden geringe, in steifer Konsistenz mäßige Tragfähigkeiten auf.

Bei der Beurteilung der Tragfähigkeit der Lößböden sind in jedem Fall deren bodenmechanischen Eigenschaften/Empfindlichkeiten zu beachten. Der Löß/Lößlehm reagiert extrem empfindlich auf Wasserzutritt. Schon bei geringer Wasserzufuhr ist mit einer drastischen Verminderung der Tragfähigkeit des Bodens zu rechnen. Sowohl für die Bauphase, als auch für den Bauendzustand muss ein Wasserzutritt in die Gründungssohle in jedem Fall verhindert werden. Zudem reagiert der Boden auf mechanische Beanspruchung schon bei natürlichen Wassergehalten ebenfalls mit einem Tragfähigkeitsverlust, der bis zur Verflüssigung Bodens reichen kann. Dies muss bei dem Einsatz der Baugeräte beachtet werden.

Die **Kiese und Sande der Mittelterrasse** weisen in mitteldichter Lagerung gute – in dichter Lagerung sehr gute Tragfähigkeiten auf und können mit hohen Lasten beansprucht werden.

5.2 Empfehlungen zur Gründung von Hochbauten nördliches und zentrales B-Plan Gebiet

In der gründungstechnischen Beurteilung wird von nicht unterkellerten und unterkellerten Gebäuden ausgegangen.

5.2.1 Gründung von nicht unterkellerten Gebäuden

Gründungsrelevante Schichten

Unter der Prämisse, dass die bestehenden Geländehöhen ungefähr erhalten bleiben, ist für die Unterkanten der Erdgeschossbodenplatten eine Einbindung in das Bestandsgelände von wenigen Zentimetern zu erwarten. Die Unterkanten liegen somit innerhalb des nicht tragfähigen Oberbodens. Auch die unterhalb folgenden bindigen Lößlehme sind in den überwiegend angetroffenen weichen bzw. weich-steifplastischen Konsistenzen nicht für eine direkte Beanspruchung mit den zu erwartenden Bauwerkslasten geeignet.

Gründungsempfehlungen

Bei den beschriebenen Randbedingungen wird eine Gründung von nicht-unterkellerten Wohnhäusern mittels bewehrter Bodenplatte auf einem Bodenpolster als voraussichtlich wirtschaftlichste Gründungsform empfohlen. Der Einbau eines Bodenpolsters stellt insofern keinen bzw. nur einen geringen zusätzlichen erdbautechnischen Aufwand dar, als dass der vorhandene zwischen 0,5 m und 0,8 m mächtige Oberboden ohnehin abgeschoben werden muss.

Bei der Plattengründung wird von dem Betonieren der Bodenplatte eine ebene und tragfähige Gründungssohle durch einen Bodenaustausch geschaffen. Das Bodenpolster aus gut verdichtbaren genormten Baustoffgemischen wird dabei zur Reduzierung und Vereinheitlichung der Setzungen eingebaut. Die notwendigen Mindesteinbaudicken der Polster unter der Bodenplatte werden für 2-geschossige Bauten mit 0,5 m, für 3-geschossige Bauten 0,8 m veranschlagt. Die angegebenen Polsterstärken sind dabei nur als Anhaltsgrößen zur verstehen. Die genauen erforderlichen Einbaustärken sollten für jedes Bauvorhaben individuell während der Erdarbeiten durch einen Baugrundgutachter festgelegt werden.

Die für die vorgeschlagenen Polsterstärken überschlägig ermittelten Setzungsbeträge von max. 2,5 cm bzw. Setzungsdifferenzen von max. 1,5 cm werden aus gutachterlicher Sicht vor dem Hintergrund, dass die Gebäude aufgrund der Lage in der Erdbebenzone 2 ohnehin „steif" ausgelegt werden müssen, für nicht bauwerksschädigend. Diese Einschätzung ist durch den Tragwerksplaner zu verifizieren.

Nachfolgend werden die für die Umsetzung der Plattengründung wichtigen Punkte aufgelistet. Die Anforderungen ergeben sich in erster Linie aus der hohen Wasserempfindlichkeit der anstehenden bindigen Böden in den Aushubsohlen.

- Der Erdaushub ist in jedem Fall mit einem Baggerlöffel mit Schneide vorzunehmen, um ein Durchpflügen mit einhergehender Auflockerung/Aufweichung des Baugrundes zu vermeiden.
- Aufgeweichte Böden in der Baugrubensohle sind zu entfernen und durch gut verdichtbare Baustoffe auszutauschen, wie unten erwähnt.

- Die Tragfähigkeit und die Verdichtbarkeit der Böden in der Aushubsole hängen aufgrund der hohen Wasserempfindlichkeit extrem von den Witterungsbedingungen während der Bauphase ab. Bei schlechten Bedingungen ist zur Stabilisierung der Sohle unter Umständen der Einbau einer Grobschlaglage erforderlich. Das Grobschlagmaterial (z. B. Körnung 60/120) wird dabei statisch in die Sohle eingewalkt und dient als Auflager für das eigentliche Bodenpolster. Der Einbau einer vorgeschätzt 20 cm dicken Grobschlaglage sollte als Eventualpositionen in den Ausschreibungen für die Gründungsarbeiten berücksichtigt werden.
- Auf der Aushubsohle (bzw. auf der mit Grobschlag stabilisierten Sohle) ist ein Geotextil mit der Funktion „Trennen" zu verlegen (Robustheitsklasse GRK4).
- Anschließend ist das Bodenpolster einzubauen. Ausgehend von den Gebäudeaußenkanten ist hierbei ein Druckausbreitungswinkel von 45° zu berücksichtigen. Um eine Plastifizierung der Gründungssohle zu verhindern darf die Verdichtung der Einbaulagen bei Schütthöhen von ca. 20 cm nur mit einem leichten Verdichtungsgerät erfolgen.
- Unter den Außenwänden der Gebäude ist die Dicke des Polsters so zu erhöhen, dass die Frostsicherheit gewährleistet ist. Als frostsicher gilt im vorliegenden Fall 1 m unter späterer GOK.
- Bei den Erdarbeiten sollte die Aushubsohle möglichst kurz der Witterung ausgesetzt sein. Zum Schutz des Bodens vor Durchfeuchtung sollte der Einbau des Bodenpolsters daher abschnittsweise und unmittelbar nach dem Aushub im „Andeckverfahren" eingebaut werden.
- Während der Bauphase muss die Trockenhaltung der Baugrube durch eine fachgerechte Wasserhaltung durchgehend gewährleistet werden.
- Als Bodenaustauschmaterial ist ein genormtes frostsicheres Brech- oder Rundkorngemisch (z.B. Sieblinie 0/45) zu verwenden. Soll RC-Material für den Aufbau des Bodenpolsters genutzt werden, ist dessen bodenmechanische und umwelthygienische Eignung durch bodenphysikalische und chemische Laboruntersuchungen nachzuweisen. Der Einbau von RC-Materialien ist in jedem Fall bei der zuständigen Unteren Wasserbehörde genehmigungspflichtig.
- Die Verdichtungsanforderungen auf der Gründungssohle (= Oberkante Bodenpolster) sind:

$$\mathbf{Ev_2 \geq 80\ MN/m^2,\ Ev_2/Ev_1 \leq 2{,}5.}$$

Es wird empfohlen, den Verdichtungserfolg durch Lastplattenversuche zu überprüfen.

Bei Einhaltung der oben genannten Angaben können für die Vorbemessung der Bodenplatte die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Kenngrößen verwendet werden. Die überschlägigen Setzungsberechnungen berücksichtigen für 2-geschossige Gebäude mittlere Flächenlasten von 30 kN/m², für 3-geschossige Gebäude 45 kN/m². Bei den Berechnungen wurden die o. g. Polsterstärken von 0,5 m für 2-geschossige und 0,8 m für 3-geschossige Gebäude angenommen.

Der als Flächengründung zu betrachtende Gründungskörper kann nach dem Bettungsmodul-verfahren elastisch gebettet bemessen werden. Alternativ kann das Steifemodulverfahren zur Dimensionierung der Gründung angewendet werden.

Tabelle 5: Kenngrößen zur Berechnung der Plattengründung in bindigen Deckschichten nach dem Bettungsmodulverfahren

	Norm	Kennwert
Bettungsmodul für die **vorläufige** Bemessung der Bodenplatte nach dem Bettungsmodulverfahren	--	K_s = 5 MN/m³
Bemessungswert des Sohlwiderstandes unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung	DIN 1054: 2010-12 (EC 7)	$\sigma_{R,d} \leq$ 245 kN/m²
Aufnehmbarer Sohldruck unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung (Lastfall BS-P)	DIN 1054: 2005-1 (alt)	$\sigma_{zul.} \leq$ 175 kN/m²
Setzungen **Setzungsdifferenzen**	--	s = 1 ….2,5 cm $\Delta s \leq$ 1,5 cm

Es ist zu beachten, dass der Bettungsmodul kein Bodenkennwert ist, sondern von der Bauwerkslast und der Plattenabmessung abhängt. Der genaue Wert ist im Rahmen der Tragwerksplanung durch Setzungsberechnungen bzw. Iteration zu ermitteln.

Berechnungsgrundlagen für das Steifemodulverfahren:
Für die Berechnung nach dem Steifemodulverfahren können folgende Rechenwerte angesetzt werden.

Tabelle 6: Kenngrößen zur Berechnung der Plattengründung in bindigen Deckschichten nach dem Steifemodulverfahren

	Norm	Kennwert
Mittlerer Steifmodul **Löß, Lößlehm / Flussablagerung**	--	6 MN/m² / 100 MN/m²
Bemessungswert des Sohlwiderstandes unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung	DIN 1054: 2010-12 (EC 7)	$\sigma_{R,d} \leq$ 245 kN/m²
Aufnehmbarer Sohldruck unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung (Lastfall BS-P)	DIN 1054: 2005-1 (alt)	$\sigma_{zul.} \leq$ 175 kN/m²

Ergeben sich aus den Berechnungen der Bodenplatten höhere als die angegebenen Spannungsspitzen, so sind weitere Bodenverbesserungsmaßnahmen unterhalb der Bodenplatte erforderlich, um dann mit höheren Bettungsmoduli bzw. Steifemoduli rechnen zu können. Eine weitere Bodenverbesserungsmaßnahme kann beispielsweise eine Erhöhung der Polstermächtigkeit darstellen, die gezielt unter den hoch belasteten Bereichen der Gründungsplatte erfolgt. Die erforderliche Dicke des zusätzlichen Bodenpolsters kann erst nach Vorlage der tatsächlichen Bauwerkslasten festgelegt werden.

5.2.2 Gründung von unterkellerten Gebäuden

Gründungsrelevante Schichten

Für Kellergeschosse ist von einer Einbindetiefe von ca. 3 m unter Bestandsgelände auszugehen. Die Unterkanten der Kellerbodenplatten binden somit ganz überwiegend in die gut bis sehr gut tragfähigen Kiese und Sande der Mittelterrasse ein. Reste von nicht tragfähigen Lößlehmen/Schwemmlößen sind allenfalls noch punktuell – und dann in geringer Mächtigkeit von wenigen Dezimetern auf Höhe der Gründungskote zu erwarten. Mit geringem Aufwand lässt sich eine tragfähige Gründungssohle herstellen.

Empfehlungen zur Gründung

In den Bereichen, in denen die Gründungssohlen in die anstehenden Terrassenkiese und Sande einbinden, sind neben einer Nachverdichtung der Sohlen keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich. Die Bodenplatten können dann unmittelbar auf den Terrassensedimenten gegründet werden.

Stehen auf Höhe der Gründungssohlen noch Reste des Lößlehms/Schwemmlößes an, sind diese komplett auszukoffern und gegen gut verdichtbare Baumaterialien auszutauschen. Als Bodenaustauschmaterialien sind Kies-Sand-Gemische mit definierter Körnungslinie (z.B. 0/45, 0/56) geeignet. Alternativ können auch die im Erschließungsgebiet an anderer Stelle ausgekofferten Kiese und Sande für den Bodenaustausch genutzt werden.

Beim Einbau ist ein ist ein Druckausbreitungswinkel von 45° zu berücksichtigen. Die durch Erdarbeiten aufgelockerte Baugrubensohle sowie die eingebauten Böden sind sorgfältig zu verdichten. Der Gutachter empfiehlt, den Verdichtungserfolg mittels Lastplattendruckversuchen zu kontrollieren. Die Verdichtungsanforderungen auf der Gründungssohle sind:

$$\mathbf{Ev_2 \geq 80\ MN/m^2,\ Ev_2/Ev_1 \leq 2{,}5.}$$

Kenngrößen zur statischen Berechnung der Gründung

Der als Flächengründung zu betrachtende Gründungskörper kann nach dem Bettungsmodulverfahren elastisch gebettet bemessen werden. Alternativ kann das Steifemodulverfahren angewendet werden, dass in der Regel die genauere Methode darstellt. Bei Einhaltung der oben genannten Maßnahmen zur Herstellung der Gründungssohlen können die in den nachfolgenden Tabellen angegebenen Rechenwerte für die Dimensionierung der Gründung genutzt werden.

Tabelle 7: Kenngrößen zur Berechnung der Plattengründung in rolligen Terrassensedimenten nach dem Bettungsmodulverfahren

	Norm	Kennwert
Bettungsmodul für die **vorläufige** Bemessung der Bodenplatte nach dem Bettungsmodulverfahren	--	K_s = 15 MN/m³
Bemessungswert des Sohlwiderstandes unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung	DIN 1054: 2010-12 (EC 7)	$\sigma_{R,d} \leq$ 420 kN/m²
Aufnehmbarer Sohldruck unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung (Lastfall BS-P)	DIN 1054: 2005-1 (alt)	$\sigma_{zul.} \leq$ 300 kN/m²
Setzungen **Setzungsdifferenzen**	--	s = 0,0….0,5 cm $\Delta s \leq$ 0,5 cm

Der angegebene Bettungsmodul ist nur für eine Vorbemessung der Gründungsplatten heranzuziehen. Es werden überschlägige mittlere Flächenlasten für das Gebäude maximal 60 kN/m² für die unterkellerten Gebäude berücksichtigt. Bei den Berechnungen wurde die Aushubentlastung des Baugrundes bereits spannungsmindernd berücksichtigt. Die Setzungen werden unmittelbar nach Lasteintrag eintreten und abklingen.

Berechnungsgrundlagen für das Steifemodulverfahren:
Für die Berechnung nach dem Steifemodulverfahren können folgende Rechenwerte angesetzt werden.

Tabelle 8: Kenngrößen zur Berechnung der Plattengründung in rolligen Terrassensedimenten nach dem Steifemodulverfahren

	Norm	Kennwert
Steifmodul **Bodenaustauschmaterial und Flussablagerung**	--	80 MN/m²
Bemessungswert des Sohlwiderstandes unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung	DIN 1054: 2010-12 (EC 7)	$\sigma_{R,d} \leq$ 420 kN/m²
Aufnehmbarer Sohldruck unter den lastabtragenden Abschnitten der Plattengründung (Lastfall BS-P)	DIN 1054: 2005-1 (alt)	$\sigma_{zul.} \leq$ 300 kN/m²

5.3 Empfehlungen zur Gründung von Hochbauten südliche Spitze B-Plan Gebiet

Gründungsrelevante Schichten

In der südlichen Spitze des Plangebietes wurden in der Bohrung KRB 10 bis in eine Tiefe von 4,7 m unter Gelände ausschließlich nicht tragfähige Böden angetroffen. Insbesondere der unter dem Lößlehm anstehende schluffige Ton (Teichsediment) besitzt in der ermittelten sehr weichen, teilweise breiigen Konsistenz ein sehr hohes Setzungspotential.

Die laterale Ausdehnung des nicht tragfähigen Teichsedimentes im Untergrund konnte im Zuge der orientierenden Baugrunduntersuchung nur grob eingegrenzt werden. Die Ergebnisse der in einer Entfernung von ca. 30 nordöstlich angesetzten Rammsondierung lassen vermuten, dass hier kein Teichsediment mehr im Untergrund ansteht. Insofern ist davon auszugehen, dass sich die sehr schlechten Baugrundbedingungen im Wesentlichen auf das südlichste im Vorentwurf angegebene Baugrundstück beschränken. Ob jedoch das ganze Grundstück von der nicht tragfähigen Schicht eingenommen wird, kann erst durch weitere Detailuntersuchungen festgestellten werden.

In den Bereichen, in denen die nicht tragfähigen Teichsedimente im Untergrund anstehen, sind bei einer herkömmlichen Flachgründung bei den anzunehmenden Gebäudelasten sowohl für unterkellerte, als auch für nicht unterkellerte Wohnbauten hohe, bauwerksschädigende Setzungsbeträge zu erwarten.

Empfehlungen zur Gründung

Für das südliche Grundstück sollte in jedem Fall eine detaillierte, auf das konkret geplante Bauvorhaben abgestimmte Baugrunduntersuchung durchgeführt werden. Sollte sich herausstellen, dass im Baufenster der geplanten Neubebauung die Teichsedimente anstehen, so bestehen neben dem bautechnisch schwer durchzuführenden Komplettaustausch des Teichsedimentes mehrere Möglichkeiten zur Schaffung einer einheitlich standsicheren Gründung. Zum einen kann die nicht tragfähige Schicht bis zum Erreichen der Terrassenkiese und Sande durchgründet werden. Hierfür kommt neben anderen Verfahren beispielsweise eine Brunnengründung in Frage. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Ertüchtigung des Baugrundes unterhalb der Gründungssohle. Hierfür stellt beispielweise eine Bodenverbesserung mittels Rüttelstopfsäulen ein erprobtes sicheres Bauverfahren dar.

5.4 Abdichtung erdberührter Bauteile

Abdichtung gemäß DIN 18195

Eine Grundwasserbeeinflussung für die erdberührten Bauteile der geplanten Wohnbebauung besteht nicht.

Die anstehenden Lößlehme sind schlecht wasserdurchlässig. Auch die Terrassensande und –kiese weisen nicht durchgängig die in der DIN 18195 geforderte hydraulische Leitfähigkeit von $K_f > 1 \times 10^{-4}$ m/s auf, die eine Abdichtung gegen Bodenfeuchte ohne Drainage erlaubt.

Aus den beschriebenen Untergrundbedingungen ergeben sich die nachfolgenden Empfehlungen zur Abdichtung der erdberührten Bauteile der geplanten Gebäude.

Abdichtung mit Drainage
In Kombination mit einer dauerhaft rückstaufreien Dränage sind die erdberührten Bauteile der Gebäude gemäß DIN 18 195-4 gegen Bodenfeuchte und nicht stauendes Sickerwasser abzudichten.

Abdichtung ohne Drainage
Bei einer Einbindung der Gebäude von > 3 m in das spätere Gelände sind die erdberührten Bauteile, gemäß DIN 18195-6:2011-2012 Abschnitt 8 gegen „drückendes Wasser von außen" abzudichten.

Alternativ kann die Abdichtung der erdberührten Bauteile auch gemäß der DAfStb-Richtlinie (WU-Richtlinie, Ausgabe vom November 2003) erfolgen. Der Vorteil dieser als „Weiße Wanne" bekannten Ausführung in Betonbauweise ist, dass gleichzeitig die konstruktiven Vorgaben umgesetzt werden können, die sich aus der Lage des Grundstückes in der Erdbebenzone 2 ergeben. Bei allen Abdichtungsformen ist darauf zu achten, dass neben der wasserdichten Ausführung von Durchdringungen auch Lichtschächte und Außentreppen wasserdicht angebunden werden.

Binden die Gebäude weniger als 3 m in das umliegende Gelände ein, sieht das maßgebende DIN Regelwerk 18195 eine Abdichtung der erdberührten Bauteile gegen „aufstauendes Sickerwasser" gemäß Teil 6, Abschnitt 9 vor. Es wird empfohlen, diese Abdichtungsform jedoch nur für den Fall, dass eine Anbindung der Baugrube an die Terrassenkiese und – sande besteht, vorzunehmen. Zudem muss durch den Einbau von Sickerelementen vor den Kellerwänden sichergestellt sein, dass das Sickerwasser ohne längeren Aufstau bis in die Terrassensedimente einsickern kann.

Besteht eine solche hydraulische Anbindung an die Terrassensedimente nicht, d. h. wird die Sohle des Arbeitsraumes von bindigen, schlecht durchlässigen Lößsedimenten aufgebaut, besteht die Gefahr des längerfristigen Aufstaus von Sickerwasser unter den Bodenplatten bzw. vor den Kellerwänden. Nach der DIN 18 195 ändert dies nichts an der Abdichtung gemäß Abschnitt 9. Gutachterlicherseits wird darauf hingewiesen, dass langfristig in der Baugrube aufgestautes Wasser wie drückendes Wasser von außen wirkt. In diesem Fall ist eine wasserdruckhaltende Abdichtung gemäß Abschnitt 8 der DIN 18195-6:2011-12 empfehlenswert. Ob diese höherwertige und deshalb auch teurere Abdichtungsform umgesetzt wird, liegt in der Entscheidung des Bauherrn.

Abdichtung gemäß DIN 18 533
In der neuen, seit Juli 2017 gültigen Abdichtungsnorm DIN 18533 wird nicht mehr zwischen der Entstehungsart und Dauer der Beanspruchung unterschieden. Berücksichtigt wird nur noch die Höhe des Wasserdrucks, der auf die erdberührten Bauteile einwirkt, gleichgültig ob dieser durch Grund- und Schichtenwasser oder durch aufstauendes Sickerwasser ausgeübt wird. Die Beanspruchungen für erdberührte Bauteile werden dann in die Einwirkungsklassen unterteilt. Bei den vorliegenden Randbedingungen ergeben sich folgende Wassereinwirkungen.

Abdichtung mit Drainage
Bei einer Abdichtung mit Drainage ist die Wasserwirkungsklasse W1-E „Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser" anzusetzen

Abdichtung ohne Drainage
Bei einer Einbindetiefe der Kellergeschosse von > 3 m in das zukünftige Gelände ist die Wasserwirkungsklasse W2.2-E „Hohe Einwirkung von drückendem Wasser" anzusetzen.

Bei einer Einbindetiefe der Kellergeschosse < 3 m ist gemäß DIN 18533 die Wassereinwirkung W2.1-E „mäßige Einwirkung von drückendem Wasser" zu berücksichtigen. Der Gutachter empfiehlt jedoch auch hier – analog zu den für die DIN 18195 gemachten Ausführungen – die höhere Einwirkungsklasse W2.2-E anzusetzen und eine wasserundurchlässige Abdichtungsform (siehe oben) zu wählen.

5.5 Wasserhaltung

Das Bauvorhaben wird nicht vom Grundwasser tangiert. Eine Grundwasserabsenkung ist daher nicht erforderlich.

Aufgrund der extrem wasserempfindlichen Böden in der Gründungssohle ist jedoch anfallendes Tagwasser unverzüglich aus der Baugrube zu entfernen. Der zu erwartenden Tagwasserandrang ist mit einer offenen Wasserhaltung zu beherrschen. Hierfür sind Pumpensümpfe am Innenrand der Baugruben zu installieren.

5.6 Anlegen von Baugrubenböschungen

Baugrubenböschungen können frei geböscht oder, wo dies aus Platzgründen nicht möglich ist, kraftschlüssig verbaut werden.

5.6.1 Freigeböschte Gruben

Es ist davon auszugehen, dass die Kellergruben aufgrund des Platzangebotes weitestgehend frei abgeböscht werden können. Bei den angetroffenen Böden können für die Bauzeit folgende Böschungswinkel realisiert werden

- weichplastische Deckschichten 45°
- steifplastische Deckschichten 60°
- Kiese und Sande der Mittelterrasse 45°

Die freigeböschten Baugrubenwände sind sofort sorgfältig mit Folien gegen Witterungseinflüsse zu schützen.

5.6.2 Kraftschlüssig verbaute Gruben

Für den Fall, dass aus Platzgründen ein freies Abböschen der Kellergruben nicht möglich ist, müssen diese kraftschlüssig verbaut werden. Hierfür eignet sich ein Trägerbohlwandverbau. Von einer durchgehenden Rammbarkeit des Untergrundes bis in die für eine freie Einspannung der Träger erforderlichen Tiefen kann aufgrund der dichten Lagerung der Terrassenkiese jedoch nicht ausgegangen werden. Die Träger müssen dann in vorgebohrte Löcher eingestellt werden.

Der Einbau der Bohlen zwischen den Trägern ist dagegen bautechnisch leicht umzusetzen, da die Böden – mit Ausnahme der sehr weichen Teichsedimente – kurzfristig auch über größere Höhen standsicher sind. Beim Einbau der Bohlen ist unbedingt auf einen Kraftschluss mit dem Baugrund zu achten. Ausbrüche in den Baugrubenwänden sind dabei unverzüglich zu verdämmen.

Vor Beginn der Rammarbeiten bzw. Bohrarbeiten muss die Kampfmittelfreiheit nachgewiesen sein. Diese ist vorab bei der zuständigen Behörde zu beantragen. Eine Kampfmitteldetektion der einzelnen Trägerstandorte ist zusätzlich erforderlich.

5.7 Erdbebenzone

Die Vorgaben der DIN EN 1998-1/NA (Fassung 2011-01), ehemals DIN 4149:2005-04 (Bauten in deutschen Erdbebengebieten), für Bauten in der Erdbebenzone 2 sind umzusetzen.

6. Empfehlungen zum Straßenbau

Angaben zur geplanten Ausführung der Verkehrsflächen liegen nicht vor. Erfahrungsgemäß werden die Wohnstraßen eines Erschließungsgebietes dieser Größenordnung mit einer Asphaltdecke befestigt, wovon nachfolgend ausgegangen wird. Die Straßenoberkante wird ca. höhengleich mit dem Bestandsgelände angenommen.

6.1 Frostsichere Oberbaudicke

Gutachterlicherseits werden die Wohnstraßen des Erschließungsgebietes in die Belastungsklasse Bk1,0 gemäß RStO 12 (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen) gestellt. Diese Einstufung ist bauseits zu überprüfen.

Die anstehenden Böden (Lößlehme) sind gemäß ZTV E-StB 09 der Frostempfindlichkeitsklasse F3 (sehr frostempfindlich) zuzuordnen. Nach den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12) beträgt der Ausgangswert für die Bestimmung der Mindestdicke des frostsicheren Straßenaufbaus in der Belastungsklasse 1,0 auf Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F3 **60 cm**. Weitere Mehr- oder Minderdicken gemäß Tabelle 7 RStO sind durch den Fachplaner festzulegen.

6.2 Tragfähigkeit des Planums

Auf der Oberkante der Frostschutzschicht (ungebundenen Tragschicht) ist für Belastungsklasse Bk1,0 ein Verformungsmodul $Ev_2 > 120$ MN/m² nachzuweisen. Auf dem Erdplanum gilt allgemein ein Verformungsmodul $Ev_2 > 45$ MN/m².

Letzterer Wert wird auf den, auf Höhe des Planums anstehenden weich-steifplastischen Lößlehmen erfahrungsgemäß nicht erreicht. Hier sind Ev_2-Werte zwischen 10 MN/m² - 20 MN/m² zu erwarten. Um die ausreichende Tragfähigkeit des Erdplanums zu herzustellen sind daher zusätzliche Maßnahmen erforderlich. Hierfür ist entweder eine **Verstärkung des Oberbaus** oder eine **Bodenverbesserung mit geeigneten Bindemitteln** durchzuführen.

Verstärkung des Oberbaus
Die erforderliche Mindestdicke des zusätzlichen Bodenaustauschs wird mit ca. 30 - 40 cm vorgeschätzt, wobei sich aufgrund ungünstiger Witterungsbedingungen auch höhere Austauschmächtigkeiten ergeben können.

Die genaue Dimensionierung der Oberbaustärken kann erst während bzw. kurz vor Bauausführung durch Lastplattendruckversuche festgelegt werden, die auf Versuchsfeldern durchgeführt werden. So werden auch die während der Bauzeit herrschenden Witterungsbedingungen und die vorgesehenen Baustoffe bei der Dimensionierung des Oberbaus berücksichtigt.

Die erforderliche Oberbaumächtigkeit lässt sich durch den Einbau eines Geogitters mit der Funktion „Trennen und Bewehren" erfahrungsgemäß um 20 - 30 % reduzieren. Genaue Angaben zur Dimensionierung des Oberbaus mit eingelegtem Geogitter erhält man bei den Herstellern der Geokunststoffe (z.B. Naue, Tensar, etc.). Erst dann kann die Wirtschaftlichkeit dieser Bauform abschließend beurteilt werden. In jedem Fall sollte der durch den Hersteller vorgeschlagene Aufbau auf einem Probefeld nachgebaut werden, um die ausreichende Tragfähigkeit des Oberbaus mit einem statischen Lastplattendruckversuch nachzuweisen.

Bodenverbesserung mit Bindemitteln
Bei der vorliegenden Größe des Erschließungsprojektes stellt die Bodenverbesserung mit Bindemitteln erfahrungsgemäß die kostengünstigere Variante zur Herstellung eines tragfähigen Erdplanums dar. Grundsätzlich sind die auf Planumshöhe anstehenden Böden für eine Bodenverbesserung mit Weißfeinkalk oder Mischbindemitteln geeignet. Die Zuschlagsstoffe können mit dem Mixed-In Place-Verfahren in den Untergrund eingefräst werden. Die erforderlichen Einfrästiefen liegen in der Regel zwischen 30 cm und 40 cm. Bereits nach 3 – 5 Tagen lassen sich erfahrungsgemäß Verformungsmodule zwischen Ev_2 = 45 und 60 MN/m² auf dem verbesserten Erdplanum nachweisen.

Die geeignete Rezeptur und Zuschlagsmenge des Bindemittels wird unter Berücksichtigung der „Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau (TP BF-StB) Teil B 11.1 Eignungsprüfungen für Bodenverfestigungen mit hydraulischen Bindemitteln (2005)" erstellt. Hierfür werden Bodenkenngrößen, wie Korngrößenverteilung, Wassergehalt etc. der zu verbessernden Böden benötigt. Für die notwendigen Laboruntersuchungen sollte eine Zeitspanne von 1 - 2 Wochen eingeplant werden. Die Eignung der Rezeptur sollte wiederum mittels Lastplattendruckversuchen auf Versuchsfeldern überprüft werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die erforderlichen Zuschlagsmengen stark von den Wassergehalten und somit von den Witterungsbedingungen während der Bauphase abhängen. Bei wechselnden Witterungsbedingungen sind daher die Zuschlagsmengen ggf. baubegleitend anzupassen.

7. Empfehlungen zum Kanal- und Leitungsbau

Die Ver- und Entsorgungsleitungen für das Neubaugebiet werden voraussichtlich in den Trassen der Erschließungstrassen verlegt. Die genauen Verlegetiefen sind noch nicht bekannt. Es wird davon ausgegangen, dass die Abflusswässer der Wohnhäuser dem Abwasserkanal im Freigefälle zufließen sollen. Bei einer Unterkellerung mit geschätzten Einbindetiefen der Kellergeschosse von ca. 3 m ergibt sich eine erforderliche Mindestlauftiefe der Abwasserkanäle von ca. 3,5 m unter Bestandsgelände. Ansonsten werden Versorgungsleitungen erfahrungsgemäß frostsicher in Tiefen von ca. 0,8 m bis 1,5 m unter Geländeoberkante verlegt.

Wie bereits mehrfach erwähnt, sind die oberflächennah anstehenden Lößböden extrem wasser- und störempfindlich gegen mechanische Beanspruchung. Bei der Erstellung der Kanäle sollte die schützende Mutterbodenschicht erst abgeschoben werden, wenn mit ausreichend langen günstigen Wetterperioden für die Ausführung der Erdarbeiten zu rechnen ist. Ansonsten besteht die Gefahr der Konsistenzverschlechterung bis hin zur Plastifizierung des Bodens (Übergang von Bodenklasse 4 in Bodenklasse 2: fließende Bodenarten). Ein Wiedereinbau dieser Böden – wie unten empfohlen - wäre dann nicht mehr möglich. Die Länge der Bauabschnitte sollte daher auf die zu erwartenden Witterungsbedingungen abgestimmt werden.

7.2 Sohlbefestigung

Gründung der Kanäle in Kiesen und Sanden der Mittelterrasse

Bei der zu erwartenden Einbindung von ca. 3,5 m unter Geländeoberkante binden die Kanalsohlen voraussichtlich durchgehend in die Kiese und Sande der Mittelterrasse ein. Diese stellen – ggf. nach einer Nachverdichtung des Planums – einen für die Gründung der Kanäle und Schachtbauwerke ausreichend scherfesten und tragfähigen Baugrund dar. Zusätzliche Maßnahmen zur Sohlstabilisierung sind nicht erforderlich.

Gründung der Kanäle in bindige Deckschichten

Ist für die Kanäle eine geringere Einbindetiefe von < 3 m geplant, so liegen die Kanalsohlen zumindest bereichsweise innerhalb der bindigen Deckschichten. Diese weisen in der angetroffenen weich-steifen Konsistenz keine ausreichende Tragfähigkeit für die zu erwartenden Lasten auf. Daher ist unterhalb der Rohrsohle ein Bodenaustausch zur Sohlstabilisierung durchzuführen. Die notwendige Mächtigkeit der Austauschschicht unterhalb der Rohrbettung wird mit ca. 0,3 m vorgeschätzt. Die genaue erforderliche Austauschmächtigkeit kann jedoch erst im Zuge der Baumaßnahme durch einen Bodengutachter festgelegt werden.

Als Austauschmaterialien sind Brechkorngemische, Sand-Kies-Gemische oder nach TL Min-StB 2000 geprüfte RC-Baustoffe der Körnungen 0/45 oder 0/56 geeignet. Bei schlechten Witterungsbedingungen kann zudem der Einbau einer Grobschlaglage zur Sohlstabilisierung

erforderlich werden. Der Grobschlag wird dabei statisch in die weiche Sohle eingedrückt und dient als Widerlager für die Verdichtung des Bodenpolsters unterhalb der Kanalrohre.

Aufgrund der Empfindlichkeit der Lößböden bei mechanischer Beanspruchung darf der Einbau der Tragschichten unterhalb der Kanalrohre nur mit angepasstem leichtem Verdichtungsgerät erfolgen. Zudem kommt der Trockenhaltung der Baubaugrube große Bedeutung zu (siehe Kapitel: Wasserhaltung).

7.3 Grabenverbau

Nach der DIN 4124 sind alle lotrecht geschachteten Gräben ab einer Tiefe von 1,25 m mit einem Verbau zu sichern. Nur in bindigen Böden mit mindestens steifer Konsistenz können Gräben bis 1,75 m senkrecht hergestellt werden, wenn der Boden oberhalb 1,25 m mit abgeböschter Kante (45°) oder mit Saumbohlen gesichert wird.

Aufgrund des reichhaltigen Platzangebotes ist ein freies Abböschen der Kanalgräben zwar grundsätzlich möglich, doch ergeben sich bei den angenommenen Einbindetiefen ≥ 3,5 m bei einer normgerechten Böschungsneigung von 45° große Aushubmengen. Es ist davon auszugehen, dass zumindest die tiefen Kanalgräben kraftschlüssig verbaut werden. Bei der Erstellung und dem Verbau der Kanalgräben sind grundsätzlich in Vorgaben der DIN 4124-12 zu beachten.

Eine Sicherung der Baugrubenwände mittels üblicher randgestützter Fertigverbauplatten ist möglich. Die bindigen Deckschichten sind voraussichtlich bis zum Erreichen der Terrassenkiese und –sande zumindest kurzfristig senkrecht standfest. Die Verbauplatten können somit in die vorgeschachtete Baugrube eingestellt und gegen die Grubenwände gespindelt werden. Die Tieferführung in die nachbrüchigen Kiese und Sande muss dann im Absenkverfahren erfolgen.

Für den Fall von punktuell auftretenden stark aufgeweichten Deckschichten oder, bei erforderlichen Einbindetiefen von > 1 m in die nachbrüchigen Kiese und Sande der Mittelterrasse, ist eine Sicherung der Baugruben mittels Fertigverbauplatten u. U. nicht mehr möglich. Für diesen Fall wird der Einsatz eines Kammerdielenverbaus empfohlen.

7.4 Wasserhaltung

Die Baumaßnahme wird nicht vom freien Grundwasser tangiert. In den offenen Kanalgräben ist in jedem Fall mit Tagwasser und mit geringen Mengen an Schichtenwasser zu rechnen. Dies macht die Einrichtung einer offenen Wasserhaltung notwendig. Das anfallende Wasser ist über gut ausgefilterte Pumpensümpfe zu entwässern. Bei erhöhtem Andrang ist gegebenenfalls eine Drainleitung (vliesummantelte geschlitzte Drainstränge) an den Rändern des unterhalb der Sohle zu installieren, die das Wasser den Pumpensümpfen zuführt. Alle bauzeitlichen Drainleitungen sind nach Beendigung der Baumaßnahme grundsätzlich zu verdämmen.

7.5 Wiederverfüllung des Kanalgrabens

Leitungszone
In der Leitungszone sind generell nur grobkörnige (rollige) Böden zu verwenden. Bei der Wahl der Körnung sind der Verfüllmaterialien ist die DIN EN 1610 bzw. die Herstellerangaben der Kanalrohre zu berücksichtigen. Neben dem Rohr muss ausreichend Raum für den Einsatz eines Verdichtungsgerätes vorhanden sein, damit Zwickel seitlich unter dem Rohr ausreichend verfüllt und verdichtet werden können. Die Verdichtung darf nur mit einem leichten Baugerät erfolgen, damit das Rohr keine Lageänderung erfährt.

Hauptverfüllung/Verfüllzone
Die Kiese und Sande der Mittelterrasse sind aus bodenmechanischer Sicht für den Wiedereinbau in der Verfüllzone des Kanalgrabens geeignet.

Die bindigen Deckschichten, die den größten Anteil des Bodenaushubs bei der Verlegung der Kanäle ausmachen, sind in der angetroffenen weich bis steifen Konsistenz nicht für einen Wiedereinbau geeignet. Das Fenster des, für den Wiedereinbau erforderlichen optimalen Wassergehaltes ist sehr klein. Erfahrungsgemäß liegt der Wassergehalt im Erdaushub der Lößböden nach dem Auskoffern und dem bauzeitlichen Lagern meist auf der „feuchten Seite" des optimalen Wassergehaltes. Ohne Konditionierung ist der Boden für einen Wiedereinbau in der Verfüllzone des Kanals nicht geeignet.

Grundsätzlich werden Konditionierungen und Wiedereinbau für realisierbar gehalten. Dies setzt aber ein sehr sorgfältiges Arbeiten der Tiefbaufirma voraus. Folgende Punkte sind hierbei zu beachten:

- Zunächst ist die Rezeptur und Menge des Bindemittels festzulegen (s. unter Straßenbau)
- Nach dem Aushub sind die Böden aufzumieten. Die Bodenmieten sind glatt abzuwalzen und ggf. durch Folien vor Witterungseinflüssen zu schützen.
- Vor dem Einbau ist das Bindemittel gemäß festgelegter Rezeptur mit einem geeigneten Baugerät (Fräslöffel) in den Boden einzubringen.
- Anschließend ist der Boden lagenweise in Schütthöhen < 25 cm mit angepasstem Verdichtungsgerät einzubauen.
- Um lange Lagerzeiten des ausgekofferten Bodens zu vermeiden, sollten die Kanalgräben möglichst zeitnah wiederverfüllt werden.
- Der Verdichtungserfolg sollte regelmäßig und nicht erst nach Fertigstellung der Gesamtbaumaßnahme mittels Lastplattendruckversuchen oder Rammsondierungen (Künzelungen) kontrolliert werden um ggf. die Rezeptur anpassen zu können.
- Die Baumaßnahme sollte in jedem Fall bodengutachterlich begleitet werden.

Angelieferte Verfüllböden
Selbst bei einer sorgfältigen Bauausführung ist es nicht auszuschließen, dass nach längeren Regenperioden oder nach Starkregenereignissen ein Einbau trotz Konditionierung nicht mehr möglich ist. Um längere Baustillstände zu vermeiden sollte für diesen Fall auch die Anlieferung und der Einbau von Verfüllböden mit ausgeschrieben werden. Als Einbaumaterial eignen sich kornabgestufte Mineralgemische, gütegeprüfte RC-Baustoffe oder Sand-Kiese (z.B. 0/45, 0/56).

8. Versickerung von Niederschlagsabflüssen der Dach- und Verkehrsflächen

Für das B-Plan Gebiet ist ein separates geohydrologisches Gutachten erstellt worden. Demnach sind grundsätzlich die - nach dem maßgebenden Regelwerk DWA-A-138 - erforderlichen geologischen bzw. hydrogeologischen Voraussetzungen sowohl für eine dezentrale als auch für eine zentrale Versickerung der Niederschlagsabflüsse gegeben.

Als versickerungswirksame Schicht sind die Sande und -Kiese der Mittelterrasse nutzbar, die in der Regel im Plangebiet ab Tiefen zwischen 2,6 m und ca. 3 m unter Bestandsgelände anstehen. Eine Ausnahme bildet – wie schon beschrieben – die südlichste Spitze des Plangebietes. Hier stehen die Terrassensedimente erst in einer Tiefe von 4,7 m unter Gelände an.

In den fünf repräsentativ durchgeführten Versickerungsversuchen wurden ausreichend hohe k_f-Werte zwischen 1,2 x 10^{-4} m/s und 6,5 x 10^{-5} m/s für die Mittelterrassensedimente ermittelt. Die Werte liegen innerhalb des vom DWA-138 geforderten Intervalls für dezentrale Versickerungsanlagen. Auch der Grenzwert für zentrale Versickerungsbecken wird eingehalten.

Die von den Dachflächen abfließenden Niederschlagsabflüsse sind als unbedenklich einzustufen und können ohne Vorreinigung sowohl dezentral über Rigolen als auch zentral über ein Versickerungsbecken in den Untergrund versickert werden.

Die Belastung der von den Verkehrsflächen abfließenden Niederschlagswässer wird als tolerierbar eingestuft. Um die gemäß DWA-A138 geforderte zusätzliche biologische und physikalische Reinigung der Abflüsse über die belebte Bodenzone zu erreichen, können entweder über mehrere Mulden-Rigolen-Anlagen in den Untergrund eingeleitet werden, die randlich der Erschließungsstraßen angeordnet werden. Alternativ ist eine Versickerung der Straßenabflüsse über ein zentrales Versickerungsbecken mit begrünter Beckensohle möglich.

Welche der genannten Ableitungsformen zur Ausführungen kommt – dezentral oder zentrale Versickerung – hängt nicht zuletzt vom vorhanden Platzangebot auf den Grundstücken bzw. randlich der Erschließungsstraßen ab. Abschießend kann dies nur nach Vorlage der endgültigen Planung/Parzellierung durch den Abgleich zwischen „vorhandenem Platzangebot" und „erforderlichen Platzbedarf" erfolgen.

Um einen Eindruck zum erforderlichen Platzbedarf zu erhalten werden nachfolgend Angaben zur Dimensionierung, zu erforderlichen Bauabständen und zur tiefbautechnischen Bauausführung der verschieden Versickerungsanalgen gemacht. Es wurden exemplarisch Rohr-Rigolen Anlagen, sowie Mulden-Rigolen-Anlagen gemäß den Richtlinien der DWA-A 138 für verschieden große Anschlussflächen bemessen. Für die Dimensionierung der Anlagen wurde bei der Berechnung des Regenabflusses die aktuelle KOSTRA-Tabelle (2010) für das Rasterfeld; Brühl: Spalte 9, Zeile 57 genutzt. Die Wiederkehrzeit T (in Jahren) wurde mit 5 angesetzt.

Die Durchlässigkeit der versickerungswirksamen Terrassenkiese und –sande wurde mit 6 x 10^{-5} m/s festgesetzt. Dieser Wert liegt unterhalb des niedrigsten (schlechtesten) gemessenen Kf-Wert auf dem B-Plangelände dar und befindet sich insofern auf der sicheren Seite. Wie in der DWA-Richtlinie gefordert wurde bei der Bemaßung ein Sicherheitszuschlag f_z =1,2 berücksichtigt.

8.1 Dezentrale Versickerung der Dachflächenabflüsse der Wohnbebauung

Für eine exemplarische Dimensionierung einer Versickerungsanlage als Rohr-Rigolen-Anlage wurden exemplarisch angeschlossene Dachflächen in der Größe von 100 m², 150 m² und 200 m² zugrunde gelegt. Allgemein gilt die Vorgabe, dass der Rigolenkörper mindestens 1 m in die versickerungswirksamen Sande und Kiese der Mittelterrasse einbindet.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Angaben zur Bemaßung der Rigolen enthalten. Die dezidierten Berechnungen sind dem Anhang beigefügt.

Tabelle 9: Exemplarische Bemaßung von Rohr-Rigolen zur Versickerung der Dachflächenwässer

Rohr-Rigole	angeschlossene Fläche (A_u) [m²]	k_f-Wert [m/s]	Rigolentiefe (Kieskörper+Überdeckung) [m]	Länge x Sohlbreite [m]
	100	6×10^{-5}	4,0 (2,0 + 2,0)	2,53 x 1,50
	150			3,80 x 1,50
	200			5,07 x 1,50

Um die langfristige Funktionstüchtigkeit der Rigolen zu gewährleisten, sollte der Kieskörper mit einem Geovlies abgedeckt werden. Zwischen den Grabenwänden und dem Kieskörper ist ebenfalls ein Filtervlies anzuordnen. Auf diese Weise werden das Einschwemmen von Feinkornanteilen und eine damit verbundene Verminderung der Porosität vermieden. In der Grabensohle wird kein Vlies verlegt.

In den lang gestreckten Rigolenkörper ist zusätzlich ein perforiertes Rohr (DN 200) zu betten, um einen gleichmäßigen Wassereinstau zu ermöglichen. Das Vollsickerrohr ist dabei oben im Kiesköper anzuordnen und ist zusätzlich mit einer 20 cm dicken Kieslage abzudecken.

Um einen Eintrag von Schmutzfracht zu verhindern, ist ein Kontrollschacht mit Schlammfang der Rigole vorzuschalten. Das Schlammreservoir unterhalb des Ablaufes in die Rohr-Rigole muss mindestens 1 m³ aufnehmen können. Angaben zu Dimensionierung und Ausführung der Anlage sind im Anhang beigefügt.

Das auf befestigten Zuwegungsflächen anfallende Niederschlagswasser kann über die belebte Bodenzone versickert werden. Dies sollte großflächig randlich der befestigten Flächen erfolgen. Die Verwendung von wasserdurchlässigem Ökopflaster wird empfohlen.

Bei der Erstellung der Rigolen sind folgende Punkte zu beachten:

- Bei den aus Lösslehmen bestehenden Deckschichten handelt es sich um wasserempfindliche Böden, die auf Durchnässung und/oder mechanischer Beanspruchung mit einer Konsistenzminderung und dem Verlust der Tragfähigkeit reagieren. Es muss daher in jedem Fall verhindert werden, dass Wasser die Gründungssohlen bestehender und zukünftiger Gebäudefundamente tangiert. Daher sollte der lichte Abstand der Versickerungsanlagen zu Gebäuden 5 m nicht unterschreiten.

- Ein Abstand der Rigolen von 2 m zu Grundstücksgrenzen ist grundsätzlich einzuhalten.
- Für den überschreitbaren Lastfall sollte durch geeignete konstruktive Maßnahmen sichergestellt werden, dass das Wasser schadlos ablaufen kann (z.B. Notüberlauf in die Kanalisation).

Für den südlichsten Bereich des Plangebietes, in dem die versickerungswirksamen Terrassenschichten erst ab Teufen von 4,7 m unterhalb der Teich-/ Hochflutsedimente angetroffen wurden, ist eine Versickerung über eine Rigole bautechnisch schwer umzusetzen und somit u. U. nicht mehr wirtschaftlich. Hier sollten in jedem Fall weitere Untersuchungen stattfinden, um die laterale Verbreitung der Teichsedimente abzugrenzen. Findet sich kein Standort, an dem die Kiese und Sande in geringerer Tiefe anstehen, sollte geprüft werden, ob für das südlichste Baugrundstück eine Einleitung der Regenabflüsse in den nahen Dickopsbach oder in den Abwasserkanal genehmigungsfähig ist.

8.2 Dezentrale Versickerung der Niederschlagsabflüsse der Verkehrsflächen

Die exemplarische Berechnung einer Mulden-Rigole wurde für eine Straßenfläche von 100 m² berechnet. Der Abflussbeiwert für die voraussichtlich asphaltierten Straßen wurde mit Ψ = 0,9 festgelegt. Für die Anlage wurde eine langestreckte Form gewählt. Die Rigolenbreite wurde mit 0,8 m angenommen. Die maximale Einstauhöhe in der Mulde wurde gemäß DWA-A 138 auf 0,3 m beschränkt. Aus den vorgenannten Angaben ergibt sich für die exemplarisch berechnete Anlage folgende Dimensionierung:

Tabelle 10: Exemplarische Bemaßung von Mulden-Rigolen zur Versickerung der Straßenabflüsse

angeschlossene Fläche (A_u)[1] [m²]	k_f-Wert Muldensohle [m/s]	k_f-Wert Versickerungswirksame Schicht [m/s]	Breite Rigole [m]	erforderliche Muldenfläche [m²]	erforderliche Rigolenfläche [m²]
90	5×10^{-5}	6×10^{-5}	0,8	8,51	0,97

[1]Angeschlossene Fläche [A_u] = Einzugsgebietsfläche [A_e] x Abflussbeiwert [Ψ]

Bei einer angenommenen Muldenbreite von ca. 1,5 m ergibt sich eine erforderliche Anlagenlänge von ca. 7 m / 100 m².

Für die, unter der Muldensohle angeordnete Kiesrigole gilt ebenfalls die Vorgabe, dass ein hydraulischer Anschluss an die versickerungswirksamen Terrassensedimente hergestellt werden muss. Aus diesen Anforderungen ergibt sich eine erforderliche Rigolenfläche von 0,97 m² (siehe Anhang). Rechnerisch reicht es damit aus, die Anbindung an die versickerungswirksame Schicht nicht über die ganze Sohlenlänge der Mulde herzustellen, sondern nur punktuell auf einer Fläche von ca. 1 m². Alle Angaben beziehen sich auf eine angeschlossene Flächengröße von 100 m².

Um das Einschwemmen von Feinpartikeln aus der Mulde in die darunter angeordneten Kieskörper zu verhindern muss die Filterstabilität des Gesamtsystems gewährleistet werden. Daher ist folgender Aufbau zu wählen:

- In die Muldensohle ist eine 20 – 30 cm dicke Mutterbodenschicht einzubauen. Für den Oberboden ist eine Durchlässigkeit von $K_f \geq 1 \times 10^{-5}$ m/s sicherzustellen. Bei zu geringer Durchlässigkeit ist dem Bodensubstrat ggfls. Sand beizumischen. Die Muldensohle ist anschließend mit einer Graseinsaat zu begrünen.
- Unterhalb des Mutterbodens folgt eine Sauberkeitsschicht aus Sand ohne Feinkornanteil < 0,06 mm.
- Der Sand wird durch ein Geotextil von der unterlagernden Kiesfüllung getrennt. Das Geotextil sollte die wirksame Öffnungsweite $O_{90,w}$ = zwischen 0,4 mm und 0,06 mm besitzen.
- Der Zulauf in die Mulde muss vor Erosion (Auskolkung) geschützt werden. Dies kann beispielsweise mit einer Steinschüttung oder Pflasterlage im Zulaufbereich geschehen.

8.3 Zentrale Versickerung der Dach- und der Straßenabflüsse in ein Versickerungsbecken

Eine Dimensionierung eines zentralen Versickerungsbeckens wird nicht durchgeführt; ie Gestaltung und Bemessung einer solchen Anlage obliegt dem Fachplaner der Entwässerung. Grundsätzlich ist auch für ein solches Versickerungsbecken ein hydraulischer Anschluss der Beckensohle an die versickerungswirksamen Kiese und Sande der Mittelterrasse sicherzustellen. Sollte die Beckensohle nicht schon in die Mittelterrassensedimente einbinden, so ist der hydraulische Anschluss durch einen Austausch der schlecht durchlässigen Lößlehms gegen gutdurchlässige Kiese zu erreichen.

Bei einer Gestaltung der Versickerungsbecken mit begrünter Sohle ist auch die gemäß DWA geforderte biologische und physikalische Reinigung der Verkehrsflächenabflüsse über die belebte Bodenzone gewährleistet.

Der Platzbedarf für Versickerungsbecken kann nach dem Regelwerk DWA-A138 mit ca. 7% der angeschlossenen versiegelten Flächen vorkalkuliert werden. Daraus errechnet sich für die überschlägig ermittelten versiegelten Flächen folgender ungefährer Platzbedarf:

Abflussart	ca. angeschlossene Fläche	ca. Platzbedarf Versickerungsbecken
Verkehrsflächen	2.000 m²	140 m²
Dachflächen	5.500 m²	385 m²

Die Angaben wurden überschlägig ermittelt und sind bauseits in jedem Fall zu überprüfen und mit den endgültigen Planungen abzugleichen.

9. Schlussbemerkung

Zum Zeitpunkt der Berichtslegungen befand sich das Erschließungsprojekt noch in der Vorentwurfsphase. Die im Gutachten gemachten Angaben sind daher allgemein gehalten und müssen bei Vorliegen konkreter Planungen angepasst werden. Es wird empfohlen, bauvorhabenbezogene Baugrunduntersuchungen durchzuführen.

Für die erforderlichen Erdarbeiten zur Erschließung des Gebietes sowie für die Gründung der geplanten Wohnhäuser empfiehlt sich in jedem Fall eine bodengutachterliche Begleitung. Sollte während der Tiefbauarbeiten eine andere als die in dem vorliegenden Gutachten aufgeführte Untergrundsituation angetroffen werden, ist der Gutachter unverzüglich zu benachrichtigen um weitere Empfehlungen einzuholen.

Durch den Baubetrieb verursachte Aufweichungen oder Auflockerungen der Gründungssohlen sind durch Verdichtung der Böden oder durch andere im Gutachten beschriebenen Verfahren rückgängig zu machen. Bei Unklarheiten ist ein Bodengutachter unverzüglich zu konsultieren. Die firmenseitige Beobachtung und Beachtung aller Baugrund- und Grundwasserverhältnisse ist zum Vertragsbestandteil mit der beauftragten Bauunternehmung zu machen.

Das Gutachten ist nur in seiner Gesamtheit einschließlich der dazugehörigen Anlagen verbindlich. Es nimmt Bezug auf die Untersuchungsergebnisse, die verwendeten Unterlagen und den Kenntnisstand der Gutachter vom 20.09.2017.

Es wird darauf hingewiesen, dass mit den Bohrungen und Probennahmen nur die jeweilige Bodenbeschaffenheit an diesen Stellen erfasst wird. Der Aufbau des Untergrundes zwischen den Bohrpunkten wurde interpoliert. Dies muss nicht mit den tatsächlichen Verhältnissen übereinstimmen. Abweichende Boden- und/oder Schadstoffverhältnisse zwischen den Sondierungen können nicht ausgeschlossen werden.

Köln, den 20. September 2017

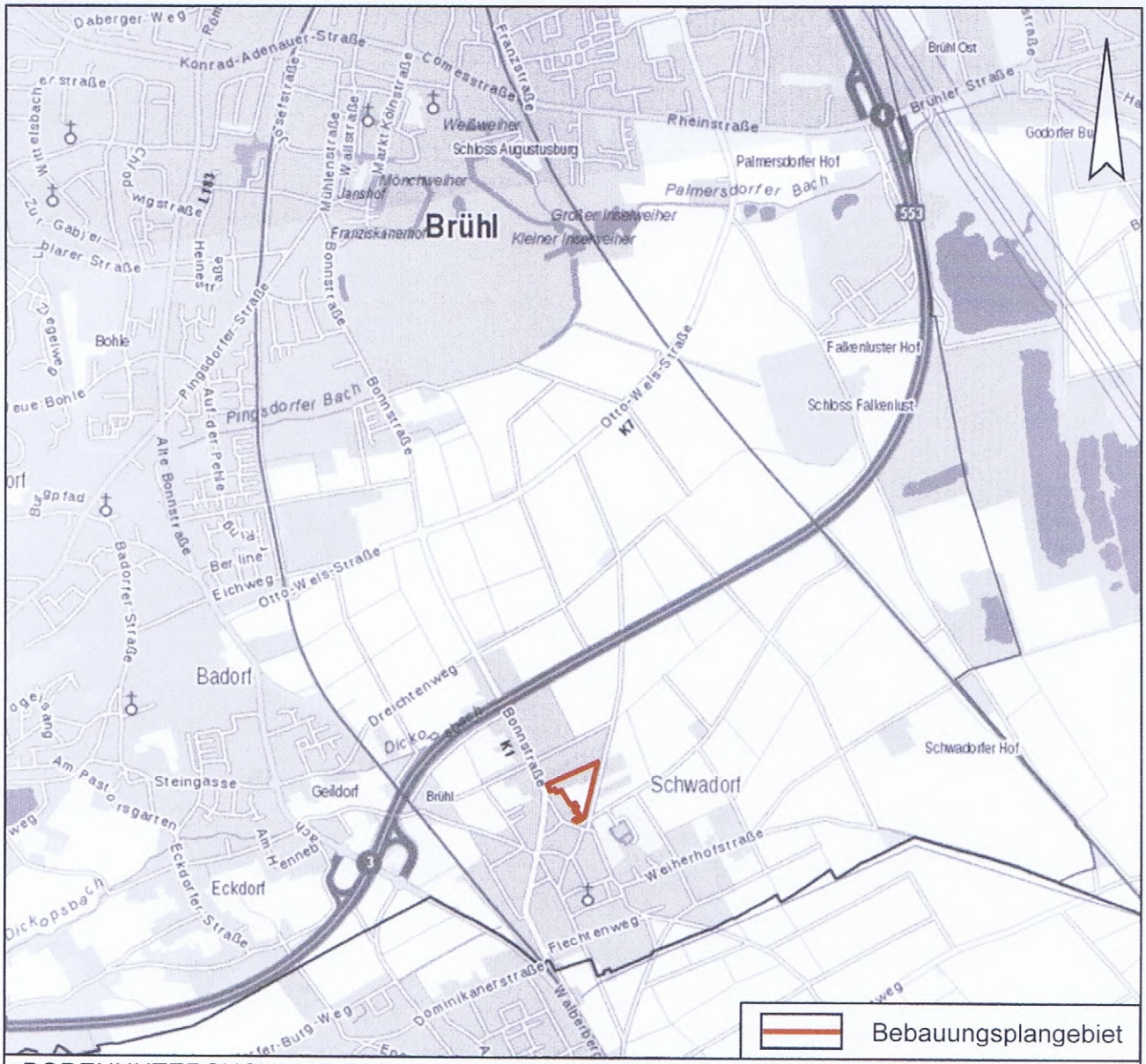
Diplom Geologin Beate Wittler VDI

Diplom Geologe Sven Peters

Anlage 1:

Übersichtsplan, M ca. 1 : 25.000

WITTLER
INGENIEURBÜRO
GEOLOGIE
UND UMWELT



BODENUNTERSUCHUNG BEBAUUNGSPLANGEBIET „AN DER SCHALLENBURG“, 50321 BRÜHL

Auftraggeber
Yanmaz Projektentwicklungsgesellschaft mbH & Co. KG
Badorfer Straße 79, 50321 Brühl

Auftragnehmer
Wittler Ingenieurbüro Geologie und Umwelt
Am Mertenshof 21, 50859 Köln

Zeichnung
Übersichtsplan

Maßstab ca. 1 : 25.000	Datum 28.08.2017	gez. Ja	Projekt 170993

Anlage 2:

Städtebaulicher Entwurf, Variante 2A, April 2017, M ca. 1 : 1.000

geplante Wohngebäude

geplante Straßen

BODENUNTERSUCHUNG BEBAUUNGSPLANGEBIET „AN DER SCHALLENBURG“, BRÜHL

Auftraggeber
Yanmaz Projektentwicklungsgesellschaft mbH & Co. KG
Badorfer Straße 79, 50321 Brühl

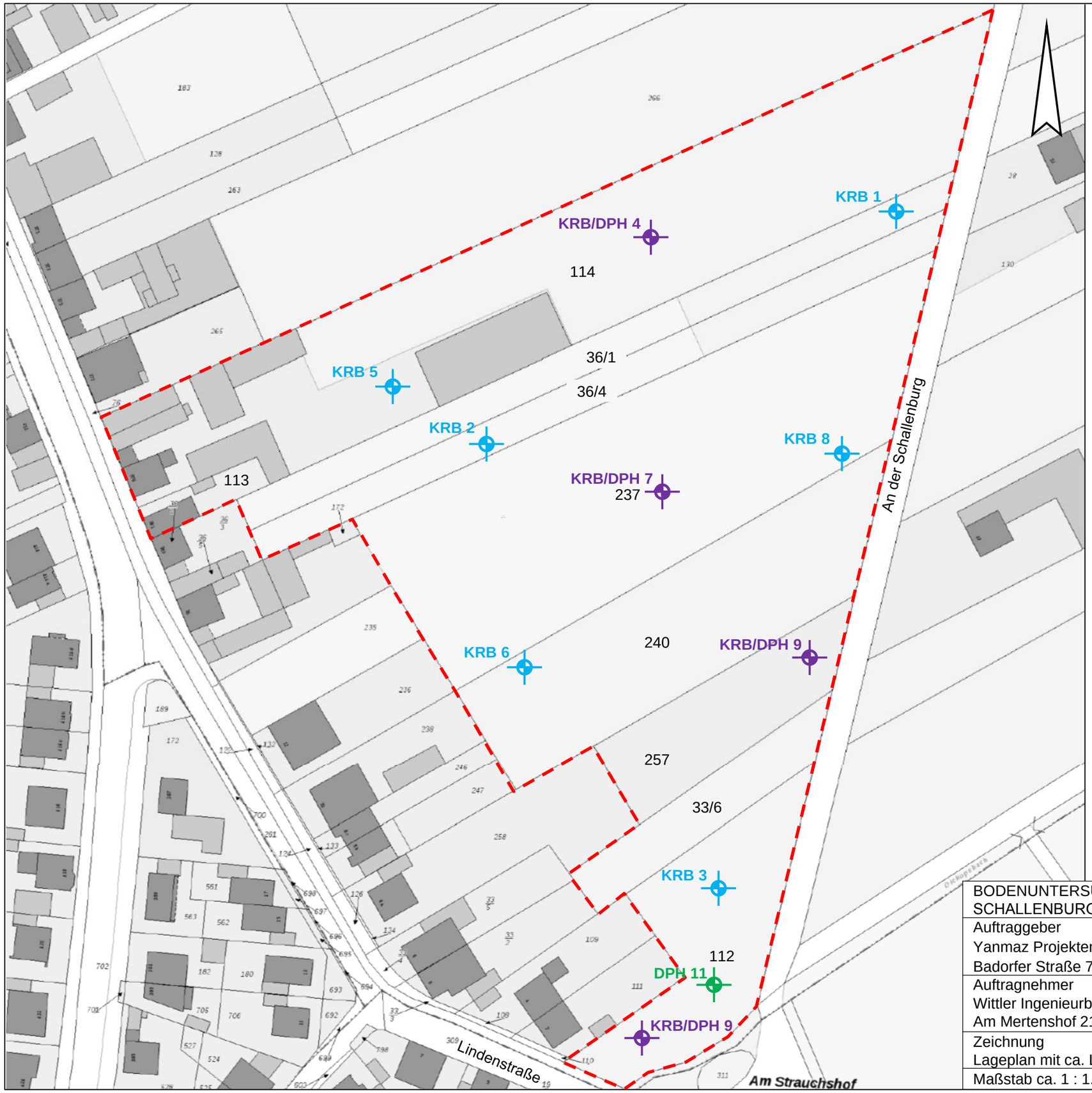
Auftragnehmer
Wittler Ingenieurbüro Geologie und Umwelt
Am Mertenshof 21, 50859 Köln

Zeichnung
Städtebaulicher Entwurf, Variante 2A, April 2017

Maßstab ca. 1 : 1.000 Datum 31.08.2017 gez. Ja Projekt 170993

Anlage 3:

Lageplan mit Bohransatzpunkten und Rammsondierungen, M ca. 1 : 1.000



KRB 1 — Rammkernbohrung

KRB/DPH 4 — Rammkernbohrung / Schwere Rammsondierung

DPH 11 — Schwere Rammsondierung

Bebauungsplangebiet

114 — Flurstück

BODENUNTERSUCHUNG BEBAUUNGSPLANGEBIET „AN DER SCHALLENBURG“, 50321 BRÜHL

Auftraggeber
Yanmaz Projektentwicklungsgesellschaft mbH & Co. KG
Badorfer Straße 79, 50321 Brühl

Auftragnehmer
Wittler Ingenieurbüro Geologie und Umwelt
Am Mertenshof 21, 50859 Köln

Zeichnung
Lageplan mit ca. Lage der Bohransatzpunkte und Rammsondierungen

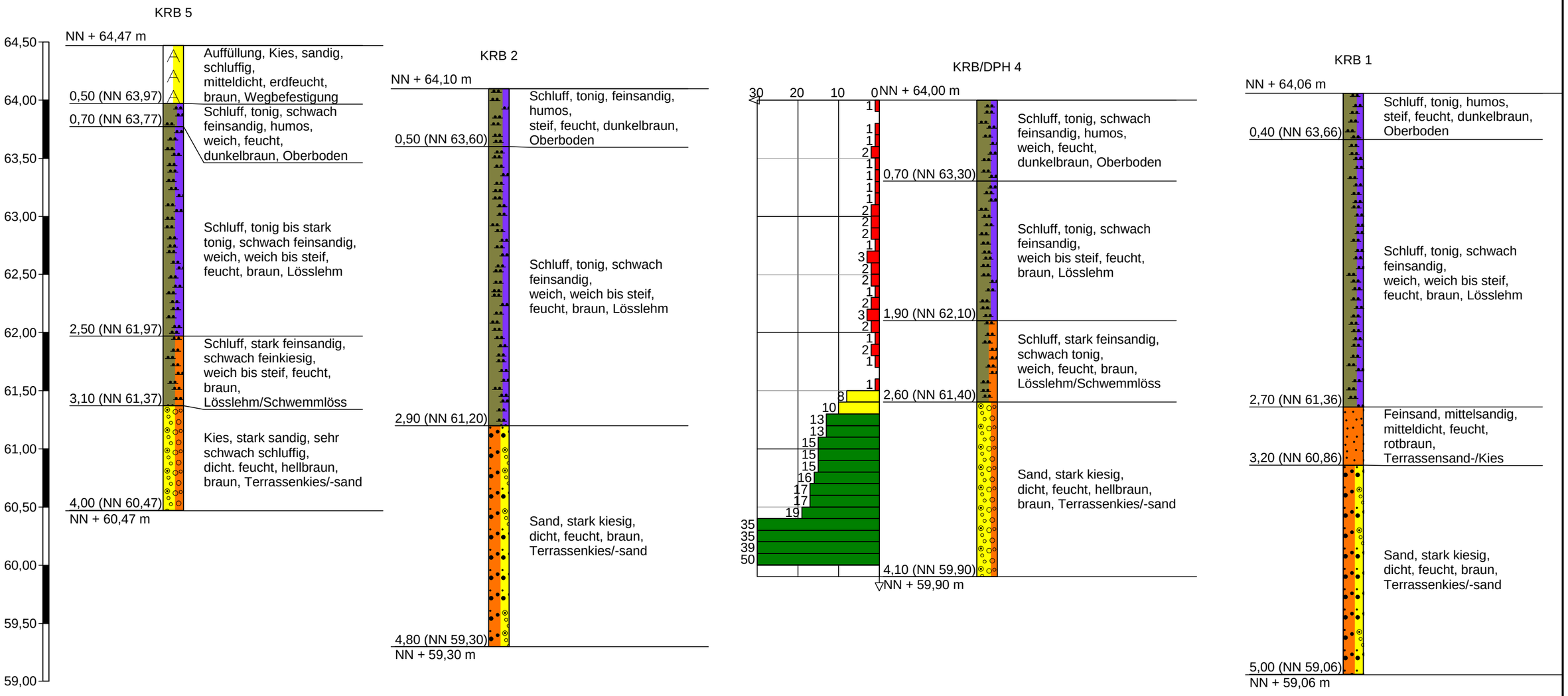
Maßstab ca. 1 : 1.000 Datum 31.08.2017 gez. Ja Projekt 170993

Anlage 4:

Baugrundtechnische Profilschnitte

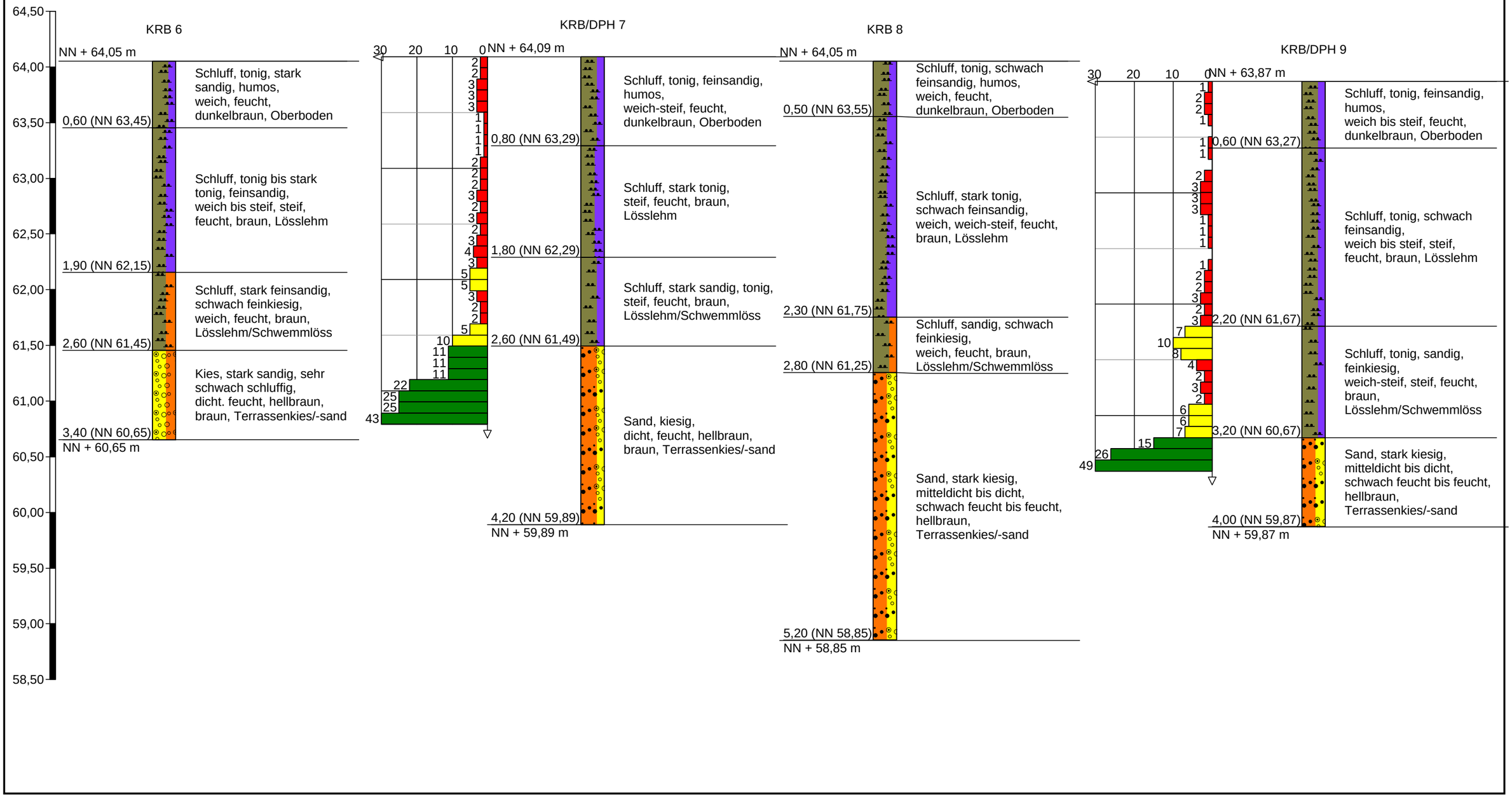
Wittler Ingenieurbüro Geologie und Umwelt	Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023	Anlage Projekt: B-Plan "An der Schallenburg" in Brühl Auftraggeber: Yanmaz Projektentwicklungsgesellschaft mbH Bearb.: SP | Datum: 16.06.17

Nördlicher Bereich des Erschließungsgebietes



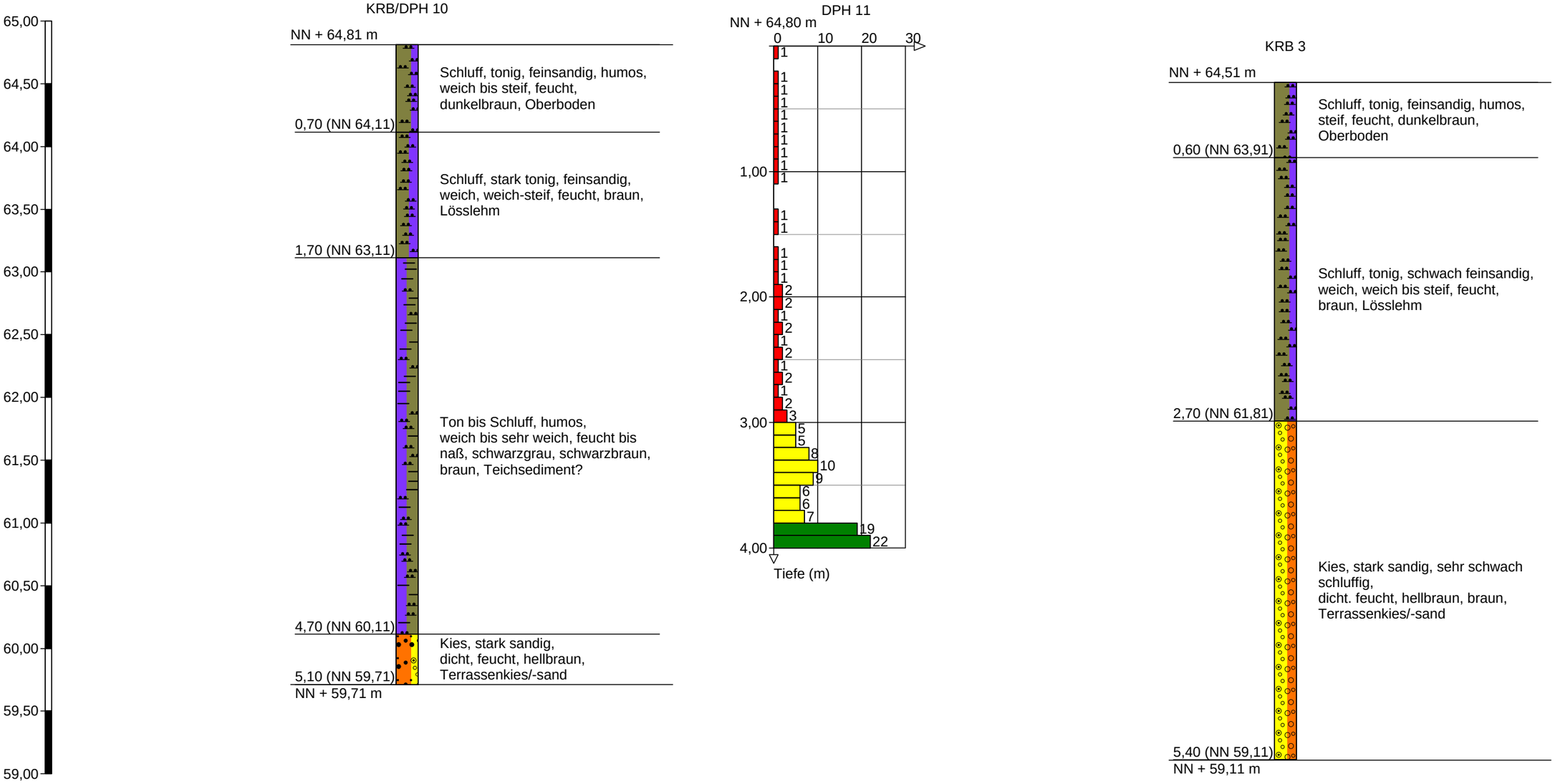
Wittler Ingenieurbüro Geologie und Umwelt	Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023	Anlage Projekt: B-Plan "An der Schallenburg" in Brühl Auftraggeber: Yanmaz Projektentwicklungsgesellschaft mbH Bearb.: SP | Datum: 16.06.17

Zentraler Bereich des Erschließungsgebietes



Wittler Ingenieurbüro Geologie und Umwelt	Profilschnitt - Bohrprofile nach DIN 4023	Anlage Projekt: B-Plan "An der Schallenburg" in Brühl Auftraggeber: Yanmaz Projektentwicklungsgesellschaft mbH Bearb.: SP | Datum: 16.06.17

Südlicher Bereich des Erschließungsgebietes



Anlage 5:

Exemplarische Berechnungen von Versickerungsanlagen

Erschließung "An der Schallenburg" in Brühl-Schwadorf

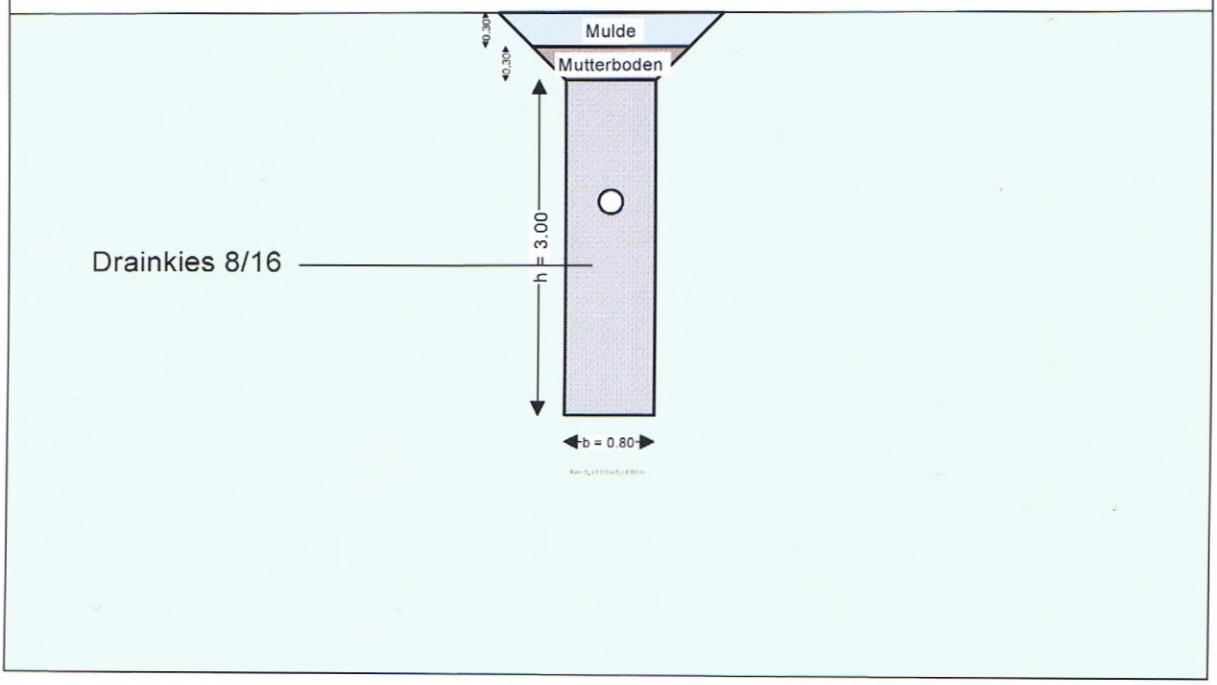
exemplarische Dimensionierung einer Mulden-Rigole

für die Niederschlagsabflüsse von 100 m² Straßenfläche

Rohr-Rigole
Mulden-Rohrrigolen-Versickerung
Durchlässigkeit (Mutterboden) = $5.000 \cdot 10^{-5}$ m/s
Durchlässigkeit (Untergrund) = $6.000 \cdot 10^{-5}$ m/s
Grundwasserflurabstand = 16.00 m
Zuschlagsfaktor = 1.20
Häufigkeit (Mulde) = 0.200
Häufigkeit (Rigole) = 0.200
Dicke Mutterboden = 0.30 m
Höhe (Rigole) = 3.00 m
Breite (Rigole) = 0.80 m
A(u) = 100.0 m²

Zulässiger Abstand UK Anlage - GW = 1.00 m
Versickerung nur über Sohle

Mulden-Rohrrigolen-Versickerung



Brühl				
D	$r_{D(0.2)}$ [l/(s·ha)]	L (Rigole) [m]	$r_{D(0.2)}$ [l/(s·ha)]	V (Mulde) [m³]
45 min	90.1	0.65	90.1	2.48
60 min	74.1	0.94	74.1	2.55
90 min	51.8	1.06	51.8	2.26
2 h	40.2	1.13	40.2	1.93
3 h	28.2	1.20	28.2	1.21
4 h	21.9	1.21	21.9	0.43
6 h	15.4	1.19	15.4	-
9 h	10.8	1.11	10.8	-
12 h	8.4	1.03	8.4	-

Ergebnis
Muldentiefe = 0.30 m
Länge Mulde-Rohrrigole = 1.21 m
Regendauer (Mulde) = 60.00 Minuten
Regendauer (Mulde-Rohrrigole) = 240.00 Minuten
Speichervolumen (Mulde) = 2.55 m³
Speicherkoeffizient (umgerechnet) = 0.362
Vorhandene Rigolenfläche = 0.97 m²
Gewählte Muldenfläche = 8.51 m²

Erschließung "An der Schallenburg" in Brühl-Schwadorf

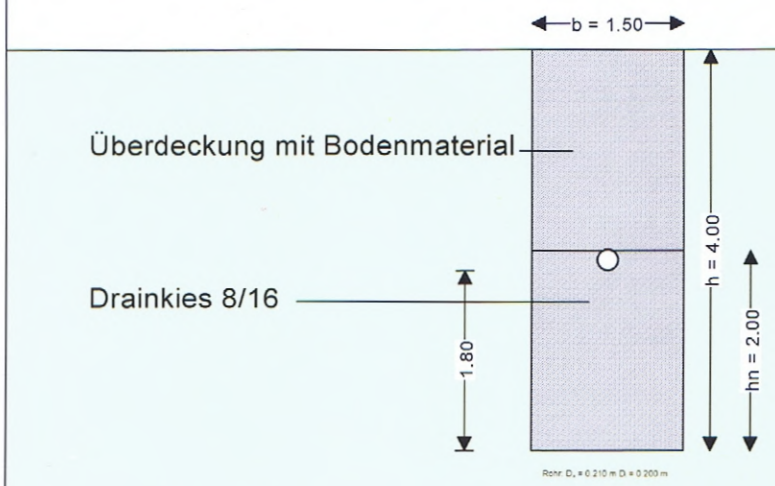
exemplarische Dimensionierung einer Rohr-Rigole

Angeschlossene Fläche: 150 m²

Rohr-Rigole
Rohrrigolenversickerung
Durchlässigkeit = $6.000 \cdot 10^{-5}$ m/s
Grundwasserflurabstand = 16.00 m
Zuschlagsfaktor = 1.20
Häufigkeit n [1/a] = 0.200
5-jährige Überschreitungshäufigkeit
A(u) = 150.0 m²
Zulässiger Abstand UK Anlage - GW = 1.00 m
Lichte Weite des Rohres = 0.20 m
Dicke des Rohres = 0.005 m
Sohlbreite der Rigole b = 1.50 m

Höhe der Rigole h = 4.00 m
Max. Wasserstand Rigole = 2.00 m
Nutzbare Höhe der Rigole hn = 2.00 m
Speicherkoeffizient s = 0.350
Speicherkoeff. (umgerechnet) = 0.356
Versickerung nur über Sohle

Rohrrigolenversickerung



Brühl		
D	$r_{D(0.2)}$ [l/(s·ha)]	L [m]
20 min	147.5	2.81
30 min	116.6	3.24
45 min	90.1	3.60
60 min	74.1	3.80
90 min	51.8	3.70
2 h	40.2	3.57
3 h	28.2	3.32

Ergebnis
Erforderliche Rohrrigolenlänge = 3.80 m
Erforderliches Speichervolumen = 4.06 m³
Maßgebende Regendauer = 60.0 Minuten
Regenspende = 74.1 Liter/(sec·ha)
Entleerungszeit = 4.0 Stunden