

Zweckverband Kläranlage
Böblingen-Sindelfingen
Rathausplatz 1
71063 Sindelfingen

Friedrich-List-Straße 42
70771 Leinfelden-Echterdingen

Telefon +49 (0) 711 797350 - 0
Telefax +49 (0) 711 797350 - 20
E-Mail info@geotechnik-vees.de

31.07.2020

Az 18 104

Geotechnischer Bericht

für den Neubau der biologischen Reinigungsstufe
im Klärwerk I in Sindelfingen, Entenseestraße

Teil II

Empfehlungen zu Gründung und Baugrube

Geschäftsführer

Prof. Dr.-Ing. Johannes Giere
Dr.-Ing. Stefan Krieg
Dr.-Ing. Jens Turek

Amtsgericht Stuttgart HRB 22 36 32

öffentlich bestellte Sachverständige

Prof. Dr.-Ing. Johannes Giere
ö.b.u.v. SV für Erd- und Grundbau, Standsicherheit
von Böschungen
Dipl.-Geol. Dr. Klaus Kleinert
ö.b.u.v. SV für Ingenieurgeologie und Hydrogeologie

Prof. Dr.-Ing. Edelbert Vees
ö.b.u.v. SV für Baugrund, Gründungen, Bodenmechanik
anerkannter SV für Erd- und Grundbau nach Bauordnungsrecht

Inhalt	Seite
1 Vorbemerkungen	3
2 Lage, Vorhaben und geologischer Überblick.....	4
3 Schrumpfnegung.....	7
4 Gründung der geplanten Baukörper	7
4.1 Belebungsbecken	8
4.2 Maschinengebäude	13
4.3 Nachklärbecken 5.....	15
4.4 Nachklärbecken 2 bis 4.....	16
4.5 Leitungstrasse, Grund- und Verbindungsleitungen zwischen den Bauwerken	18
5 Baugrubengestaltung und -sicherung, Wasserhaltung	19
6 Leitungsbau	25
7 Bauwerk und Grundwasser	28
7.1 Wasserdichte Wannen.....	28
7.2 Auftriebssicherung und Bemessungswasserstand.....	29
7.3 Grundwasserumläufigkeit	30
8 Verfüllung der Arbeitsräume, Außenflächen.....	31
9 Wiederverwertung/Deponierung von Aushubmaterial, Umgang mit Schadstoffbelastungen	33
10 Weitergabe der Untersuchungsergebnisse und wasserrechtliche Belange	33
11 Kampfmittel im Bereich des Baufeldes.....	35
12 Schlussbemerkungen	35

Anlagen

1.1	Übersichtslageplan, M. 1:10000
1.2	Lageplan, M. 1:750
2.1 – 2.8	Erdstatische Berechnungen

1 Vorbemerkungen

Der Zweckverband Kläranlage Böblingen-Sindelfingen plant, auf dem Gelände des Klärwerks I in Sindelfingen die biologische Reinigungsstufe zu erweitern und den Bestand teilweise zu erneuern.

Unser Büro wurde beauftragt, die Untergrund- und Grundwasserverhältnisse am betreffenden Standort zu erkunden und einen Geotechnischen Bericht nach DIN 4020/EC 7 für das geplante Bauvorhaben zu erstellen (Baugrund- und Gründungsgutachten). Da nach Abschluss der Erkundungsarbeiten von den Planern verschiedene Varianten hinsichtlich der Nutzung des Standortes und der geplanten Bauwerke untersucht wurden, ist mit Datum vom 16.08.2019 zunächst nur ein Teil I des Geotechnischen Berichts verfasst worden, der die Teilleistungen a und b gemäß HOAI, Anlage 1, Abschnitt 1.3.3 (Grundlagenermittlung und Erkundungskonzept sowie Beschreibung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse) umfasst.

Zur ergänzenden Erkundung der oberflächennahen Schichten, vor allem der Talablagerungen und Gipskeuperschichten, wurde zwischenzeitlich eine ergänzende Baugrunderkundung durchgeführt. Hierzu haben wir mit Datum vom 23.07.2020 einen Bericht verfasst.

Mittlerweile ist die Planung des Bauvorhabens weitestgehend abgeschlossen, sodass der vorliegende Teil II (Teilleistung c: Beurteilung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse, Empfehlungen, Hinweise, Angaben zur Bemessung der Gründung) erstellt werden kann.

Zur Ausarbeitung des Berichtes standen uns neben dem oben genannten Teil I des Geotechnischen Berichts sowie dem Bericht zur ergänzenden Baugrunderkundung folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Pläne der Sweco GmbH, Stuttgart:
 - Lageplan Betriebsgelände mit Bauabschnitten (Entwurfsplanung), M. 1:500, Stand 30.06.2017
 - Pläne Neubau Belebungsbecken (Variante 5), Grundriss, 3D-Ansicht und Schnitt, M. 1:200 und 1:500, Stand 02.12.2019
 - Pläne Umbau Nachklärbecken 3 und 4, Grundriss, 3D-Ansicht und Schnitt, M. 1:100 und 1:200, Stand 04.12.2019
 - Pläne Umbau Nachklärbecken 2, Grundriss, 3D-Ansicht und Schnitt, M. 1:100 und 1:200, Stand 09.12.2019
 - Pläne Neubau Nachklärbecken 5, Grundriss, 3D-Ansicht und Schnitt, M. 1:100 und 1:200, Stand 04.12.2019

- Pläne Neubau Maschinengebäude (Variante 5), Grundrisse, 3D-Ansichten und Schnitte, Nachklärbecken, M. 1:100 und 1:200, Stand 07.01.2020
- Diverse Pläne und Unterlagen zu Statik und Gründung der bestehenden Nachklärbecken und Tropfkörper, Ingenieurbüro für Bauwesen Wolfgang Liebert, Ulm, Stand 1979
- Lagepläne des Vermessungsbüros Martin, Sindelfingen, M. 1:500, Stand 13.11.2018 (erste Baugrunderkundung) und 19.05.2020 (ergänzende Baugrunderkundung)
- Unsere Geotechnischen Berichte für zwei Bauvorhaben auf dem Gelände des Klärwerks I in Sindelfingen:
 - Neubau der Anlage zur Flockungsfiltration (Az 04 001 vom 29.03.2004)
 - Neubau der Anlage zur Aktivkohlebehandlung (Az 09 110 vom 14.12.2009)

2 Lage, Vorhaben und geologischer Überblick

Das Klärwerk I liegt am südwestlichen Stadtrand von Sindelfingen im Bereich der Markungsgrenze zwischen Sindelfingen und Böblingen (vgl. Anlage 1.1). An der Nord- und Ostseite wird das Gelände von der Entenseestraße und im Süden von einem ca. 1,5 m bis 2 m hohen Erdamm begrenzt. An der Westseite verläuft die Gottlieb-Daimler-Straße und etwa 100 m südlich der bestehenden Gebäude der biologischen Reinigungsstufe fließt die Schwippe.

Der vorgesehene Standort des geplanten Bauvorhabens liegt direkt östlich der Anlagen zur Flockungsfiltration und zur Aktivkohlebehandlung (vgl. Abschnitt 1). Dort befinden sich zahlreiche Tropfkörper und Nachklärbecken. Das Gelände hat eine Fläche von ca. 200 m x 120 m und ist leicht geneigt. Die Höhen betragen ca. 425,2 m NN im Nordwesten und ca. 423,9 m NN im Süden bzw. Südosten. Der Bereich neben bzw. zwischen den bestehenden Bauwerken wird zumeist als Grünfläche genutzt.

Nach momentanem Planungsstand umfassen die geplanten Baumaßnahmen der biologischen Reinigungsstufe den Neubau von vier Nachklärbecken, einem Maschinengebäude, einem Belebungsbecken und einer Leitungstrasse. Weiterhin soll der an der Südseite verlaufende Hochwasserschutzdamm abgetragen und durch eine mit Gabionen eingefasste Spundwand ersetzt werden. Das Bauvorhaben ist nach momentanem Planungsstand in insgesamt **drei Bauabschnitte** unterteilt und umfasst die folgenden Maßnahmen:

- Neubau Nachklärbecken 5
- Neubau Maschinengebäude
- Neubau Belebungsbecken
- Neubau Leitungstrasse
- Neu-/Umbau Nachklärbecken 2 bis 4

Im **1. Bauabschnitt** sollen im südöstlichen Teil des Baufeldes auf momentan noch unbebautem Gelände (Grünfläche) das Nachklärbecken 5, das Maschinengebäude und der östlichste Abschnitt des Belebungsbeckens entstehen. Im Zuge dieses Bauabschnitts wird der vorhandene Hochwasserschutzdamm abgetragen und durch eine Spundwand als Hochwasserschutzmaßnahme ersetzt. Weiterhin ist die Herstellung der Leitungstrasse geplant, die das Baufeld entlang der Süd- und Westseite innerhalb der Umspundung einrahmt.

Das kreisrunde **Nachklärbecken 5** hat einen Gesamtdurchmesser von ca. 46,5 m und verläuft zur Mitte hin zunächst leicht geneigt. Der Geländeeinschnitt beträgt zwischen 1,6 m am äußeren Rand und ca. 3 m in Richtung Zentrum. In der Mitte des Beckens befindet sich ein kegelförmiger Innenteil mit einem Durchmesser von ca. 7 m. Der Geländeeinschnitt vertieft sich hier auf ca. 7,7 m. Die Oberkante des Nachklärbeckens 5 liegt ca. 3,4 m über Gelände.

Das mit Untergeschoss dreigeschossige und rechteckig ausgebildete **Maschinengebäude** östlich des Nachklärbeckens 5 hat eine Grundfläche von ca. 31 m x 14 m; der südwestlich angrenzende Pumpensumpf hat zusätzlich Maße von ca. 12 m x 3 m. Das Gebäude ist in Nord-Süd-Richtung positioniert und der Großteil des Bauwerks wird bis ca. 5,5 m unter das bestehende Geländeniveau reichen. Der nördliche, sogenannte Selektorenbereich (Grundfläche: ca. 7 m x 13 m) liegt mit der Unterkante der Bodenplatte ca. 1,5 m höher, sodass der Einschnitt hier lediglich ca. 4 m beträgt.

Das Maschinengebäude wird an seiner Nordseite mehr oder weniger direkt an den östlichsten Teil des geplanten **Belebungsbeckens** anschließen und über Leitungen verbunden. Dieses Bauwerk hat eine Gesamtgrundfläche von ca. 124 m x 46 m, eine Höhe von ca. 7 m und verläuft in Ost-West-Richtung. Es schneidet flächig ca. 3 m in das Gelände ein. Der östlichste Teil, der auf unbebautem Gelände errichtet wird, hat eine Fläche von ca. 31 m x 47 m. Nach momentanem Planungsstand wird die östlichste Stufe einzeln im 1. Bauabschnitt errichtet; dieser Teil befindet sich auf derzeit unbebautem Wiesengelände.

Die geplante **Leitungstrasse** umrahmt das zukünftige Baufeld entlang seines südlichen und westlichen Randes und liegt knapp auf der Innenseite des bestehenden Erddamms. Nach Mitteilung der Planer wird der Leitungsgraben eine Breite von ca. 2,7 m haben und ca. 2,5 m bis 3,2 m in das Gelände einschneiden.

Im **2. und 3. Bauabschnitt** sollen die **Nachklärbecken 2 bis 4** neu errichtet werden und die am Standort vorhandenen Becken ersetzen. Nach Aussage der Bauherrschaft stammen die Bestandsbecken aus den 1970er Jahren. Die zur Mitte trichterförmig verlaufenden Bauwerke schneiden bis zu ca. 10 m in das bestehende Gelände ein. Die Becken 3 und 4 sind nach uns vorliegenden Plänen und Unterlagen auf FRANKI-Pfählen zur Lastabtragung gegründet und zwecks Auftriebssicherung wurden GEWI-Pfähle verwendet. Das Nachklärbecken 2 scheint ohne zusätzliche Elemente zur Lastabtragung flach auf dem Untergrund aufgelagert zu sein, nur zwecks Auftriebssicherung sind auch hier GEWI-Pfähle vorhanden. Hinsichtlich der Gründung und Auftriebssicherung der bestehenden Becken bestehen aus unserer Sicht Unklarheiten. Dies muss im Zuge der weiteren Planung berücksichtigt werden. Die Beckenoberkanten reichen ca. 30 cm bis ca. 80 cm über das bestehende Gelände hinaus.

Die neuen Becken haben mit ca. 47 m einen etwas geringeren Außendurchmesser als die Bestandsbecken (ca. 48,5 m). Daher besteht die Überlegung, die neuen Becken innerhalb der alten zu platzieren und die jeweils vorhandene Bodenplatte sowie die Gründung im Untergrund zu belassen und zu nutzen. Zwischen neuer und alter Bodenplatte der Becken sollen Leitungen (Zuläufe) Richtung Beckenmitte verlaufen. Daher wäre hier eine Auffüllung zwischen alten und neuen Bodenplatten mit noch unbekannter Mächtigkeit erforderlich. Dieses Thema befindet sich momentan im Status der Klärung und Abstimmung. Die neuen Becken würden dann bis zu ca. 5 m über das bestehende Gelände hinausragen.

Im 2. Bauabschnitt soll auch der westliche, größere Teil des **Belebungsbeckens** errichtet werden. Dieser befindet sich im Bereich der noch abzubrechenden Tropfkörper 7 und 8. Der Untergrund ist hier durch die bestehenden Tropfkörper vorbelastet und es befinden sich Pfähle im Untergrund. Der Untergrund ist daher weniger kompressibel. Im Zusammenhang mit dem Neubau muss die vorhandene Gründung der Tropfkörper berücksichtigt werden.

Auf Grundlage der Ergebnisse unserer Baugrunderkundungsmaßnahmen können wir folgende Angaben zu den örtlichen geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen machen:

Der Untergrund am Standort der geplanten Bebauung wird zuoberst von geringmächtigen künstlichen Auffüllungen unterschiedlicher Zusammensetzung gebildet. Darunter folgen Talablagerungen der Schwippe sowie Umlagerungsböden (Ton, z. T. organisch, Zwischenlagen aus Torf) und dann die ausgelaugten und verstürzten Schichten des Gipskeupers (Ton mit Tonstein- und Mergelsteinstücken). In größerer Tiefe setzen die Schichten des Lettenkeupers ein (Dolomitsteinstücke und Ton).

Im Untergrund sind zwei mehr oder weniger voneinander getrennte Grundwasserhorizonte ausgebildet. Es handelt sich um eine obere Wasserführung in den Talablagerungen und Um-

lagerungsböden sowie um eine tiefere Wasserführung in den Gipskeuper- und Lettenkeuper-schichten. Letztere ist gespannt; ihr Druckniveau liegt ähnlich hoch wie der Grundwasserspiegel in den Talablagerungen (wenige Meter unter Gelände).

Für eine detaillierte Beschreibung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse verweisen wir auf Teil I unseres Geotechnischen Berichts vom 16.08.2019 sowie auf unseren Bericht zur ergänzenden Baugrunderkundung vom 23.07.2020.

3 Schrumpfnegung

Bei den in den Talablagerungen angetroffenen mittelpastischen und ausgeprägt pastischen Tonböden handelt es sich um schrumpffähige Böden. Sie schrumpfen bei Wasserentzug, d. h. der Übergang von weicher bis steifer Konsistenz in die halbfeste oder feste Zustandsform ist mit einer Volumenverminderung verbunden. Findet dieser Schrumpfprozess unterhalb von Fundamenten oder Bodenplatten statt, entzieht sich der Boden der Lastabtragung. Die Fundamente oder Bodenplatten folgen dieser Bewegung und erfahren eine lastunabhängige Setzung. Da diese Bewegung in der Regel nicht gleichmäßig ist, sondern an Gebäudeecken und stärker exponierten Gebäudeteilen (insbesondere Südseite) in größerem Umfang auftritt, führt sie zu Spannungen und Rissen in den betroffenen Bauteilen. Die Austrocknung infolge Niederschlagsarmut und Sonneneinstrahlung reicht dabei erfahrungsgemäß ungefähr bis in eine Tiefe von ca. 1,6 m unter Gelände; bei Wasserentzug durch die Wurzeln größerer Pflanzen (z. B. große Büsche, Bäume) kann sie auch erheblich tiefer reichen.

Bei Bauwerken, die mindestens 1,6 m unter die spätere Geländeoberfläche reichen und deren Umgebung frei von größerem Bewuchs gehalten wird, ist das Risiko von Schrumpfschäden gering. Nach unserer Kenntnis reichen die geplanten Gebäude mindestens 1,6 m unter die Geländeoberfläche. Sollte dies für Bauwerksteile oder Leitungen nicht zutreffen, geben wir gerne nähere Hinweise zu Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos von Schrumpfschäden.

4 Gründung der geplanten Baukörper

Aufgrund der Unterschiedlichkeit der geplanten Bauwerke der biologischen Reinigungsstufe gehen wir im Folgenden jeweils einzeln auf sie ein.

4.1 Belebungsbecken

Nach aktuellem Stand gibt es zwei Varianten hinsichtlich des Höhenniveaus der Unterkante der Bodenplatte für das geplante Gebäude (422,80 m NN, Variante 1 bzw. 423,30 m NN, Variante 2). Nach den Ergebnissen der Baugrunderkundungen wird die Gründungssohle in beiden Fällen innerhalb der Talablagerungen verlaufen, die hauptsächlich aus weichem Ton und Torf bestehen und stark kompressibel sind. Die Distanz zwischen der Unterkante der Bodenplatte und der Oberkante des besser beschaffenen Gipskeupers beträgt zwischen ca. 0,4 m und ca. 1,8 m (Variante 1) bzw. zwischen ca. 0,9 m und ca. 2,3 m (Variante 2). Bei beiden Varianten befände sich unterhalb der Bodenplatte noch Torf mit einer Mächtigkeit zwischen ca. 0,2 m und ca. 1,4 m. Im Falle einer Flachgründung müssen die Torfe ausgeräumt und gegen tragfähige Schichten ausgetauscht werden, da ansonsten mittelfristig schädliche Setzungen aufgrund von Sackungen durch Torfzersetzungen auftreten können.

Im westlichen Bereich des geplanten Belebungsbeckens befinden sich die momentan noch genutzten Tropfkörper 7 und 8, die nach uns vorliegenden Plänen auf FRANKI-Pfählen gegründet sind. Die Unterkante der Bodenplatten verläuft auf einem Niveau zwischen ca. 424,0 m NN und ca. 424,3 m NN. Darunter verläuft jeweils eine Zulaufleitung vom Beckenrand zur Mitte mit Niveaus der Leitungssohle zwischen ca. 423,0 m NN und ca. 423,1 m NN. Die Tropfkörper und die Leitungen werden voraussichtlich vollständig abgebrochen. Lediglich die Gründungspfähle werden im Untergrund verbleiben.

Im Hinblick auf eine mögliche Flachgründung des Belebungsbeckens in den Talablagerungen wurden von uns Setzungsberechnungen durchgeführt. Aufgrund der starken Kompressibilität der Talablagerungen und der teilweise ungünstig beschaffenen Gipskeuperschichten ergaben sich dabei relativ hohe Setzungsbeträge von bis zu ca. 8 cm für beide Varianten (vgl. Anlagen 2.1 und 2.2). Im westlichen Teil des Standortes für das Belebungsbecken ist der Boden durch die bestehenden Tropfkörper vorbelastet bzw. die Gründungspfähle befinden sich im Untergrund. Hier ist mit deutlich geringeren Setzungen zu rechnen, sodass es möglicherweise zu schädlichen Differenzsetzungen kommen kann. In der Regel sind an wasserdichte Bauteile höhere Anforderungen hinsichtlich Setzungsdifferenzen zu stellen. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass das Belebungsbecken zeitversetzt in mehreren Bauabschnitten hergestellt werden soll. Es ist deshalb bei einer Flachgründung mit Setzungsdifferenzen zwischen den einzelnen Bauabschnitten zu rechnen.

Ab einer Tiefe von ca. 3 m bzw. unterhalb der Talablagerungen setzen die Schichten des vollständig verwitterten Gipskeupers ein, die zwar besser beschaffen, im oberen Bereich (bis ca. 5 m Tiefe) jedoch noch stark kompressibel sind. Eine Flachgründung in Verbindung mit einem tief reichenden Bodenaustausch über die große Grundfläche des Belebungsbeckens wäre demnach höchstwahrscheinlich unwirtschaftlich. Aus unserer Sicht und nach Rücksprache mit den Planern scheint daher eine Tiefgründung auf Pfählen eine technisch sichere und

wirtschaftliche Lösung für das geplante Belebungsbecken zu sein. Die großen Becken der benachbarten Flockungsfiltration und der Anlage zur Aktivkohlebehandlung (vgl. Abschnitt 1) sind damals ebenfalls tief auf Pfählen gegründet worden. Auch im Hinblick auf die bestehende Pfahlgründung der Tropfkörper 7 und 8, die höchstwahrscheinlich für den geplanten Neubau zur Lastabtragung genutzt werden kann, ist eine Tiefgründung auf Pfählen voraussichtlich erforderlich. Zur Planung der Gründung ist es notwendig, detaillierte Informationen zu den Bestandspfählen zu erheben.

Unter den verschiedenen Pfahlsystemen bieten Rammpfähle gegenüber Bohrpfählen wirtschaftliche Vorteile. Im vorliegenden Fall sind besonders Betonfertigteiltrammpfähle oder Ortbetonrammpfähle geeignet (z. B. System FRANKI). Das Einrammen der Rammpfähle ist jedoch mit Erschütterungen und Lärmemissionen sowie eventuell negativen Auswirkungen auf benachbarte Bauwerke verbunden. Von den Planern ist deshalb zu prüfen, ob in der Nachbarschaft schwingungsempfindliche Bauwerke vorhanden sind. Vermutlich sind die angrenzenden Klärbecken und Tropfkörper diesbezüglich robust. Im Untergrund vorhandene Bauwerksreste stellen Rammhindernisse für die Pfahlherstellung dar. Bei der Baugrunderkundung wurden keine Bauwerksreste oder andere Hindernisse im Untergrund angetroffen.

Bei **Ortbetonrammpfählen** (System FRANKI mit Innenrohrrammung) wird ein Vortreibrohr mit Hilfe eines Betonpfropfens mit einem Fallgewicht in den Untergrund gerammt. Nach Erreichen des festen Untergrundes wird die Pfahlbewehrung eingestellt und der Pfahlbeton bei gleichzeitigem Ziehen des Vortreibrohres eingebracht. Durch das Herstellungsverfahren kann die Pfahltiefe gut den jeweiligen Untergrundverhältnissen angepasst werden. Aufgrund der Innenrohrrammung ist die Lärmentwicklung beim System FRANKI geringer als bei Rammpfählen mit Kopframmung.

Bei **Fertigteiltrammpfählen** werden vorgefertigte Stahlbetonpfähle mit quadratischem Querschnitt in den Untergrund gerammt. Nach Erreichen des tragfähigen Untergrundes wird der überstehende Pfahlrest gekappt. Die Rammung erfolgt als Kopframmung, deshalb sind hier die Lärmemissionen zu beachten. Sie können durch Einsatz eines Schallschutzkamins verringert werden.

In Abhängigkeit vom verwendeten Pfahlquerschnitt kann bei den genannten Rammpfahlsystemen von folgenden Richtwerten für die zulässige Gebrauchslast (Druckbeanspruchung) eines Pfahls ausgegangen werden; dabei handelt es sich um Erfahrungswerte bzw. Richtwerte der Pfahlhersteller:

Tabelle 1: Zulässige Gebrauchslasten für Fertigteil- und Ortbetonrammpfähle

Fertigteilrammpfähle		Ortbetonrammpfähle System FRANKI mit Fußbemessung	
Querschnitt cm	Zulässige Gebrauchslast (Druck)* kN	Durchmesser Vortreibrohr mm	Zulässige Gebrauchslast (Druck)* kN
25 x 25	450	420	1 200 – 1 400
30 x 30	700 – 1 000	510	1 800
35 x 35	1 100 – 1 250	560	2 200
40 x 40	1 500 – 1 600	610	2 600

* charakteristischer Pfahlwiderstand $R_{c,k} \approx$ zulässige Gebrauchslast x 2

Zum Entwurf, zur Bemessung und zur Ausführung einer Rammpfahlgründung werden folgende Hinweise gegeben:

- ▶ Es gelten die Vorgaben des EC 7 sowie der Ausführungsnormen für das jeweilige Pfahlsystem. Daneben sind die EA-Pfähle¹ sowie die bauaufsichtliche Zulassung des gewählten Pfahlsystems zu beachten.
- ▶ Die Tragfähigkeit der Rammpfähle wird von der ausführenden Firma garantiert. Sie richtet sich nach den Ergebnissen von Probelastungen oder nach entsprechenden Gutachten und Herstellungsrichtlinien. Ein Kriterium für die Festlegung der Tragfähigkeit ist dabei die erforderliche Rammenergie. Beim Einbringen der Rammpfähle wird so lange gerammt, bis der für die angesetzte Tragfähigkeit erforderliche Eindringwiderstand erreicht ist. Bei voller Ausrammung beträgt die Pfahlsetzung unter Gebrauchslast in der Regel weniger als 1 cm.
- ▶ Die exakten Längen der Rammpfähle lassen sich nicht vorhersagen. Sie können nur durch das Rammen von Probepfählen ermittelt werden. Anhand der Ergebnisse der Baugrunderkundung sowie der Erkenntnisse bei der Pfahlherstellung für die benachbarten Bauvorhaben kann die Eindringtiefe jedoch grob abgeschätzt werden. Erfahrungsgemäß dringen Rammpfähle etwa ähnlich tief in den Untergrund ein wie die Son-

¹ EA-Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V., Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 2007

denspitze bei einer schweren Rammsondierung. Bei den im Baufeld des Belebungsbeckens durchgeführten Rammsondierungen SRS 1/18 bis SRS 3/18 wurden Eindringtiefen von 10,2 m (SRS 3/18) bis 17,9 m (SRS 2/18) unter Geländeoberfläche erreicht. Um die Pfahllängen im Vorfeld noch genauer abschätzen zu können, wäre eine Ausführung von weiteren Rammsondierungen zwischen den vorhandenen Erkundungspunkten möglich. Dies kann jedoch auch gegebenenfalls von dem beauftragten Spezialtiefbauunternehmen im Zuge der Arbeitsvorbereitung erfolgen.

- ▶ Nach Abbruch der Tropfkörper 7 und 8 müssen die Köpfe der bestehenden Pfähle freigelegt und ihre Position (Lage und Höhe) exakt bestimmt werden. Nach Möglichkeit sind noch weitere Informationen über die bestehende Gründung einzuholen (Pfahllänge, -durchmesser, -tragfähigkeit).
- ▶ Der Achsabstand der Pfähle soll ein Maß von 3 D nicht unterschreiten (D = Pfahlschaftdurchmesser bzw. -breite). Bei geringerem Abstand ist eine gegenseitige Beeinflussung des Lastabtragungsverhaltens gegeben und es besteht die Gefahr, dass die Pfahlfüße sich berühren und bei der Herstellung Schwierigkeiten entstehen.
- ▶ Es ist nicht auszuschließen, dass zumindest temporär das Bauwerk gegen Auftrieb gesichert werden muss (vgl. Abschnitt 7.2). In diesem Fall wirken evtl. Zugkräfte auf die Pfähle. Für eine Bemessung von Zugpfählen auf der Grundlage von Erfahrungswerten können die folgenden charakteristischen Werte der Mantelreibung $q_{s,k}$ angesetzt werden:

Tabelle 2: Bemessungsansätze für auf Zug belastete Rammpfähle (charakteristische Werte)

Schichtglied (vgl. Anlage 2, Teil)	Rammpfähle
	Mantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]
Talablagerungen	15
Gipskeuper, vollständig verwittert	60

Es ist zu beachten, dass bei Wechsellasten mit häufiger Lastumkehr die Werte der Mantelreibung reduziert werden müssen.

- ▶ Bei Einwirkung von Horizontalkräften kann die Pfahlbeanspruchung aus Querkräften und Biegemomenten näherungsweise mit dem Bettungsmodulverfahren ermittelt werden. Sofern es nur auf die hinreichend zutreffende Ermittlung der Biegemomente ankommt, kann gemäß DIN 1054:2010-12, Abschnitt 7.7, für Einzelpfähle im Bereich der

einzelnen Baugrundsichten der Bettungsmodul k_s nach der Beziehung $k_s = E_s / D$ ermittelt werden (E_s = Steifemodul, vgl. Tabelle in Abschnitt 5.4; D = Pfahlschaftdurchmesser). Der Nachweis braucht nicht erbracht zu werden, wenn die waagrechten charakteristischen Beanspruchungen für die Bemessungssituation BS-P höchstens 3 % und für BS-T höchstens 5 % der lotrechten Beanspruchung betragen.

- ▶ Nach den Angaben im EC 7 bzw. der DIN 1054 ist die Knicksicherheit von Pfählen nachzuweisen, wenn größere Schichtpakete mit einer undrännierten Scherfestigkeit von $c_u \leq 10 \text{ kN/m}^2$ vorhanden sind. Im vorliegenden Fall ist die Konsistenz der Böden zwar teilweise ungünstig, aber die undrännierte Scherfestigkeit c_u ist größer 10 kN/m^2 .
- ▶ Das Einrammen der Rammpfähle ist mit Erschütterungen und Lärmemissionen verbunden. Soweit wir die örtlichen Verhältnisse überblicken, besteht hier keine Gefahr schädlicher Schwingungsemissionen auf benachbarte Baulichkeiten. Wir empfehlen, dies im Vorfeld von einem Fachmann überprüfen zu lassen (Schwingungsgutachten). Außerdem empfehlen wir, gegebenenfalls auch das Thema der Lärmemissionen mit den Spezialtiefbauunternehmen und den Beteiligten (Behörden, Anwohner) zu erörtern.
- ▶ Durch die Bodenverdrängung beim Einrammen der Pfähle treten örtlich Hebungen der Arbeitsebene auf. Diese müssen nach Beendigung der Gründungsarbeiten ausgeglichen werden.
- ▶ Sofern keine Ergebnisse von Pfahlprobelbelastungen vorliegen, die unter vergleichbaren Randbedingungen durchgeführt wurden und hier zur Beurteilung des Tragverhaltens der Pfähle herangezogen werden können, empfiehlt es sich, die Tragfähigkeit der Pfähle stichprobenartig mithilfe von dynamischen Pfahltests prüfen zu lassen (Vorschlag: 5 Pfähle).
- ▶ Wir empfehlen, die Qualität des Pfahlbetons von Ortbetonrammpfählen mithilfe von sog. „Low-Strain-Integritätsprüfungen“ (Hammerschlagmethode) stichprobenartig zu überprüfen.
- ▶ Im Hinblick auf die Wahl des Pfahlbetons zeigte sich bei den Untersuchungen im Grundwasser ein erhöhter Sulfatgehalt. Wir empfehlen daher, für alle mit dem Grundwasser in Berührung kommende Gründungselemente gemäß DIN 4030 von der Expositionsklasse XA 2 auszugehen (vgl. Abschnitt 4.2 des Teils I unseres Geotechnischen Berichts).
- ▶ Da die Pfähle in grundwasserführende Schichten einbinden, ist ihre Ausführung in wasserrechtlicher Hinsicht genehmigungspflichtig (vgl. Abschnitt 10).

- ▶ Da das Gelände der Kläranlage als bombardierter Bereich eingestuft wurde, sind im Vorfeld der Pfahlgründungsarbeiten Kampfmittelsondierungen erforderlich. Wir empfehlen, rechtzeitig eine lizenzierte Fachfirma zu beauftragen, die die Sondierungen ausführt (vgl. Abschnitt 11).
- ▶ Falls in der Umgebung der Pfahlgründung eine nennenswerte Geländeauffüllung geplant ist, wird es infolge des Eigengewichts der Auffüllung zu Setzungen kommen. In diesem Fall ist u. U. eine negative Mantelreibung bei der Bemessung der Pfahlgründung anzusetzen. Hierzu machen wir bei Bedarf gern nähere Angaben.
- ▶ Für jeden Pfahl ist ein Protokoll entsprechend der maßgebenden Norm und der bauaufsichtlichen Zulassung zu führen sowie der Bauüberwachung zeitnah vorzulegen.
- ▶ Zu Beginn der Pfahlgründungsarbeiten und stichprobenartig bzw. in Zweifelsfällen bezüglich der Ansprache und Einstufung der angetroffenen Schichten bei den weiteren Arbeiten soll der Baugrundgutachter zur Überprüfung der Baugrundverhältnisse hinzugezogen werden.
- ▶ Für die Pfahlgründungsarbeiten muss für die Befahrung des Baufelds mit dem Pfahlherstellungsgesetz eine ausreichend tragfähige Arbeitsebene geschaffen werden (vgl. nächster Abschnitt 5).

4.2 Maschinengebäude

Die Unterkante der Bodenplatte des Maschinengebäudes liegt nach uns vorliegenden Plänen zum großen Teil auf einem Höhenniveau von 419,4 m NN (Einschnitt ca. 5,5 m unter Gelände); im Bereich der sogenannten Selektoren liegt die Bodenplatte ca. 1,5 m höher, auf einem Niveau von 420,9 m NN. Beide Niveaus liegen in den Schichten des vollständig verwitterten Gipskeupers, die aus leicht plastischem, schluffigem, sandigem und kiesigem Ton bestanden und im Bereich der tieferen Aushubsohle (419,4 m NN) steife bis halbfeste Konsistenz aufwiesen. Der Untergrund ist in dieser Tiefe für das geplante Gebäude ausreichend tragfähig, jedoch liegt die Bodenplatte im Selektorenbereich in überwiegend weichen, teilweise sogar breiigen Lagen.

Nach Rücksprache mit den Planern soll das Maschinengebäude flach auf einer elastisch gebetteten Bodenplatte gegründet werden. Mithilfe einer elastisch gebetteten Bodenplatte ist es möglich, die Setzungen und Setzungsdifferenzen verglichen mit einer Gründung auf Einzel- und Streifenfundamenten zu verringern.

Die Sohlplatte kann als einheitlich dicke Platte ausgeführt werden oder mit voutenartigen Verstärkungen in Bereichen, in denen größere Lasten eingetragen werden. Die Bemessung einer elastisch gebetteten Bodenplatte erfolgt in der Regel mit dem Bettungsmodulverfahren. Um eine erste Abschätzung des Bettungsmoduls vornehmen zu können, haben wir überschlägige Setzungsberechnungen durchgeführt. Dabei sind wir vorläufig von Sohlspannungen zwischen 55 kN/m^2 und 100 kN/m^2 (charakteristischer Wert) ausgegangen.

Auf der Grundlage der Setzungsberechnungen haben wir für das Bauwerk Setzungen zwischen ca. 1 cm und ca. 3 cm ermittelt (vgl. Anlage 2.3). Wir halten unter diesen Umständen eine Flachgründung für möglich, wenn die genannten Setzungen toleriert werden können. Zur Vermeidung von Differenzsetzungen zwischen Selektorenbereich und übrigem Gebäude kann unterhalb des Selektorenbereichs ein Bodenaustausch mit körnigem Material bis auf das tiefere Niveau von 419,4 m NN erfolgen. Wir empfehlen, für den Bodenaustausch körniges, natürliches Material (Schottertragschichtmaterial) zu verwenden und dieses gut zu verdichten ($D_{Pr} \geq 100 \%$).

Basierend auf unseren Berechnungsergebnissen können für eine erste Bemessung der Bodenplatten Bettungsmoduln von

$$k_s = 6 \text{ MN/m}^3 \text{ (Maschinengebäude ohne Selektoren)}$$

$$k_s = 3 \text{ MN/m}^3 \text{ (Selektorenbereich ohne Bodenaustausch)}$$

zugrunde gelegt werden (vgl. Anlage 2.4). Im Randbereich der Platten, in einem Streifen mit einer Breite von 1,5 m, kann der jeweilige Bettungsmodul auf den 2-fachen Wert erhöht werden.

Das Maschinengebäude soll mehr oder weniger direkt an den östlichen Teil des Belebungsbeckens angeschlossen werden. Da letzteres höchstwahrscheinlich auf Pfählen gegründet werden soll, werden die Setzungen etwas geringer ausfallen als beim Maschinengebäude. Die Setzungsdifferenzen zwischen Maschinengebäude und Belebungsbecken können minimiert werden, wenn das Maschinengebäude zuerst errichtet wird. Dadurch kann ein Großteil der Setzungen bereits eintreten, bevor der Anschluss an das Belebungsbecken erfolgt und schädliche Differenzsetzungen können weitestgehend ausgeschlossen werden.

Für den Entwurf und die Ausführung der elastisch gebetteten Bodenplatte werden noch folgende Hinweise gegeben:

- Unter der Bauwerkssohle ist eine Sohlfilterschicht aus gut durchlässigem Material als Teil des Sicherheitsdränsystems und des Umläufigkeitssystems vorzusehen (vgl. Abschnitt 7). Sind unter hohen Stützenlasten voutenartige Verstärkungen der Bodenplatte

erforderlich, so kann unter solchen Vouten auf die Anordnung von körnigem Material verzichtet werden. Voraussetzung ist, dass das körnige Material in den Flächen dazwischen ein hydraulisch zusammenhängendes System bildet, mit dem der Grundwasserstand sicher auf das Niveau des Bemessungswasserstandes begrenzt werden kann.

- ▶ Das körnige Material der Sohlfilterschicht ist sachgemäß zu verdichten ($D_{Pr} \geq 100 \%$). Die Filterschicht soll an den Rändern der Gründungsplatte einen seitlichen Überstand aufweisen, damit auch im Randbereich eine einwandfreie Verdichtung möglich ist.
- ▶ Die Gründungssohlen dürfen beim Aushub nicht aufgelockert werden. Wir empfehlen, die Aushubsohle nachzuverdichten.
- ▶ Aufgelockerte oder weiche Böden oder aus anderen Gründen nicht tragfähige Böden in der Aushubsohle sind gegen tragfähiges Material auszutauschen.
- ▶ Nach dem Aushub der Baugrubensohle soll der Baugrundgutachter zu einer Überprüfung der Untergrundverhältnisse hinzugezogen werden.
- ▶ Die Gründungsarbeiten erfolgen unterhalb des Grundwasserspiegels. Die Arbeiten sind daher Bestandteil des erforderlichen wasserrechtlichen Erlaubnisverfahrens (vgl. Abschnitt 10).

Unter Umständen muss das Bauwerk gegen Auftrieb gesichert werden (vgl. Abschnitt 7.2).

4.3 Nachklärbecken 5

Das kreisrunde Bauwerk wird im äußeren Bereich zwischen ca. 1,6 m und ca. 3,0 m in das Gelände einschneiden. Die Baugrubensohle wird nach uns vorliegenden Planunterlagen auf Höhengniveaus zwischen ca. 424,1 m NN und ca. 422,7 m NN verlaufen. Nach den Ergebnissen der Baugrunderkundung stehen in diesem Tiefenbereich vorwiegend Umlagerungsböden bzw. die Talablagerungen der Schwippe und in geringem Umfang die Schichten des vollständig verwitterten Gipskeupers an. Wie oben beschrieben, weisen die Talablagerungen ungünstige Konsistenzen auf und sind stark kompressibel; der Gipskeuper weist eine bessere, jedoch heterogen verteilte Beschaffenheit auf. Im mittleren Bereich des Beckens erfolgt eine deutliche Vertiefung, der Geländeeinschnitt wird hier ca. 7,7 m betragen. Damit verläuft die dortige Baugrubensohle in den Schichten des vollständig verwitterten Gipskeupers.

Nach den Ergebnissen unserer Setzungsberechnungen für eine elastisch gebettete Bodenplatte sind Setzungen zwischen ca. 3 cm und ca. 7,5 cm zu erwarten, wobei sich aufgrund der unterschiedlichen Beschaffenheit des Gipskeupers eine leichte Schiefstellung durch Setzungsdifferenzen ergeben könnte (vgl. Anlagen 2.5 und 2.6).

Auch hier ist im äußeren Bereich unterhalb der Bodenplatte des Beckens mit nennenswerten Mengen an Torf zu rechnen (Dicke bis ca. 1 m). Möglicherweise kann hier eine Flachgründung (elastisch gebettete Bodenplatte) in Verbindung mit einem Bodenaustausch der Talablagerungen ausgeführt werden. Als Alternative ist analog zum Belebungsbecken an eine Pfahlgründung zu denken (siehe oben).

Im Zusammenhang mit einer elastisch gebetteten Bodenplatte gelten die Hinweise in Abschnitt 4.2 sinngemäß. Für eine Gründung auf Rammpfählen gelten die Hinweise des Abschnitts 4.1 sinngemäß.

Soll ein Bodenaustausch ausgeführt werden, sind wir gerne bereit, hierzu nähere Angaben zu machen.

4.4 Nachklärbecken 2 bis 4

Im Bereich der bestehenden Nachklärbecken 2 bis 4 gibt es die Überlegung, diese nur teilweise abzubrechen und die neuen Becken, evtl. unter Zwischenschaltung einer Auffüllung, in den alten Becken zu platzieren. Nach uns vorliegenden Plänen sind die Bestandsbecken 3 und 4 auf FRANKI-Pfählen gegründet, während das Becken 2 flach auf dem natürlichen Untergrund aufgelagert wurde. Zur Auftriebssicherung sind bei allen drei Becken wahrscheinlich GEWI-Pfähle ausgeführt worden.

In den alten Planunterlagen für die Becken 3 und 4 sind im äußeren Bereich der Bauwerke jedoch keine FRANKI-Pfähle eingezeichnet. Dies erscheint uns fragwürdig, zumal in weiteren Unterlagen von einer flächigen Verteilung der Pfähle die Rede ist. Eine Überprüfung der tatsächlichen Gründungssituation würde einen großen Aufwand erfordern (siehe folgende Ausführungen).

Zur Bestandsgründung müssen weitere Informationen erhoben werden.

Unter der Annahme, dass die neu geplanten Becken in die alten gestellt werden, würde dies eine deutliche Lasterhöhung zur Folge haben, für die die bestehende Gründung höchstwahrscheinlich nicht ausgelegt ist. Eine nachträgliche Ertüchtigung der vorhandenen Pfahlgründung halten wir unter den gegebenen Umständen für schwierig. Zunächst müsste man hierfür

die alten Pfähle lokalisieren und die neuen in den Zwischenräumen abteufen. Die alten Unterlagen zur Gründung sind aus unserer Sicht für diesen Zweck nicht oder nur eingeschränkt geeignet, sodass für die Lokalisierung eine aufwendige Erkundung inklusive dem Öffnen der bestehenden Bodenplatte erforderlich wäre. Außerdem ist das Gelände des Klärwerks als bombardierter Bereich eingestuft. Für das Einbringen neuer Pfähle als Tiefgründungselemente wären daher an jeder Position zusätzliche Kampfmittelsondierungen erforderlich.

Zur Überprüfung, mit welchen Setzungen bei den Nachklärbecken 3 und 4 maximal zu rechnen ist, haben wir Setzungsberechnungen für eine Flachgründung der neuen Becken auf einer elastisch gebetteten Bodenplatte durchgeführt, bei denen in einer Variante eine zwischengeschaltete Auffüllung berücksichtigt wurde und in einer anderen die neue Bodenplatte direkt auf die alte aufgelegt wird. Für die Setzungsberechnungen wurden die bestehenden Bodenplatten der alten Becken sowie deren vorhandene Gründungselemente nicht berücksichtigt. Es ergaben sich dabei Beträge für Setzungen am Rand von ca. 6 cm und bis zu ca. 12 cm im Innenteil der Becken (vgl. Anlagen 2.7 bis 2.8). Aus den Berechnungen lässt sich ein Bettungsmodul von etwa $k_s = 1 \text{ MN/m}^3$ ableiten. Um einen oberen Grenzwert der Bettungsziffer für die auf Pfählen gegründeten Bereiche der Nachklärbecken 3 und 4 grob abschätzen zu können, schlagen wir vor, davon auszugehen, dass sich unter der einwirkenden Last von etwa 100 kN/m^2 Setzungen in einer Größenordnung von mindestens etwa 1 cm einstellen. Die Bettungsziffer für diese Bereiche beträgt dann etwa $k_s = 10 \text{ MN/m}^3$.

Durch die bestehenden Gründungen und die alten Bodenplatten werden die ermittelten Setzungsbeträge möglicherweise deutlich reduziert. Erfahrungsgemäß treten ca. 50 % bis 60 % der Setzungen bereits innerhalb weniger Wochen nach Lastaufbringung ein. Da die einzelnen Teilbereiche der biologischen Reinigungsstufe über Leitungen miteinander verbunden werden sollen und daher Setzungen so gering wie möglich zu halten sind, empfehlen wir, die Leitungsverbindungen erst zu installieren, wenn der Großteil der Setzungen abgeklungen ist.

Als Auffüllmaterial für die Zwischenschicht zwischen alter und neuer Bodenplatte wurden von Seiten der Bauherrschaft die auf dem Betriebsgelände zwischengelagerten Lavasteine aus den Tropfkörpern vorgeschlagen. Hinsichtlich der Eignung der Lavasteine als Auffüllmaterial haben wir der Bauherrschaft mit E-Mail vom 25.05.2020 unsere Einschätzung zukommen lassen. Darin wird erläutert, dass wir die Lavasteine aus bodenmechanischer Sicht generell für gut verdichtbar und für einen Einbau als Auffüllmaterial zwischen bestehender und neuer Bodenplatte des jeweiligen Beckens für geeignet halten. Wir weisen aber auch darauf hin, dass es aufgrund der chemischen Zusammensetzung zu deutlichen Einschränkungen hinsichtlich Einbaukonfiguration bei der Wiederverwertung kommen kann. Dieses Thema befindet sich momentan in Klärung. Grundsätzlich gilt: Die Auffüllung in den Becken muss mit optimal verdichtetem grobkörnigem Material erfolgen, um die Setzungen infolge einer Zusammendrückung der Auffüllung gering zu halten.

Sofern Setzungen in der oben genannten Größenordnung in Kauf genommen werden können und auch die Setzungsunterschiede bzw. Steifigkeitsunterschiede zwischen den Bereichen mit und ohne Pfähle vom Bauwerk schadlos aufgenommen werden können, kommt es in Betracht, die neuen Becken ohne eine Ertüchtigung der Gründung in die bestehenden Becken zu stellen. Die vorhandenen Pfähle können dabei lediglich als Setzungsbremse betrachtet werden, sodass eine Überbeanspruchung der Pfähle zu vertreten wäre.

Vor einer endgültigen Entscheidung über die Gründung der Nachklärbecken 2 bis 4 empfehlen wir, nähere Informationen zur Bestandsgründung zu erheben.

4.5 Leitungstrasse, Grund- und Verbindungsleitungen zwischen den Bauwerken

Die geplante Leitungstrasse umrahmt das zukünftige Baufeld entlang seines südlichen und westlichen Randes und liegt knapp auf der Innenseite des Erdamms. Nach uns vorliegenden Unterlagen wird der Leitungsgraben eine Breite von ca. 2,7 m haben; das Sohlniveau wird bei ca. 421,7 m NN und damit ca. 2,5 m bis 3,2 m unter dem Bestandsgelände liegen. Die Leitungssohle würde demnach noch knapp in den Talablagerungen, mit, wenn überhaupt, geringem Abstand zum Gipskeuper verlaufen.

Nach dem uns vorliegenden Lageplan sind außerhalb der Neubaukörper noch weitere Grundleitungen (Verbindungsleitungen) verschiedener Durchmesser vorgesehen. Je nach Höhenniveau der Sohlen werden die Leitungen zwischen den einzelnen Bauwerken eventuell innerhalb der Schichten des Gipskeupers verlaufen.

Leitungen, deren Sohlen bereits innerhalb der Gipskeuperschichten liegen, können aus unserer Sicht mit dem entsprechenden Unterbau direkt auf den Untergrund aufgelagert werden (vgl. Abschnitt 6). Wo die Leitungssohlen innerhalb der weichen, teilweise breiigen Talablagerungen verlaufen, kann es zu beträchtlichen Setzungen kommen. Hier bietet sich bei geringem Abstand zum Gipskeuper ein Bodenaustausch an.

Die Verbindungsleitungen zwischen den Bauwerken liegen möglicherweise zum Teil auch oberhalb des bestehenden Geländeneiveaus. In diesen Bereichen wären dann künstliche Auffüllungen erforderlich (vgl. Abschnitt 8). Durch die Last der Auffüllung sowie durch die langfristige Zersetzung der organischen Beimengungen im Boden (Torf) ergibt sich eine beträchtliche Setzung des natürlichen Untergrundes (Konsolidierung). Davon sind auch die Rohrleitungen betroffen. Von einer Flachgründung der Rohrleitungen auf einem Bodenaustausch muss hier deshalb abgeraten werden. Es ist vielmehr an eine Tiefgründung zu denken, bei der die Rohre auf Pfahljochen aufgelegt werden. Auch andere Lösungen, wie eine tief reichende Bodenverbesserung unterhalb der Leitungen, sind möglich.

Für weitere Hinweise und Angaben zum Leitungsbau (z. B. Aushub und Sicherung, Rohrauf-lagerung) vergleiche Abschnitt 6.

Wo die Sohlen von Rohrleitungen in geringer Tiefe verlaufen ($< 1,6$ m), besteht die Gefahr von Setzungen infolge Schrumpfen (vgl. Abschnitt 3). Dieser Gefahr kann durch eine Auflagerung der Rohre auf Pfahljochen Rechnung getragen werden. Durch einen Bodenaustausch bis mindestens 1,6 m Tiefe kann das Risiko von Schrumpfschäden reduziert werden.

5 Baugrubengestaltung und -sicherung, Wasserhaltung

Sofern die Platzverhältnisse dafür ausreichend sind, können Baugruben grundsätzlich mit Böschungen angelegt werden. Sofern die Baugrubensohlen nicht oder nur geringfügig unter den Grundwasserspiegel reichen, können die Böschungen aufgrund der sehr ungünstigen Beschaffenheit der Talablagerungen jedoch nur mit sehr flacher Neigung ($\beta \leq 40^\circ$) angelegt werden. Voraussetzung ist, dass die Böschungskrone lastfrei bleibt und auch die übrigen Vorgaben der DIN 4124 eingehalten werden. Selbst bei so flacher Neigung kann es nicht sicher ausgeschlossen werden, dass es zu Ablösungen und Rutschungen in den Böschungen kommt, sodass eine Stabilisierung der betroffenen Böschungsbereiche mit Schottervorschüttungen erforderlich wird.

Bei Baugruben, die bis unter den Grundwasserspiegel reichen oder bei denen die Platzverhältnisse zur Herstellung freier Böschungen nicht ausreichen, empfehlen wir, die Baugruben mit einem Spundwandverbau zu umschließen. Diese Verbauart ist kostengünstig und bietet den Vorteil, dass der Wasserandrang in die Baugrube aufgrund des Absperrens seitlicher Zuflüsse verringert wird. Dabei empfiehlt es sich, eine möglichst tiefe Einbindung der Spundwände vorzusehen, um die Grundwasserzutritte auch im Fußbereich des Verbaus gering zu halten (Vorschlag: ≥ 3 m).

Durch die Sicherung der Baugruben mit einem Verbau wird im Vergleich zu einer geböschten Baugrube das erforderliche Aushubvolumen reduziert. Da die Aushubentsorgung aufgrund der ungünstigen Beschaffenheit und der hohen organischen Anteile voraussichtlich kostspielig ist, ist die Herstellung eines Verbaus unter Umständen auch dann eine wirtschaftliche Variante, wenn grundsätzlich die Anlage von Böschungen möglich ist.

Beim Einbringen der Spundbohlen werden bereichsweise, insbesondere in bindigen Böden von halbfester Konsistenz, Einbringhilfen erforderlich sein (z. B. Lockerungsbohrungen, Spülhilfen, auch Hochdruckspülung). Falls eine Einbindung in feste Schichten erforderlich ist, müssen Austauschbohrungen ausgeführt werden.

Das Grundwasser, das bei tieferen Baugruben an der Baugrubensohle von unten aufdringt, kann grundsätzlich mit einer offenen Wasserhaltung in Verbindung mit einer flächenhaften Filterschicht (Dicke: mindestens 20 cm), Dränggräben und Pumpensäugern beherrscht werden. Das geförderte Wasser wird über ein Absetzbecken gegebenenfalls mit einer Neutralisationseinrichtung geleitet. Die geförderte Wassermenge muss mittels einer Zählrichtung erfasst und protokolliert werden. Bei der Ableitung in den Kanal oder die Schwippe sind die Grenzwerte des Lösungsinhalts und des pH-Werts entsprechend der Einleiterrichtlinien bzw. der wasserrechtlichen Erlaubnis einzuhalten (vgl. Abschnitt 10).

Bei Baugruben, die nennenswert tief unter den Grundwasserspiegel einschneiden, besteht die Gefahr, dass es infolge des aufdringenden Grundwassers zu Beeinträchtigungen der Ausgrabensohle kommt (Sohlaufbruch). Wir empfehlen daher, in diesem Fall Entspannungsbrunnen bzw. -bohrungen in weitmaschigem Raster herzustellen. In diesen Brunnen aufdringendes Wasser kann dann über die flächenhafte Filterschicht auf der Baugrubensohle abgeleitet und in der offenen Wasserhaltung gefasst werden.

Aufgrund der großen Anzahl der dicht beieinander geplanten Gebäude und des teilweise großen Einschnitts werden die Platzverhältnisse vermutlich nicht überall ausreichend sein, um freie Böschungen anzulegen, zumal der Wasserandrang bei großem Einschnitt auch dementsprechend stark wäre.

Nach den uns vorliegenden Angaben ist die Unterkante der Bodenplatte des **Maschinengebäudes** überwiegend auf einem Niveau von 419,4 m NN geplant. In einem Teilbereich (Selektoren) liegt die Unterkante der Bodenplatte etwa 1,5 m höher. Hier wird jedoch eventuell ein Bodenaustausch ausgeführt, sodass in diesem Fall die Baugrube auch hier tiefer reicht. Die Einschnittstiefe im Bereich des Maschinengebäudes wird voraussichtlich etwa 5,5 m betragen. Die Baugrubensohle wird etwa 2,6 m unter dem Grundwasserspiegel verlaufen. Wir empfehlen, die Baugrube des Maschinengebäudes mit einer Spundwand zu sichern.

Die Unterkante der Bodenplatte des **Belebungsbeckens** ist gemäß den Angaben der Planer auf 422,8 m NN oder auf 423,3 m NN vorgesehen. Die Geländeoberfläche verläuft derzeit etwa bei 425,0 m NN und Grundwasser wurde etwa bei 422,1 m NN angetroffen. Die Einschnittstiefe der Baugrube beträgt somit etwa 2,2 m und die Baugrubensohle liegt bei Normalwasserstand voraussichtlich oberhalb des Grundwasserspiegels. Unter den gegebenen Randbedingungen erscheint es hier vertretbar, die Baugrube mit Böschungen anzulegen, sofern die Platzverhältnisse dazu ausreichend sind. Andernfalls kommt hier ebenfalls eine Sicherung mit Spundwänden in Betracht.

Die Unterkante der Bodenplatte des **Nachklärbeckens 5** ist, abgesehen von einer trichterförmigen Vertiefung in der Bauwerksmitte, auf einem Niveau von 422,7 m NN bis 424,1 m geplant. Die Vertiefung in der Bauwerksmitte ist mit einer Bodenplattenunterkante bei 418,0 m NN geplant.

Die Geländeoberfläche verläuft im Bereich vom Nachklärbecken 5 etwa zwischen 423,8 m NN und 424,6 m NN. Die Einschnittstiefe variiert somit außerhalb des Vertiefungsbereiches zwischen 0 m und ca. 2 m. Die zentrale Vertiefung reicht etwa 6 m unter Gelände. Der Grundwasserspiegel wurde etwa bei 422,0 m NN angetroffen. Bei Normalwasserständen reicht somit nur die Vertiefung bis unter den Grundwasserspiegel. Im Bereich der Vertiefung wird es erforderlich sein, die Baugrube mit einer Spundwand zu umschließen. Die Baugrube für den übrigen Beckenbereich kann voraussichtlich mit Böschungen angelegt werden.

Die **Nachklärbecken 2 bis 4** werden in die bestehenden Becken gesetzt, so dass zur Herstellung der neuen Becken keine Baugrube angelegt werden muss. Die bestehenden Becken müssen jedoch zur Einbringung der Verfüllung unter den neuen Becken und zur Herstellung der neuen Becken vollständig entleert werden. Dabei ist eine ausreichende Auftriebssicherheit der bestehenden Becken sicherzustellen.

Am südlichen Rand des Baufeldes soll als Ersatz für einen bestehenden Hochwasserschutzdamm eine Spundwand hergestellt werden. Für diese Spundwand sind die weiter unten gegebenen Hinweise zur Spundwandherstellung ebenfalls gültig.

Bei der Planung und Herstellung der Spundwände sind die folgenden Hinweise zu beachten:

- ▶ Nach dem Ergebnis der beiden bisherigen Baugrunderkundungen sind die Talablagerungen und die oberen Meter der verwitterten Gipskeuperschichten rammbaar. Um Spundwände in die steifen bis halbfesten, mit Mergelsteinlagen durchzogenen Gipskeuperschichten einzubringen, sind voraussichtlich Einbringhilfen (Lockerungsbohrungen) erforderlich.
- ▶ Der Bemessung sind die Bodenkennwerte aus Teil I Abschnitt 4.4 zugrunde zu legen.
- ▶ Zur Beschränkung von Verformungen und Rissbildungen in angrenzenden Verkehrsflächen sollte zumindest ein leicht erhöhter aktiver Erddruck $E_h = 0,75 \cdot E_{ah} + 0,25 \cdot E_0$ der Bemessung zugrunde gelegt werden. Im Einflussbereich von Bauwerken und sehr verformungsempfindlichen Leitungen empfehlen wir, einen erhöhten aktiven Erddruck mit $E_h = 0,5 \cdot E_{ah} + 0,5 \cdot E_0$ anzusetzen. Dabei sind außer der Standsicherheit stets auch die zu erwartenden Verformungen des Verbaus nachzuweisen.
- ▶ Bei der Verbaubemessung muss auch der Wasserdruck, der sich aus dem Grundwasserspiegel außerhalb der Baugrube bzw. aus dem Bemessungswasserstand im Bauzustand ergibt, berücksichtigt werden. Zusätzlich ist zu prüfen, ob eine ausreichende Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch gegeben ist.
- ▶

- ▶ Die Spundwände sind mit Schlossdichtungen auszuführen, um die zutretende Wassermenge gering zu halten.
- ▶ Der Bemessungswasserstand für den Bauzustand zur Bemessung der Baugrubensicherung wird in der Regel auf einem niedrigeren Niveau festgelegt als der Bemessungswasserstand für das Gebäude im Endzustand. Dabei werden Flutungsöffnungen in der Verbauwand vorgesehen, sodass im Falle einer Überschreitung des Bemessungswasserstandes die Baugrube geflutet wird. Im vorliegenden Fall erscheint es uns angemessen, den Bemessungswasserstand für den Bauzustand beispielsweise auf einem Niveau von $BWS_{\text{Verbau}} = 422,5 \text{ m NN}$ festzulegen. Dieser Wert liegt etwa 30 cm über den bislang im Baufeld gemessenen höchsten Wasserständen.
- ▶ Bezüglich des Erddruckansatzes (aktiver Erddruck, erhöhter aktiver Erddruck oder Erdruchedruck) verweisen wir auf die Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB²).
- ▶ Zum Einbringen der Spundwand muss eine tragfähige Arbeitsebene zur Verfügung stehen, um das erforderliche Gerät sicher aufstellen und versetzen zu können. Hierfür muss eine Befahrebene angelegt werden (z. B. mindestens 40 cm dicke Schottertragschicht).
- ▶ Beim Einbringen der Spundwand treten Erschütterungen auf. Es ist zu prüfen, ob diese in der Nachbarschaft der Baugrube schädliche Auswirkungen haben können.
- ▶ Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass beim Einbringen der Spundwände je nach Einbringungsmethode erheblicher Lärm entsteht.
- ▶ Nach Fertigstellung der Gebäude müssen die Spundwände wieder gezogen werden, um die erforderliche Umläufigkeit und Unterläufigkeit für das Grundwasser sicherzustellen.
- ▶ Da die Verbauarbeiten in grundwasserführende Schichten reichen, werden sie Bestandteil des erforderlichen wasserrechtlichen Erlaubnisverfahrens sein (vgl. Abschnitt 10).
- ▶ Vor Ausführung der Verbauarbeiten sind weitere Maßnahmen zur Kampfmittelprüfung erforderlich (vgl. Abschnitt 11).

Im Zusammenhang mit der Baugrubenherstellung (siehe oben) werden **Wasserhaltungsmaßnahmen** erforderlich. In den unter den Grundwasserspiegel reichenden Baugruben wird

² EAB: Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 5. Auflage, herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2012

Grundwasser abgeleitet; hinzu kommt Niederschlagswasser. Auch in den Baugruben, die nicht unter den Grundwasserspiegel reichen, ist zumindest eine Tagwasserhaltung vorzusehen, um anfallendes Niederschlagswasser schnell abzuleiten, da die Baugrubensohlen sonst aufweichen.

Aufgrund der Inhomogenitäten des Untergrundes und der sehr unterschiedlichen Aushubtiefen lässt sich die Menge des in den jeweiligen Baugruben anfallenden Wassers nicht verlässlich vorhersagen. Als Anhaltspunkt kann aber die beim Bau der benachbarten Anlage zur Aktivkohlebehandlung registrierte Menge des Wasserandrangs dienen (vgl. Abschnitt 1). Das kreisrunde Bauwerk hat einem Durchmesser von ca. 58 m und das Niveau der Aushubsohle lag überwiegend auf einem Niveau von ca. 421,6 m NN, der Einschnitt in das vorhandene Gelände betrug ca. 2,5 bis ca. 3,5 m. Im Bereich der Trichterspitze in der Beckenmitte vertiefte sich der Aushub kleinräumig auf < 419,1 m NN. An der West-, Nord- und Ostseite wurden damals freie Böschungen angelegt und die Südseite wurde aus Platzgründen mit einer Spundwand gesichert. Im Rahmen der Bauzeit für dieses Gebäude wurde in der Zeit vom 26.07. bis zum 17.11.2010 (ca. 114 Tage) eine Wasserhaltung betrieben. In diesem Zeitraum wurde eine Gesamtwassermenge von ca. 34.800 m³ aus der Baugrube abgeleitet, was einer durchschnittlichen Förderrate von ca. 3,6 l/s entspricht (inklusive anfallendem Niederschlagswasser).

Unter Berücksichtigung der gemessenen Wasserstände, der Durchlässigkeit der anstehenden Böden sowie der Grundflächen und Einschnittstiefen kann im vorliegenden Fall eine grobe Abschätzung der in den jeweiligen Baugruben anfallenden Wassermengen erfolgen. Für das Nachklärbecken 5, das eine ähnliche Größe sowie Ausbildung mit der Vertiefung zur Trichtermitte aufweist, kann von einer ähnlichen Größenordnung wie bei der Anlage zur Aktivkohlebehandlung ausgegangen werden (ca. 4 l/s). Das Belebungsbecken weist einen Einschnitt von ca. 3 m auf und der Aushub wird auf einer Grundfläche von ca. 124 m x 46 m erfolgen. Aufgrund der größeren Dimension sollte hier mit einem Wasserandrang von ca. 7 l/s zu rechnen sein. Das von der Grundfläche her vergleichsweise kleine Maschinengebäude schneidet zwischen ca. 4 m und ca. 5,5 m in das Gelände ein. Hier wird die zutretende Wassermenge vermutlich bei ≤ 3 l/s liegen. Eine genauere Vorhersage ist nach der Dimensionierung der gesamten Absenkanlage und nach entsprechenden Pumpversuchen möglich.

Bei der Planung und Ausführung des **Baugrubenaushubs** sind die folgenden Hinweise zu beachten:

- ▶ Der Oberboden ist abzuschieben, geschützt zwischenzulagern und einer Wiederverwendung zuzuführen.
- ▶ Beim Aushub der Baugrube werden durchgehend bindige Böden angeschnitten (Auffüllungen, bindige Talablagerungen, Gipskeuper, vollständig verwittert; vgl. Einstufung in Abschnitt 4.3 im Teil I des Geotechnischen Berichts vom 16.08.2019). Sie lassen sich mit gewöhnlichem Gerät problemlos lösen.

- ▶ Im Hinblick auf die Wiederverwertung / Entsorgung und abfalltechnische Bewertung des anfallenden Aushubs verweisen wir auf Abschnitt 9.
- ▶ Die Baugrubensohlen werden in Ton- und Torfböden verlaufen. Diese Böden neigen bei Wasserzutritten zu tiefreichender Durchfeuchtung. Niederschlags- und in den Baugruben anfallendes Grundwasser ist deshalb möglichst vollständig mittels Abzugsgräben und Dränleitungen zu fassen und zu Pumpensämpfen abzuleiten.
- ▶ Die an der Baugrubensohle (Erdplanum) anstehenden bindigen Böden sind aufgrund ihrer überwiegend ungünstigen Konsistenz und Beschaffenheit ohne zusätzliche Maßnahmen für Baugeräte nicht befahrbar (z. B. Pfahlherstellungsgerät). Hierzu kommen der Einbau einer Schottertragschicht, eine Stabilisierung mit hydraulischem Bindemittel oder eine Kombination aus beiden Verfahren zur Herstellung einer **Arbeitsebene** in Betracht.
- ▶ Bei einer Bodenstabilisierung mit hydraulischem Bindemittel wird dieses zunächst ca. 40 cm tief in das Erdplanum eingefräst und anschließend erfolgt eine sachgemäße Verdichtung ($D_{Pr} \geq 100 \%$). Die erforderliche Bindemittelzugabe des Kalk- oder Kalk-Zement-Gemischs beträgt in der Regel 2 – 5 Gew.-% (bezogen auf die Trockenmasse). Die optimale Zugabemenge kann in Testfeldern oder mit Eignungstests bestimmt werden. Die Zumischung des Bindemittels muss mit einer leistungsfähigen Bodenfräse erfolgen. Als Stabilisierungsmittel haben sich Kalk-Zement-Gemische als weniger empfindlich gegen Verwehung bewährt. Dies ist im Hinblick auf die mögliche Beeinträchtigung benachbarter Gebäude von Bedeutung. Sofern eine solche Stabilisierung ausgeführt werden soll, geben wir gerne weitere Hinweise.
- ▶ Sofern die Baugrubensohle mit hydraulischem Bindemittel stabilisiert wird, empfehlen wir, auf dem stabilisierten Erdplanum zusätzlich eine mindestens 20 cm dicke Schicht aus Schotter, z. B. 0/56 mm, aufzubringen. Auf ein geotextiles Vlies kann in diesem Fall verzichtet werden. Ohne vorherige Stabilisierung sollte die Arbeitsebene eine Mindestdicke von 40 cm aufweisen. Eine flächige Arbeitsebene kann unter der späteren Filterschicht eingebaut bleiben. In Bereichen, in denen stark organische Böden in der Baugrubensohle anstehen, ist eine Bodenstabilisierung voraussichtlich nicht möglich. Hier muss zur Stabilisierung der Sohle eine mindestens 40 cm dicke Schottertragschicht eingebaut und an der Basis eventuell noch ein Geogitter verlegt werden. Zusätzlich sollte an der Basis der Schottertragschicht noch ein Vlies verlegt werden.
- ▶ Das Material der Arbeitsebene ist lagenweise verdichtet einzubauen, da hierauf anschließend ggf. die Filterschicht hergestellt wird. Um Auflockerungen infolge Befahrung

der Arbeitsebene zu beseitigen, empfehlen wir, diese vor dem Aufbringen der Filterschicht nochmals nachzuverdichten.

- ▶ Wenn die Baugrube bzw. das Erdplanum über längere Zeit offen steht, bevor die Arbeitsebene eingebaut wird, empfiehlt es sich, auf der planmäßigen Aushubsohle zunächst eine Schutzschicht zu belassen (Dicke: ≥ 30 cm), damit die Aushubsohle nicht durch Befahrung oder Witterungseinflüsse gestört oder aufgeweicht wird.
- ▶ Zur Vermeidung von Auflockerungen des Untergrundes sind das endgültige Aushubplanum und die Böschungen mit einem Baggerlöffel mit unbezahnter Schneide zu profilieren.
- ▶ Bei der Aufstellung von Kränen an der Böschungskrone darf die Standsicherheit der Baugrubenböschungen nicht gefährdet werden.
- ▶ Nach dem Aushub der Baugrube und in allen Zweifelsfällen soll der Baugrundgutachter zur Abnahme der Baugrubensohle hinzugezogen werden.
- ▶ Im Zusammenhang mit dem Schutz des Erdplanums (Aushubsohle) gegen Witterungseinflüsse verweisen wir auch auf Abschnitt 4.4 der ZTV E-StB 17³.

6 Leitungsbau

Nach unserer Kenntnis ist geplant, für die Verlegung der Zuläufe zwischen den einzelnen Bauwerken Leitungen in offenen Gräben herzustellen. Nach den Ergebnissen der Baugrunderkundung stehen im Bereich der Grabensohle für die Leitungstrasse überwiegend weiche, teilweise breiige Böden an, die bereichsweise vermutlich nur einen geringen Abstand zum mindestens steifen Gipskeuper aufweisen. Die Leitungen müssen im weichen Untergrund auf einer ausreichend dicken Bettungsschicht verlegt werden. Bereichsweise ist eventuell auch eine Tiefgründung für die Leitungen erforderlich (vgl. Abschnitt 4). Für die Auflagerung von Leitungen gelten die Richtlinien der DIN EN 1610 und des Arbeitsblattes DWA-A 139⁴.

Beim Aushub der Leitungsgräben werden überwiegend bindige Böden und teilweise organische Böden der Talablagerungen anfallen.

³ ZTV E-StB 17: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 2017, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

⁴ Arbeitsblatt DWA-A 139: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen.- Hrsg.: DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. Hennef, 2009

Die Leitungsgräben werden bereichsweise so tief (z. B. beim Nachklärbecken 5), dass auch hier eine Grabensicherung durch Spundwände oder Kanaldielen empfohlen wird.

In den Leitungsgräben wird Niederschlagswasser und in tiefen Gräben eventuell Grundwasser anfallen. Das anfallende Wasser muss gefasst und abgeleitet werden.

Die Rohre können grundsätzlich auf einer Bettung nach Typ 1 gemäß dem Arbeitsblatt DWA-A 139 verlegt werden. Dabei soll die Dicke der unteren Bettungsschicht⁵ für den jeweiligen Abschnitt $10\text{ cm} + 1/5\text{ DN}$ (DN = Nennweite der Rohrleitung, bei DN = 1200 mm also mindestens 34 cm) betragen. Das Material für die Bettungsschicht muss die Anforderungen der gültigen Vorschriften und Richtlinien erfüllen.

Bei größerer Dicke der Weichzonen kann unter der unteren Bettungsschicht „a“ nach Bild 10 der DWA-A 139 ein partieller Bodenaustausch in Form einer Tragschicht aus gut verdichtetem körnigem Fremdmaterial angeordnet werden (mit reißfestem Geotextil umhüllt). Die erforderliche Dicke dieses Bodenaustausches richtet sich nach dem Rohrdurchmesser und der Dicke der Weichzonen. Als Anhaltswert für die gesamte maximale Dicke d der unteren Bettung (untere Bettungsschicht a + Bodenaustausch) kann von $d = 0,7\text{ DN}$ ausgegangen werden (bei DN = 1200 mm also ca. 84 cm). Wenn die tragfähige Schicht bereits auf höherem Niveau einsetzt, verringert sich die Dicke der Tragschicht entsprechend.

Um gleichmäßige Setzungen der Leitungen zu verhindern, ist es zumindest in Teilbereichen voraussichtlich erforderlich, die Leitungen auf Pfählen zu gründen (vgl. Abschnitt 4.5).

Bei Grundwasserzutritten in den Leitungsgraben sind Maßnahmen vorzusehen, um die dauerhaft dränierende Wirkung des Rohraufagers und der Leitungszone zu verhindern. Wir empfehlen deshalb, an jeder Schachthaltung, mindestens jedoch alle 25 m, Sperrriegel aus Beton oder bindigem Boden einzubringen.

Sie müssen dicht an den Schacht anschließen und an den Sohlen sowie an den Seiten der Gräben etwa 30 cm in den anstehenden Untergrund einbinden. Dadurch soll eine langfristig unerwünschte Längsläufigkeit für das Grundwasser und eine dadurch bedingte Beeinflussung des Grundwasserspiegels in der Umgebung vermieden werden. Wenn Sperrriegel im Bereich von Rohrleitungen angeordnet werden, empfehlen wir, sie aus Ton auszuführen, um ungleichmäßige Bettungen der Rohrleitungen zu vermeiden.

Bei der Grabenverfüllung kommt es darauf an, dass die Eigensetzungen auf ein Minimum beschränkt werden. Es gelten die Einbau- und Verdichtungsanforderungen nach den Abschnitten 9 und 4.3.2 der ZTV E-StB 17 und nach DIN EN 1610 sowie des Arbeitsblattes DWA-A 139 (dort Abschnitt 11).

⁵ Schicht 8 bzw. a nach Bild 1 im Arbeitsblatt DWA-A 139

Im Bereich der Leitungszone ist ein steinfreies, verdichtbares Material zu verwenden, an das die gleichen hohen Anforderungen zu stellen sind wie an die Auflagerschicht. Das Material ist beiderseits der Rohrleitung(en) gleichmäßig und lagenweise einzubringen und sorgfältig zu verdichten. Dabei dürfen nur leichte Verdichtungsgeräte eingesetzt werden.

Welche Anforderungen an die Verfüllung der Leitungsgräben zu stellen sind, hängt u. a. davon ab, welche späteren Setzungen an der Geländeoberfläche in Kauf genommen werden können. Unter Bauwerken und befestigten Oberflächen sind die Setzungen auf ein Minimum zu begrenzen. Unter Grünflächen können in der Regel gewisse Setzungen toleriert werden.

Um in jedem Fall eine technisch sichere Lösung bei der Grabenverfüllung ausführen zu können, empfehlen wir, in der Ausschreibung auch eine Wiederverfüllung mit geeignetem Fremdmaterial vorzusehen. Dafür kommt in erster Linie Tragschichtmaterial nach TL SoB-StB 04⁶ in Frage. Dabei handelt es sich um ein güteüberwachtes Material, das in stets gleichbleibender Qualität verfügbar ist und das auch bei ungünstigen Witterungsverhältnissen sachgemäß verdichtet werden kann, so dass sich eine nahezu verformungsfreie Grabenverfüllung ergibt.

Falls der Einbau von Recyclingmaterial erwogen wird, empfehlen wir, nur güteüberwachtes Material zu verwenden, das auch den Vorgaben und Richtlinien der TL Gestein-StB 04⁷ entspricht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aus wasserrechtlichen Gründen Recyclingmaterial in der Regel nur oberhalb des Grundwasserspiegels verwendet werden darf. Außerdem darf das Recycling-Material keine erhöhten Sulfatgehalte aufweisen. Häufig wird für die Hauptverfüllung auch Siebschutt eingesetzt, der vergleichsweise kostengünstig ist. Hierbei handelt es sich aber um ein nicht güteüberwachtes Material, das nicht in gleichbleibender Beschaffenheit und Kornverteilung anfällt und das in wechselnden Anteilen bindige Beimengungen enthält (Feinkorn). Sein Einbau ist deshalb nicht witterungsunabhängig. Bei günstiger Witterung und sachgemäßem Einbau kann aber auch mit diesem Material eine verformungsarme Grabenverfüllung erzielt werden.

Sofern das anfallende Aushubmaterial aus Talablagerungen und Gipskeuper frei von Steinen und Blöcken ist und eine mindestens halbfeste Konsistenz aufweist, kann es für einen verdichteten Wiedereinbau eventuell verwendet werden. In diesem Zusammenhang verweisen wir auch auf unsere E-Mail vom 15.07.2020 an die Bauherrschaft und Planer.

Sofern der Einbau von Verfüllmaterial nach Wahl des Auftragnehmers zugelassen wird, muss dessen Eignung und Verdichtbarkeit vor Beginn der Verfüllarbeiten nachgewiesen werden. Wir sind im Bedarfsfall gerne bereit, entsprechende Eignungsprüfungen durchzuführen oder die Ergebnisse von Eignungsprüfungen des Auftragnehmers zu beurteilen.

⁶ TL SoB-StB 04: Technische Lieferbedingungen für Baustoffgemische und Böden zur Herstellung von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau, Ausgabe 2004, Fassung 2007, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

⁷ TL Gestein-StB 04: Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im Straßenbau, Ausgabe 2004, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

Die Verfüllung ist über ihre gesamte Höhe lagenweise sachgemäß zu verdichten. Dabei gelten die Verdichtungsanforderungen entsprechend Abschnitt 4.3.2 der genannten ZTV E-StB 17. Die Verdichtungsqualität der Verfüllung ist im Zuge des lagenweisen Einbaus durch Eigenüberwachung nachzuweisen. Außerdem sind Kontrollprüfungen vorzunehmen (Fremdüberwachung).

Bei der Verdichtung der Grabenverfüllung ist zu beachten, dass keine schädlichen Erschütterungen an benachbarten Baulichkeiten ausgelöst werden dürfen. Gegebenenfalls empfiehlt es sich, nur leichte Verdichtungsgeräte einzusetzen und die Dicke der einzelnen Schüttlagen an die Leistungsfähigkeit der Geräte anzupassen.

7 Bauwerk und Grundwasser

7.1 Wasserdichte Wannen

Im Abschnitt 4.2 in Teil I unseres Geotechnischen Berichts vom 16.08.2019 wurden die örtlichen Grundwasserverhältnisse beschrieben. Nach dem Ergebnis der Baugrunderkundung liegt ein oberer Grundwasserspiegel in geringer Tiefe (ca. 2 m bis 3 m) unter Gelände, der mit einem tiefer liegenden, vermutlich gespannten zweiten Grundwasserleiter in hydraulischer Verbindung steht. Die geplanten Bauwerke reichen teilweise unter den bisher höchsten gemessenen Grundwasserspiegel. Außerdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass das Gelände bereits bei einem 50-jährigen Hochwasser (HQ₅₀) zumindest teilweise überflutet wird. Hinzu kommt, dass die geplanten Becken mit Abwasser befüllt werden. Aus diesen Gründen müssen die geplanten Bauwerke als wasserdichte, auftriebssichere Wannen ausgebildet werden.

Üblicherweise werden wasserdichte Wannen heute als sogenannte „Weiße Wannen“, d. h. als wasserdichte Betonkonstruktionen ausgeführt. Dazu werden wasserundurchlässiger Beton und Fugenbänder bzw. -bleche sowie eine die Rissbreiten beschränkende Bewehrung verwendet. Diese Ausbildung hat den Vorteil, dass eventuelle Risse leicht lokalisiert und verpresst werden können. Da Weiße Wannen jedoch nicht diffusionsdicht sind, ist mit dem Zutritt von Wasserdampf zu rechnen. Dies ist bei UG-Räumen mit hochwertiger Nutzung zu beachten; eventuell ist eine zusätzliche Abdichtung nach Art einer „Schwarzen Wanne“ vorzusehen oder eine neuartige sogenannte Frischbetonverbundfolie zu verwenden. Für die Nachklär- und Belebungsbecken ist dies nicht relevant, da sie ohnehin mit Abwasser befüllt werden. Ob dies für das Untergeschoss des Maschinengebäudes von Relevanz ist, ist von den Planern zu klären. Die Einzelheiten hierzu sind von den Planern festzulegen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine nachträgliche Verpressung von Rissen nur möglich ist, wenn diese sichtbar und zugänglich sind. Je nach Nutzung und Gestaltung der unter Gelände liegenden Bauteile ist dies unter

Umständen nicht gegeben. Wir weisen darauf hin, dass der Wasserspiegel im Baufeld gewissen Schwankungen unterliegt. Es ist deshalb nicht auszuschließen, dass zunächst über einen längeren Zeitraum niedrigere Wasserstände vorherrschen und der Wasserspiegel erst nach längerer Zeit ansteigt. In diesem Fall ist es möglich, dass Risse erst nach längerer Zeit auftreten und/oder sichtbar werden. Wir empfehlen, dies bei der Planung zu berücksichtigen.

7.2 Auftriebssicherung und Bemessungswasserstand

Für die statisch-konstruktive Durchbildung der Wanne benötigt man einen definierten, höchsten Wasserstand, den sog. Bemessungswasserstand. Bis zu diesem Niveau muss das als Wanne ausgebildete Bauwerk druckwasserdicht und auftriebssicher sein. In der Regel wird der Bemessungswasserspiegel für das Gebäude auf einem definierten Niveau festgelegt und ein Anstieg des Grundwasserspiegels über dieses Niveau hinaus durch ein Sicherheitsdränsystem begrenzt. Sofern keine langjährigen, statistisch auswertbaren Grundwasserstandsmessreihen vorliegen, wird zur Festlegung des Bemessungswasserstandes der höchste gemessene Grundwasserstand mit einem Sicherheitszuschlag erhöht, um die jahreszeitlich und witterungsbedingten Schwankungen des Grundwasserspiegels abzudecken. Somit wird sichergestellt, dass über die Sicherheitsdrainage, wenn überhaupt, nur bei außergewöhnlich hohen Grundwasserständen temporär Wasser abgeleitet wird, sofern es nicht zuvor wieder über die flächige Sohlfilterschicht im Untergrund versickert. Bei einer derartigen, seltenen und kurz andauernden Grundwasserableitung ergeben sich keine nachteiligen Auswirkungen auf den Grundwasserhaushalt und die Umgebung.

Im vorliegenden Fall werden überwiegend Becken gebaut, die im gefüllten Zustand wahrscheinlich unabhängig vom Grundwasserstand auftriebssicher sind. Lediglich bei z. B. im Revisionsfall geleerten Becken besteht eine Gefahr des Aufschwimmens.

Anders ist die Situation beim Maschinengebäude. In diesem Gebäude sind Betriebsräume im Untergeschoss vorgesehen. Hier besteht vermutlich eine Gefahr des Aufschwimmens bei hohen Wasserständen.

In unseren Gutachten für den Bau der Flockungsfiltration und der Anlage der Aktivkohlebehandlung (vgl. Abschnitt 1) hatten wir als Bemessungswasserstand das Niveau des vorhandenen Geländes (hier ca. 424,0 m NN) empfohlen. Bei den genannten Bauwerken wurde jedoch das zur Wasserhaltung im Bauzustand erforderliche Dränsystem so ausgeführt, dass im Bedarfsfall (Entleerung der Anlagen) der Grundwasserspiegel vorübergehend abgesenkt werden kann, um die Auftriebssicherheit der Bauwerke sicherzustellen (unter der Bauwerkssohle 30 cm dicke Filterschicht aus gut durchlässigem Schotter-Splitt-Gemisch der Körnung 2/45 mm oder 5/45 mm, eingelegte Dränrohre DN 150, Zusammenschluss der Dränleitungen

in randlichen Schächten). Nach Auskunft der Planer soll auch bei den geplanten Becken ein solches System ausgeführt werden. In diesem Fall ist der o. g. Bemessungswasserstand hinsichtlich der Auftriebssicherung der Becken wahrscheinlich nicht relevant und eine Auftriebs-sicherung durch besondere Maßnahmen (s. u.) ist nicht erforderlich. Wir empfehlen jedoch, für den Fall, dass die Wasserhaltung ausfällt während ein Becken geleert ist, eine Flutungsöffnung vorzusehen, die nach der Revision wieder druckdicht verschlossen werden kann. Außerdem empfehlen wir, das geplante Vorgehen der temporären Grundwasserabsenkung im Revisionsfall frühzeitig mit der Wasserrechtsbehörde abzustimmen.

Wo die Auftriebssicherheit des einzelnen Bauwerks nicht durch das Eigengewicht, die Überschüttung oder Überbauung erfüllt werden kann, sind ggf. besondere Maßnahmen erforderlich, wie z. B. Zugpfähle, Daueranker oder Ausbildung von seitlichen Überständen der Bodenplatte zur Aktivierung der Auflast der Arbeitsraumverfüllung. Sofern die Zugkräfte nicht vollständig mit Rammpfählen aufgenommen werden können und aus wirtschaftlichen Gründen keine Bohrpfähle ausgeführt werden sollen, wäre alternativ auch die Herstellung ergänzender Verpresspfähle mit kleinem Durchmesser möglich (sog. Mikropfähle nach DIN EN 14199:2012-01).

Solche zusätzlichen Maßnahmen zur Auftriebssicherung sind eventuell für das Maschinengebäude erforderlich, da es mehrere Meter unter den Grundwasserspiegel reicht und im Gegensatz zu den geplanten Becken nicht mit Wasser befüllt wird.

Bei der Verankerung der Zugelemente in den Bodenplatten ist darauf zu achten, dass durch die Ausbildung des Pfahlkopfes keine Wasserwegsamkeiten in der wasserdicht ausgeführten Wanne entstehen.

Die bauzeitliche Auftriebssicherung muss gegebenenfalls durch die Anordnung von Flutöffnungen im Gebäude sichergestellt werden. Sie werden verschlossen, wenn die Auftriebssicherheit des jeweiligen Bauteils/Bauabschnittes sichergestellt ist.

7.3 Grundwasserumläufigkeit

Für Bauwerke, die unter den Grundwasserspiegel hinabreichen, werden von der Unteren Wasserbehörde Maßnahmen gefordert, um die Grundwasserumläufigkeit und -unterströmbarkeit für das Bauwerk sicherzustellen.

Durch die Anordnung der unter Abschnitt 7.2 genannten Filterschicht unter den Bodenplatten, deren Durchlässigkeit wesentlich höher ist als die der natürlich anstehenden Schichten, und

die Verfüllung der Arbeitsräume mit durchlässigem Material bzw. die Anordnung von Dränmaten vor den Außenwänden bis zum Bemessungswasserstand, lässt sich die Absperrwirkung der Neubauten kompensieren. Auch das in Abschnitt 7.2 erwähnte Dränsystem in den einzelnen Bauwerken verbessert die Umläufigkeit der Gebäude. Weitere Maßnahmen sind diesbezüglich nicht erforderlich.

Um zu verhindern, dass Oberflächenwasser ungehindert in die Arbeitsräume eindringt, soll die vertikale Sickerschicht etwa 1 m unter Gelände enden. Außerdem sollen die Außenflächen ein vom Gebäude weg gerichtetes Gefälle erhalten. Befestigte Außenflächen sind separat zu entwässern. Möglicherweise wird in der noch zu erwirkenden wasserrechtlichen Erlaubnis auch ein Lehmschlag gefordert (vgl. Abschnitte 8 und 10).

8 Verfüllung der Arbeitsräume, Außenflächen

In den Baugruben fällt Grundwasser aus zwei niveaumäßig getrennten Grundwasserhorizonten an (höhere Grundwasserführung in den Talablagerungen/Umlagerungsböden sowie aufdringendes Grundwasser aus der unteren, stark gespannten Wasserführung im Gipskeuper/Lettenkeuper).

Um die bisherigen Durchlässigkeitsverhältnisse so weit wie möglich wieder herzustellen, sollen die Arbeitsräume mit gering durchlässigem Material verfüllt werden. Bindige Böden sind in dieser Hinsicht ein geeignetes Verfüllmaterial. Allerdings ist bei Verwendung bindiger Böden auch bei sorgfältiger Verdichtung und hohem Verdichtungsgrad (Vorschlag: $D_{Pr} \geq 100 \%$) mit größeren Setzungen zu rechnen, als dies bei der Verwendung körniger oder gemischtkörniger Materialien der Fall ist. Im Bereich von Grünflächen oder unter freitragend ausgebildeten Bodenplatten können die Setzungen bindiger Arbeitsraumverfüllungen in der Regel toleriert werden. Wo unter befestigten Flächen eine möglichst setzungsarme Verfüllung erreicht werden soll, empfiehlt es sich, ein gemischtkörniges Material (z. B. Siebschutt) zu verwenden, um die Vorgaben „geringe Durchlässigkeit“ und „setzungsarme Verfüllung“ miteinander zu verbinden. Der Verdichtungsgrad des Materials soll $D_{Pr} \geq 100 \%$ betragen. Die Verdichtungsqualität soll durch entsprechende Eigenüberwachung und Kontrollprüfungen nachgewiesen werden.

Unter dem Belag befestigter Flächen muss zuoberst frostsicheres Fremdmaterial (z. B. kombiniertes Frostschutz-/Tragschichtmaterial) verwendet werden. Dabei sind die Dicke des frostsicheren Aufbaus und die Tragfähigkeit entsprechend der zu erwartenden Verkehrsbelastung

festzulegen. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die RStO 01⁸ und die ZTV E-StB 17. Im Bedarfsfall geben wir zum Aufbau befestigter Flächen gerne nähere Hinweise.

Außerhalb der geplanten Baukörper sind bereichsweise Geländeauffüllungen geplant. Durch die Last der Auffüllung ergibt sich eine Konsolidierung (Setzung) des bestehenden Untergrundes. Da dieser bis in große Tiefe aus sehr setzungsempfindlichen Böden besteht (weiche und breiige Tonböden, zum Teil organisch, zum Teil Torf), ist mit beträchtlichen Setzungen in der Größenordnung mehrerer Zentimeter bis > 10 cm zu rechnen. Sie werden voraussichtlich als relativ weit gespannte Verformungen eintreten und nur langsam abklingen (im Laufe mehrerer Jahre). Dies ist bei der Planung der Außenflächen zu berücksichtigen (Quergefälle, Entwässerung usw.). Ungleichmäßige Setzungen können gegebenenfalls im Belag ausgeglichen werden.

Am Übergang zwischen den setzungsfrei auf Pfählen gegründeten Baukörpern und der Auffüllung werden sich als Folge der Setzung des Außengeländes Höhendifferenzen einstellen. Sie können im Bereich von Eingängen oder Zufahrten mit Schleppplatten überbrückt werden.

Wo die Auffüllungen über setzungsfrei gegründeten Rohrleitungen liegen (vgl. Abschnitt 6), werden sich die Leitungen infolge der Setzung des seitlichen Geländes als Erhöhungen in den Außenflächen abzeichnen.

Die durch eine Geländeauffüllung hervorgerufenen Setzungen können eine negative Mantelreibung an Pfählen hervorrufen, die bei der Pfahlbemessung evtl. zu berücksichtigen ist.

Zur Verringerung der Setzung der Auffüllbereiche (vor allem im Bereich der geplanten Stützmauer aus Gabionen) ist eine Bodenverbesserung des Untergrundes möglich (z. B. vermörtelte Rüttelsäulen, Betonrüttelsäulen, CSV-Säulen). Im Bedarfsfall sind wir gerne bereit, das Setzungsverhalten der Auffüllung näher abzuschätzen und weitere Hinweise zur Bodenverbesserung zu geben.

Die Auffüllungen selbst müssen aus setzungsarm verdichtetem Material lagenweise aufgebaut werden, um zusätzliche Eigensetzungen der Auffüllung zu vermeiden (Verdichtungsgrad: $D_{Pr} \geq 100 \%$). Hierfür kommen vor allem körnige und gemischtkörnige Böden, auch güteüberwachtes, sulfatfreies Recyclingmaterial in Frage.

Bislang liegen uns keine Angaben zu den geplanten Auffüllhöhen vor. Wenn eine Planung vorliegt, sind wir gerne bereit, anhand von Setzungsberechnungen die zu erwartenden Setzungen abzuschätzen.

⁸ RStO 12: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012, herausgegeben von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln

9 Wiederverwertung/Deponierung von Aushubmaterial, Umgang mit Schadstoffbelastungen

Im Zuge der beiden Baugrunderkundungen ergaben sich keine Hinweise und Auffälligkeiten in Bezug auf etwaige Verunreinigungen des Untergrundes. Man kann jedoch nicht ausschließen, dass auch natürliche Böden Schadstoffe enthalten, obwohl sie sensorisch unauffällig sind. Eine gezielte Erkundung im Hinblick auf eventuelle Altlasten oder Belastungen des Untergrundes wurde in unserem Auftrag durch das Institut Beer, Gerlingen, durchgeführt. Der Bericht des Instituts Beer ist als Anlage 9 im Teil I unseres Geotechnischen Berichts vom 16.08.2019 beigelegt.

Eine endgültige Klassifizierung des Aushubes/der anfallenden Böden nach der Deponieverordnung (DepV⁹) oder der VwV-Boden¹⁰ ist aushubbegleitend durchzuführen. Um einen reibungslosen Baubetrieb zu gewährleisten und ggf. zur Abstimmung des Entsorgungsweges von belastetem Aushubmaterial, ist hierfür rechtzeitig vor Baubeginn ein Altlastengutachter hinzuzuziehen (Abgrenzungen der Belastungen, Festlegung und Optimierung der Entsorgung etc.).

10 Weitergabe der Untersuchungsergebnisse und wasserrechtliche Belange

Sämtliche Maßnahmen und Bauarbeiten, die in grundwasserführende Schichten reichen oder mit dem Grundwasser in Zusammenhang stehen, bedürfen der Zustimmung des hier zuständigen Amtes für Wasserwirtschaft des Landratsamtes Böblingen (Untere Wasserbehörde).

Im vorliegenden Fall sind voraussichtlich die folgenden Maßnahmen in wasserrechtlicher Hinsicht genehmigungspflichtig:

- Grundwasserhaltungsmaßnahmen während der Bauphase (vgl. Abschnitt 5)
- Grundwasserhaltungsmaßnahmen zur Durchführung von Revisionsmaßnahmen (vgl. Abschnitt 7.2)
- Herstellung von Baugrubenumschließungen (vgl. Abschnitt 5)

⁹ DepV: Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV) vom 27. April 2009, zuletzt geändert durch Artikel 5 Absatz 28 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212)

¹⁰ VwV Boden: Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums Baden-Württemberg für die Verwertung von als Abfall eingestuftem Bodenmaterial vom 14. März 2007 – Az.: 25-8980.08M20 Land/3 –

- Herstellung einer dauerhaften Spundwand zum Hochwasserschutz (vgl. Abschnitt 5)
- Herstellung von Gründungspfählen (vgl. Abschnitt 4) und Pfählen zur Auftriebs-sicherung (vgl. Abschnitt 7.2)
- Herstellung von Gebäudeteilen und Leitungen unterhalb des Grundwasserspiegels
- Anordnung von Sicherheitsdränagen und Festlegung eines Bemessungswasser-standes (vgl. Abschnitt 7)
- Maßnahmen zur Gewährleistung der Umläufigkeit und der Unterläufigkeit für das Grundwasser (vgl. Abschnitt 7.3)
- Arbeitsraumverfüllungen unterhalb des Bemessungswasserstandes (vgl. Abschnitt 8)

Die erforderlichen Antragsunterlagen für das wasserrechtliche Erlaubnisverfahren gemäß § 43 Wassergesetz können bei Bedarf durch unser Baugrundinstitut erstellt und im Namen der Bauherrschaft bei der zuständigen Behörde eingereicht werden.

Wir empfehlen, die Maßnahmen frühzeitig mit der Behörde abzustimmen und dabei Art und Umfang des Verfahrens sowie der vorzulegenden Antragsunterlagen zu klären. Insbesondere ist die Einbindetiefe der permanenten Spundwand hinsichtlich einer möglichen Beeinflussung der Grundwasserströmung abzustimmen. Von Behördenseite können auch Auflagen erteilt werden, die von den hier gegebenen Empfehlungen abweichen oder darüber hinausgehen. Welche Maßnahmen wasserrechtlich relevant sind, kann geklärt werden, wenn eine konkrete Planung vorliegt.

Müssen errichtete Grundwassermessstellen im Zuge der Baumaßnahmen aufgegeben werden, sind diese fachgerecht zu verschließen. Gemäß der wasserrechtlichen Erlaubnis vom 23.07.2018 ist der Beginn der Verschlussarbeiten dem Landratsamt Böblingen, Amt für Wasserwirtschaft, rechtzeitig im Voraus mitzuteilen. Über das Verschließen ist jeweils ein Protokoll anzufertigen und dem Amt für Wasserwirtschaft vorzulegen. Üblicherweise werden solche Arbeiten von der Bohrunternehmung ausgeführt, die die Messstellen errichtet hat (hier: Terra-sond GmbH & Co. KG). Bei der Koordinierung der Arbeiten zum Verschließen sind wir gerne behilflich.

11 Kampfmittel im Bereich des Baufeldes

Nach Aussage der Bauherrschaft wurde für das Gelände des Klärwerks I in Sindelfingen eine Luftbildauswertung auf etwaige Kampfmittelreste (Bombenblindgänger) aus dem Zweiten Weltkrieg durchgeführt. Gemäß den Angaben im Bericht zur Luftbildauswertung gilt das Gelände als Verdachtsfläche in Bezug auf Bombenblindgänger.

Für die Erkundungsarbeiten wurden daher im Vorfeld Kampfmittelsondierungen durchgeführt (Kernbohrungen) bzw. wurden die Arbeiten von einem Feuerwerker begleitet (Rammsondierungen und Rammkernsondierungen). Im Zusammenhang mit allen Eingriffen in den Untergrund (z. B. Aushubarbeiten, Bohr- und Rammarbeiten) werden ebenfalls begleitende Untersuchungen zur Feststellung etwaiger Kampfmittel im Untergrund erforderlich sein. Wir empfehlen hierzu eine frühzeitige Abstimmung mit dem Kampfmittelbeseitigungsdienst Baden-Württemberg oder einer lizenzierten Fachfirma.

12 Schlussbemerkungen

Die Baugrundverhältnisse am Standort des geplanten Bauvorhabens wurden auf der Grundlage von sechs Kernbohrungen und vier schweren Rammsondierungen sowie älteren Aufschlüssen beschrieben und beurteilt (vgl. Teil I des Geotechnischen Berichts vom 16.08.2019). Zusätzlich wurden 28 ergänzend durchgeführte Rammkernsondierungen mit zur Beurteilung herangezogen (vgl. Bericht vom 23.07.2020).

Die vorliegenden Angaben zur Gründung basieren auf der Beschreibung und Beurteilung der Ergebnisse der Baugrunderkundung am Standort des geplanten Bauvorhabens mithilfe von sechs Kernbohrungen, vier schweren Rammsondierungen, 28 Rammkernsondierungen sowie älteren Aufschlüssen.

Die Angaben im vorliegenden Geotechnischen Bericht beziehen sich auf die Untersuchungsstellen. Abweichungen von den hier beschriebenen Befunden können nicht ausgeschlossen werden. Bei der Bauausführung ist deshalb eine ständige und sorgfältige Kontrolle der Untergrundverhältnisse im Vergleich zu den Folgerungen im Bericht erforderlich. In allen Zweifelsfällen ist der Baugrundgutachter zu verständigen.

Der vorliegende Teil II des Geotechnischen Berichts umfasst lediglich die Beurteilung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse, Angaben zur Gründung etc. Die Beschreibung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse erfolgte im bereits erstellten Teil I des Geotechnischen

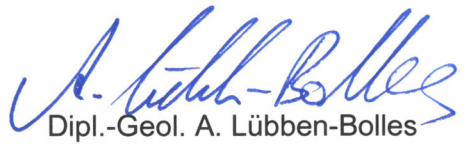
Berichts vom 16.08.2019 sowie in unserem Bericht zur ergänzenden Baugrunderkundung vom 23.07.2020.

Für die Beantwortung von geotechnischen Fragen im Zuge der weiteren Planung und Bauausführung stehen wir gerne zur Verfügung.

Leinfelden-Echterdingen, 31. Juli 2020



Dr.-Ing. J. Turek



Dipl.-Geol. A. Lübken-Bolles



Top. Karte 1:25000 Baden-Württemberg (2017), Maßstab 1:10000

©Copyright: siehe Hinweis auf dem verwendeten Datenträger (Landesamt für Geoinformation und Landentwicklung)

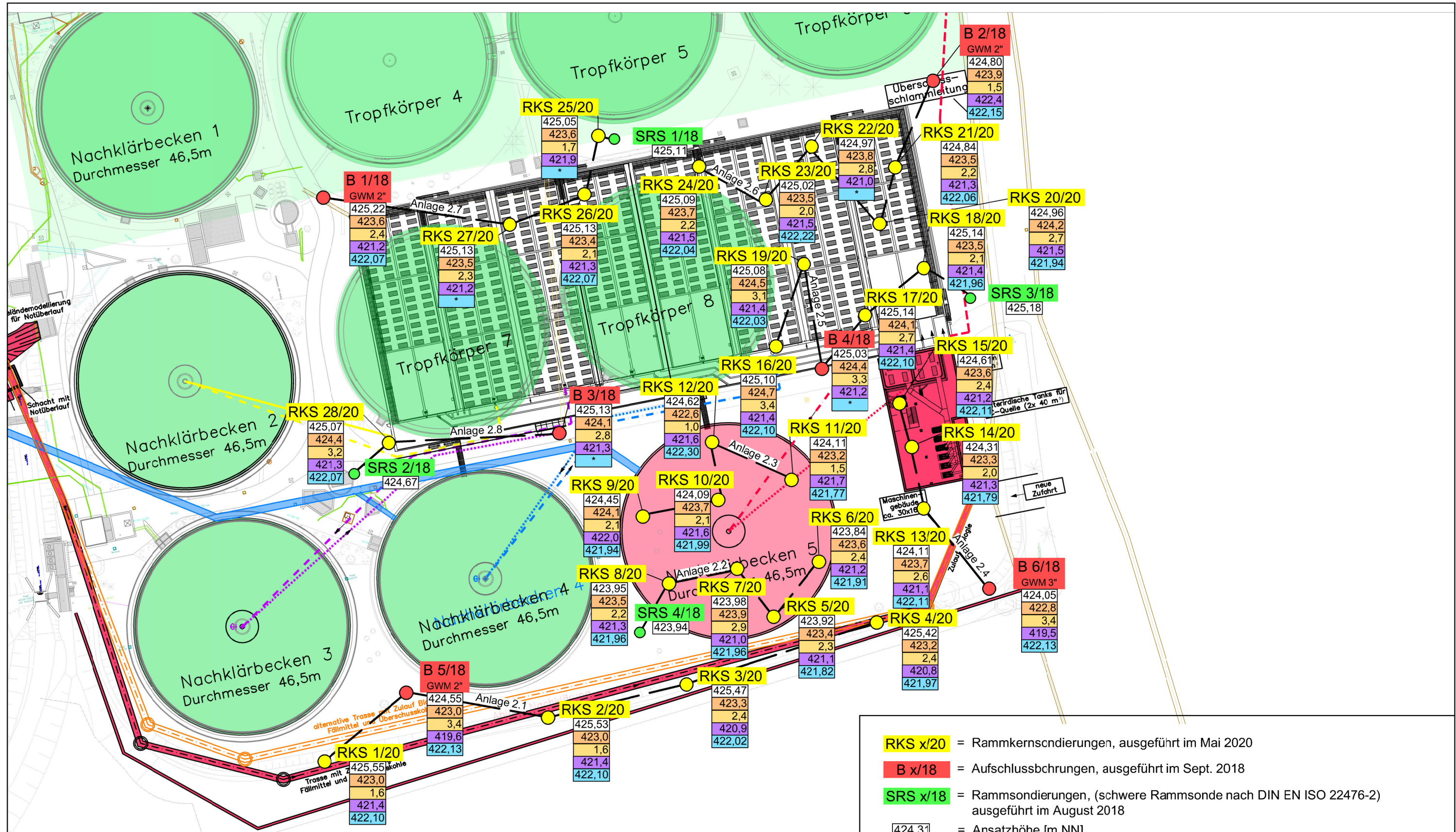


VEES | PARTNER
Prof. Dr.-Ing. E. Veas und Partner
Baugrundinstitut GmbH
Friedrich-List-Straße 42
70771 Leinfelden-Echterdingen

SINDELFINGEN

Neubau biologische Reinigungsstufe
Klärwerk I, Entenseestraße
Übersichtslageplan

Anlage	1.1
Az	18 104
Datum	31.07.2020
Maßstab	1:10000
Bearbeiter	Lü

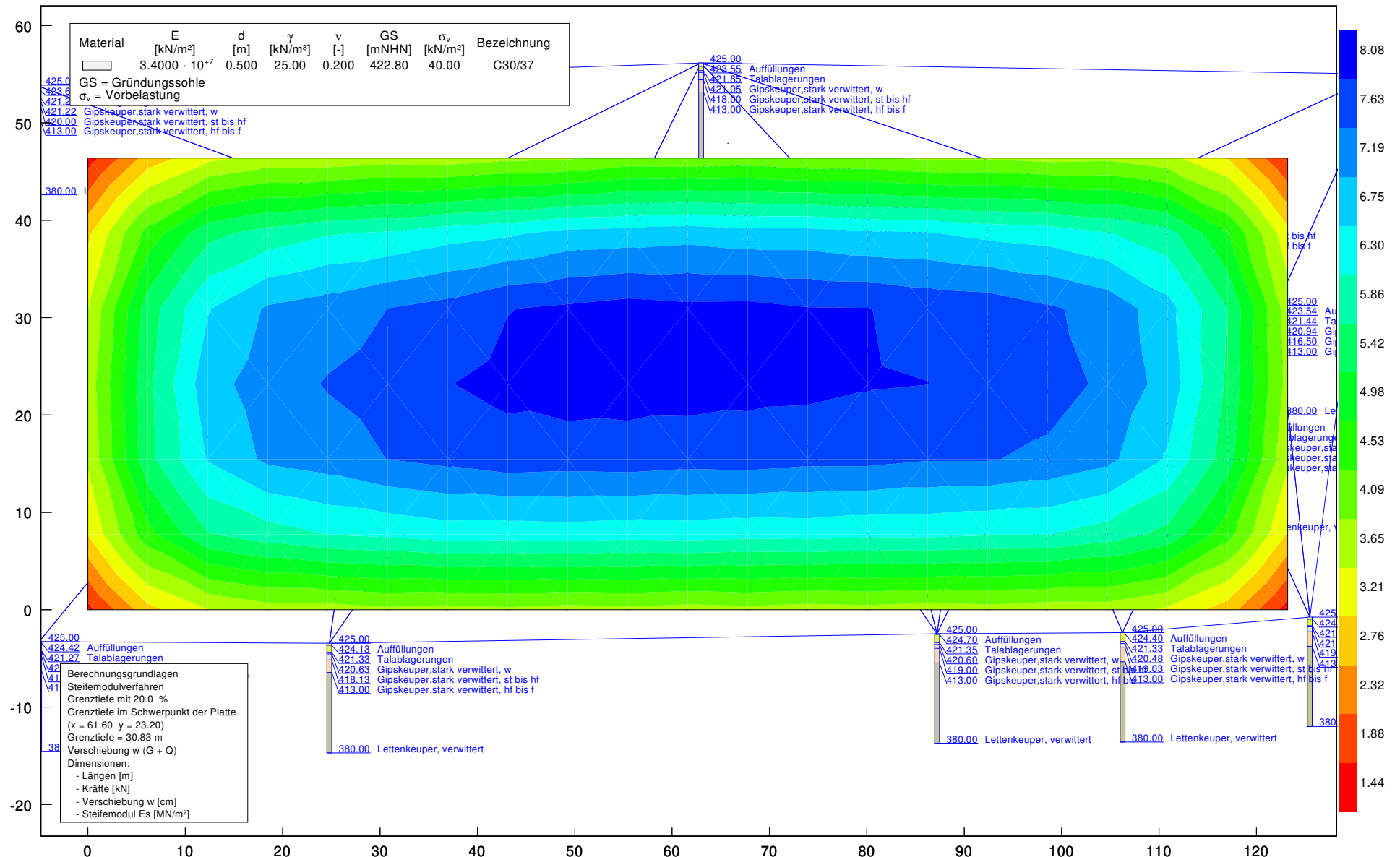


- RKS x/20** = Rammkernsondierungen, ausgeführt im Mai 2020
- B x/18** = Aufschlussbohrungen, ausgeführt im Sept. 2018
- SRS x/18** = Rammsondierungen, (schwere Rammsonde nach DIN EN ISO 22476-2) ausgeführt im August 2018
- 424,31 = Ansatzhöhe [m NN]
- 423,3 = OK Talablagerungen [m NN]
- 2,0 = Mächtigkeit Talablagerungen [m]
- 421,3 = OK Gipskeuper [m NN]
- 421,8 = Grundwasserstand in KW 20 im Jahr 2020 [m NN] ,
(* = kein Wasser angetroffen, Sondierloch zugefallen)

	VEES PARTNER Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner Baugrundinstitut GmbH Friedrich-List-Straße 42 70771 Leinfelden - Echterdingen	SINDELFINGEN Neubau biol. Reinigungsstufe Klärwerk I, Entenseestraße Lageplan	Anlage	1.2
			Az	18 104
			Datum	31.07.2020
			Maßstab	1:750
			Bearbeiter	Lü

Sindelfingen, Klärwerk I, Entenseestraße, Neubau biol. Reinigungsstufe

Belebungsbecken 123,20 m x 46,30 m, Variante 1 - UK Bodenplatte 422,80 m - Setzungsverteilung in [cm]

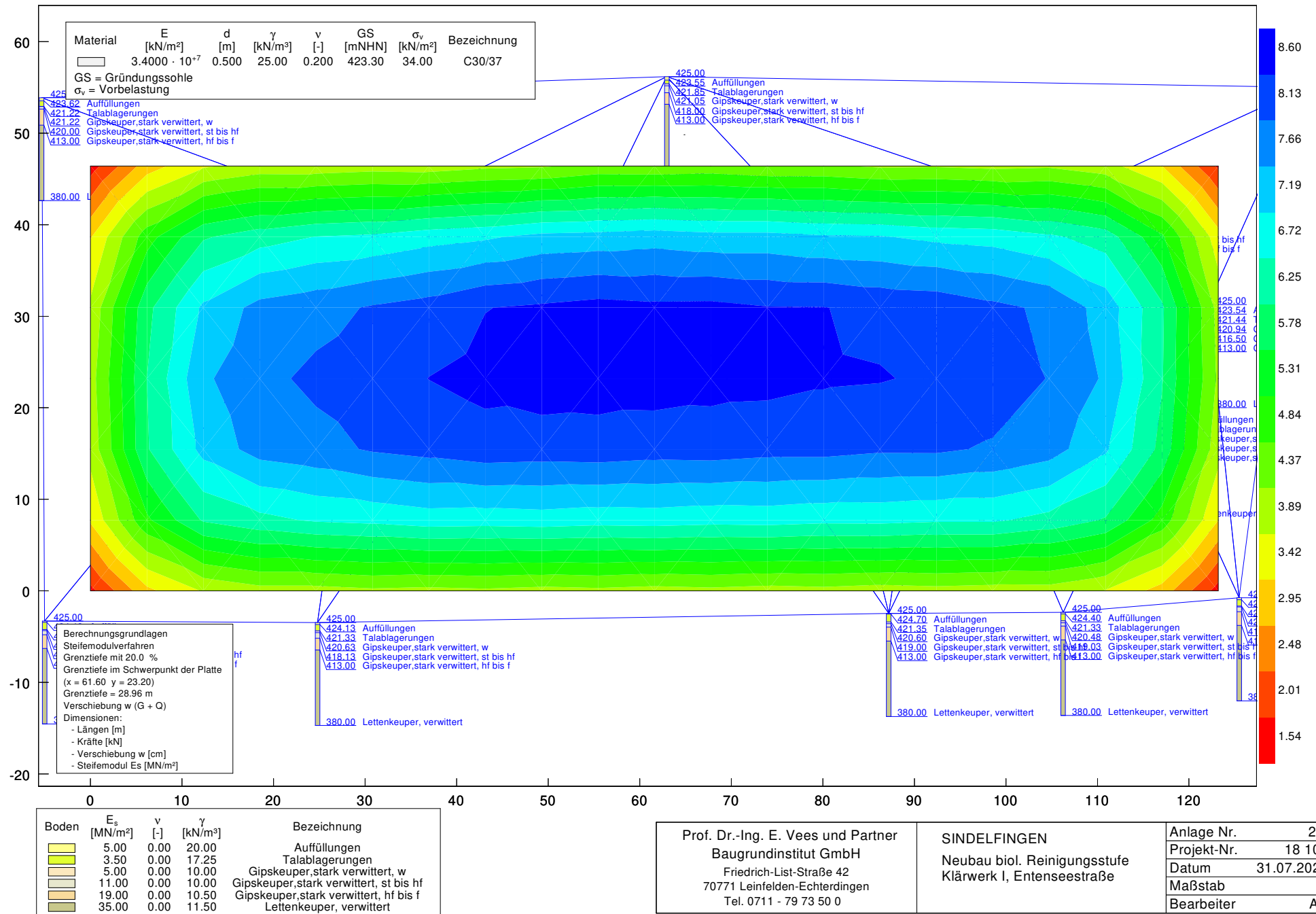


Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner
Baugrundinstitut GmbH
Friedrich-List-Straße 42
70771 Leinfelden-Echterdingen
Tel. 0711 - 79 73 50 0

SINDELFINGEN
Neubau biol. Reinigungsstufe
Klärwerk I, Entenseestraße

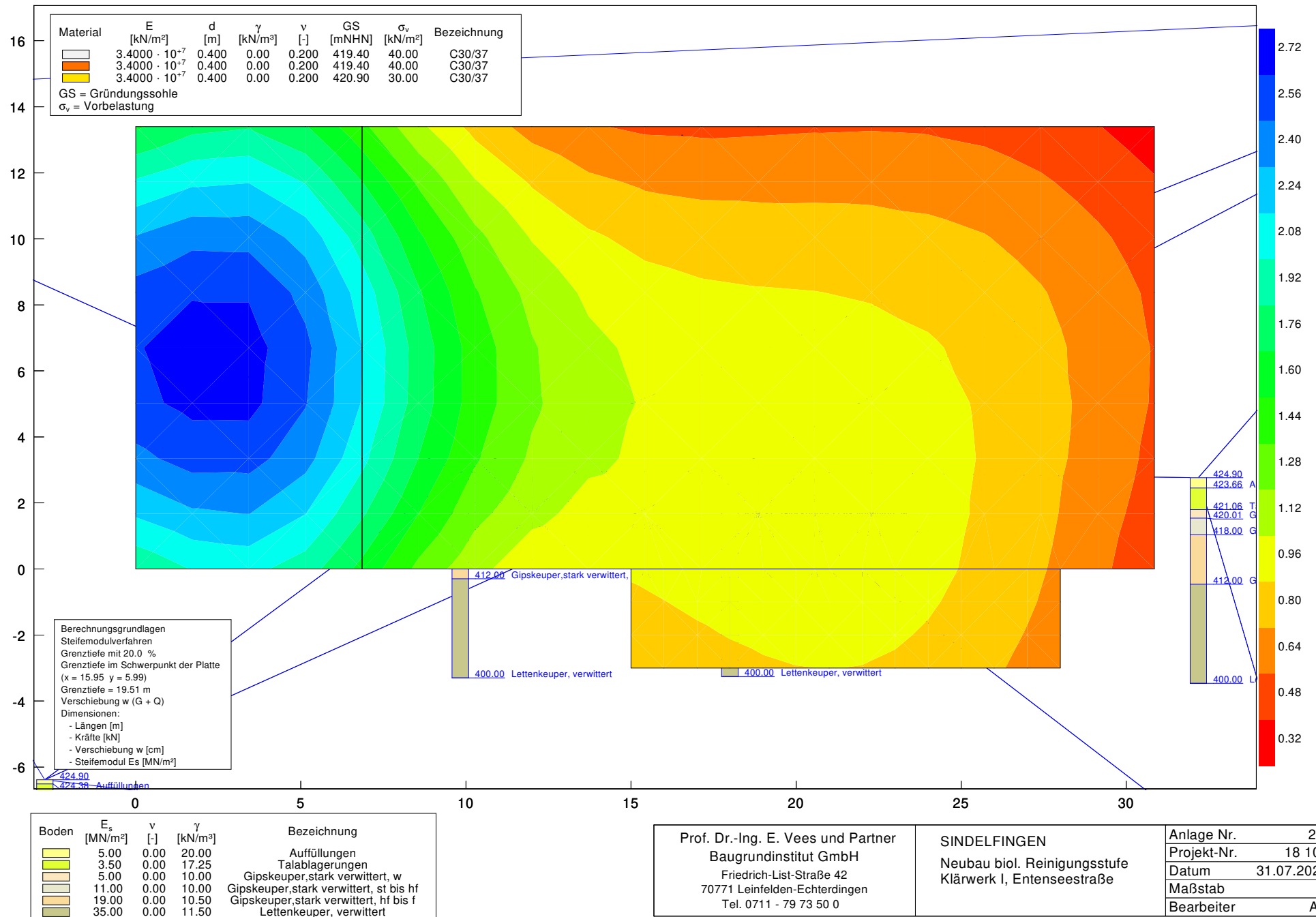
Anlage Nr.	2.1
Projekt-Nr.	18 104
Datum	31.07.2020
Maßstab	-
Bearbeiter	AP

Belebungsbecken 123,20 m x 46,30 m, Variante 2 - UK Bodenplatte 423,30 m - Setzungsverteilung in [cm]



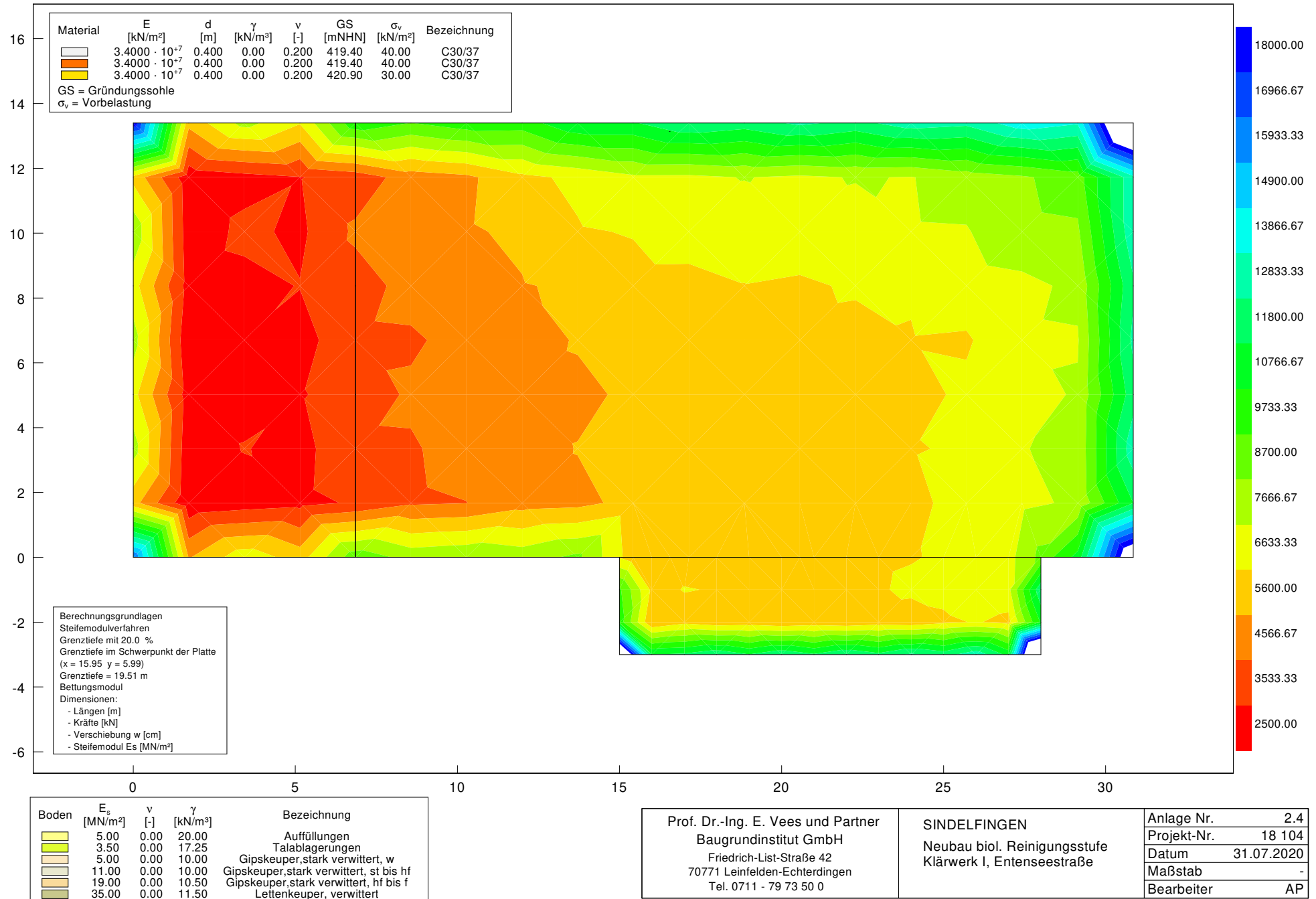
Sindelfingen, Klärwerk I, Entenseestraße, Neubau biol. Reinigungsstufe

Maschinengebäude 31 m x 14 m, UK Bodenplatte ~419,40 m - Setzungsverteilung in [cm]

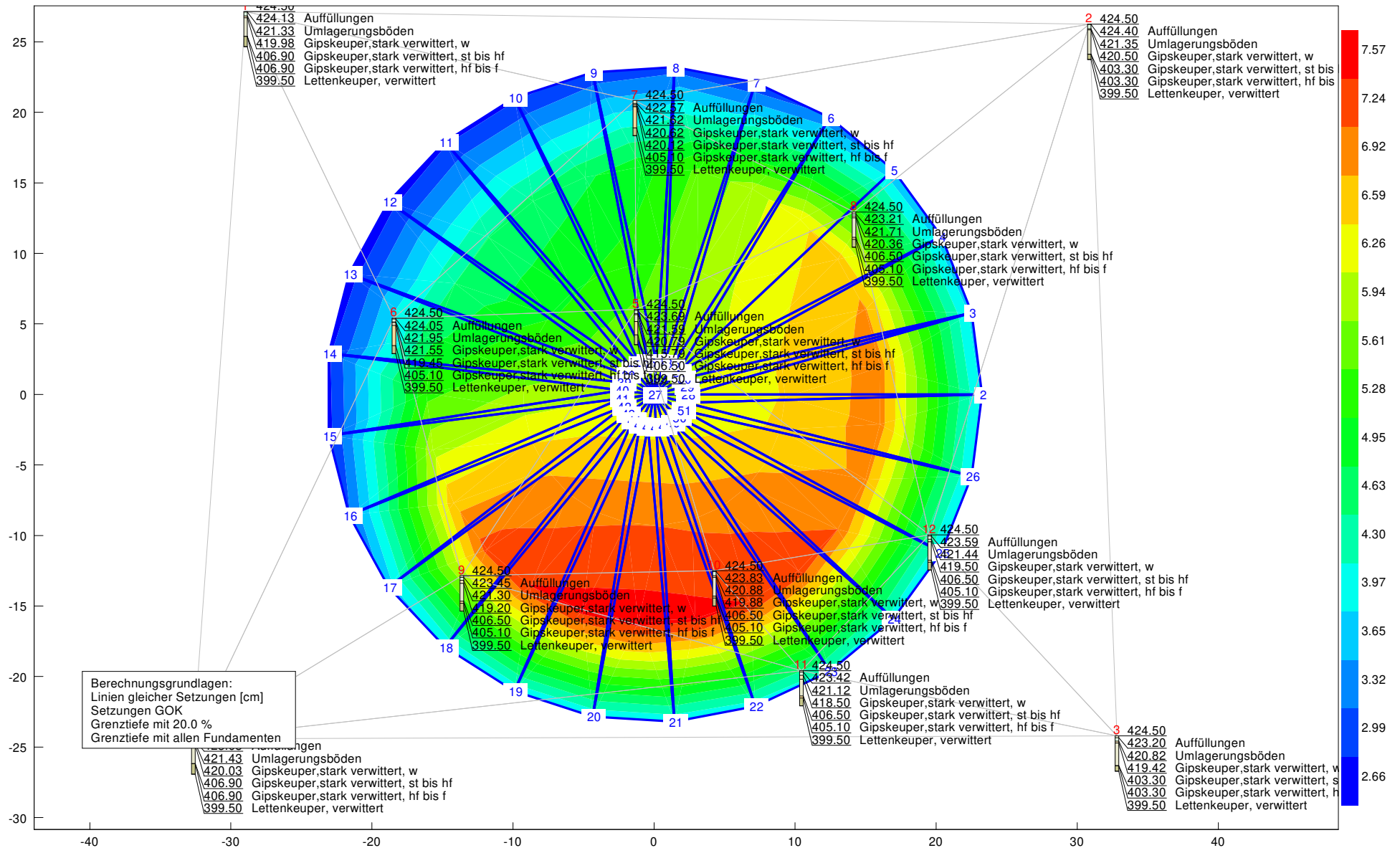


Sindelfingen, Klärwerk I, Entenseestraße, Neubau biol. Reinigungsstufe

Maschinengebäude 31 m x 14 m, UK Bodenplatte ~419,40 m - Bettungsmodulverteilung in [kN/m³]



Nachklärbecken 5 - Setzungsberechnungen



Schicht	γ [kN/m ³]	E_s [MN/m ²]	$E_{s(w)}$ [MN/m ²]	ν [-]	Bezeichnung
	20.00	5.00	10.00	0.000	Auffüllungen
	17.25	3.50	7.00	0.000	Umlagerungsböden
	10.00	5.00	10.00	0.000	Gipskeuper, stark verwittert, w
	10.00	11.00	22.00	0.000	Gipskeuper, stark verwittert, st bis hf
	10.50	19.00	38.00	0.000	Gipskeuper, stark verwittert, hf bis f
	11.50	35.00	50.00	0.000	Lettenkeuper, verwittert

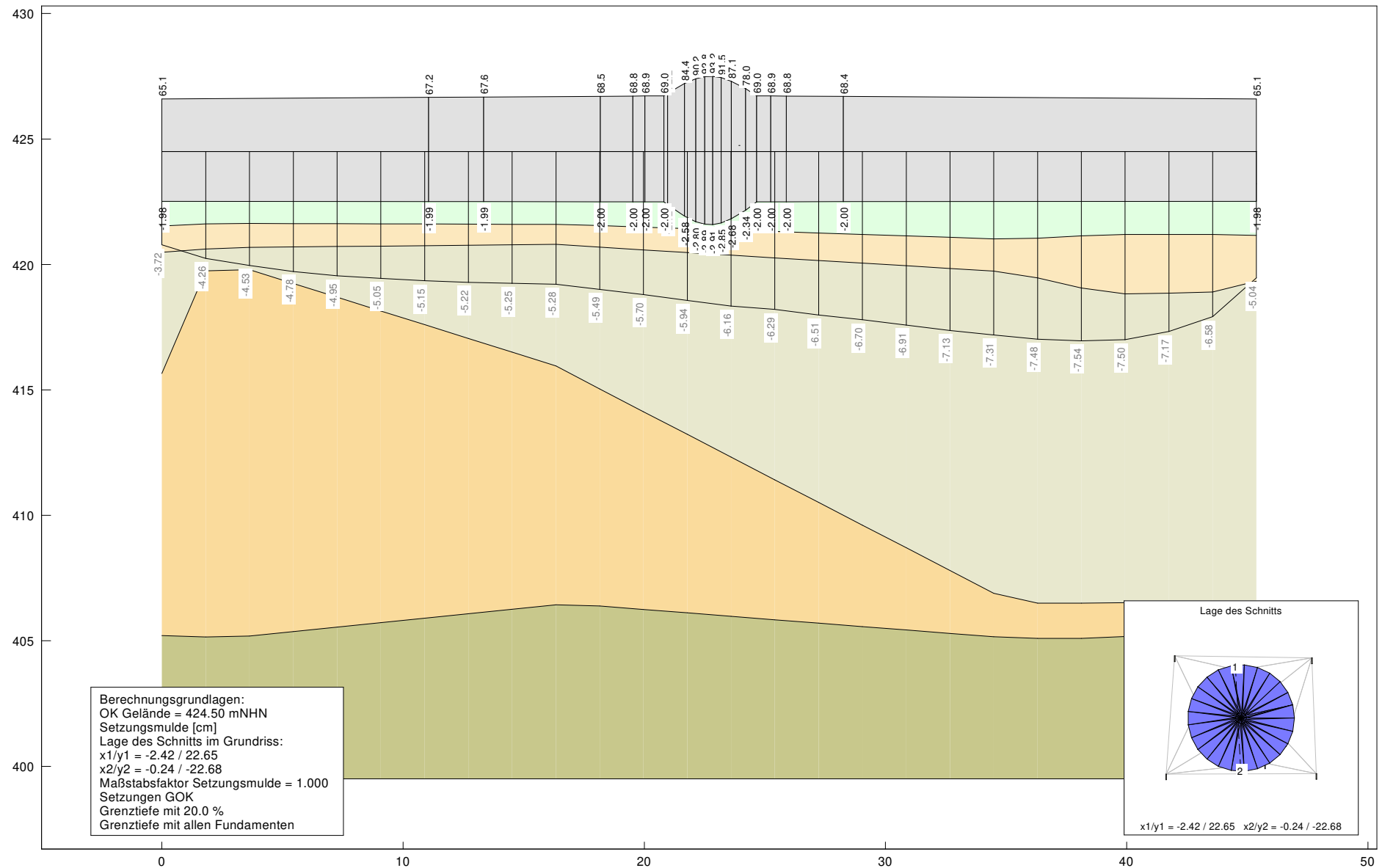
Prof. Dr.-Ing. E. Veas und Partner
Baugrundinstitut GmbH
Friedrich-List-Straße 42
70771 Leinfelden-Echterdingen
Tel. 0711 - 79 73 50 0

SINDELFINGEN
Neubau biol. Reinigungsstufe
Klärwerk I, Entenseestraße

Anlage Nr.	2.5
Projekt-Nr.	18 104
Datum	31.07.2020
Maßstab	---
Bearbeiter	AP

Sindelfingen, Klärwerk I, Entenseestraße - Neubau biologische Reinigungsstufe

Nachklärbecken 5 - Setzungsberechnungen



Schicht	γ [kN/m³]	E_s [MN/m²]	$E_{s(w)}$ [MN/m²]	ν [-]	Bezeichnung
	20.00	5.00	10.00	0.000	Auffüllungen
	17.25	3.50	7.00	0.000	Umlagerungsböden
	10.00	5.00	10.00	0.000	Gipskeuper, stark verwittert, w
	10.00	11.00	22.00	0.000	Gipskeuper, stark verwittert, st bis hf
	10.50	19.00	38.00	0.000	Gipskeuper, stark verwittert, hf bis f
	11.50	35.00	50.00	0.000	Lettenkeuper, verwittert

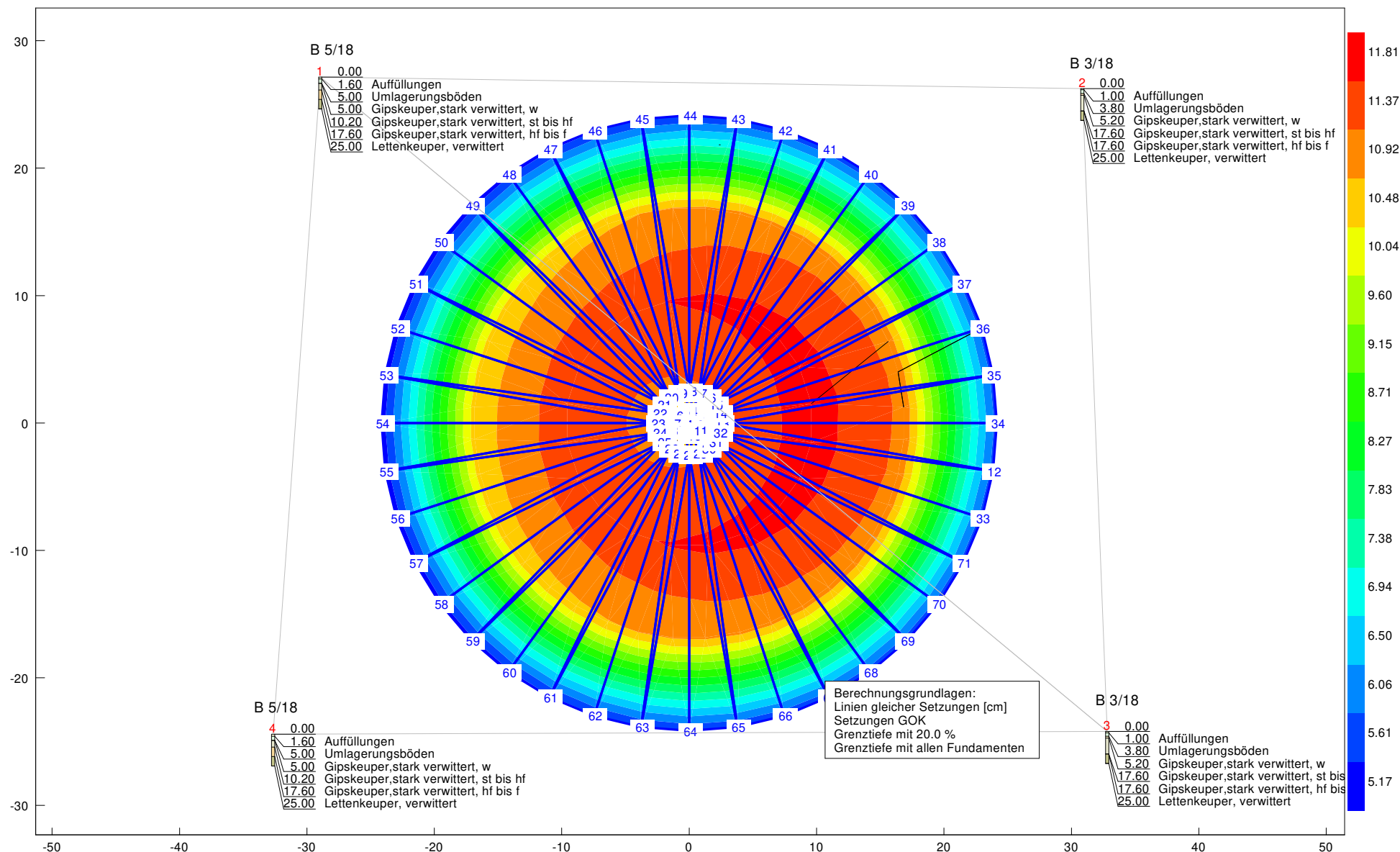
Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner
 Baugrundinstitut GmbH
 Friedrich-List-Straße 42
 70771 Leinfelden-Echterdingen
 Tel. 0711 - 79 73 50 0

SINDELFINGEN
 Neubau biol. Reinigungsstufe
 Klärwerk I, Entenseestraße

Anlage Nr.	2.6
Projekt-Nr.	18 104
Datum	31.07.2020
Maßstab	---
Bearbeiter	AP

Sindelfingen, Klärwerk I, Entenseestraße - Neubau biologische Reinigungsstufe

Setzungsberechnungen für die Nachklärbecken 3 und 4



Schicht	γ [kN/m ³]	E_s [MN/m ²]	$E_{s(w)}$ [MN/m ²]	ν [-]	Bezeichnung
	20.00	5.00	10.00	0.000	Auffüllungen
	17.25	3.50	7.00	0.000	Umlagerungsböden
	10.00	5.00	10.00	0.000	Gipskeuper, stark verwittert, w
	10.00	11.00	22.00	0.000	Gipskeuper, stark verwittert, st bis hf
	10.50	19.00	38.00	0.000	Gipskeuper, stark verwittert, hf bis f
	11.50	35.00	50.00	0.000	Lettenkeuper, verwittert

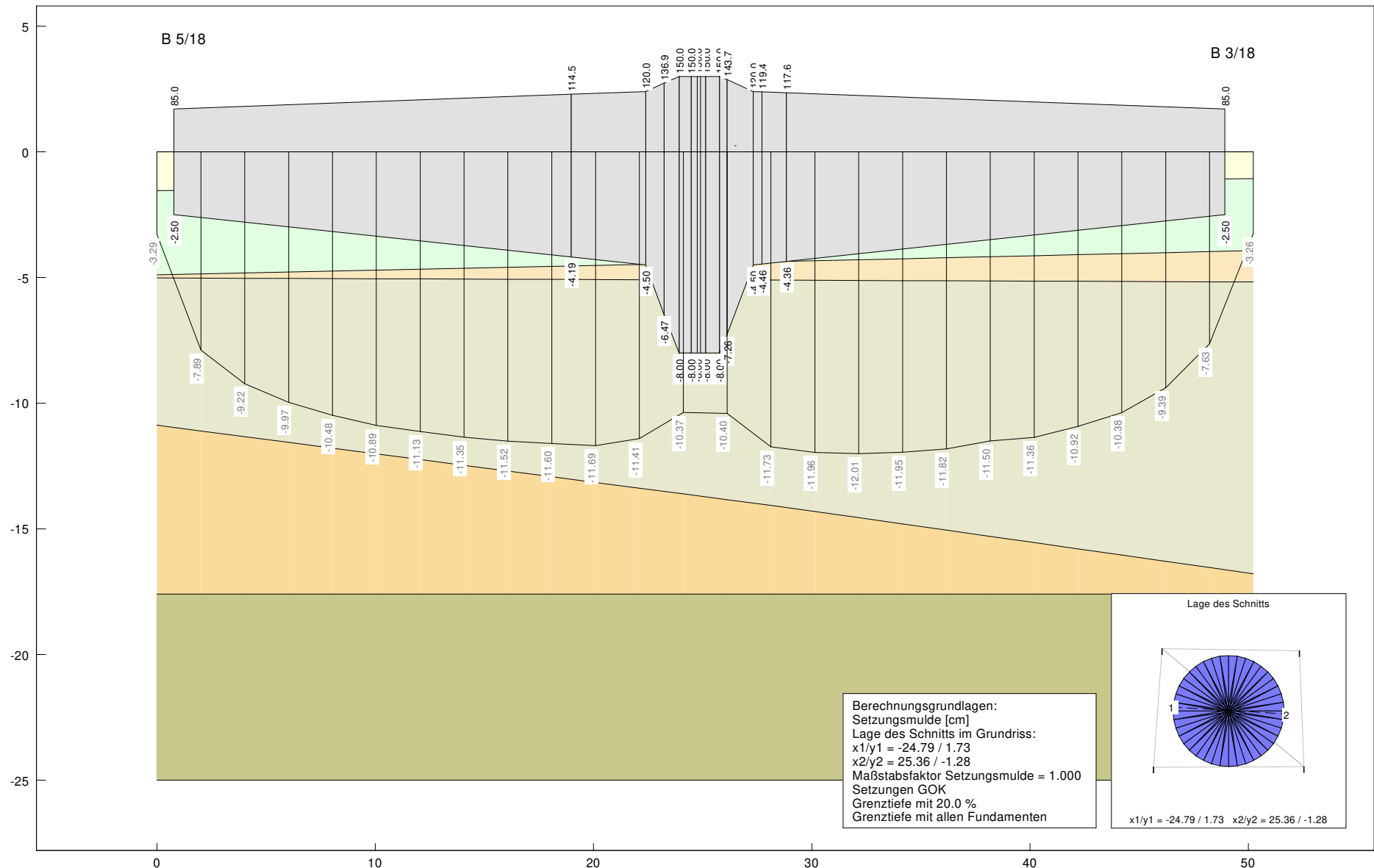
Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner
 Baugrundinstitut GmbH
 Friedrich-List-Straße 42
 70771 Leinfelden-Echterdingen
 Tel. 0711 - 79 73 50 0

SINDELFINGEN
 Neubau biol. Reinigungsstufe
 Klärwerk I, Entenseestraße

Anlage Nr.	2.7
Projekt-Nr.	18 104
Datum	31.07.2020
Maßstab	---
Bearbeiter	AP

Sindelfingen, Klärwerk I, Entenseestraße - Neubau biologische Reinigungsstufe

Setzungsberechnungen für die Nachklärbecken 3 und 4



Prof. Dr.-Ing. E. Vees und Partner
 Baugrundinstitut GmbH
 Friedrich-List-Straße 42
 70771 Leinfelden-Echterdingen
 Tel. 0711 - 79 73 50 0

SINDELFINGEN
 Neubau biol. Reinigungsstufe
 Klärwerk I, Entenseestraße

Anlage Nr.	2.8
Projekt-Nr.	18 104
Datum	31.07.2020
Maßstab	---
Bearbeiter	AP