

Baugrund
Boden- und Felsmechanik
Geotechnik
Hydrogeologie
Altlastensanierung
Umweltgeologie



**Ingenieur- und
Hydrogeologisches
Büro GmbH**

**Baugrund- und Gründungsgutachten
Technikzentrale und Wärmespeicher
im „Solarpark Au“ in Tübingen**



Auftraggeber:

Universitätsstadt Tübingen
Fachbereich Stadtplanung
Brunnenstraße 3

72074 Tübingen

Auftragnehmer:

ihb - Ingenieur- und Hydro-
geologisches Büro GmbH
Albrechtstraße 29

72072 Tübingen

Projekt-Nummer: I 204802

Dezember 2021

Registergericht Stuttgart HRB 381312

Baugrund
Boden- und Felsmechanik
Geotechnik
Hydrogeologie
Altlastensanierung
Umweltgeologie



**Ingenieur- und
Hydrogeologisches
Büro GmbH**

ihb GmbH • Albrechtstraße 29 • 72072 Tübingen

Universitätsstadt Tübingen
- Fachabteilung Stadtplanung -
Brunnenstraße 3

72074 Tübingen

Geschäftsführer
Diplom-Geologe
Andreas Fundinger

Albrechtstraße 29
72072 Tübingen

Tel. 0 70 71 / 76 76 0

E-Mail: ihb.gmbh@t-online.de

Internet: www.ihb-tuebingen.de

Tübingen, den 06.12.2021

**Baugrund- und Gründungsgutachten
Technikzentrale und Wärmespeicher
im „Solarpark Au“ in Tübingen**

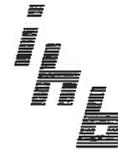
Projekt-Nr. I 204802

Registergericht Stuttgart HRB 381312



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Allgemeines	4
2 Durchgeführte Untersuchungen	5
2.1 Rammkern-Sondierbohrungen	6
2.2 Rammsondierungen	6
2.3 Bodenmechanische Untersuchungen	7
3 Grundwasserverhältnisse	9
4 Homogenbereiche nach VOB Teil C	11
5 Bodenmechanische Kennwerte	13
6 Gründungstechnische Folgerungen	14
6.1 Baugrubenerstellung und Wasserhaltung	16
6.2 Generelle Hinweise zur Bauausführung	17
7 Zusammenfassung	18
8 Abschließende Bemerkungen	20



TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tabelle 1	Ergebnisse der Kleinbohrungen 6
Tabelle 2	Ergebnisse der Konsistenzuntersuchungen 8
Tabelle 3	Ergebnisse der Korngrößenverteilungen 8
Tabelle 4	Glühverlust der Bodenprobe 9
Tabelle 5	Gemessene Grundwasserstände 9
Tabelle 6	Homogenbereiche nach DIN 18300 12
Tabelle 7	Bodenmechanische Kennwerte der anstehenden Schichten 13

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1	Lagepläne
Anlage 2	Schichtenprofile der Rammkern-Sondierbohrungen RKS-1 und RKS-2
Anlage 3	Rammdiagramme der Rammsondierungen RS-1 und RS-2
Anlage 4	Systemschnitte mit Untersuchungsergebnissen
Anlage 5	Ergebnisse der Konsistenzuntersuchungen
Anlage 6	Ergebnisse der Korngrößenverteilungen
Anlage 7	Beispielberechnungen Fundamentplomben (Fundamentdiagramm)

1 Allgemeines

Das **Ingenieurbüro Sailer** (Tübingen) plant für die **Stadtwerke Tübingen GmbH** am östlichen Ortsrand von Tübingen den Neubau einer Solarthermieanlage. Das geplante Bauvorhaben liegt auf der Freifläche zwischen der „Eisenbahnstraße“ und der B 27, östlich der Autoverwertung Möck (**s. Deckblatt**). Die Technikzentrale soll im nordwestlichen Bereich und der Wärmespeicher östlich davon errichtet werden.

Bei der **Technikzentrale** handelt es sich um ein 2-geschossiges Gebäude mit einer Abmessung von 11,0 x 22,5 m. Nach den vorliegenden Plänen liegt die **EFH** bei **316,80**. Der östlich geplante Wärmespeicher weist eine Höhe von ca. 21 m und einen Durchmesser von ca. 12,5 m auf und soll in ca. 314,00 gegründet werden. Angaben über auftretende Lasten liegen derzeit nicht vor.

Das **ihb - Ingenieur- und Hydrogeologisches Büro GmbH** wurde von der **Universitätsstadt Tübingen, Fachbereich Planen, Entwickeln, Liegenschaften** beauftragt, eine ingenieurgeologische Erkundung der Untergrundverhältnisse durchzuführen und ein Baugrund- und Gründungsgutachten zu erstellen. Eine altlastenrelevante Bewertung der Untergrundverhältnisse war nicht Gegenstand der Beauftragung.

Zur Bearbeitung des Auftrages standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Lageplan mit Erschließung - Variante 0 im Maßstab 1 : 200, gefertigt vom **Ingenieurbüro Sailer** (Tübingen) am 07.10.2021
- Grundrisse Technikgebäude und Einzelspeichen im Maßstab 1 : 100, gefertigt vom **Ingenieurbüro Sailer** (Tübingen) am 07.10.2021
- Untersuchungsbericht (**I 204801**) Solarpark Au „Reutlinger Wiesen“ in Tübingen, gefertigt vom **ihb - Ingenieur- und Hydrogeologischen Büro GmbH** (Tübingen) am 22.09.2021
- diverse Kabel- und Leitungspläne der Versorgungsträger
- Geologische Karte von Baden-Württemberg, **Blatt 7420 - Tübingen**, herausgegeben vom Geologischen Landesamt Baden-Württemberg 1998

Nach der Geologischen Karte (**Blatt 7420**) lagern im Untersuchungsgebiet **Talkiese** des nördlich fließenden „Neckars“, die von den Schichten des **Gipskeupers** unterlagert werden.

2 Durchgeführte Untersuchungen

Zur Erkundung der Untergrundverhältnisse wurden am 23.11.2021 zwei Rammkern-Sondierbohrungen (**RKS-1** und **RKS-2**) mit einem Bohrdurchmesser von 60/50 mm bis in eine maximale Tiefe von 7 m unter Gelände abgeteuft. Der in den Kleinbohrungen angetroffene Schichtaufbau wurde durch das **ihb** geologisch und bodenmechanisch aufgenommen.

Zusätzlich zu den Kernbohrungen wurden zur Feststellung der Lagerungsdichte des Untergrundes am 25.11.2021 zwei Rammsondierungen (**RS-1** und **RS-2**) mit der schweren Rammsonde (**DPH**) bis in eine Tiefe von 7,90 m unter Gelände abgeteuft.

Die bodenmechanischen Eigenschaften des Untergrundes wurden durch Untersuchungen an charakteristischen Bodenproben im bodenmechanischen Labor des **ihb** ermittelt. Die gewonnenen Ergebnisse der bodenmechanischen Untersuchungen dienten zur Klassifizierung der angetroffenen Böden nach **DIN 18196**, sowie zur Festlegung der bodenmechanischen Kennwerte.

Die Lage des Untersuchungsareals und der Untersuchungspunkte ist in den Lageplänen der **Anlage 1** wiedergegeben. Die Ergebnisse der Bohrprofilaufnahmen sind gemäß **DIN 4023** als Schichtenprofile in der **Anlage 2** dargestellt. In der **Anlage 3** sind die Ergebnisse der Rammsondierungen in Form von Rammdiagrammen wiedergegeben.

Einen Überblick über die Untergrundverhältnisse geben die Systemschnitte in der **Anlage 4**, in denen die angetroffenen Untergrundverhältnisse höhenmäßig orientiert dargestellt sind.

Die Einmessung der Untersuchungspunkte nach Lage und Höhe erfolgte durch das **ihb**, wobei der Kanaldeckel **49300090** in der Einfahrt zur Firma Möck nördlich des Untersuchungsgebiets als Höhenbezugspunkt (**317,40**) diente.

2.1 Rammkern-Sondierbohrungen

In den Kleinbohrungen wurden abgesehen von Mächtigkeitsunterschieden vergleichbare Baugrundverhältnisse angetroffen. Unter dem humosen **Mutterboden** folgt ein sandig-schluffiger, meist steifer bis halbfester, im tieferen Bereich auch weicher **Tallehm**, der von sandigen, tonig-schluffigen **Talkiesen** unterlagert ist. Die Talkiese sind ab ca. 3 m Tiefe grundwasserführend und vernässt. In der Rammkern-Sondierbohrung **RKS-2** war in den Talkiesen in 2,70 m Tiefe eine 10 cm mächtige, breiige **Weichschicht** eingelagert. Die Talkiese bestehen überwiegend aus gut gerundeten Kalksteinen im Fein- und Mittelkiesbereich. Im tieferen Bereich sind die Talkiese verbacken und sehr schwer bohrbar. Das Grundwasser wurde in den Kleinbohrungen jeweils in den Talkiesen erbohrt.

Die Ergebnisse der Kernbohrungen sind in der nachfolgenden **Tabelle 1** zusammenfassend aufgelistet.

Tabelle 1:

Ergebnisse der Kleinbohrungen

Aufschluss	Ansatzhöhe [m TH]	Mutterboden [bis m]	Tallehm [bis m]	Talkies [ab m TH]
RKS-1	316,22	0,20	1,70	314,52
RKS-2	315,86	0,30	2,10	313,76

2.2 Rammsondierungen

Bei Rammsondierungen mit der schweren Rammsonde (**DPH - dynamic probing heavy**) handelt es sich um eine indirekte Erkundungsmethode nach einem genormten Verfahren (**DIN EN ISO 22476-2**), bei dem ein Stab mit verdickter Spitze (Querschnitt von **15 cm²**) durch ein Fallgewicht (**50 kg**) mit gleichbleibender Fallhöhe (**50 cm**) in den Untergrund eingerammt wird.

Die sich ergebenden Schlagzahlen für eine Eindringtiefe von 10 cm (N_{10}) sind ein Maß für den Eindringwiderstand und lassen Rückschlüsse auf das Verformungs- und Festigkeitsverhalten des Untergrundes zu.

Wie die Rammdiagramme in der **Anlage 3** zeigen, wurden in den bindigen Deckschichten nur sehr geringe Schlagzahlen von $N_{10} < 5$ Schläge/10 cm Eindringtiefe ermittelt, die für eine überwiegend weiche bis steife Konsistenz des Bodens sprechen. Mit Erreichen der Talkiese steigen die Schlagzahlen auf Werte von $N_{10} = 5 - 10$ Schläge/10 cm Eindringtiefe an, was für eine mitteldichte Lagerung der Talkiese spricht. Bereichsweise auftretende Rückgänge der Schlagzahlen auf Werte von $N_{10} < 5$ Schläge/10 cm Eindringtiefe sind auf eingelagerte „Weichschichten“ bzw. wassergesättigte Fein- bis Mittelkiese („Rollkiese“) zurückzuführen.

Die in der Rammsondierung **RS-2** ab 4 m Tiefe und in der Rammsondierung **RS-1** ab 5 m Tiefe auftretenden Schlagzahlen von $N_{10} > 20$ Schläge/10 cm Eindringtiefe werden von „verbackenen“, dicht gelagerten Talkiesen hervorgerufen.

2.3 Bodenmechanische Untersuchungen

Für die bodenmechanische Beurteilung der anstehenden Böden wurden aus den Kernbohrungen Bodenproben entnommen und im bodenmechanischen Labor des **ihb** untersucht.

Zur bodenmechanischen Klassifizierung nach **DIN 18196** wurden an zwei Proben aus dem **Tallehm** die Konsistenzgrenzen nach **DIN 18122** und an zwei Proben aus den **Kieskiesen** die Korngrößenverteilungen nach **DIN 18123** ermittelt. Darüber hinaus wurden für die Zuordnung der Konsistenz und für die Beschreibung des Homogenbereiches nach **DIN 18300** an weiteren Bodenproben die natürlichen Wassergehalte nach **DIN 18121** und an zwei Proben die Glühverluste nach **DIN 18128** ermittelt.

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Untersuchungen sind in den nachfolgenden **Tabellen 2 bis 4** und in den **Anlagen 5 und 6** dargestellt. Die ermittelten Wassergehalte sind neben den Schichtenprofilen in der **Anlage 2** dargestellt.

Tabelle 2:

Ergebnisse der Konsistenzuntersuchungen

Probenbezeichnung	S-1	S-3
Entnahmestelle	RKS-1	RKS-2
Entnahmetiefe (m)	1,50	2,00
Bodenart	Tallehm	Tallehm
natürl. Wassergehalt (Gew.%)	18,9	37,3
Fließgrenze w_L	41,5	53,5
Ausrollgrenze w_P	20,3	23,8
Plastizitätszahl I_P	21,2	29,7
Konsistenzzahl I_C	1,06	0,54
Zustandsform	halbfest	weich
Bodengruppe nach DIN 18196	TM	TA

Tabelle 3:

Ergebnisse der Korngrößenverteilungen

Probenbezeichnung	S-2	S-4
Entnahmestelle	RKS-1	RKS-2
Entnahmetiefe (m)	3,0 - 5,0	3,0 - 5,0
Feinkornanteil (%)	7,4	8,1
Sandanteil (%)	14,1	22,7
Kiesanteil (%)	78,5	69,2
Steinanteil (%)	0,0	0,0
Bodengruppe nach DIN 18196	GU/GT	GU/GT

Tabelle 4:
Glühverlust der Bodenproben

Entnahmestelle		RKS-1	RKS-2
Entnahmetiefe	(m)	1,50	2,00
Glühverlust	(%)	3,78	4,47

Wie die bodenmechanischen Untersuchungen zeigen, handelt es sich bei dem untersuchten **Tallehm** um mittel- bis ausgeprägt plastische Tone, die nach **DIN 18196** in die **Bodengruppen TM** und **TA** einzuordnen sind.

Bei den **Talkiesen** handelt es sich um gemischtkörnige Böden, die nach **DIN 18196** überwiegend der **Bodengruppe GU** bzw. **GT** zuzuordnen sind.

3 Grundwasserverhältnisse

Wie bereits angesprochen, wurde das Grundwasser jeweils im Bereich der Talkiese erbohrt. Die in den Baugrundaufschlüssen ermittelten Grundwasserstände sind in der nachfolgenden **Tabelle 5** aufgelistet.

Tabelle 5:
Gemessene Grundwasserstände

Aufschluss	Ruhewasserspiegel	
	m u GOK	m TH
RKS-1	3,10	313,12
RKS-2	2,76	313,10

Die Höhenlage des Wasserspiegels unterliegt jahreszeitlichen und witterungsbedingten Schwankungen. Die Festlegung eines Bemessungswasserstandes erfolgt daher üblicherweise anhand von langjährigen Grundwasserstandsmessungen und wird von der zuständigen Fachbehörde beim Landratsamt festgelegt. Sofern keine langjährigen Grundwasserstandsmessungen vorliegen, wird üblicherweise von der Wasserrechtsbehörde der gemessene Wasserstand mit einem Sicherheitszuschlag von 1 m versehen. Bei der o. g. Vorgehensweise würde ein **Bemessungswasserstand** von **314,10 m** vorgeschlagen werden.



Abb. 1: Auszug aus der Hochwassergefahrenkarte

Wie der obige Auszug aus der Hochwassergefahrenkarte von Baden-Württemberg zeigt, liegt das Bau Feld zwar nicht im Überflutungsbereich (HQ₁₀₀) des „Neckars“, aber im Druckwasserbereich des „Neckars“ bei HQ₁₀₀, so dass sich die Fläche durch einen Anstieg des Grundwasserspiegels mit Druckwasser füllen kann.

4 Homogenbereiche nach VOB Teil C

Nach der neuen **VOB Teil C** sind die angetroffenen Böden und Felsschichten anstelle der früher geltenden Bodenklassen 1 bis 7 entsprechend ihrem Zustand vor dem Lösen in „Homogenbereiche“ zu unterteilen.

Ein Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- und Felsschichten, der für einsetzbare Erdbaugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweist.

Bei den zu erwartenden Erdarbeiten handelt es sich um den Baugruben bzw. Fundament-aushub. Entsprechend der ATV **DIN 18300** werden für die im Untersuchungsgebiet anstehenden Bodenhorizonte die in der nachstehenden **Tabelle 6** aufgelisteten Homogenbereiche vorgeschlagen.

Bei den aufgeführten Eigenschaften und Kennwerten handelt es sich **nicht** um charakteristische Kennwerte für Berechnungen, sondern um mögliche Spannbreiten, die zur Abschätzung der Bearbeitbarkeit der Boden- und Felsschichten für die jeweiligen Baugeräte verwendet werden können.

Tabelle 6:
Homogenbereiche nach DIN 18300 (Erdarbeiten)

	Homogenbereich A	Homogenbereich B
Ortsübliche Bezeichnung	Mutterboden	Talablagerungen (Tallehm und Talkies)
Korngrößenverteilung	-	siehe Anlage 6
Massenanteile Steine [%]	< 5	< 15
Massenanteile Blöcke [%]	0	< 5
Massenanteile große Blöcke [%]	0	0
Dichte ρ [g/cm ³]	-	1,8 - 2,1
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	-	< 300
Wassergehalt w [%]	-	< 40 (8,1 - 37,3)
Plastizitätszahl I_p [%]	-	< 35 (21,2 - 29,7)
Konsistenzzahl I_c	-	0,50 - 1,25 (0,54 - 1,06)
Lagerungsdichte	-	mitteldicht - dicht 0,45 - 0,85
organischer Anteil V_{gl} [%]	-	< 5 (3,8 - 4,5)
Bodengruppe nach DIN 18196	TL, TM, TA, OU, OH	TM, TA, GU, GT, GU*, GT*
„alte“ Bodenklasse	1	3 - 5

Bei den in Klammern angegebenen Werten handelt es sich um ermittelte Werte

5 Bodenmechanische Kennwerte

Anhand der bodenmechanischen Klassifizierung können für erdstatische Berechnungen die nachfolgend aufgelisteten Werte der **Tabelle 7** in Ansatz gebracht werden.

Tabelle 7:
Bodenmechanische Kennwerte der anstehenden Schichten

Bodenart	Wichte (kN/m ³)		Reibungs- winkel (°) cal. φ_k	Kohäsion (kN/m ²)		Steifemodul (MN/m ²) cal. $E_{s,k}$
	cal. γ	cal. γ'		cal. c_k	cal. c_u	
Quartär						
Tallehm	17,5 - 20,5	7,5 - 10,5	15,0 - 17,5	5 - 15	15 - 60	4 - 6
Talkies, stark bindig	19 - 20	9 - 10	25 - 30	0 - 2	0	10 - 15
Talkies, mitteldicht	20	12	32,5	0	0	30 - 60
Weichschicht	18 - 20	8 - 10	20 - 25	0 - 5	5 - 15	3 - 5
Talkies, dicht	22	14	35	0	0	40 - 80

Gemäß der „Karte der Erdbebenzonen und Untergrundklassen für Baden-Württemberg“ befindet sich das Baugelände in der **Erdbebenzone 3** und in der **Untergrundklasse R** (Gebiet mit felsartigem Gesteinsuntergrund). Nach der **DIN EN 1998-1/NA** (2010-12) ist der Baugrund der **Baugrundklasse B** zuzuordnen.

Die oberflächennah anstehenden, bindigen Böden sind sehr frostempfindlich und in die **Frostempfindlichkeitsklasse F 3** einzustufen.

6 Gründungstechnische Folgerungen

Wie die Baugrunduntersuchungen zeigen, lagert im Baufeld unter dem **Mutterboden** ein steifer bis halbfester **Tallehm**, der im tieferen Bereich auch lediglich eine weiche bis steife Konsistenz aufweisen kann. Im Liegenden folgen sandig-schluffige **Talkiesen**, die aufgrund der Überlagerung mit dem Tallehm im obersten Bereich teils stark tonig-schluffig ausgebildet sind. Ab ca. 3 m Tiefe sind die Talkiese grundwasserführend und vernässt. Im den Talkiesen wurden eingelagerte „**Weichschichten**“, aus weichen vernässten Lehm- und Sandlinsen erbohrt.

Für die bindigen Talablagerungen gilt, dass bindige Böden mit steigendem natürlichen Wassergehalt (w_n) und höherer Plastizität (I_p) eine größere Zusammendrückbarkeit aufweisen. Daher ist insbesondere der weiche und ausgeprägt plastische **Tallehm** als Gründungshorizont **ungeeignet** und kann **nicht** zur Lastabtragung herangezogen werden.

Bei den unterlagernden **Talkiesen** kann festgestellt werden, dass deren Tragfähigkeit in erster Linie vom Feinkornanteil (Korngröße $< 0,063$ mm) geprägt wird. Generell kann davon ausgegangen werden, dass Kiese mit einem Feinkornanteil kleiner 15 Gew.%, entsprechend der **Bodengruppe GU** bzw. **GT** nach **DIN 18196**, einen **Korn-zu-Korn-Kontakt** aufweisen. Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, weisen die Talkiese größtenteils einen Feinkornanteil von weniger als 15 Gew.% auf und sind daher als **tragfähiger** Gründungshorizont einzustufen.

Wie der Systemschnitt in der **Anlage 4** zeigt, liegt die geplante EFH der **Technikzentrale** mit 316,80 m über dem derzeitigen Geländeniveau. Nach den Ergebnissen der Baugrunduntersuchungen werden die tragfähigen Kiese in einer Tiefe von ca. 2 m (**314,20 m**) erreicht, so dass die Lasten auf punktförmigen Fundamentvertiefungen in Form von „Betonplomben“ abgetragen werden müssen, die von streifenförmigen Fundamentbalken überspannt werden.

Wie bereits angesprochen, sind die Talkiese im obersten Bereich teils stark schluffig-tonig ausgebildet, so dass die „Fundamentplomben“ nicht nur auf den Talkiesen auflagern, sondern ca. **30 cm** tief in die Talkiese **einbinden** müssen.



Nach den durchgeführten Setzungs- und Grundbruchberechnungen (**Anlage 7**) liegt die zulässige Bodenpressung für Fundamentplomben die in den mitteldicht gelagerten **Talkiesen** gegründet werden, nach **DIN 1054** (2005-01) bei $\sigma_{zul} \leq 400 \text{ kN/m}^2$. Dies entspricht einem Bemessungswert des Sohlwiderstands (design-Wert) von $\sigma_{R,d} = 560 \text{ kN/m}^2$ nach **DIN 1054** (2010-12). Die aus der Belastung auftretenden Setzungen liegen in Abhängigkeit von der Fundamentbreite bei **1,0 - 1,5 cm**.

Beim Aushub der „Fundamentplomben“ ist zu beachten, dass die Fundamente eine Mindestabmessung in der Größenordnung des geöffneten Baggergreifers von ca. 1,60 m aufweisen müssen. Um Nachbrüche aus der Grubenwand zu verhindern, muss die Verfüllung der Fundamentvertiefungen mit Magerbeton unmittelbar im Anschluss an den Aushub erfolgen. Nach den Ergebnissen der Baugrunderkundung muss mit ca. **2 m** tiefen Fundamentplomben gerechnet werden.

Wie der Systemschnitt in der **Anlage 4** zeigt, liegt die geplante Unterkante des **Wärmespeichers** bei 314,00 m und somit nahezu auf Höhe der Talkiese. Bei der flächig auftretenden hohen Last ist in erster Linie an eine Gründung auf einer entsprechend dimensionierten Bodenplatte zu denken.

Bei einer Gründung auf einer entsprechend dimensionierten Bodenplatte kann für die vorläufige Bemessung der Sohlplatte von einem Bettungsmodul in einer Größenordnung von $k_{s,k} = 7 \text{ MN/m}^3$ ausgegangen werden. In den Randbereichen kann für die Kantenpressung der Bettungsmodul auf $k_{s,k} = 10 \text{ MN/m}^3$ erhöht werden. Für die Auflagerung der Bodenplatte müssen der gegebenenfalls noch vorhandene Tallehm bis zum anstehenden Neckarkies **vollständig ausgeräumt** und durch Schottertragschichtmaterial ersetzt werden.

Zur Verstetigung der Last muss die Bodenplatte auf einer mindestens 30 cm mächtigen Tragschicht auflagern. Für die Tragschicht und den Bodenaustausch muss ein kornabgestuftes Material der **Verdichtbarkeitsklasse V1** (z. B. **KFT**) verwendet werden, dass lagenweise mit einem Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 100\%$ Proctordichte eingebaut wird.

6.1 Baugrubenerstellung und Wasserhaltung

Für die Errichtung des Wärmespeichers muss mit einer ca. 2 m tiefen Baugrube gerechnet werden. Generell können freie Baugrubenböschungen unter Beachtung der Richtlinien entsprechend den Maßgaben der **DIN 4124** ohne Wasserzutritt bis zu einer Böschungshöhe von 5 m in dem weichen Tallehm und in den Talkiesen als Regelböschung mit einem Böschungswinkel von $\beta \leq 45^\circ$ angelegt werden. In dem steifen bis halbfesten Tallehm kann der Böschungswinkel auf $\beta \leq 60^\circ$ erhöht werden. Nach den vorliegenden Plänen steht hierfür ausreichend Platz zur Verfügung.

Die übrigen Hinweise der **DIN 4124** (z. B. lastfreie Böschungskronen) sind ebenfalls zu berücksichtigen. Frei angelegte Baugrubenböschungen sollten mit Folie vor Witterungseinflüssen geschützt werden.

Die Aushubsohle der Baugrube liegt oberhalb des Grundwasserspiegels. Dennoch muss in Zeiten erhöhter Niederschläge in der Baugrube mit Tag- und Sickerwasserzutritten gerechnet werden. Das in der Baugrube anfallende Wasser muss durch eine „offene“ Wasserhaltung mittels seitlichen Drainagegräben und Pumpensümpfen abgeleitet werden.

Nach den vorliegenden Untersuchungen muss davon ausgegangen werden, dass der anstehende Tallehm **nicht** ohne eine zusätzliche Aufbereitung für einen Wiedereinbau in den Arbeitsräumen geeignet ist.

Hinsichtlich der Arbeitsraumverfüllung muss angemerkt werden, dass bei bindigen Erdstoffen selbst bei guter Verdichtung Setzungen in einer Größenordnung von 1 - 2% der Schütthöhe auftreten, welche im Bereich von Grünflächen in Kauf genommen werden können. Unter befestigten Flächen empfiehlt es sich jedoch, die Arbeitsraumverfüllung mit Schotter- oder Siebschuttmaterial auszuführen.

Generell muss die Verfüllung der Arbeitsräume entsprechend **ZTV E-StB 17** mit einem Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 100\%$ Proctordichte erfolgen.



6.2 Generelle Hinweise zur Bauausführung

Generell sind Bauwerke, die in gering durchlässigen Schichten einbinden, zur Vermeidung von drückendem Wasser durch versickerndes Niederschlagswasser entsprechend den Maßgaben der **DIN 4095** zu drainieren. Eine Ableitung von Grundwasser findet hierdurch **nicht** statt.

Sofern das umgebende Gelände nicht höher liegt als der Rohfußboden und das Gelände mit einem Gefälle weg vom Gebäude angelegt wird bzw. befestigte Flächen mit einer separaten Entwässerung versehen sind, kann auf eine Dränung nach **DIN 4095** verzichtet werden. Wenn einer der oben genannten Punkte nicht zutrifft, muss das Gebäude nach **DIN 4095** drainiert werden.

Der **rückstaufreie** Anschluss einer Drainage muss im Zuge des Bauantrages eingereicht und vom Netzbetreiber (Stadt Tübingen) genehmigt werden. Gebäudeteile, die unterhalb des Dränniveaus liegen oder nicht drainiert werden, müssen **wasserdicht** und **auftriebs-sicher** ausgebildet werden.

Bei einer Dränung des Gebäudes ist nach **DIN 18533** für erdberührende Bauteile eine Abdichtung gegen nicht drückendes Wasser nach der Wassereinwirkungsklasse **W1.2-E** ausreichend. **Ohne** Dränung muss eine Abdichtung gegen aufstauendes Sickerwasser nach der Wassereinwirkungsklasse **W2.1-E** (< 3 m) bzw. **W2.2-E** (> 3 m) erfolgen oder mit WU-Beton ausgeführt werden.

Nach dem **Arbeitsblatt DWA-A 138** werden Lockergesteine mit einer Durchlässigkeit zwischen **1 x 10⁻³ m/s** und **1 x 10⁻⁶ m/s** als versickerungsfähig angesehen. Die anhand der Korngrößenverteilungen abgeschätzten Durchlässigkeiten liegen in dieser Größenordnung, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Talkiese prinzipiell für eine Versickerung geeignet sind.

Das Bauvorhaben liegt jedoch in der Schutzzone II des Wasserschutzgebietes „Brunnen Au“, so dass eine Versickerung vom **Landratsamt Tübingen** genehmigt werden muss.

Die Auflagerung der Bodenplatte der Technikzentrale muss auf einer kapillarbrechenden Filter- und Ausgleichsschicht von ≥ 20 cm erfolgen. Als Material wird ein kornabgestuftes, frostsicheres Mineralgemisch (z. B. Schotter-Splitt-Gemisch der Körnung 2/32 oder 2/45 mm) empfohlen. Vor dem Betonieren der Bodenplatte muss die Oberfläche der Filterschicht zusätzlich durch eine Folie geschützt werden.

Der Einbau von Fremdmaterial hat generell lagenweise und verdichtet, entsprechend den einschlägigen Normen und den erdbautechnischen Vorschriften der **ZTV E-StB 17** zu erfolgen.

7 Zusammenfassung

Im Baufeld der geplanten Solarthermieanlage auf den „Reutlinger Wiesen“ in Tübingen lagert unter dem **Mutterboden** ein sandig-schluffiger, meist steifer bis halbfester, im tieferen Bereich auch weicher **Tallehm**, der von sandigen, tonig-schluffigen **Talkiesen** unterlagert ist. Die Talkiese sind ab ca. 3 m Tiefe grundwasserführend und vernässt. Bereichsweise ist in die Talkiese eine geringmächtige **Weichschicht** eingelagert.

Die **Technikzentrale** muss auf ca. **2 m** tiefen punktförmigen Fundamentvertiefungen in Form von „Betonplomben“ gegründet werden, die von streifenförmigen Fundamentbalken überspannt werden. Mittig belastete Fundamentplomben, die in den mitteldicht gelagerten **Talkiesen** gegründet werden, können nach **DIN 1054** (2005-01) mit $\sigma_{zul} \leq 400 \text{ kN/m}^2$ belastet werden. Dies entspricht einem Bemessungswert des Sohlwiderstands (design-Wert) von $\sigma_{R,d} = 560 \text{ kN/m}^2$ nach **DIN 1054** (2010-12). Die aus der Belastung auftretenden Setzungen liegen in Abhängigkeit von der Fundamentbreite bei **1,0 - 1,5 cm**.

Der **Wärmespeicher** liegt bei 314,00 m und somit nahezu auf Höhe der Talkiese. Bei der flächig auftretenden hohen Last ist in erster Linie an eine Gründung auf einer entsprechend dimensionierten Bodenplatte zu denken. Für die vorläufige Bemessung der Sohlplatte kann von einem Bettungsmodul in einer Größenordnung von $k_{s,k} = 7 \text{ MN/m}^3$ ausgegangen werden. In den Randbereichen kann für die Kantenpressung der Bettungsmodul auf $k_{s,k} = 10 \text{ MN/m}^3$ erhöht werden.



Für die Auflagerung der Bodenplatte müssen der gegebenenfalls noch vorhandene Tallehm bis zum anstehenden Neckarkies **vollständig ausgeräumt** und durch Schottertragschichtmaterial ersetzt werden.

Generell können freie Baugrubenböschungen unter Beachtung der Richtlinien entsprechend den Maßgaben der **DIN 4124** angelegt werden.

Für die Gebäude wird eine Dränung nach **DIN 4095** empfohlen. Eine Ableitung von Grundwasser findet hierdurch **nicht** statt. Das in der Drainage anfallende Wasser muss **rückstaufrei** abgeleitet werden.

Anhand der Korngrößenverteilungen liegen die Durchlässigkeiten in eine Größenordnung von **$k = 10^{-4} - 10^{-6} \text{ m/s}$** , so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Talkiese prinzipiell für eine Versickerung geeignet sind. Aufgrund der Lage in der Schutzzone II des Wasserschutzgebietes „Brunnen Au“ muss eine Versickerung jedoch vom Landratsamt Tübingen genehmigt werden.

8 Abschließende Bemerkungen

Die Untergrundverhältnisse für die geplante Solarthermieanlage auf den „Reutlinger Wiesen“ in Tübingen wurden anhand der durchgeführten Untersuchungen beschrieben und beurteilt. Die Angaben beziehen sich daher auf die Untersuchungsstellen. Aufgrund von Inhomogenitäten in den Untergrundverhältnissen können lokale Abweichungen von den Befunden nicht ausgeschlossen werden. Es wird daher empfohlen, den Gutachter bei der Festlegung der ersten Gründungssohlen hinzuzuziehen.

Es wird eine sorgfältige Überwachung der Erdarbeiten empfohlen. Hierbei müssen die bei den Gründungsarbeiten angetroffenen Boden- und Grundwasserverhältnisse mit den Untersuchungsergebnissen und Folgerungen des Gutachtens verglichen werden.

Darüber hinaus können die getroffenen Abschätzungen und Interpolationen der Untergrundverhältnisse nicht als Grundlage für eine Massenermittlung dienen und ein Aufmaß vor Ort ersetzen.

Sollten sich Baugrundverhältnisse ergeben, die von denen im Gutachten beschriebenen abweichen, so ist der Gutachter erneut zu einer Beurteilung aufzufordern. Darüber hinaus ist der Gutachter zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern, wenn sich Fragen zu Sachverhalten ergeben, die im vorliegenden Gutachten nicht oder abweichend erörtert wurden.

Tübingen, den 06. Dezember 2021

ihb GmbH



Dipl.-Geol. A. Fündinger



Anlage 1

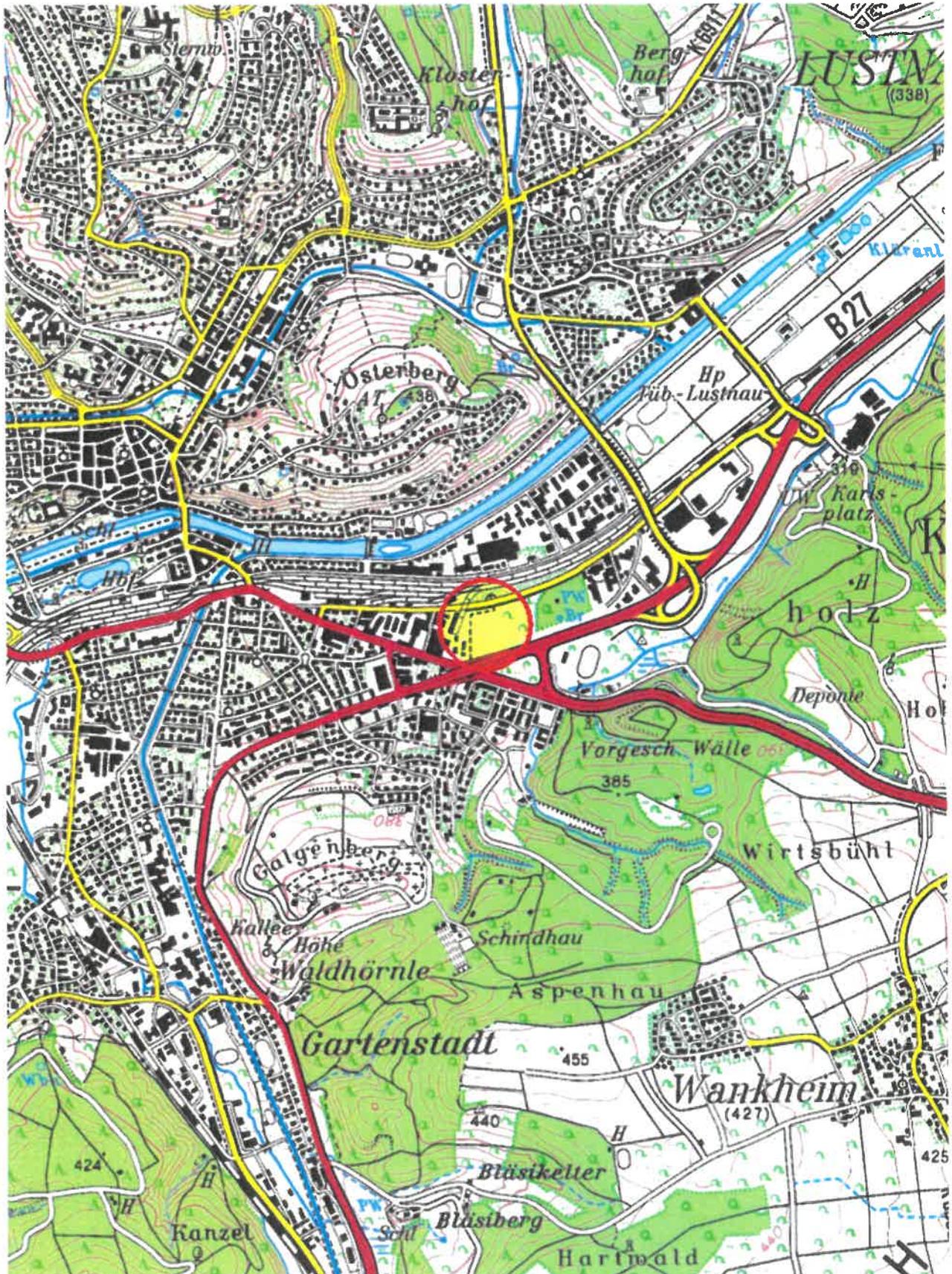
Lagepläne

ihb GmbH
Albrechtstraße 29
72072 Tübingen
Tel.: 07071/76760

Technikzentrale
"Solarpark Au" in Tübingen

Bericht Nr.: I 204802
Maßstab: 1 : 25.000

Übersichtslageplan



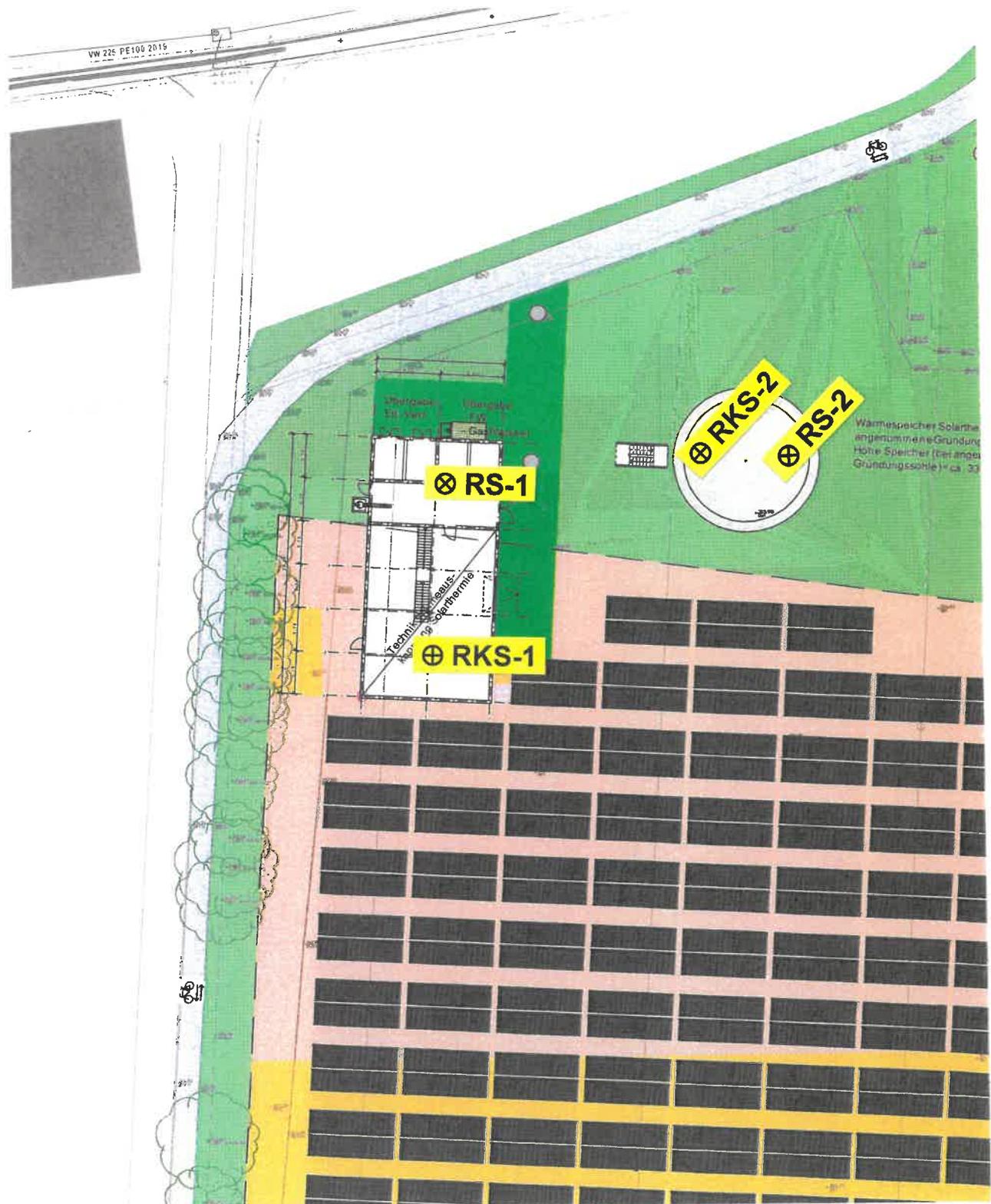
ihb GmbH
Albrechtstraße 29
72072 Tübingen
Tel.: 07071/76760

Technikzentrale
"Solarpark Au" in Tübingen

Bericht Nr.: | 204802

Maßstab: 1 : 500

Lageplan der Untersuchungspunkte





Anlage 2

Schichtenprofile der Rammkern-Sondierbohrungen

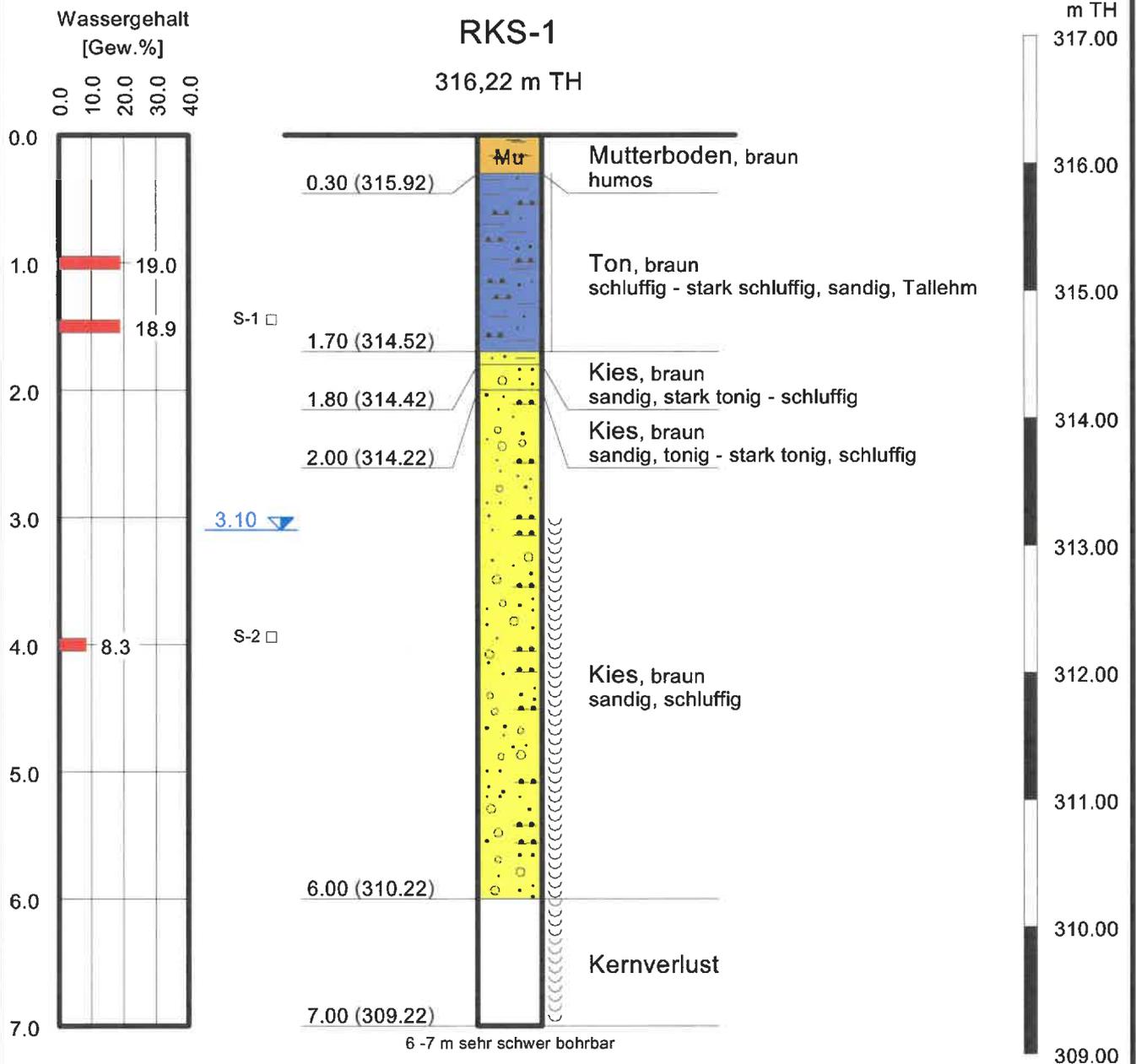
RKS-1 und RKS-2

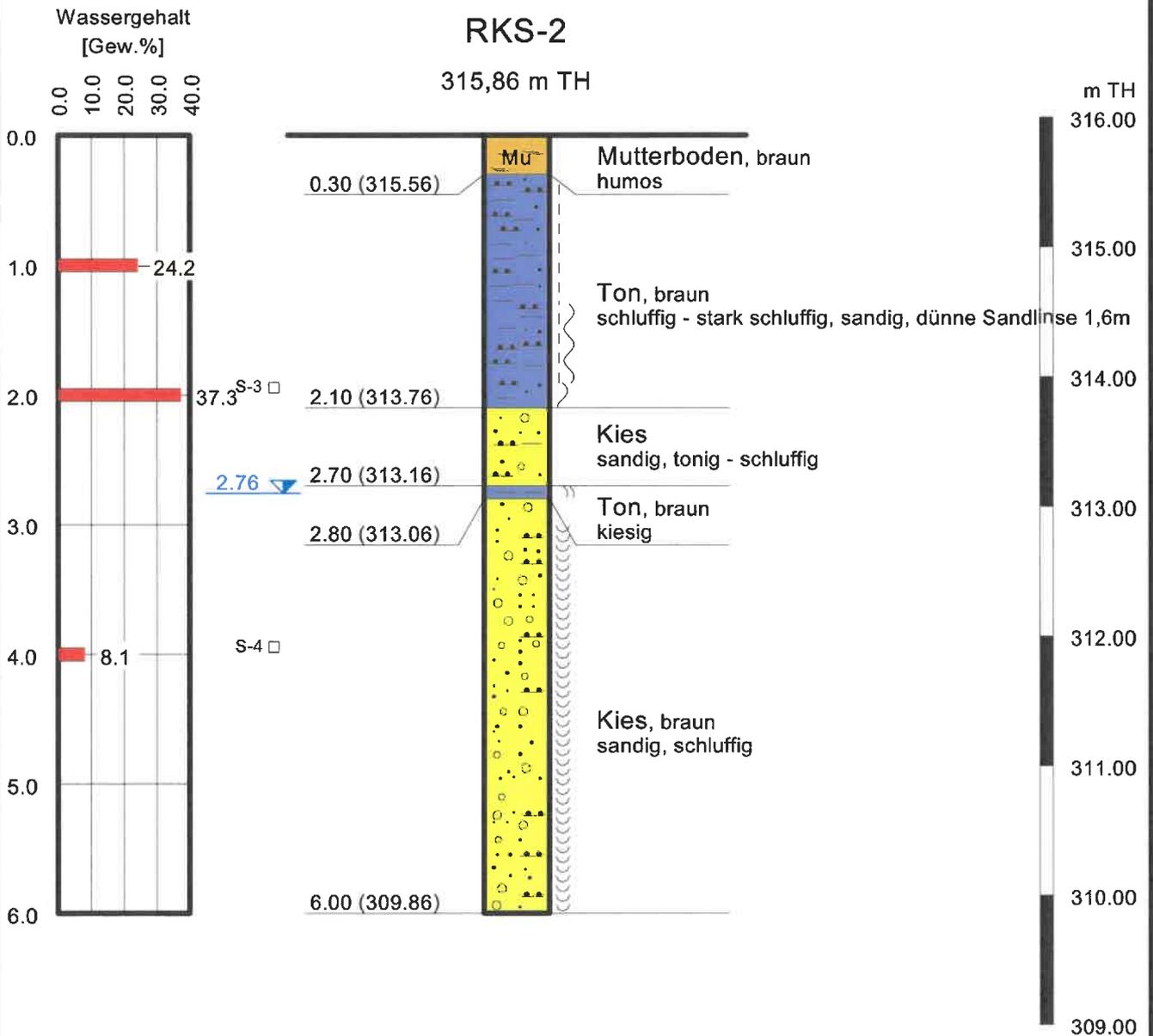
ihb GmbH
 Albrechtstraße 29
 72072 Tübingen
 Tel.: 07071/76760

Technikzentrale
 "Solarpark Au" in Tübingen

Bericht Nr.: I 204802

Maßstab: 1 : 50

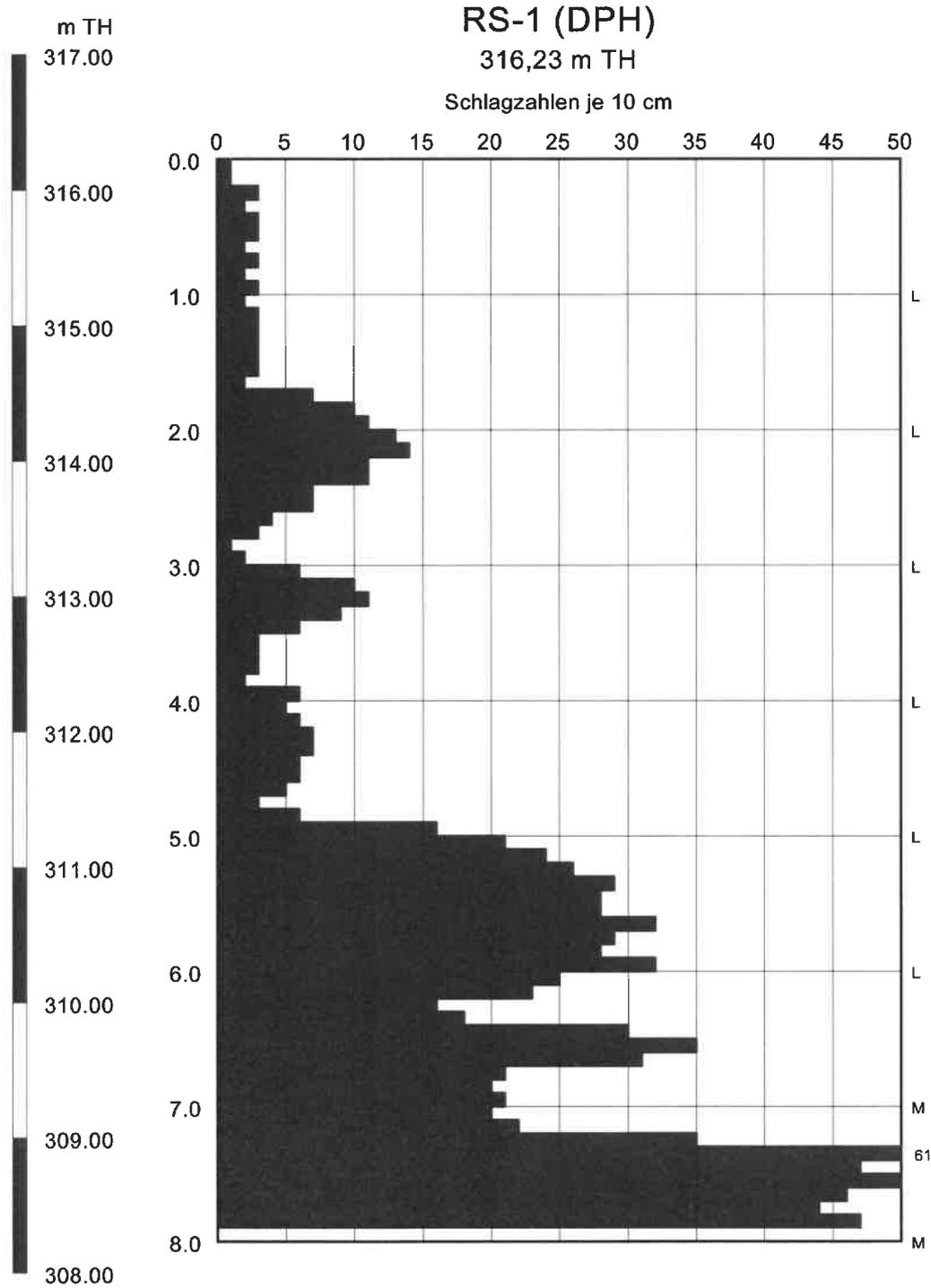






Anlage 3

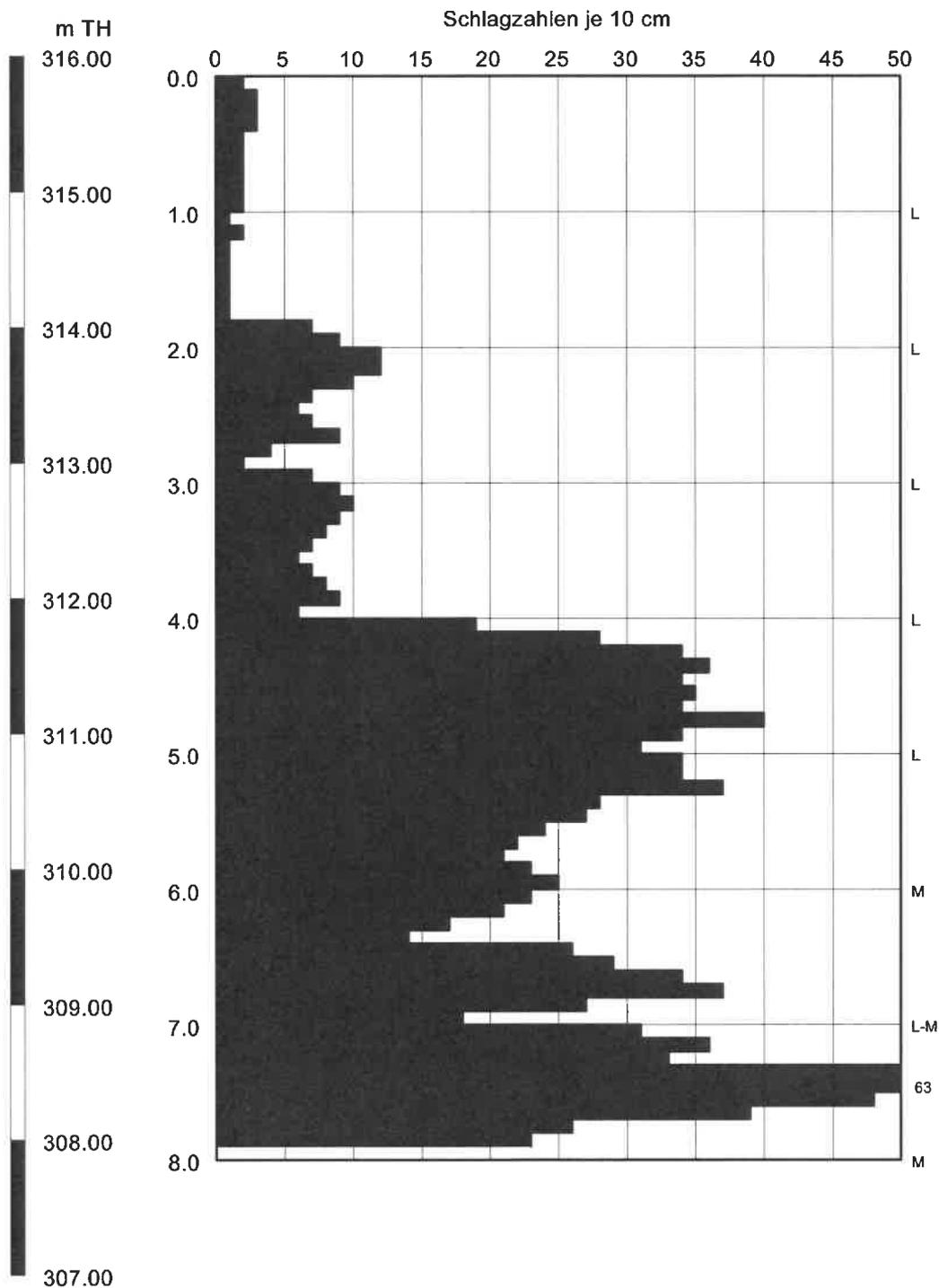
Rammdiagramme der Rammsondierungen RS-1 und RS-2



Drehbarkeit des Gestänges
L = leicht
M = mittel
S = schwer
SS = sehr schwer
ND = nicht drehbar

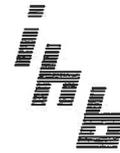
RS-2 (DPH)

315,85 m TH



Drehbarkeit des Gestänges

- L = leicht
- M = mittel
- S = schwer
- SS = sehr schwer
- ND = nicht drehbar



Anlage 4

Systemschnitte mit Untersuchungsergebnissen

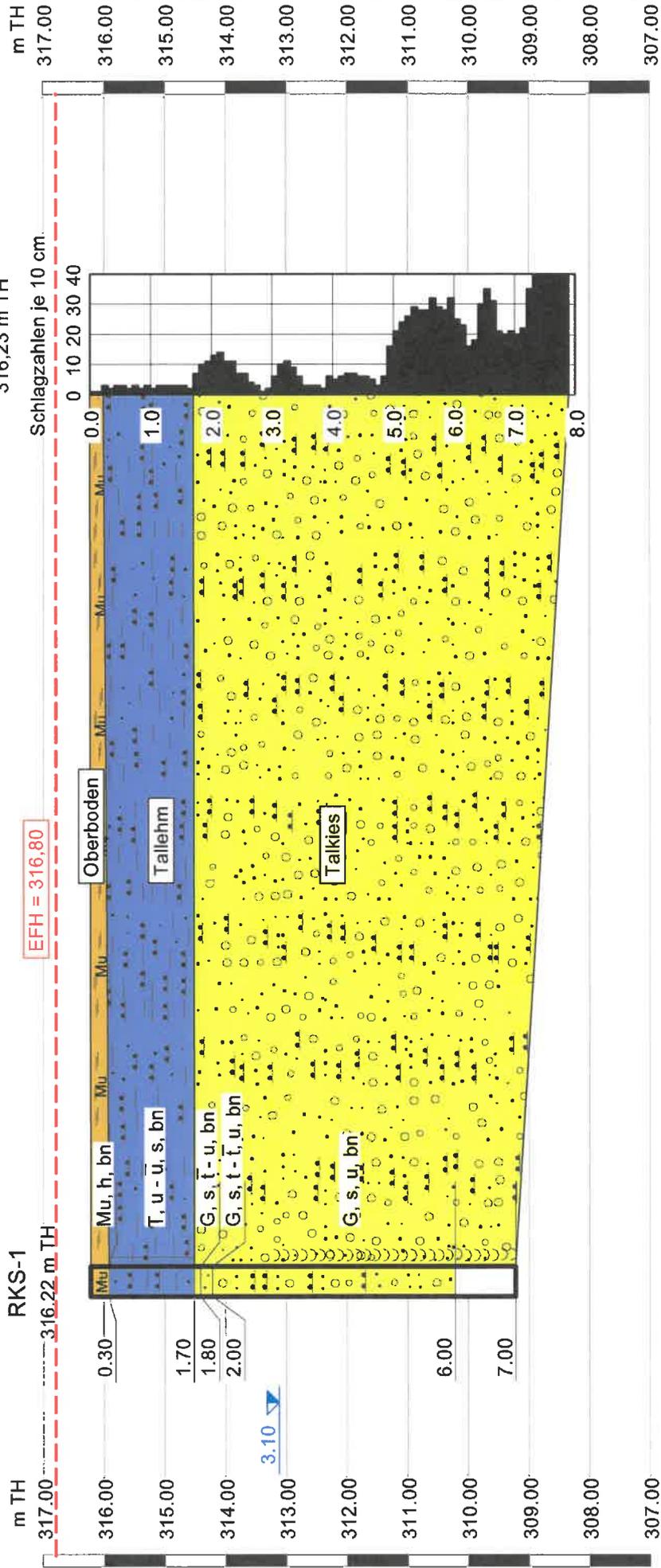
Systemschnitt Technikzentrale

ihb GmbH
 Albrechtstraße 29
 72072 Tübingen
 Tel.: 07071 - 76760

Technikzentrale
 "Solarpark Au" in Tübingen

Bericht Nr.: I 204802

Schnitt: S - N

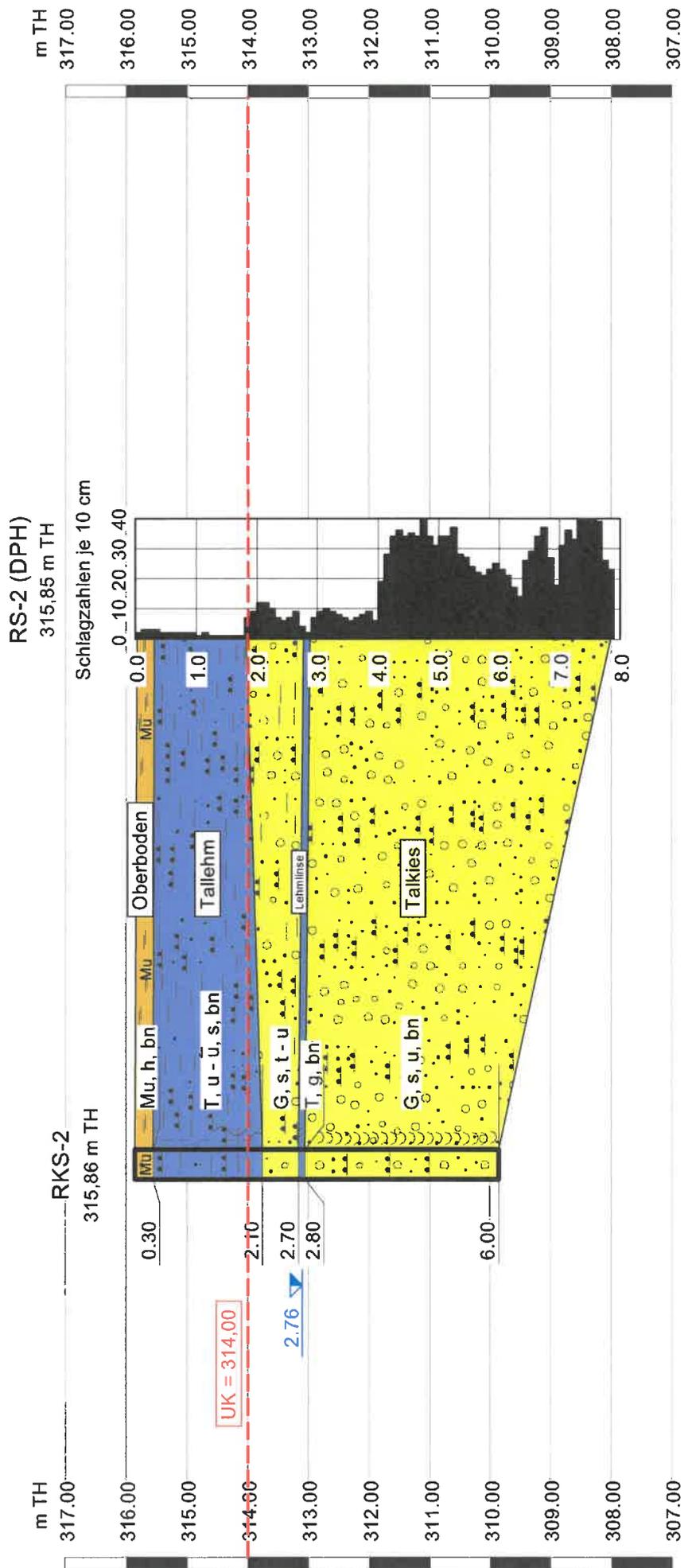


Systemschnitt Wärmespeicher

ihb GmbH
 Albrechtstraße 29
 72072 Tübingen
 Tel.: 07071 - 76760

Technikzentrale "Solarpark Au" in Tübingen

Bericht Nr.: I 204802
 Schnitt: W - E





Anlage 5

Ergebnisse der Konsistenzuntersuchungen

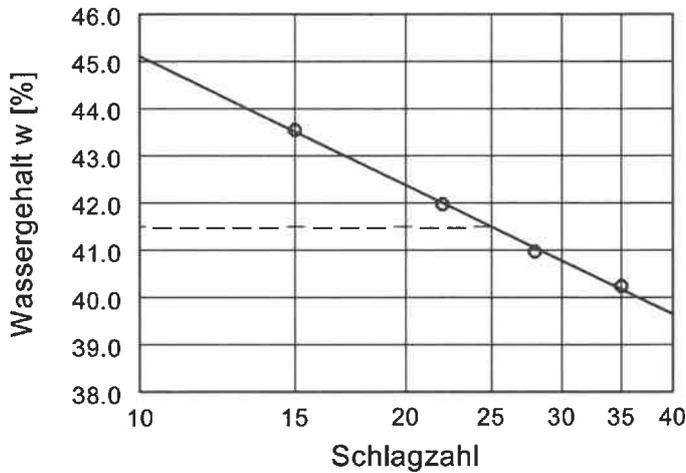
Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Technikzentrale
 "Solarpark Au" in Tübingen

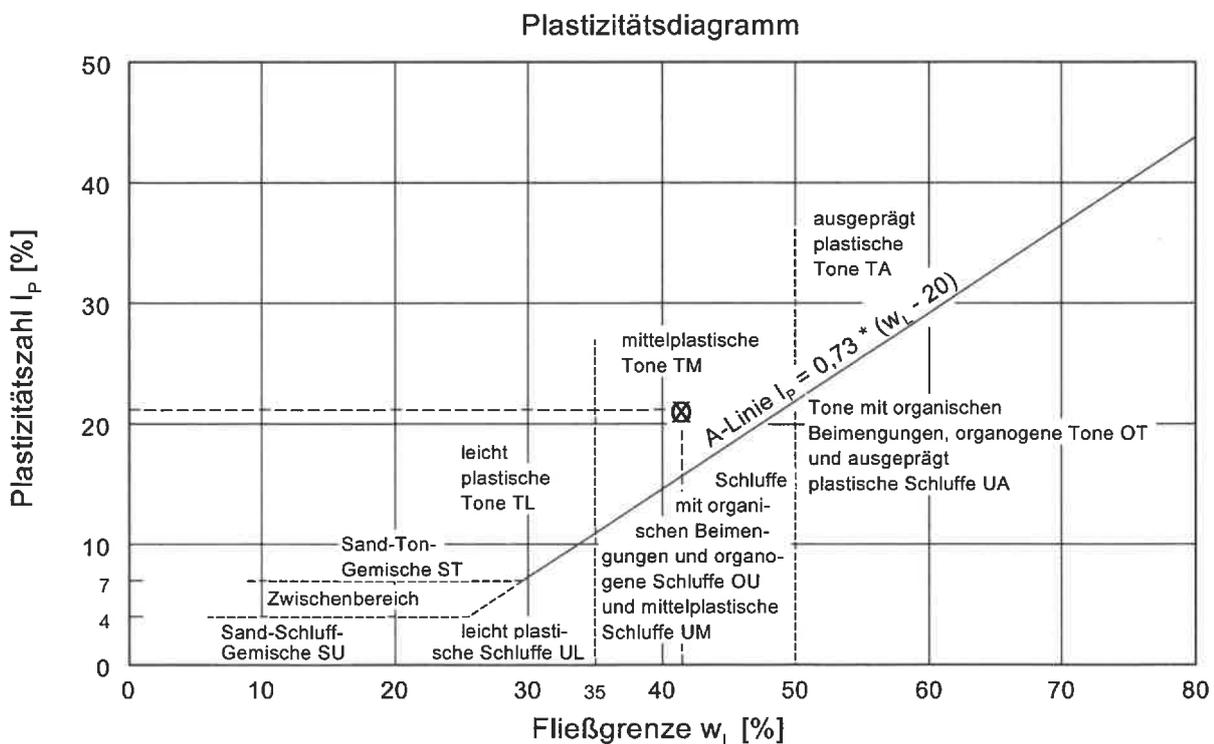
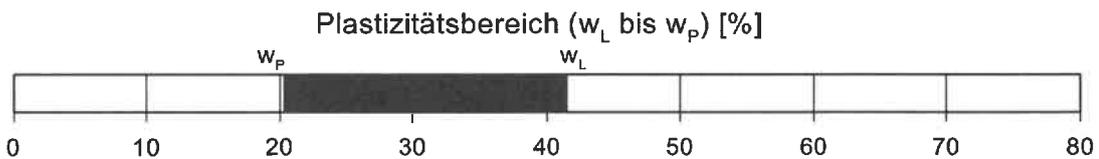
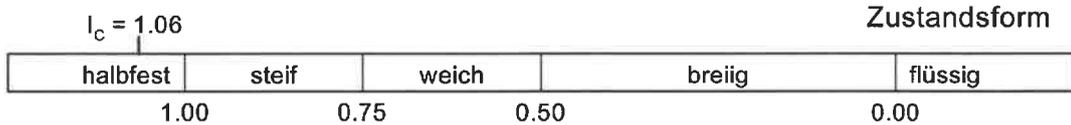
Bearbeiter: Fundinger

Datum: 02.12.2021

Probenbezeichnung: S-1
 Entnahmestelle: RKS-1
 Entnahmetiefe: 1,50 m
 Art der Entnahme: gestört
 Bodenart: Tallehm
 Probe entnommen am: 23.11.2021



Wassergehalt $w = 18.9 \%$
 Fließgrenze $w_L = 41.5 \%$
 Ausrollgrenze $w_P = 20.3 \%$
 Plastizitätszahl $I_p = 21.2 \%$
 Konsistenzzahl $I_c = 1.06$



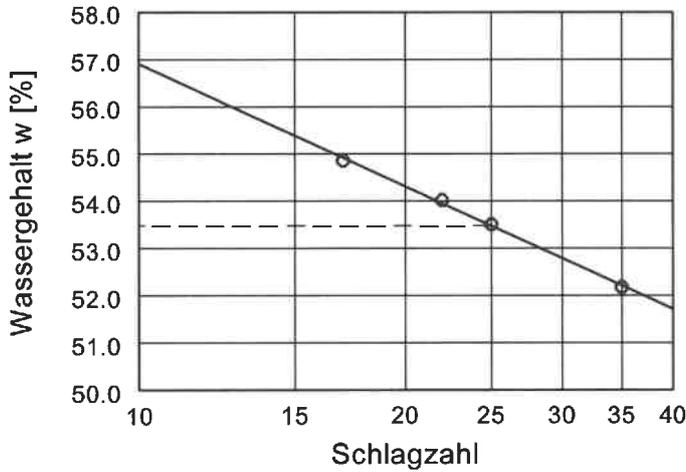
Zustandsgrenzen nach DIN 18 122

Technikzentrale
 "Solarpark Au" in Tübingen

Bearbeiter: Fundinger

Datum: 02.12.2021

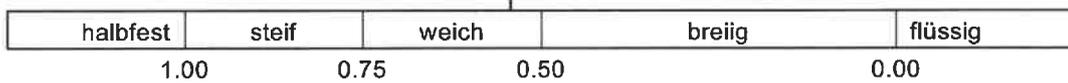
Probenbezeichnung: S-3
 Entnahmestelle: RKS-2
 Entnahmetiefe: 2,000 m
 Art der Entnahme: gestört
 Bodenart: Tallehm
 Probe entnommen am: 23.11.2021



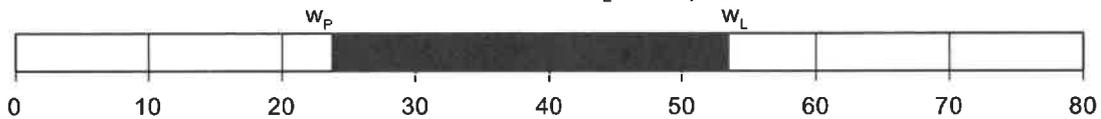
Wassergehalt w =	37.3 %
Fließgrenze w _L =	53.5 %
Ausrollgrenze w _p =	23.8 %
Plastizitätszahl I _p =	29.7 %
Konsistenzzahl I _c =	0.54

Zustandsform

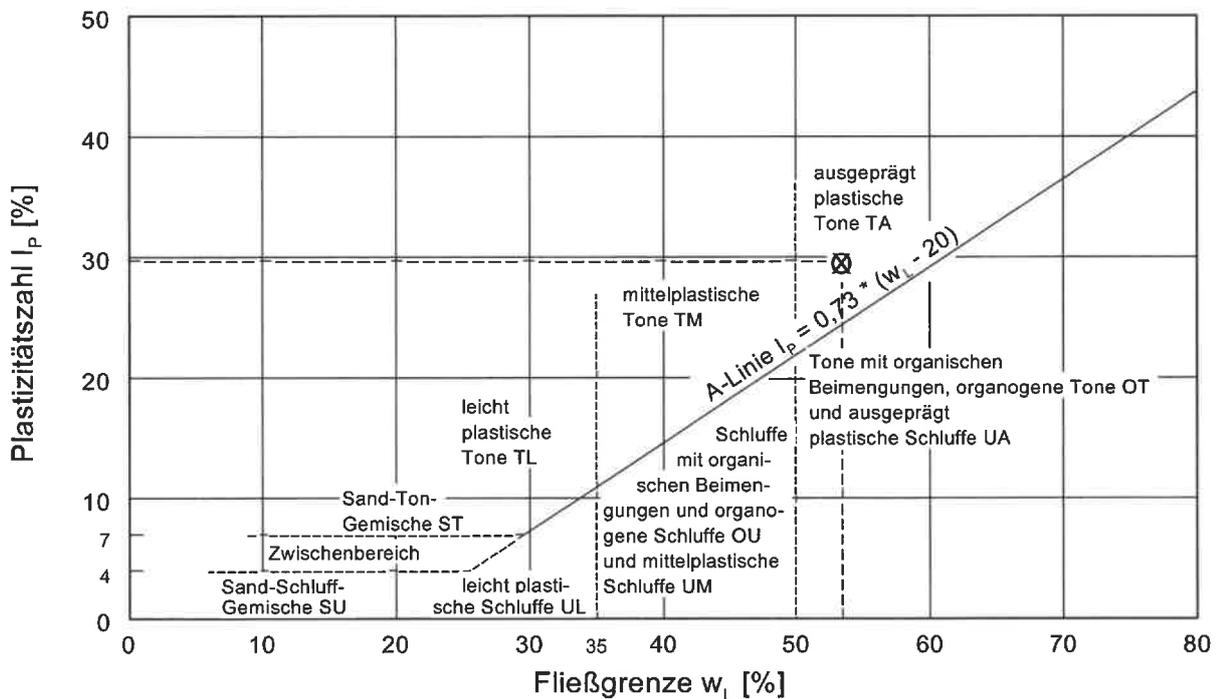
I_c = 0.54

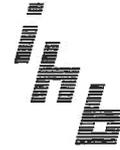


Plastizitätsbereich (w_L bis w_p) [%]



Plastizitätsdiagramm





Anlage 6

Ergebnisse der Korngrößenverteilungen

ihb GmbH
 Albrechtsstraße 29
 72072 Tübingen
 Tel.: 07071/76760

Datum: 02.12.2021

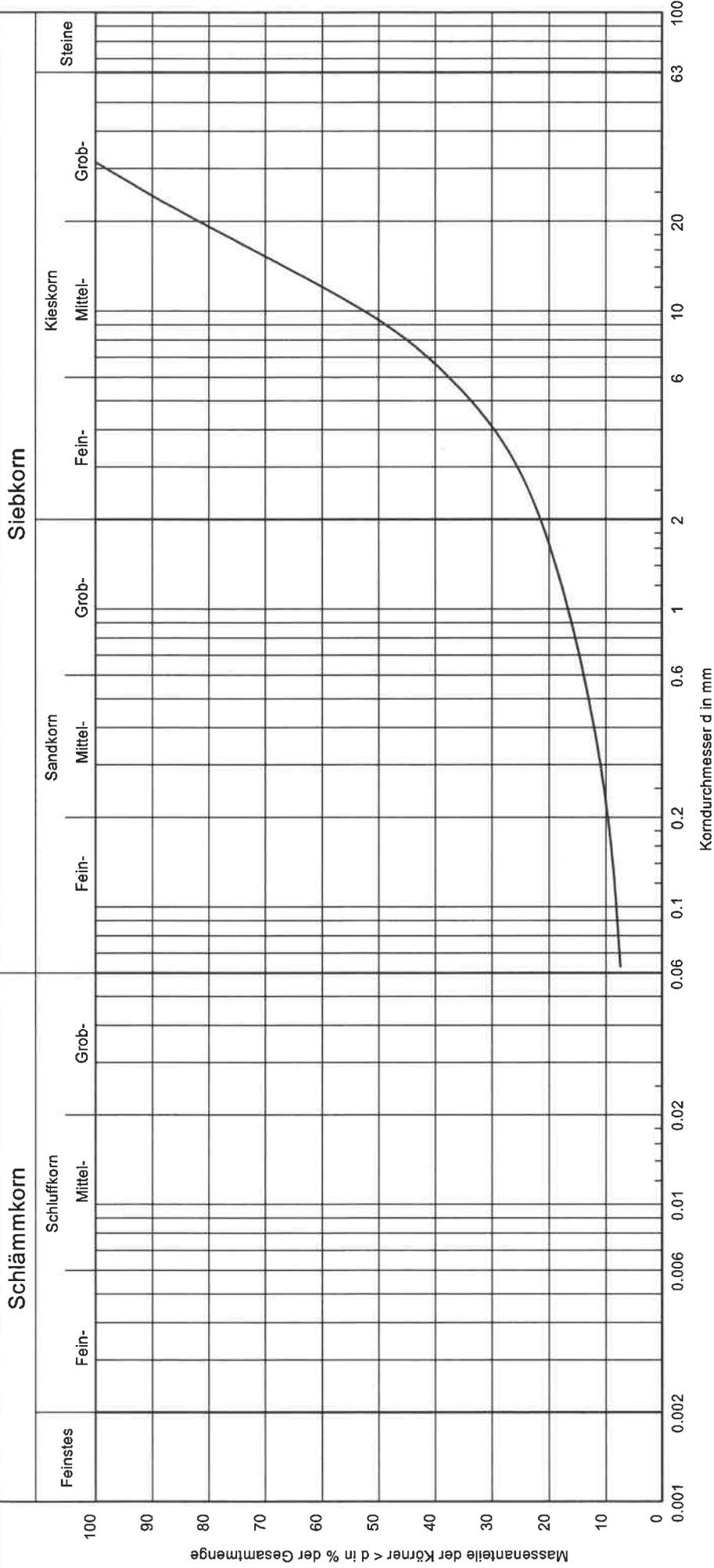
Bearbeiter: Fundinger

Körnungslinie

Technikzentrale

"Solarpark Au" in Tübingen

Probenbezeichnung: S-2
 Probe entnommen am: 23.11.2021
 Art der Entnahme: gestört
 Arbeitsweise: Siebung nach "nassem" Abtrennen



Bezeichnung:	S-2
Entnahmestelle:	RKS-1
Entnahmetiefe:	4,00 m
k [m/s] (Beyer):	$3.1 \cdot 10^{-4}$
U/Cc:	53.8/6.2
Bodenart:	mG, fg, gg, u', gs'
T/U/S/G [%]:	- /7.4/14.1/78.5
nach DIN 18196:	GU

Projekt-Nr.:
 I 204802
 Anlage:

Bemerkungen:

ihb GmbH
 Albrechtsstraße 29
 72072 Tübingen
 Tel.: 07071/76760

Datum: 02.12.2021

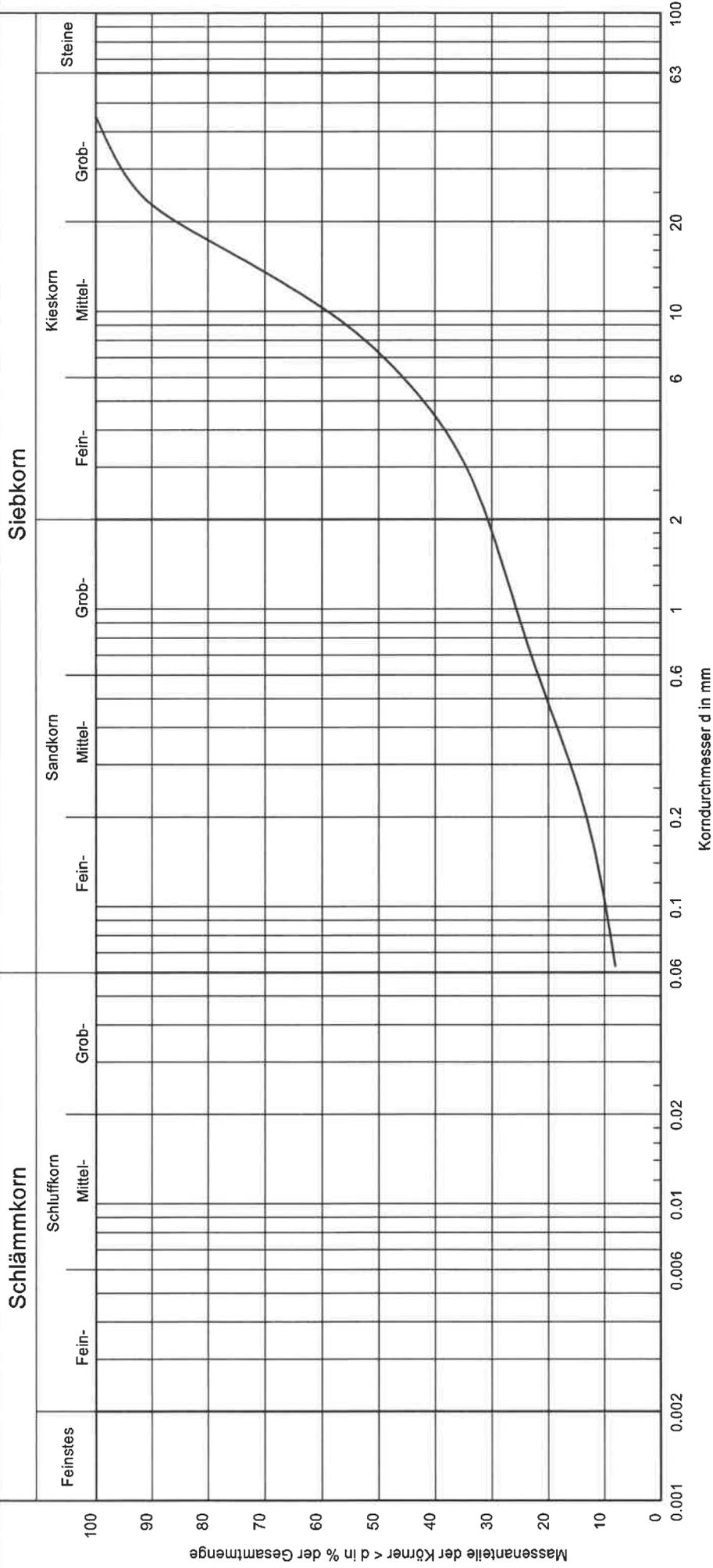
Bearbeiter: Fundinger

Körnungslinie

Technikzentrale

"Solarpark Au" in Tübingen

Probenbezeichnung: S-4
 Probe entnommen am: 23.11.2021
 Art der Entnahme: gestört
 Arbeitsweise: Siebung nach "nassem" Abtrennen



Bezeichnung:	S-4
Entnahmestelle:	RKS-2
Entnahmetiefe:	4,00 m
k [m/s] (Beyer):	$6.9 \cdot 10^{-5}$
U/Cc:	97.6/3.1
Bodenart:	mG, u', fs', ms', gs', fg', gg'
T/U/S/G [%]:	- /8.1/22.7/69.3
nach DIN 18196:	GU

Bemerkungen:

Projekt-Nr.:
 I 204802
 Anlage:

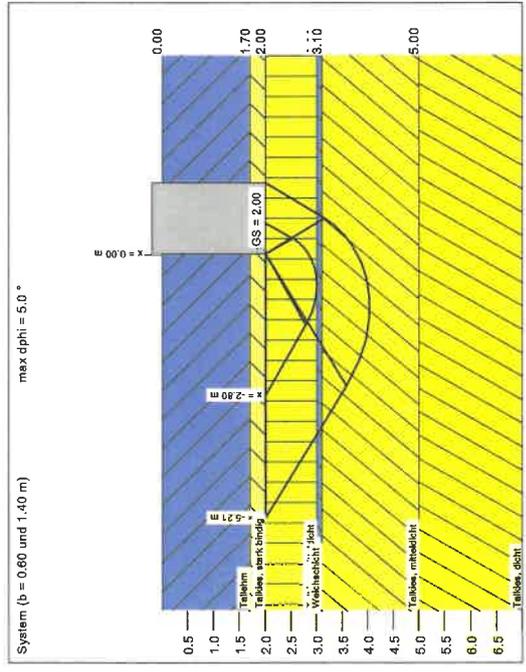


Anlage 7

Beispielberechnung Fundamentplomben (Fundamentdiagramm)

Berechnungsgrundlagen:
Beispielberechnung Haus 4
Grundbruchformel nach DIN 4017:2006
Teilsicherheitskonzept (EC 7)
Einzelfundament (a = 1,60 m)
 $\gamma_{R,v} = 1,40$
 $\gamma_G = 1,35$
 $\gamma_{G,0} = 1,50$
Anteil Veränderliche Lasten = 0,300
 $\gamma_{G,0} = 0,300 \cdot \gamma_G + (1 - 0,300) \cdot \gamma_G$
 $\gamma_{G,0} = 1,395$
Gründungssohle = 2,00 m
Grundwasser = 3,00 m
Vorbelastung = 20,0 kN/m²
Grenztiefe mit p = 20,0 %

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kN/m ²]	E _s [MN/m ²]	v [-]	Bezeichnung
	19,0	9,0	17,5	10,0	5,0	0,00	Tallem
	20,0	10,0	27,5	2,0	12,0	0,00	Talkies, stark bindig
	20,0	12,0	32,5	0,0	40,0	0,00	Talkies, mitteldicht
	19,0	9,0	22,5	5,0	4,0	0,00	Weichschicht
	20,0	12,0	32,5	0,0	40,0	0,00	Talkies, mitteldicht
	22,0	14,0	35,0	0,0	60,0	0,00	Talkies, dicht



a [m]	b [m]	zul σ [kN/m ²]	zul R [kN]	s [cm]	cal φ [°]	cal c [kN/m ²]	γ _z [kN/m ²]	σ ₀ [kN/m ²]	t _p [m]	UKLS [m]
1.60	0.60	575.2	552.1	1.17*	31.4**	0.00	20.00	38.30	5.55	3.00
1.60	0.80	390.2	499.4	0.91*	27.5**	0.58	19.45	38.30	5.36	3.16
1.60	1.00	404.3	646.9	1.07*	27.4**	0.29	18.46	38.30	5.74	3.45
1.60	1.20	427.1	820.0	1.24*	27.5**	0.23	17.64	38.30	6.12	3.74
1.60	1.40	442.9	992.2	1.38*	27.4**	0.19	17.00	38.30	6.44	4.03

* Vorbelastung = 20,0 kN/m²
 ** phi wegen 5° Bedingung abgemindert
 zul σ = σ_{sk} / (γ_{R,v} · γ<sub>G,0}) = σ_{sk} / (1,40 · 1,40) = σ_{sk} / 1,95
 Verhältnis Veränderliche / Gesamtlasten (G+Q)_{Ed} = 0,30</sub>

Fundamentplomben

