



Dr.-Ing. Jochen Schäfer

Staatlich anerkannter
Sachverständiger
für Erd- und Grundbau
• Bundesingenieurkammer •

Öffentlich best. und vereidigter
Sachverständiger für Baugrund-
untersuchung und Gründungen
• I H K Dortmund •

Dipl.-Ing. F.J.Giljohann

Alter Markt 12
59821 Arnsberg
Telefon 02931 2 15 15
Telefax 02931 2 15 16

Selkamp 16
44287 Dortmund
Telefon 0231 44 97 - 0
Telefax 0231 44 97 - 44

e-mail: info@bgi-do.de
Internet: www.bgi-ar.de
www.baugrunderingenieure.de

GUTACHTEN

Ausbau der "Nikolaistraße"
in Brilon
Kanal- und Straßenbaumaßnahme

Auftraggeber:

Stadtwerke Brilon
Keffelker Str. 27
59929 Brilon

4. April 2019

Auftrags-Nr. 19 20

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

1. Allgemeines.	3
1.1. Bauvorhaben.....	3
1.2. Unterlagen.	3
2. Baugrunduntersuchungen.	4
2.1. Bodenaufschluß.	4
2.2. Laborversuche.....	8
2.3. Schwarzdecke	9
2.4. Teeruntersuchung und vorhandener Straßenaufbau	11
2.5. Vorhandener Gehwegaufbau	13
3. Baugrundverhältnisse.....	15
3.1. Geologie.	15
3.2. Schichtenfolge.	16
3.4. Bodenklassen.	18
3.5. Homogenbereiche	20
3.6. Bodenmechanische Kenngrößen.....	22
4. Straßenbau	23
4.1. Frostempfindlichkeit	23
4.2. Tragfähigkeit des Planum	23
4.3. Dicke des frostsicheren Aufbaus	23
4.4. Befahrbarkeit / Herstellen des Planums	26
5. Kanalbau	27
5.1. Herstellen des Kanalgrabens.....	27
5.2. Trockenhaltung des Kanalgrabens, Herrichten der Kanalsohle	28
5.3. Verfüllen der Baugruben, Wiederverwendung der Aushubböden.	28
5.4. Beeinflussung benachbarter Bauteile.	29
6. Hinweise zur weiteren Planbearbeitung.	30

1. Allgemeines

1.1. Bauvorhaben

Die Stadtwerke Brilon planen den Ausbau der "Nikolaistraße" mit einer Gesamtlänge von ca. 156 m in Brilon. Im Zuge der Baumaßnahme soll die Kanalleitung und die Straßendecke sowie der Gehweg erneuert werden.

Im Rahmen der geplanten Baumaßnahme wurden die **Baugrundingenieure** mit der Untersuchung des Straßen-/Gehwegaufbaus, des Baugrundes und zur Angabe der erforderlichen bautechnischen Maßnahmen beauftragt.

Weiterhin soll die Schwarzdecke auf eventuell vorhandene Teerbestandteile untersucht werden.

1.2. Unterlagen

Folgende Unterlagen standen zur Bearbeitung des vorliegenden Gutachtens zur Verfügung:

- a) Lageplan (Bestand) (als Datei)
Stadtwerke Brilon, vom 12.03.2019
- b) Geologische Karte: Blatt Arnsberg (C 47 14) M 1 : 100 000

2. Baugrunduntersuchungen

2.1. Bodenaufschluß

Die Örtlichkeit sowie die Untersuchungsstellen sind in den folgenden Bildern dargestellt:



Bild 1: DPM 11a/b, Blickrichtung auf "Obere Mauer"



Bild 2: RKB 12, Blickrichtung auf DPM 11



Bild 3: DPM 2a/b, Kreuzung "Nikolaistraße / Scharfenberger Hof"



Bild 4: RKB 13, Blickrichtung auf "Springstraße"

Die Baugrundaufschlüsse wurden durch den BGI Bohr- und Sondiertrupp am 29.03.2019 durchgeführt.

Kanal-/Straßenbau

Zur Erkundung der Dicke der Schwarzdecke wurden insgesamt 4 Kernbohrungen mit Diamantkrone ($\varnothing=100$ bis ≤ 200 mm) ausgeführt, durch die Öffnungen wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

Der Bodenaufbau wurden durch 2 Bohrungen (RKB 12 u. 13) mit Bohrdurchmessern zwischen 46 und 80 mm erkundet. Die Bohrungen kamen aufgrund hoher Bohrwiderstände in Tiefen zwischen 1,7 (RKB 13) und 2,2 m (RKB 12) unter der Straßenoberfläche (SOF) fest.

Zur Beurteilung der Lagerungsdichte bzw. zur ergänzend Erkundung des Felshorizontes wurden zwei Rammsondierungen (DPM 11a/b) mit der Mittelschweren Rammsonde (Fallmasse 30 kg, Fallhöhe 50 cm, Spitzenquerschnitt 15 cm², EN ISO 22476) durchgeführt.

Die Sondierung DPM 11a kam aufgrund steiniger Beimengungen in einer Tiefe von 2,0 m fest. Zur Kontrolle wurde eine zusätzliche Sondierung DPM 2b neben der Bohrung niedergebracht. Die Sondierungen wurden aufgrund hoher Schlagzahlen in Tiefen zwischen 1,5 (DPM 2b) und 2,0 m (DPM 2a) unter SOF abgebrochen.

Die Sondierung DPM 2 auf der Straße "Scharfenberger Hof" (Gutachten Nr. 19 19) kann auch für dieses Projekt verwendet werden.

Gehweg

Die Anzahl und die Lage der Schürfe sind von den Stadtwerken Brilon vor Ort angegeben worden.

Zur Erkundung der Schichtenfolge ist ein Schurf (Sch 1) auf der nördwestlichen Seite und ein Schurf (Sch 11) auf der südöstlichen Seite mit Tiefen zwischen 0,3 und 0,4 m unter der Gehwegoberfläche ausgeführt worden.

Die Lage der Aufschlußstellen ist in der Anlage 1/2 eingetragen.

Die angetroffenen Schichtenfolgen und Widerstandslinien der Rammsondierungen sowie Schürfe sind in der Anlage 1/2 dargestellt. Die Ergebnisse der Bohrung sind in Form von Bohrprofilen dargestellt worden, für deren Kennzeichnung die Buchstabenabkürzungen und Zeichen der DIN 4023 herangezogen wurden und deren Bedeutung in der gleichen Anlage erläutert sind. Zum Vergleich mit der Europäischen Norm sind die Bezeichnungen nach DIN EN ISO 14688-1 :2011-6 ergänzend angegeben.

Die Höhenangaben der Aufschlüsse im Fahrbahnbereich sind anhand der Höhen der vorhandenen Kanaldeckel (Längsschnitt) interpoliert worden und sind daher als Anhaltsgröße zu verstehen.

Die Höhenangaben der Schürfe im Gehweg beziehen sich auf die Oberfläche des Gehweges, der jeweils die Höhe $\pm 0,0$ m zugeordnet wurde.

2.2. Laborversuche

Die geborgenen Bodenproben sind im Laboratorium visuell und manuell untersucht und beurteilt worden. Insgesamt handelt es sich um 13 gestörte Einzelproben, 3 Asphaltkerne und 3 Asphaltproben/Bruchstücke.

Zur Überprüfung der Einstufung und zur Bestimmung der bodenmechanischen Kenngrößen sind einige repräsentative Bodenproben bodenmechanischen Versuchen unterworfen worden. Die Ergebnisse sind in der Anlage 3 zusammengestellt.

Besonderes Gewicht wurde auf die Bestimmung des Wassergehaltes gelegt. Der Wassergehalt erlaubt bei Bodenproben eine Abschätzung weiterer Bodenkenngößen. Bei bindigen Böden ist bei Kenntnis der Kornzusammensetzung eine Abschätzung der Konsistenz oder des Anteils an organischen Beimengungen möglich. Im Fels kann über den Wassergehalt der Verwitterungsgrad abgeschätzt werden. Zur übersichtlichen Darstellung sind die ermittelten Wassergehalte im Diagramm neben einigen Bohrprofilen aufgetragen worden.

Zur Ermittlung der Kornverteilung der Tragschicht wurde an zwei Proben (Lab.-Nr. 2 Straße; Lab.-Nr. 15 Gehweg) die Kornverteilung bestimmt, die nach DIN 18 123 Absatz 4.4.2 als Siebung nach nassem Abtrennen der Feinteile ermittelt wurde und deren Kornverteilungslinie in der Anlage 3.2a aufgetragen ist.

A) Kornverteilung Straße

Das untersuchte Tragschichtmaterial der Straße (Lab.-Nr. 2) ist der Körnung 0/45 mm zuzuordnen, der Feinkornanteil liegt bei ca. 6,2 Gew. %. Im eingebauten Zustand ist der Feinkornanteil noch zulässig, für eine Wiederverwendung als Tragschichtmaterial wird die zulässige Grenze von 5 Gew. % jedoch überschritten.

Die ungebundene Tragschicht muß die Anforderungen der ZTVT-StB 04 (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau) erfüllen. Danach soll der Feinkornanteil ($\leq 0,063$ mm) 5 Gew. % im Lieferzustand nicht überschreiten

B) Kornverteilung Gehweg

Das untersuchte Tragschichtmaterial des Gehweges (Lab.-Nr. 15) ist eher der Körnung 0/32 mm zuzuordnen. Aufgrund des geringen Grob-Kornanteils über 11,2 mm ist eine Wiederverwendung als Tragschichtmaterial nicht möglich.

Damit erfüllen beide Materialien nicht die Anforderungen für einen Wiedereinbau als Tragschicht.

2.3. Schwarzdecke

Im Gutachten und in den Anlagen ist die Bezeichnung Schotter als Abkürzung für gebrochenes Mineralgemisch zu verstehen, das Material erfüllt nicht immer die Anforderungen gemäß den "Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau (ZTV SoB-StB 04, Ausgabe 2004)".

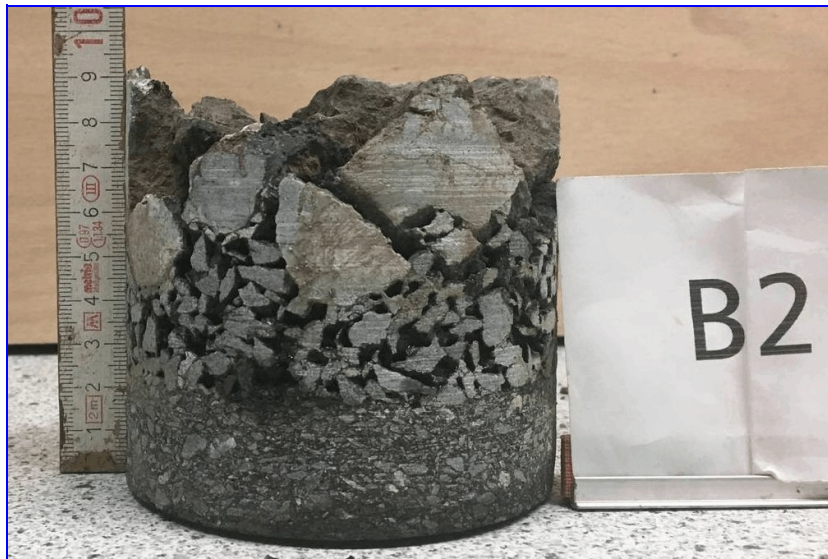
In den folgenden Bildern sind die Kerne der Schwarzdecke dargestellt. Die Kernoberfläche (Straßenoberfläche) liegt auf der Tischplatte, die Schichtgrenzen sind nicht immer eindeutig erkennbar:



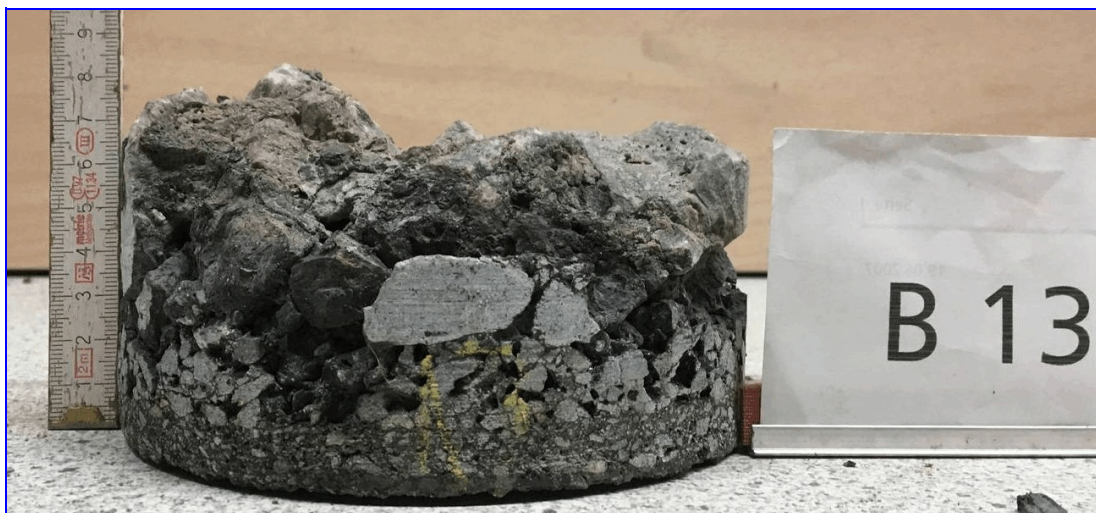
DPM 11a: Bit.-Schicht 5,0 cm; Stein (Pflaster??) 10,5 cm



RKB 12: Bit.-Schicht 7,5 cm



DPM 2a: 1.+2.Bit.-Schicht mit Schotter (angeklebt, angespritzt) 9,0 cm



RKB 13: 1.+2.Bit.-Schicht mit Schotter (angeklebt, angespritzt) 8,0 cm

2.4. Teeruntersuchung und vorhandener Straßenaufbau

Insgesamt wurden 3 Asphaltkerne aus der Straße und 3 Asphaltproben aus dem Gehweg entnommen und auf carbostämmige Bindemittel (Teer-/ Pechbestandteile) untersucht.

Zum Nachweis auf Teerbestandteile wurde das Lackansprühverfahren mit anschließender Fluoreszenz unter UV-Licht (Arbeitsausschuss Prüfung von Asphalt, Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen; Arbeitspapier Nr. 27/2, Ausgabe 2000) verwendet.

Bei Fluoreszenz werden mit diesem Verfahren PAK-Konzentrationen im Ausbauasphalt von mindestens 50 Milligramm pro Kilogramm nachgewiesen. Das entspricht einer PAK-Konzentration im Bindemittel von etwa 1000 Milligramm pro Kilogramm.

Die Untersuchungsergebnisse sind in der folgenden Tabelle 1 und 2 zusammengestellt:

Tabelle 1 (Straße)

Auf- schluß Nr.	Labor Nr.	Bit.- Schicht	d	Fluoreszenz	Verwert- ungs- klasse PAK	Dicke Asphalt- decke	ungebundene Tragschicht Dicke /Material	Gesamtdicke frostsicherer Straßen- aufbau
		-	cm			cm	cm	cm
Straße								
DPM 11a (Kern)	12	Bit.-	5,0	keine		5,0	≈ 25,0/Pflaster? und Schotter	≈ 40
RKB 12 (Kern)	1	Bit.-	7,5	keine		7,5	22,5 /Schotter	30
DPM 2 (Kern)		1.Bit.-	3,0	keine		9,0	≈ 21/ Schotter	≈ 30
		2.Bit.- mit Schotter angespritzt angeklebt	2,0 + 4,0	a. j (gelb-grün)	B			
RKB 13 (Kern)	7a	1.Bit.-	1,5	keine		8,0	22,0/ Schotter	30
	7b	2.Bit.- mit Schotter angespritzt angeklebt	2,0 + 4,5	a. j (gelb-grün)	B			

Tabelle 2 (Gehweg)

Aufschluß Nr.	Labor Nr.	Bit.- Schicht	d	Fluoreszenz	Verwertungs- klasse PAK	Dicke Asphalt- decke	ungebundene Tragschicht Dicke /Material	Gesamtdicke frostsicherer Straßen- aufbau
		-	cm			cm	cm	cm
Gehweg								
Sch 1 Nordwest	14	Bit.-	4,0	keine		4,0	21,0 /Schotter	25
Sch 11 Südost	16	1.Bit.-	2,0	keine		5,0	15,0/ Felsbruch und Packlage	20
	17	2.Bit.- mit	3,0	keine				

Bei DPM 2 und RKB 13 (Straße) ist die untere Bit.-Schicht mit dem angeklebten, angespritzten Schotter mit Teer belastet.

Nach der RuVA-StB 01(Richtlinie für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechhaltigen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau) ist das Material der

Verwertungsklasse B (PAK- Gehalt > 25 mg/kg)

zuzuordnen.

Bei den übrigen Kernproben (Straße) sowie allen Asphaltproben (Gehweg) wurde in der Schwarzdecke keine Fluoreszenz festgestellt. Damit sind hier keine bzw. nur sehr geringe Teerbeimengungen im Bindemittel vorhanden.

Entsprechend der RuVA-StB 01 ist das Material der

Verwertungsklasse A (PAK-Gehalt $\leq$ 25, 0 mg/kg)

zuzuordnen.

Die Straßenbefestigung besteht aus vielen unterschiedlichen Abschnitten. Daher gelten die Aussagen nur für die untersuchten Stellen und bei erkennbar gleichem Material.

2.5. Vorhandener Gehwegaufbau

Die Oberflächenbefestigung des Gehweges besteht teilweise aus einer 1- bis 2-lagigen Schwarzdecke mit Gesamtstärken zwischen 4,0 bis 5,0 cm.

Die festgestellten Dicken und Stoffe des Gehwegaufbaus sind in der Tabelle 2 (Abschnitt 2.4) aufgelistet, der Übergang zur Auffüllung ist zum Teil fließend.

In den folgenden Bildern sind die Schürfe im Gehweg dargestellt:



Sch 1, $t=0,3$ m (Nordwestseite), Bit.-Schicht und Schotter bis 0,25 m Tiefe



Sch 1, (Nordwestseite), ab 0,25 m Beton mit großen Steinen



Sch 11, t=0,4 m (Südostseite), Bit.-Schicht, Felsbruch, Packlage und Auffüllung



Sch 11, 0,1 - 0,2 m Packlage



Sch 11, ab 0,35 m Tiefe große Steine

3. Baugrundverhältnisse

3.1. Geologie

Nach den Eintragungen in der geologischen Karte ist im Bereich der Straße mit folgenden geologischen Verhältnissen zu rechnen:

Eine Lockergesteinsdecke ist nicht dargestellt. Die Überlagerung felsiger Basisgesteine wird im Regelfall in den Karten nur dann weggelassen, wenn deren Dicke weniger als 2,0 m beträgt.

Als Festgestein ist überwiegend Ton- und Schluffstein (Brilon-Schichten, e-vB) des Mitteldevons verzeichnet.

Örtlich kann auch massiger bis bankiger Kalkstein des Mittel- bis Oberdevons (v-ak) vorhanden sein.

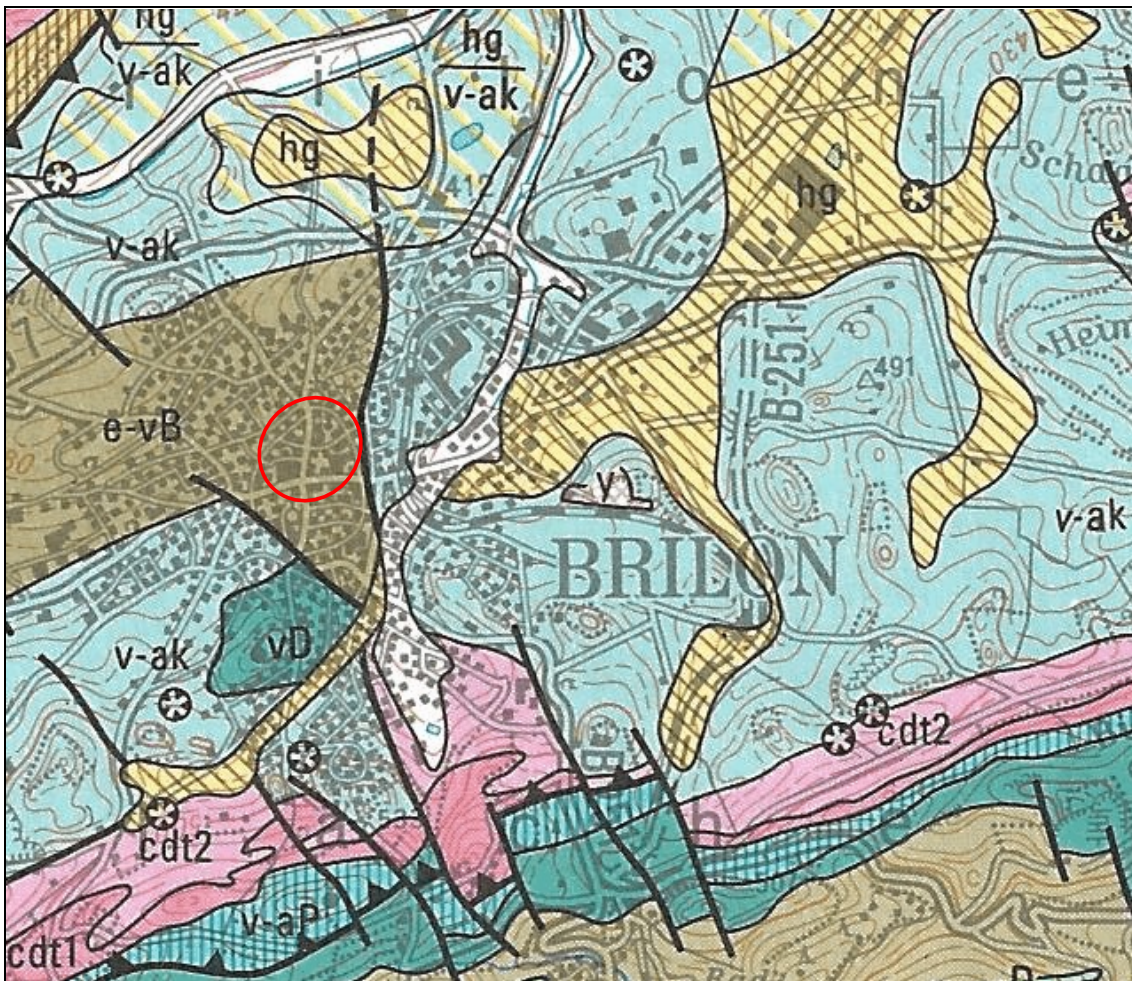


Bild 5: Auszug aus der geologischen Karte

3.2. Schichtenfolge

Die "Nikolaistraße" ist leicht wellig ausgebildet. Die Straßenoberfläche besteht aus einer Vielzahl von Flickern und Flächen mit Rissen.

Nach den Ergebnissen der Felduntersuchungen besteht die Straßenbefestigung aus einer 1- bis 2-lagigen Schwarzdecke mit Gesamtstärken zwischen 5,0 und 9,0 cm.

Bei DPM 2 und RKB 13 ist die untere Bit.-Schicht mit dem angespritzten, angeklebten Schotter mit Teer belastet.

Die ungebundene Tragschicht besteht überwiegend aus gebrochenen Mineralgemisch und weist eine Dicke zwischen etwa 21,0 und 25,0 cm auf. Bei der Sondierung DPM 11 ist unter der Schwarzdecke eine etwa 10,5 cm dicke Stein-Schicht (Pflaster?) vorhanden.

Bezüglich der Kornverteilung (Lab.-Nr. 2) erfüllt die Tragschicht mit einen Feinkornanteil von etwa 6,2 % (>5 %) nicht die Anforderungen für eine Wiederverwendung als Tragschicht. Einzelheiten sind dem Abschnitt 2.2 zu entnehmen.

Nach den Sondierungsergebnissen weist die ungebundene Tragschicht überwiegend eine dichte bis sehr dichte Lagerung (Schlagzahlen n_{10} =25 bis >40) auf.

Bei Schlagzahlen n_{10} =4 bis 8 sind die Anforderung an die Tragfähigkeit des Planums ($E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$) überwiegend nicht erfüllt.

Unterhalb des gebundenen und ungebundenen Straßenaufbaus sind Aufgefüllte Böden in Form von verlehnten stückigen Tonstein/Felsbruch mit schluffigen und sandigen Beimengungen überwiegend bis in Tiefen zwischen 1,0 (RKB 13) und 1,5 m (RKB 12) unter der Straßenoberfläche (SOF) erbohrt worden.

Im Bereich des vorhandenen Kanalgrabens ist eine dickere Auffüllung zu erwarten.

Bei Schlagzahlen von n_{10} = 4 - 15 und Wassergehalt von 9,4 Gew. % (Lab.-Nr. 4) weist die Auffüllung eine lockere bis mitteldichte Lagerung auf.

Als gewachsene Deckschicht steht Hanglehm/Hangschutt an.

Hanglehm, bestehend aus Schluff mit Tonsteinbeimengungen in Sand- bis Kies Korngröße, wurde in den Bohrungen nicht angetroffen.

Der Hangschutt ist durch einen größeren Tonsteinanteil gekennzeichnet. Bei Eindringwiderständen zwischen n_{10} = 13 - >25 und Wassergehalt von 7,3/9,4 Gew. % (Lab.-Nr. 5/10) ist im Hangschutt eine mitteldichte bis dichte Lagerung vorhanden.

Als Liegendes steht Tonstein an, der an der Oberfläche unterschiedlich stark verwittert und zum Teil verlehmt ist. Die Fels Oberfläche liegt überwiegend zwischen 1,3 (DPM 11a) und 2,0 m (RKB 12) unter GOF. Nach den Ergebnissen der Rammsondierungen nimmt die Felsfestigkeit mit der Tiefe relativ schnell zu.

Im stark verwitterten bis verwitterten Tonstein ist eine deutliche Schichtung zu erkennen. Hier überwiegt eine feinstückige bis plattige Struktur. Das Gestein kann noch mit der Hand gebrochen werden; ein Zerreiben ist zum Teil möglich. Die Festigkeit der Kluftkörper ist gegenüber dem frischen Gestein deutlich geringer. Überwiegend ist eine vollständige Auflockerung an den Trennflächen vorhanden. Das Gestein ist in dieser Form daher der Bodenklasse 6 zuzuordnen.

Der schwach verwitterte bis unverwitterte Tonstein ist (Bodenklasse 7) ist plattig bis gebankt ausgebildet. Mit dem eingesetzten Rammkernbohrverfahren kann der harte Felsen nicht aufgeschlossen werden. Erst etwa 0,5 bis 1,0 m unter der jeweiligen Endtiefe der Aufschlüsse ist daher mit der Bodenklasse 7 zu rechnen.

Der allgemeine Baugrundaufbau ist im folgenden Bild 6 dargestellt. Einzelheiten sind der Anlage 1/2 zu entnehmen.

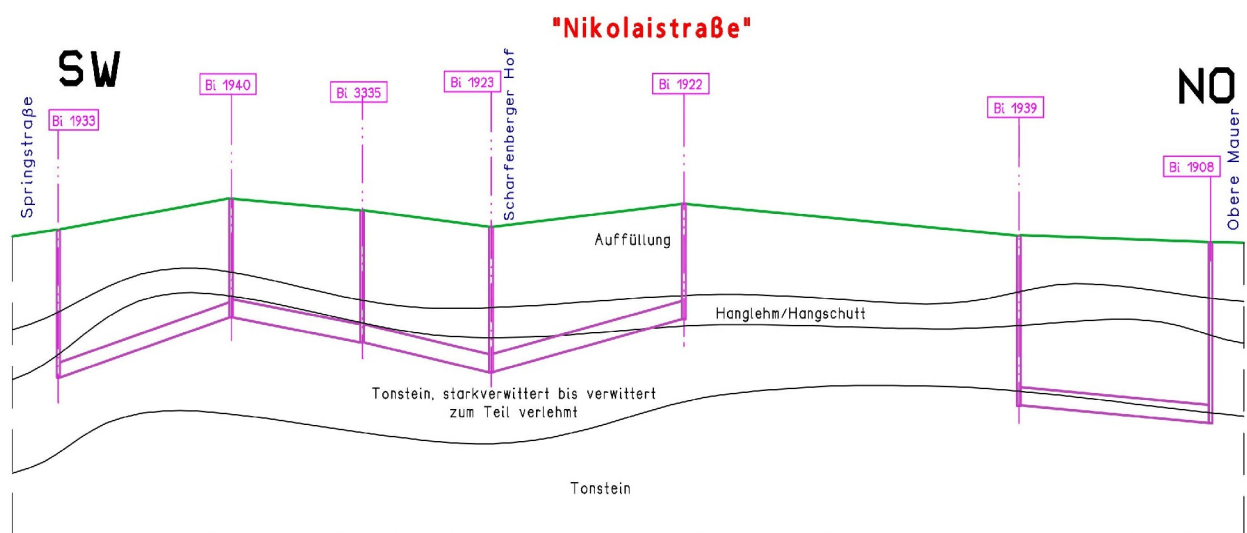


Bild 6: Baugrundaufbau schematisch

3.3. Grundwasserverhältnisse

Bei den Felduntersuchungen im März 2019 ist kein freier Grundwasserspiegel angetroffen worden.

Grundsätzlich ist aufgrund der geologischen Verhältnisse mit Stau- und Schichtwasser zu rechnen. Insbesondere bei starken Regenfällen ist ein verstärkter Stau-/Schicht- sowie Kluftwasseranfall hangabwärts zu erwarten.

3.4. Bodenklassen

Die im Baugrund festgestellten Böden und Gesteine sind nach (alten) DIN 18300:2012-06 bzw. DIN 18196 folgenden Bodenklassen/Bodengruppen zuzuordnen:

Bodenart	Bezeichnung nach		Bodenklasse	Bodengruppe
	DIN 4022	DIN 18300	DIN 18300	DIN 18196
Anschüttung gemischt- bis grobkörnig	-	leicht bis schwer lösbare Bodenarten	3 - 5 ^{1) 3)}	-
Deckschicht a) Hanglehm	L(U,s,g)	mittelschwer lösbare Bodenarten	4 ¹⁾	UL/TL
b) Hangschutt	Lx (G,s,u)	leicht bis schwer lösbare Bodenarten	3 - 4 ¹⁾ 5 ³⁾	GU/ G $\bar{U}$
Festgestein Tonstein	Tst	leicht lösbarer Fels	6	-
a) stark verwittert bis verwittert	Tst, $\bar{v}$ Tst, v			
b) schwach verwittert bis unverwittert (plattig bis bankig)	Tst, v'		7 ²⁾	-

- ¹⁾ Bei Wassersättigung bewegungsempfindlich. Im Leistungsverzeichnis der Erdarbeiten ist auf die mögliche Zustandsverschlechterung durch Aufweichen der bindigen/gemischtkörnigen Böden bei Wasserzufluß hinzuweisen. Im Zustand der Wassersättigung z.B. durch Staunässe oder Niederschläge, und bei mechanischer Beanspruchung, z.B. durch Begehen oder Befahren, weichen diese Böden auf und verlieren dauerhaft ihre Tragfähigkeit.
- ²⁾ Die Merkmale der Bodenklasse 7 liegen erst dann vor, wenn der Fels nur wenig klüftig ist, d.h. die Klüftkörper ein Volumen von $\geq 0,1 \text{ m}^3$ (Würfel mit einer Kantenlänge $> 45 \text{ cm}$) aufweisen. Die genaue Menge kann erst während der Aushubarbeiten in der Baugrube aufgemessen werden.
- ³⁾ Klasse 5: wie Klasse 3 und 4, jedoch $> 30 \text{ Gew.-%}$ Steine von 63 mm bis $0,01 \text{ m}^3$ ($\varnothing \approx 30 \text{ cm}$) Rauminhalt; Nichtbindige und bindige Böden mit $< 30 \text{ Gew.-%}$ Steine von $0,01$ ($\varnothing \approx 30 \text{ cm}$) bis $0,1 \text{ m}^3$ ($\varnothing \approx 60 \text{ cm}$) Rauminhalt.

Der Übergang zwischen den einzelnen Bodenklassen ist nicht deutlich ausgeprägt, so dass beim Aufmaß in der Örtlichkeit Schwierigkeiten zu erwarten sind. Zur Vereinfachung der Abrechnung wird daher empfohlen, in der Ausschreibung die einzelnen Bodenarten in Bodengruppen/Homogenbreich zusammenzufassen.

Bodengruppe I/Homogenbreich I:

- Bodenklasse 3 bis 6
- Anschüttung
- Gemischt- bis grobkörnig
- Deckschicht
- Hanglehm/Hangschutt
- Festgestein
- Tonstein, stark verwittert bis verwittert

Bodengruppe II/Homogenbreich II:

- Bodenklasse 7
- Festgestein
- Tonstein, schwach verwittert bis unverwittert

Für das Aufnehmen der Straßenbefestigung sind im Leistungsverzeichnis gesonderte Positionen vorzusehen.

3.5. Homogenbereiche

Im August 2015 erschien die VOB/C 2015 als Ergänzung zur VOB 2012. In der VOB/C 2015 werden die neu bearbeiteten Allgemeinen Technischen Vertragsbedingungen (ATV)-Normen (DIN 18300, 18301, 18311 usw.) in der VOB verankert.

Damit werden die Bodenklassen nach DIN 18300:2012-06 ersetzt und die Bodenklassifizierung in Homogenbereich eingeführt.

Für den Erd- und Straßenbau sind die Festlegungen in der ATV DIN 18300:2015-08 Erdarbeiten maßgebend.

Boden und Felsen sind entsprechend ihrem Zustand vor dem Lösen in Homogenbereiche einzuteilen.

Der Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für Bodenbearbeitung vergleichbare Eigenschaften aufweist.

Sind umweltrelevante Inhaltsstoffe zu beachten, so sind diese bei der Einteilung in Homogenbereiche zu berücksichtigen.

Für die Homogenbereiche sind die Eigenschaften und Kennwerte sowie deren Bandbreite im Folgenden angegeben.

Homogenbereich	I		II
Schicht (Nr.)	Auffüllung gemischt- bis grobkörnig	Hanglehm/Hangschutt, Tonstein, stark verwittert bis verwittert	Tonstein, schwach verwittert bis unverwittert
Eigenschaften /Kennwerte	18300:2015-08 Erdarbeiten		
Kornverteilung /Körnungsbänder DIN 18123	Grafik Anlage 3.2		
Anteil Steine und Blöcke DIN EN ISO 14688-1	< 35	< 25	
Wichte, feucht / Auftrieb γ/γ' [kN/m ³]	17,5 - 19,5/ 9,0 - 10,5	19,0 - 22,0/ 9,0 - 10,0	22,0 - 24,0/ 12,0 - 14,0
Undrained Scherfestigkeit DIN 4094-4 oder DIN 18136 oder DIN 18137-2	0 - 30	5 - 50	
Plastizitätszahl DIN 18122-1, Konsistenzzahl DIN 18122-1,	weich - halbfest	weich - halbfest	
Plastizität I_p	gering bis mittel	gering bis mittel	
Wassergehalt DIN EN ISO 17892-1	3 - 25	5 - 30	3 - 12
Lagerungsdichte DIN EN ISO 14688-2, Best. DIN 18126	locker - dicht	mitteldicht - dicht	
Organischer Anteil Gew. %	< 5	< 5	
Bodengruppe DIN 18196	A(-)	GU / G $\bar{U}$ /UL/TL	
Ortsübliche Bezeichnung	gemischtkörnige, bindige Auffüllung	Hanglehm/Hangschutt, Tonstein verwittert	Tonstein/Schluffstein,
Benennung von Fels DIN 14689-1			geschichtet, verwittert bis unverwittert, bindige Kluftfüllung
Verwitterung, Veränderungen, Veränderlichkeit DIN 14689-1		veränderlich bis leicht veränderlich	veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit (MN/m ²)			10 - 100
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform DIN 14689-1			1 bis 50 cm tafelförmig, plattig
Abrasivität nach NF P18-5791		schwach	schwach - mittel

In der Anlage 3.2b ist die Kornverteilung für den Homogenbereich I dargestellt.

3.6. Bodenmechanische Kenngrößen

Nach den Ergebnissen der Probenansprache und der ausgeführten Laborversuche lassen sich für die angetroffenen Hauptbodenarten folgende bodenmechanische Kenngrößen (Rechenwerte) angeben. Sie kennzeichnen das mechanische Verhalten der anstehenden Böden in der vorhandenen ungestörten Lagerung. In den Fällen, in denen keine Versuchsergebnisse zur Verfügung standen, sind die Bodenkenngrößen anhand der Angaben im Fachschrifttum und aufgrund des Erfahrungswissens geschätzt worden.

Tiefen- bereich	Bodenart	Wichten γ/γ'	Reibungs- winkel φ'	Kohäsion c'	Steifemodul E_s
m ü.NN		kN/m ³	°	kN/m ²	MN/m ²
	Aufschüttung gemischt- bis grobkörnig -Mittelwert-	17,5-19,5/ -	30,0 ¹⁾	-	4 - 20
	Deckschicht Hanglehm Schluff, sandig, kiesig, schwach tonig - steif bis halbfest -	19,0/10,0	27,5	5 - 10	5 - 16
	Hangschutt (Lx) Kies, sandig, schluffig	19,5/10,0	32,5	2 - 4	20 - 40
	Festgestein Tonstein a) stark verwittert bis verwittert b) schwach verwittert bis unverwittert	22-24/- 23-26/-	22,5 ²⁾ 22,5 ²⁾	40 ³⁾ >100 ³⁾	40 - 80 > 100

γ Wichte des feuchten Bodens

γ' Wichte des Bodens unter Auftrieb

E_s Steifemodul im Spannungsbereich zwischen der Bodenauflast $\gamma \cdot t$ und der zulässigen Bodenpressung σ

¹⁾ Ersatzreibungswinkel einschließlich Kohäsion

²⁾ Reibungswinkel auf Schicht- und Kluftflächen $\varphi = 22,5^\circ$ (Tst)

³⁾ Schercharakteristik eines Festgesteins $c = q_u/2$ ($\varphi = 0^\circ$)

4. Straßenbau

4.1. Frostempfindlichkeit

Die Beurteilung der Frostempfindlichkeit der anstehenden Böden erfolgt entsprechend ZTVE-StB 09, Tabelle 1.

Im Planum der zu erneuenden Straße steht gemischtkörnige Auffüllung sowie Hanglehm/Hangschutt an.

Der Untergrund ist in die Frostempfindlichkeitsklasse F 3 einzustufen.

4.2. Tragfähigkeit des Planum

Nach ZTVE-StB 09 ist bei frostempfindlichem Untergrund in Planumshöhe ein Verformungsmodul mindestens $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$ erforderlich.

Diese Größe ist teilweise nicht vorhanden. Erfahrungsgemäß werden die anstehenden Böden beim Baubetrieb zusätzlich noch gestört und aufgelockert.

Daher sind nach Freilegung des Planums Zusatzmaßnahmen erforderlich (siehe Abschnitt 4.4 Herstellen des Planums).

4.3. Dicke des frostsicheren Aufbaus

Die Festlegung der Belastungsklasse und die sich daraus ergebende Dicke des frostsicheren Straßenaufbaus erfolgt nach den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12, Ausgabe 2012, Tabelle 6).

Frostempfindlichkeitsklasse	Dicke des frostsicheren Straßenaufbaus RStO 12			
	Anbaufreie Straße, Verbindungsstraße, Industriestraße, Gewerbestraße Hauptgeschäftstraße, örtliche Geschäftsstraße, örtliche Einfahrtstraße	örtliche Einfahrtsstraße , dörflische Hauptstraße, Quartiersstraße, Sammelstraße, Wohnstraße	Wohnstraße Abstellfläche Wohnwege ESV	Rad- und Gehwege (keine Nutzung durch andere Fahrzeug)
Belastungsklasse	Bk100 bis Bk10	Bk3,2 bis Bk1,0	Bk0,3	-
F 3	65 cm	60 cm	50 cm	30 cm

Mehr- oder Minderdicken infolge örtlicher Verhältnisse ergeben sich entsprechend RStO 12, Tabelle 7.

Mehr oder Minderdicken infolge örtlicher Verhältnisse (Tab.7 RStO 2012)								
Örtliche Verhältnisse		A	B	C	D	E	aktuelle Straße	
							min	max
	Zone I	± 0 cm						
	Zone II	+ 5 cm					5	
	Zone III	+ 15 cm						10 ^{*)}
kleinräumige Klimaunter- schiede	ungünstige Klimaeinflüsse z. B. durch Nordhang oder in Kammlagen von Gebirgen		+ 5 cm					
	keine besonderen Klimaeinflüsse		± 0 cm				0	0
	günstige Klimaeinflüsse bei geschlossener seitlicher Bebauung entlang der Straße		- 5 cm					
Wasser- verhältnisse im Untergrund	kein Grund- und Schichtenwasser bis in eine Tiefe von 1,5 m unter Planum			± 0 cm			0	
	Grund- oder Schichtenwasser dauernd oder zeitweise höher als 1,5 m unter Planum			+ 5 cm				5
Lage der Gradienten	Einschnitt, Anschnitt				+ 5 cm			
	Geländehöhe bis Damm ≤ 2,0 m				± 0 cm		0	0
	Damm > 2,0 m				- 5 cm			
Entwässerung der Fahrbahn/ Ausführung der Randbereiche	Entwässerung der Fahrbahn über Mulden, Gräben bzw. Böschungen					± 0 cm		0
	Entwässerung der Fahrbahn und Randbereiche über Rinnen bzw. Abläufe und Rohrleitungen					- 5 cm	-5	
		Summe Mehr- oder Minderdicken					0	15

*) = von BGI empfohlen - keine Vorschrift

Frösteinwirkungszone II angrenzend an III, Zuschlag + 5 bis +15 cm; wg. Randlage max. 10 cm

Insgesamt ergibt sich daher folgende Gesamtdicken des frostsicheren Aufbaus:

Bezeichnung Belastungsklasse Frostempfindlichkeitsklasse	Gesamtdicke des frostsicheren Aufbaus (cm)	Mehr- Minderdicken (cm) - siehe folgende Zusammenstellung - (RStO Tab. 7)	Gesamtstärke (cm)
Wohnstraße Bk 0,3 F3	50	0 bis 15	50 bis 65
Quartiersstraße, Wohnstraße Bk3,2 bis Bk1,0 F3	60	0 bis 15	60 - 75
Abstellfläche/Wohnstraße ESV (überfahren) ≤ Bk 0,3 F3	50	0 bis 15	50 bis 65
Rad- und Gehwege (keine Nutzung durch andere Fahrzeug) F3	30	0 bis 15	30 - 45

Die heutige Nutzung /Verkehrsbelastung ist uns nicht bekannt. Bei einer Verkehrsbelastung (Wohnstraße mit geringem Verkehr) empfehlen wir eine Gesamtdicke des frostsicheren Aufbaus von

Straße BK 0,3: d = 60,0 cm
 BK 1,0: d = 65,0 cm

Gehweg:
 Überfahren mit PKW: d = 55,0 cm.
 ohne Nutzung durch PKW: d = 35,0 cm.

Bei unzureichender Tragfähigkeit des Untergrundes sind entsprechende Maßnahmen (z.B. Verstärkung der ungebundenen Tragschicht) erforderlich.

4.4. Befahrbarkeit / Herstellen des Planums

Die anstehenden bindigen Böden sind wasser- und bewegungsempfindlich. Bei Wassersättigung (Niederschlagswasser, Grund- und Schichtwasser) sowie bei mechanischer Beanspruchung (Begehen, Befahren) weichen diese Böden sehr schnell auf. Auf diese Eigenschaften des Bodens ist daher unbedingt Rücksicht zu nehmen.

Der Bodenaushub ist von der Geländeoberfläche aus mit einem Tieflöffelbagger, der mit einer glatten Schaufel ausgerüstet ist, im Rückwärtsschritt bis zum Planum der Tragschicht durchzuführen.

Die nach ZTVE-StB erforderliche Lagerungsdichte ist teilweise nicht vorhanden. Erfahrungsgemäß werden die anstehenden Böden beim Baubetrieb zusätzlich noch gestört und aufgelockert.

Nach Freilegung des Planums ist daher insgesamt eine intensive Nachverdichtung (mindestens 5 Übergänge mit einem Mittelschweren Verdichtungsgerät) erforderlich. Dazu ist dem Aushub unmittelbar folgend, auf das Planum eine 0,1 m dicke Schotterschicht (0/45 mm) aufzuziehen und nachzuverdichten.

Sollte zur Zeit der Erdarbeiten der Wassergehalt der bindigen Böden eine Verdichtung nicht zulassen, ist eine Grobkornstabilisierung durchzuführen. Hierbei wird auf das Planum eine ca. 0,1 m dicke Grobkornschicht aus kornbeständigem Material (Korngröße ca. 32 - 80 mm) aufgezogen und diese in den Untergrund eingerüttelt. Diese Schicht verhindert gleichzeitig das Festfahren des Flächenrüttlers.

Aufgeweichte bindige Böden können nicht nachverdichtet werden und sind daher auszukoffern und durch verdichtungsfähiges Material zu ersetzen.

Einzelheiten zur Ausführung sind in Abhängigkeit vom -während der Baumaßnahme vorhanden-Wassergehalt festzulegen.

5. Kanalbau

Die "Nikolaistraße" ist leicht wellig ausgebildet.

Einzelheit zur geplanten Kanalbaumaßnahme liegt uns noch nicht vor.

Die vorhandenen Kanalsohlen liegen zwischen 2,0 (Bi 1922) und 3,0 m (Bi. 1908) unterhalb der Straßenoberfläche.

In der Anlage 1/2 ist die vorhandene Kanalsohle in Pink als Linie aufgetragen.

Wir gehen davon aus, dass die geplanten Kanalsohlenhöhen etwa den vorhandenen entsprechen werden und die Kanalleitung in einer offenen Bauweise verlegt wird.

5.1. Herstellen des Kanalgrabens

Die Felsoberfläche liegt zwischen 1,3 und 2,0 m unter der Straßenoberfläche (SOF).

Bei einer Kanaltiefe von etwa 2,0 bis 3,0 m unter SOF wird die Kanalgrabensohle überwiegend im verwitterten Felsen (Bodenklasse 6) liegen. Daher ist der Bodenaushub nur mit einem ausreichenden leistungsfähigen Bagger möglich.

Es ist damit zu rechnen, dass bereichsweise auch harter Fels (Bodenklasse 7) in der Aushubsohle vorhanden sein kann. Dieser Fels kann überwiegend mit sehr schweren Baggern gerissen werden, teilweise ist er mit Felsmeißeln zu lösen.

In den harten felsigen Schichten ist aufgrund der Gesteinsstrukturen kein maßgenaues Arbeiten möglich.

Die Kanalstrecke liegt im Straßenbereich, aus Arbeitsschutzgründen und der vorhandenen Versorgungsleitungen ist ein verbauter Kanalgraben erforderlich.

Für die Bemessung des Verbaus gelten die unter Abschnitt 3.6 angegebenen bodenmechanischen Kennwerte. Die Verbauelemente sind für den aktiven Erddruck zu bemessen.

Im Bereich von setzungsempfindlichen Leitungen ist auf einen verformungsarmen Verbau zu achten. Hier ist der Verbau vorzuspannen.

5.2. Trockenhaltung des Kanalgraben, Herrichten der Kanalsohle

Bei den Felduntersuchungen wurde kein freier Grundwasserspiegel angetroffen.

Je nach Jahreszeit und Stärke der Niederschläge ist jedoch mit stärkeren Schicht-, Stau- und Kluftwasserzutritt zu rechnen.

Anfallendes Regen- und Sickerwasser ist in einer offenen Wasserhaltung zu fangen und kontrolliert abzuleiten.

Die Aushubsohle im stark verwitterte bis verwitterte Fels wird durch den Bodenaushub aufgelockert. Diese ist durch eine Verdichtung der Schutzschicht ($\geq 0,1$ m) rückgängig zu machen.

Im harten Felsen ist aufgrund des geologisch bedingten Mehraushubes eine etwas größere Dicke der Schutzschicht erforderlich, außerdem ist eine ausreichend dicke, gut verdichtete Rohrbettung zur Vermeidung der Linienlagerung erforderlich.

5.3. Verfüllen der Baugruben, Wiederverwendung der Aushubböden

Für das Verfüllen der Leitungszone (bis 0,3 m über Rohrscheitel) ist gestufter Sand oder kiesiger Sand geeignet, der lagenweise auf $D_{pr} = 97\%$ zu verdichten ist (ZTVA-StB-09).

Für die Verfüllzone sollten verdichtungsfähige, weitgestufte, schwachbindige Bodenarten (Fremdböden) wie gebrochenes Mineralgemisch, geeignete Vorabsiebung oder und Grubenkies mit einem Feinkornanteil ($\phi \leq 0,063$ mm) von 10 bis 15 Gew.-% und einem Größtkorn ≤ 45 mm verwendet werden. Die Böden sind lagenweise einzubauen und im Bereich von Verkehrsflächen auf Verdichtungsgrade $D_{pr} \geq 97\%$ zu verdichten.

Von den ausgehobenen Materialien sind für die Verfüllzone die nichtbindigen und schwach bindigen Böden (gewachsen bzw. aufgefüllt) sowie kleinstückig anfallender verlehmt Felsbruch bei günstigem Wassergehalt wiederverwendbar.

Voraussetzung für den Wiederverwendung der Aushubböden ist eine selektive Gewinnung während des Aushubs. Da der Schichtenverlauf ungleichmäßig ist, ist für die Trennung der Bodenarten eine sorgfältige Bauüberwachung erforderlich. Hierdurch kann der wirtschaftliche Nutzen einer selektiven Bodengewinnung ev. gering sein.

Das gebrochene Mineralgemisch der vorhandenen Tragschicht erfüllt nicht die Anforderungen für die Wiederverwendung als Tragschicht und kann unter der Tragschicht oder als Schutzschicht wieder eingebaut werden.

5.4. Beeinflussung benachbarter Bauteile

Die jeweils kritischen Abstände der Gebäude und Versorgungsleitungen sind Bild V zu entnehmen.
Setzungsbeeinflussungen

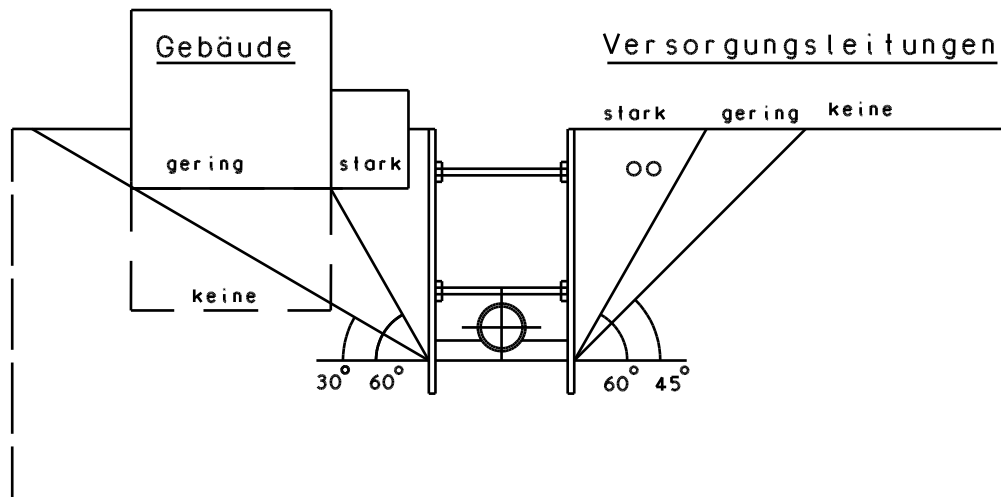


Bild V: Kritischer Abstand von Gebäuden und Versorgungsleitungen

Die bauwerksschädlichen Setzungen liegen allgemein im Bereich von $\vartheta_a = 60^\circ$.

An der Einmündung zur "Springstraße" weist das Haus Nr. 3 die geringste Entfernung zur Kanalachse mit etwa 1,8 m auf. Die Kanalsole hier liegt bei etwa 2,3 m.

Bei unterkellerten Bauwerken mit einer Gründungstiefe $\geq 1,5$ m können Setzungsschäden in jedem Fall ausgeschlossen werden.

Bei nichtunterkellerten Bauwerken mit einer frostfreien Gründungstiefe von 0,8 m muß der Abstand zwischen Verbau- und Hauswand mindestens 2,6 m betragen (Kanalgrabentiefe 2,3 m, Ansatz $\vartheta_p = 30^\circ$) um Setzungsschäden auszuschließen. Danach liegt das Haus Nr. 3 im kritischen Bereich mit möglich geringeren Setzungsschäden.

Bei parallel verlaufenden setzungsempfindlichen Ver- und Entsorgungsleitungen ist die Beeinflussung durch den Kanalneubau zu prüfen. Neben einem verformungsarmen Verbau ist eine besonders sorgfältige Verdichtung der Kanalgrabenverfüllung erforderlich.

Nach vorliegen der genauen Planung ist der Abstand zwischen dem Haus Nr. 3 (in der "Springstraße") und der Kanalgrabenwandung sowie die Gründungstiefe des Hauses zu prüfen. Gegebenfalls ist eine entsprechende Beweissicherung zu empfehlen.

6. Hinweise zur weiteren Planbearbeitung

Einzelheit zur Planung der neuen Kanalbaumaßnahme liegt noch nicht vor. Nach Vorliegen der genauen Planung ist Überprüfung der Angaben in unserem Gutachten erforderlich. Hierbei sind insbesondere der Abstand/Lastausbreitungswinkel zwischen den Häusern und dem Kanalgraben zu prüfen.

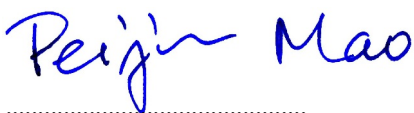
Nach Beginn der Ausschachtungsarbeiten wird eine laufende Baugrubenabnahme durch die Unterzeichner erforderlich, um die Ergebnisse aus den einzelnen Untersuchungsstellen hinsichtlich ihrer Gültigkeit für die gesamte Baufläche zu überprüfen.

Hierbei sind insbesondere die Fels- und Bodenverhältnisse sowie Wiederverwendung der Aushubböden zu beurteilen und gegebenenfalls Zusatzmaßnahmen (z.B. Vergrößern der Bettung) festzulegen.

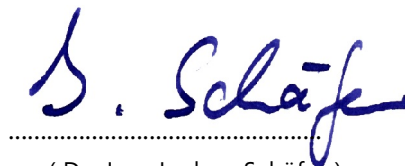
Die Zusammensetzung und Verdichtung der Kanalgrabenverfüllung sowie der Tragschicht hat einen entscheidenden Einfluß auf die Gebrauchsfähigkeit. Daher ist die Eignung und Homogenität des Einbaumaterials sowie dessen Verdichtung zwingend zu überprüfen. Die Materialien sind vor Einbau von uns freizugeben.

Zur Wahrung einer durchgängigen Qualitätssicherung und zur Vermeidung von Zuständigkeitsüberschneidungen mit unklarer Haftung sollten die Prüfungen nicht durch die Baufirma erfolgen. Vielmehr sollten diese durch den Bauherrn beauftragt und durch **BGI** durchgeführt werden. Die Prüfungen sollten frühzeitig beginnen, damit Einbaufehlern entgegengesteuert werden kann.

Weitere sich im Laufe der Planbearbeitung ergebende Fragen können jeweils kurzfristig bearbeitet werden.



(Dr.-Ing. P. Mao)



(Dr.-Ing. Jochen Schäfer)

Verzeichnis der Anlagen

- | | |
|--------------|---------------------------------------|
| Anlage 1/2 : | Lageplan der Aufschlußstellen |
| | Baugrundprofile |
| | Erklärung der Zeichen und Abkürzungen |
| Anlage 3 : | Laborergebnisse |
| 3.1 : | Zusammenstellung der Laborergebnisse |
| 3.2a : | Kornverteilungen |
| 3.2b : | Körnverteilung Homogenbereich I |

Zusammenstellung der Laborergebnisse

(Schotter = gebrochenes Mineralgemisch)

Labor	Bohrung	Entnahme- tiefe	Bodenart	Wassergehalt w	Asphalt- probe
Nr.	Nr.	m	-	%	
1	RKB 12	0,075	Bit.-Schicht		Kern x
2		0,3	Schotter, grau/braun	6,2	
3		0,7	A(G(Felsbruch),s,u), dkl.grau/grau/braun		
4		1,4	A(G(Felsbruch),u,s), grau/braun/graubraun	9,4	
5		1,9	Lx(G,s,u'), graubraun/grau	7,3	
6		2,2	Tst, $\bar{V}$, verlehmt, fest-hart, graubraun/braun	6,7	
7a	RKB 13	0,015	1.Bit.-Schicht		Kern x
7b		0,08	2.Bit.-Schicht +Schotter, angeklebt,angespritzt		
8		0,3	Schotter, grau/braun		
9		0,7	A(G(Felsbruch),s,u), graubraun/braun		
10		1,4	Lx(G,s,u'), grau/graubraun	9,4	
11	DPM 11a	1,7	Tst, $\bar{V}$, verlehmt, fest-hart, graubraun/braun	6,7	Kern x
12		0,05	Bit.-Schicht		
13		0,155	Stein		

Labor	Bohrung	Entnahme- tiefe	Bodenart	Wassergehalt w	Asphalt- probe
Nr.	Nr.	m	-	%	
14	Sch 1	0,04	Bit.-Schicht	3,6	x
15	Sch 11	0,025	Schotter, grau/braun		
16		0,02	1.Bit.-Schicht		x
17		0,05	2.Bit.-Schicht		x
18		0,1	A(G(Felsbruch,s,u', Ziegel-R.), bunt		
19		0,35	A(U,s,g',Ziegel-R.), braun/dkl.braun		



Baugrunderleure

Dr.-Ing. Jochen Schäfer
Dipl.-Ing. F.J. Giljohann

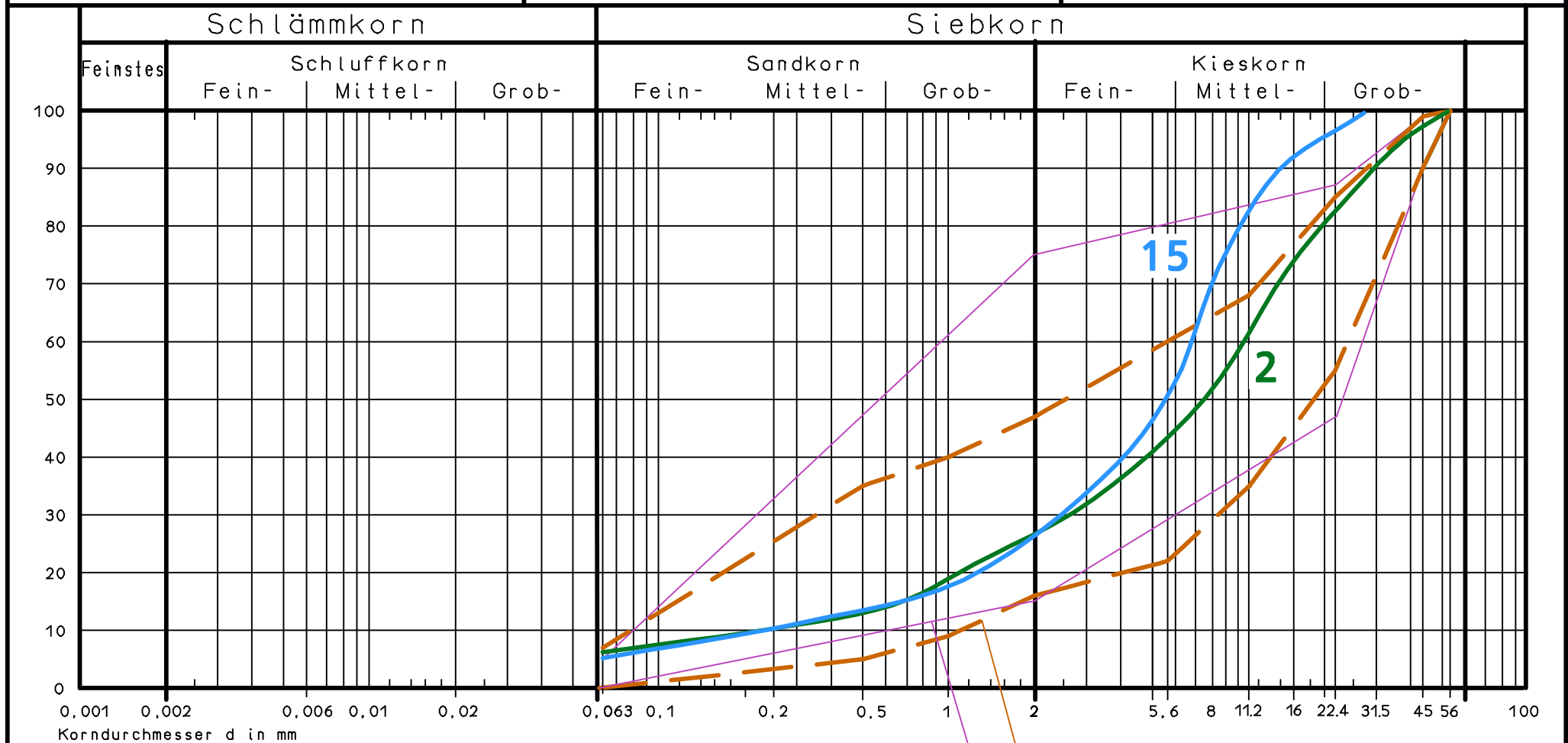
www.bgi.de e-mail: info@bgi.de
59821 Arnsberg Tel: 02931/2 1515
44287 Dortmund Tel: 0231/4497-0

Körnungslinie nach DIN EN 933-1

Auftrags.Nr.: 19 20

Datum: 03.04.2019

Anlage Nr.: 3.2a



Kurve Nr.:	2 (Straße)	15 (Gehweg)
Bodenart:	G,s,u' (gebr. Mineralgemisch)	G,s,u' (gebr. Mineralgemisch)
Tiefe:	0,1 - 0,3 m	0,1 - 0,25
Entnahmestelle:	RKB 12	Sch 1
$U = d_{60} / d_{10}$:	>50	>30

Kies-+Schottertragschichten

Eingebaut nach ZTV SoB-StB 04

FSS 0/45 ZTV SoB-StB 04



Baugrunder Ingenieure

Dr.-Ing. Jochen Schäfer
Dipl.-Ing. F.J.Giljohann

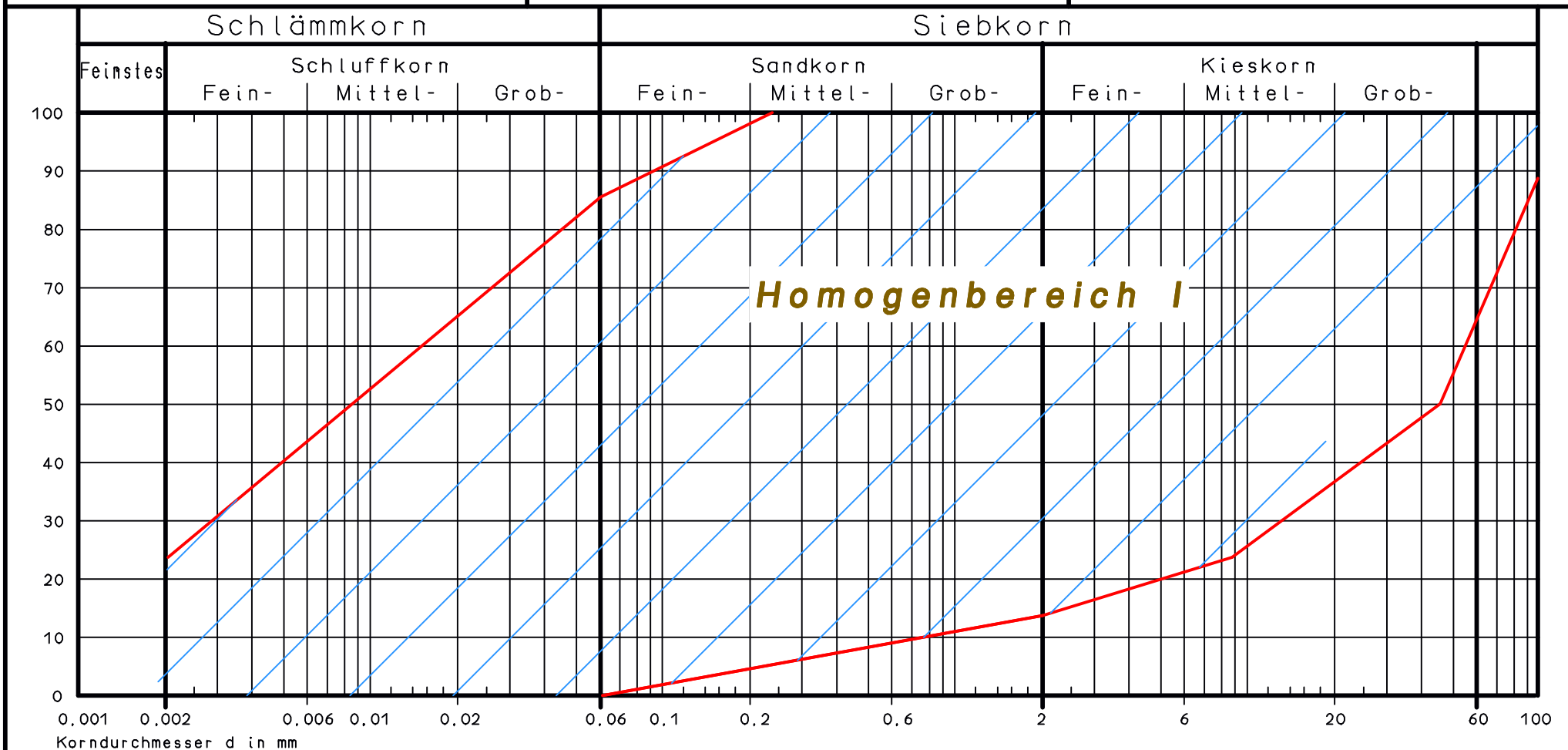
www.bgi.de e-mail: info@bgi.de
59821 Arnsberg Tel: 02931/2 1515
44287 Dortmund Tel: 0231/4497-0

Körnungslinie nach DIN 18123

Auftrags.Nr.: 19 20

Datum: 02.04.2019

Anlage Nr.: 3.2b



Kurve Nr.:

Bodenart:

Tiefe:

Entnahmestelle:

$U = d_{60} / d_{10}$: