Geotechnische Stellungnahme zur Fundierung

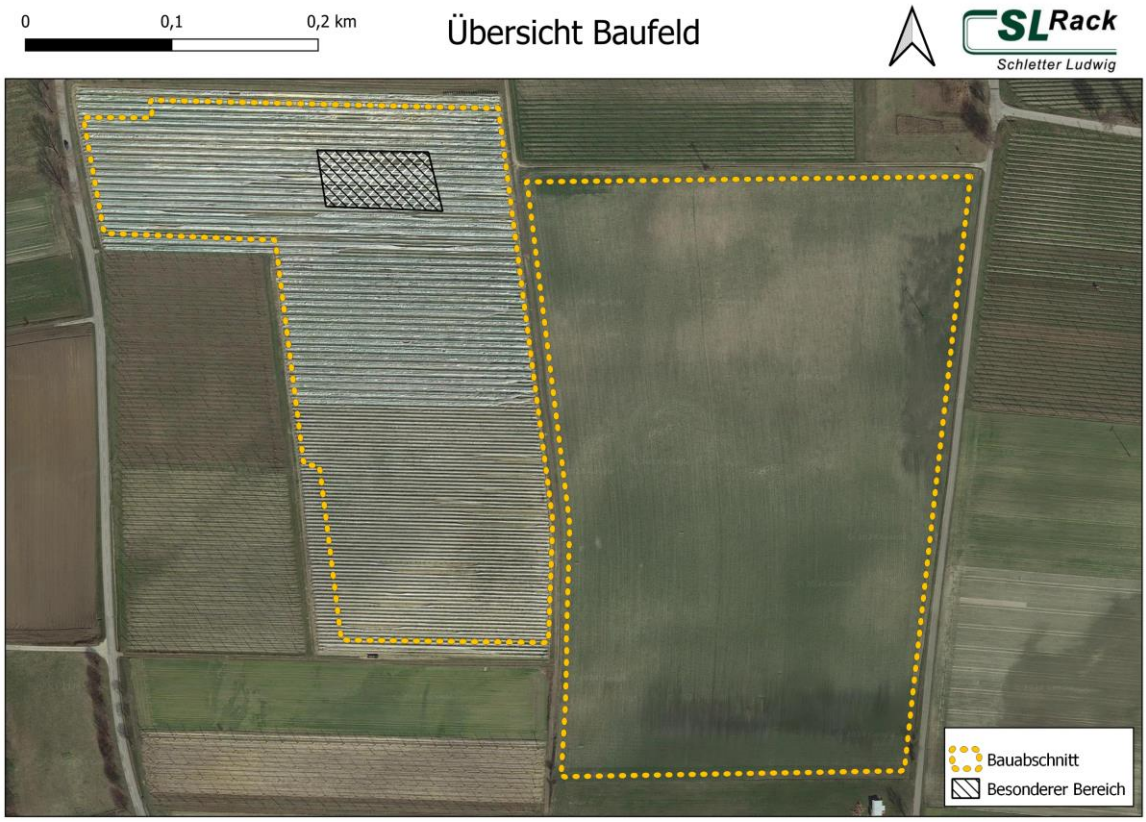
bez. der Errichtung einer PV-Freiflächenanlage mit einem SL Rack System

Projekt Rohrbach an der Ilm (~23 MWp)

Auftraggeber	Projektinformationen
Vispiron EPC GmbH & Co. KG Joseph-Dollinger-Bogen 28 80807 München Deutschland	Probebelastung: 12.03.-15.03.2024 Feldarbeit: Rosenbaum Fertigstellung Bericht: 15.05.2024 Bericht: Rosenbaum Projektnummer intern: SL_231 Anzahl Sondierungen: 27 Anzahl Probebelastungen: 27 Nr. Auftragsbestätigung: 222421338 (RTE)

1. Die Baufläche

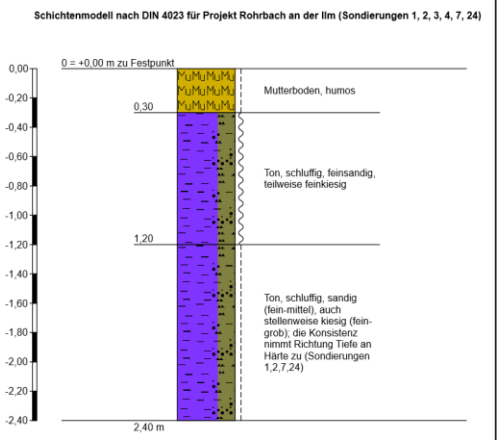
- [ ] befindet sich in baufertigem Zustand
- [x] muss noch abgeerntet werden
- [ ] muss stellenweise noch verdichtet werden
- [ ] ist nahezu eben
- [ ] besitzt (stellenweise) eine Neigung von über 10°
- [x] ist laut Auftraggeber frei von jeglichen Sparten (unterirdischen Leitungen)
- [ ] musste (z.B. aufgrund einer Luftbildauswertung) kampfmitteltechnisch begutachet werden
- [ ] konnte problemlos befahren werden



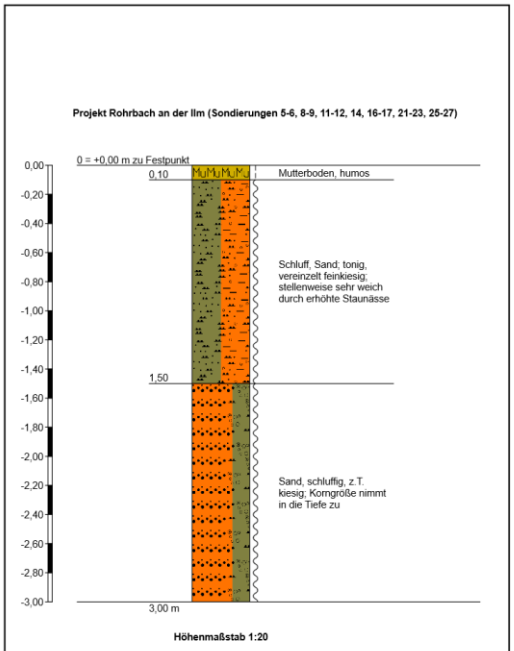
2. Baugrundverhältnisse

- [ ] Die Bodenstruktur im Projektgebiet ist sehr homogen.
- [x] Die Bodenstruktur im Projektgebiet ist inhomogen (z.B. bei Auffüllungen, Vernässungszonen, oberflächennahen Festgestein). Es müssen gegebenenfalls mehrere Druckbereiche (geotechnische Bereiche) unterschieden werden.
- [x] Es wurde Schichtwasser angetroffen.
- [x] Es wurden keine Rammhindernisse auf der Projekfläche angetroffen. Damit ist die Wahrscheinlichkeit für Vorbohren sehr unwahrscheinlich.
- [x] **Sonstiges**: Außerdem wird darauf hingewiesen, dass es sich beim östlichen Baufeld mit ca. 11,15 ha größtenteils um einen ehemaligen Hopfengarten handelt. Auf ungefähr 9,7 ha von Norden her wurden ca. 800 Löcher von "Hopfenpfosten" verfüllt. Dies liegt aber bereits 17 Jahre zurück. Seither wird die Fläche als Ganzes ackerbaulich bewirtschaftet. Die verfüllten Löcher waren ca. 80 cm tief.

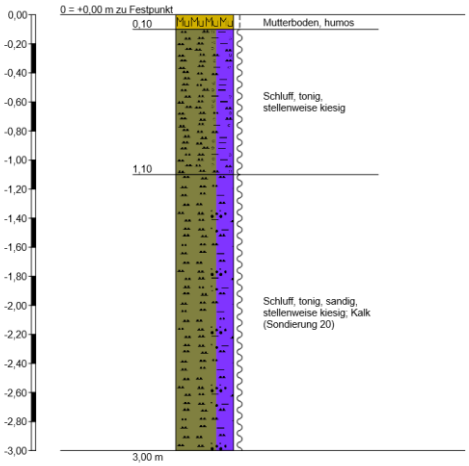
2.1 Schichtenmodelle (DIN 4023)



SL Rack Schletter Ludwig	Graphische Darstellung eines Schichtenmodells nach DIN 4023. Ermittelt aus einzelnen Sondierungen über die Projektfläche.	Anlage	
		Projekt: Rohrbach an der Ilm	
		Auftraggeber: Vispiron GmbH	
		Bearb.: ToRo	Datum: 15.03.24

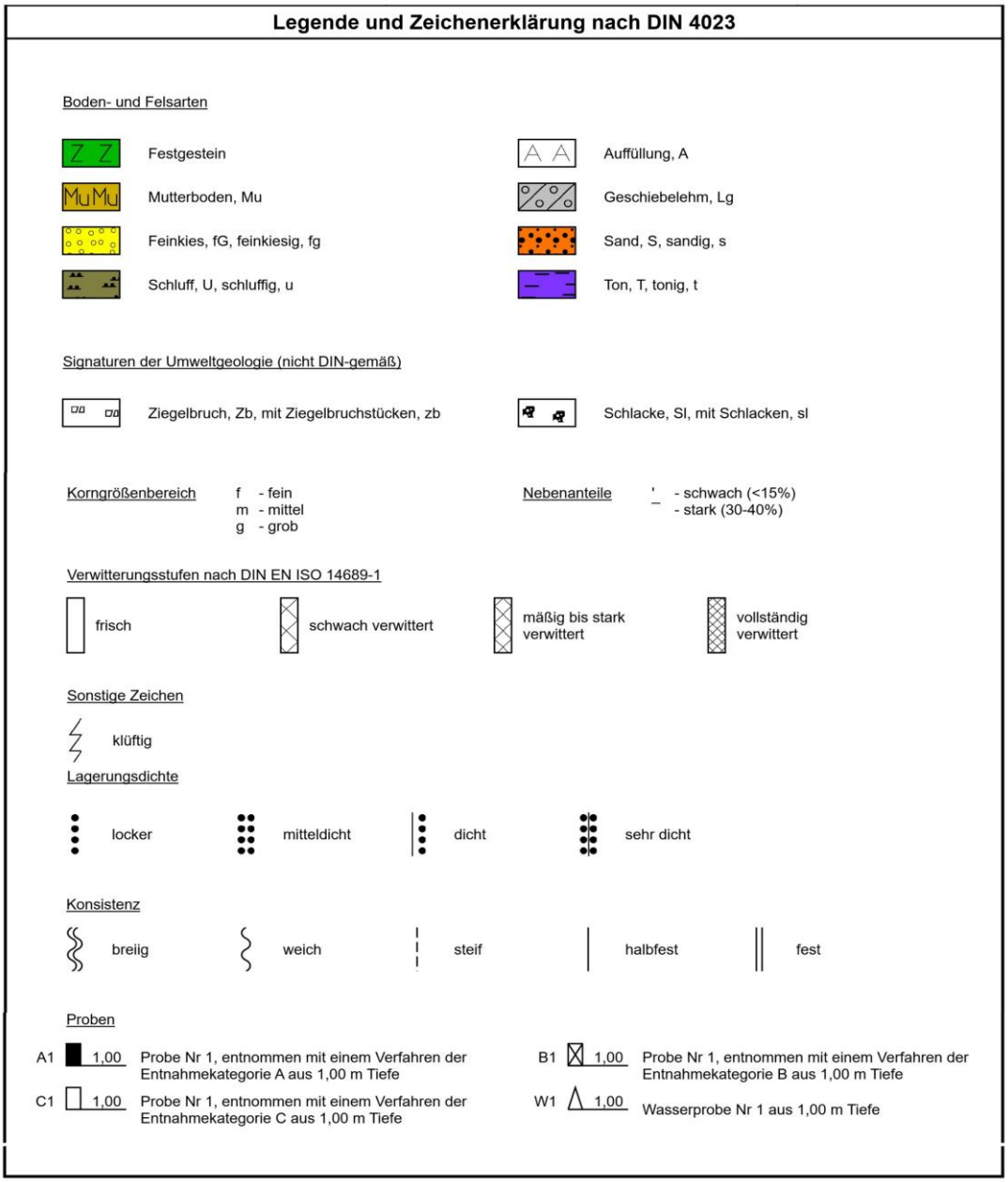


SL Rack Schletter Ludwig	Graphische Darstellung eines Schichtenmodells nach DIN 4023. Ermittelt aus einzelnen Sondierungen über die Projektfläche.	Anlage	
		Projekt: Rohrbach an der Ilm	
		Auftraggeber: Vispiron GmbH	
		Bearb.: ToRo	Datum: 15.03.24



SL Rack Schletter Ludwig	Graphische Darstellung eines Schichtenmodells nach DIN 4023. Ermittelt aus einzelnen Sondierungen über die Projektfläche.	Anlage	
		Projekt: Rohrbach an der Ilm	
		Auftraggeber: Vispiron GmbH	
		Bearb.: ToRo	Datum: 15.03.24

2.2 Legende zum Schichtenmodell



3. Tragwerksstatik als Bemessungsgrundlage (ULS)

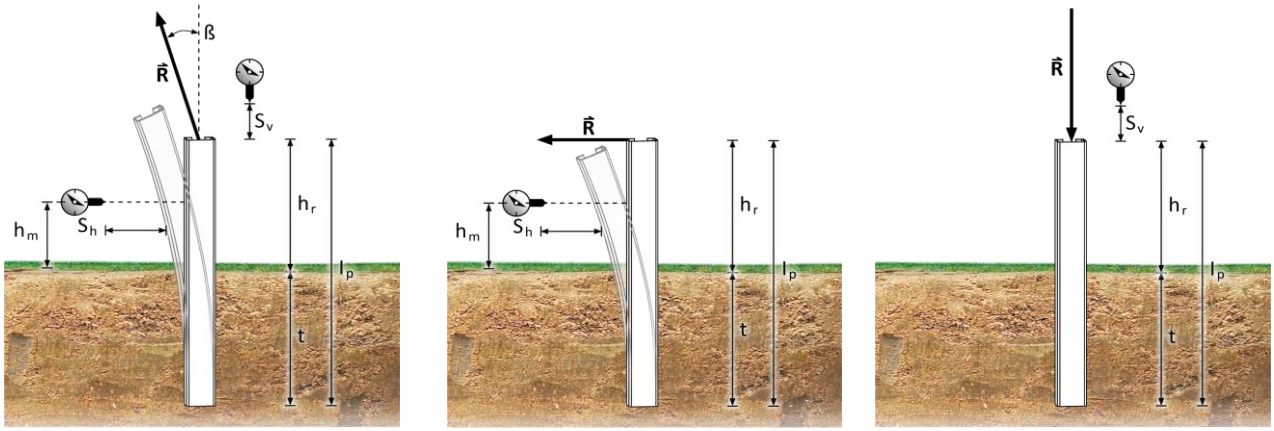
Es lag vor Erstellung des Geologischen Berichts eine Statik der SL Rack GmbH vor (siehe unten). Auf Basis dieser Statik wurden die notwendigen Belastungen für die Zugversuche ausgelegt und für die verwendete Sonde (60mm) umgerechnet. Sollte sich die grundlegende Statik bis zur Errichtung der Tragwerkskonstruktion ändern, ist die geologische Abteilung der SL-Rack GmbH zu verständigen, um eine Neubeurteilung bezüglich der ermittelten Rammtiefe vorzunehmen. Beim rechnerischen Nachweis für die Gründung der Rammprofile wird die Hanglage (Hangabtriebskraft) der Anlage vernachlässigt. Weiterhin ist als Schnittstelle der Bemessung zwischen dem Tragwerk und Boden die Geländeoberkante definiert. In der statischen Berechnung wird diese Linie als Gerade angenommen, wodurch je nach Hangabtriebswinkel längere Rammprofile für die obere Hangposition definiert sind, als bei der tatsächlichen Gründung. Hieraus folgt, dass die Rammprofile in der statischen Bemessung am Schnittpunkt der angenommenen Einspannung auf größere Momentbelastung ausgelegt sind, als bei der tatsächlichen Gründung.

Systemausrichtung		Zug, axial (kN)	Zug, horizontal (kN)	Druck, axial (kN)	Biegemoment (kNm)
Süden	vorne	7,1	6,25	23,22	11,11
	hinten	14,77	1,15	21,88	3,75
Ost-West	vorne	0	0	0	0
	hinten	0	0	0	0

Tabelle 1: Darstellung der statischen Kenngrößen für die Bemessung der Gründung anhand der aktuellen Statik (Vorstatik oder finale Statik) der SL Rack GmbH: Für die in der Tabelle dargestellten Extremwerte werden aus eventuellen Rand- und Innenbereich zusammengefasst, da die Unterschiede für die Bemessung des Fundaments marginal sind.

4. Grundlagen zu den statischen Pfahl-Probebelastungen

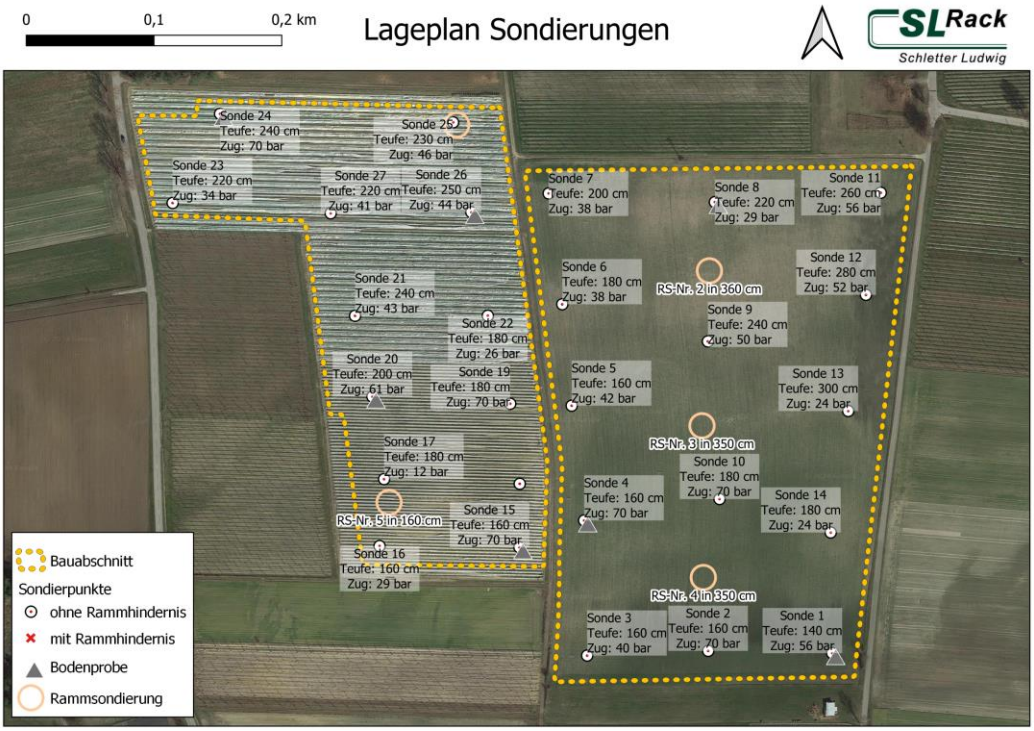
Ausschlaggebend für die Bemessung der Gründung von Solarmodulen mit Fertigrammpfählen bzw. die Ermittlung der notwendigen Mindestrammtiefe sind in der Regel Einwirkungen durch Wind und Schnee. Dabei muss der Widerstand des Bodens entsprechend hoch sein, um die Rammpfähle gegen Herausziehen (Windlast, Zug) und Einsinken (Schneelast, Druck) zu schützen. Der Widerstand des Bodens kann im Allgemeinen durch Probebelastungen eingeschätzt werden (EC 7-1), welche hier in Form von Schrägzugversuchen, Horizontalversuchen und Druckversuchen durchgeführt werden. Dafür wird eine Rammkernsonde mit einem Durchmesser von 60 mm senkrecht in den Boden gerammt und es werden in verschiedenen Tiefen Probebelastungen durchgeführt. Nach einem vordefinierten Lasthalteschema (siehe unten) werden horizontale und vertikale Deformation (mm) mit digitalen Messuhren aufgenommen. Die Lasten werden mit einer hydraulischen Pumpe aufgebracht, deren Umrechnungsfaktor (bar-kN) zuvor mit einem GALDABANI Quasar 50 bestimmt wurde.



Schematische Darstellung durchgeführter Probebelastungen (von links nach rechts): Schrägzugversuch, Horizontalversuch (ebenfalls Zug) und Druckversuch. Zeichenerklärung: R [kN] - Zugkraft, β [°] - Kraftansatzwinkel, hm [m] - Kraftansatzhöhe, Ip [m] - gesamte (wirksame) Länge, t [m] - Einbindetiefe des Rammprofils, sh [mm] - Verformung horizontal, sv [mm] - Verformung vertikal. Die Instrumentierung der Probepfähle erfüllt die **grundsätzliche** Anforderungsstufe (EA Pfähle, 9.2.2.4). Der axiale Druckversuch (Bild 3) wird mittels Rammsondierung oder Handpenetrometer abgeschätzt.

5. Sondierpunkte

Für die Projektfläche Rohrbach an der Ilm wurden insgesamt 27 Sondierungen und 27 Probebelastungen im Zeitraum vom 12.03.-15.03.2024 durchgeführt. Ein Lageplan der durchgeführten Sondierungen sowie die Wahrscheinlichkeit für Vorbohren ist in den untenstehenden Abbildungen zu erkennen.



Lageplan mit Sondierpunkten: Im Allgemeinen wird ein Punktraster über die Projektfläche angestrebt. Dabei werden pauschal fünf Sondierungen (inkl. Probebelastungen) für das erste MWp Leistung der Freiflächenanlage sowie eine weitere für jedes zusätzliche MWp geplant. Dies ist nur ein grober Richtwert, je nach örtlichen Gegebenheiten kann die Rastergröße sowie die Anzahl der durchgeführten Sondierungen und Probebelastungen -z.B. bei vielen Rammhindernissen- stark variieren.

6. Probebelastungen

6.1. Schräg-Zug-Versuch

Sonde Nr.	Tiefe (cm)	Bereich	Rammhindernis (1 - vorhanden)	Max. Zug (bar) bis Versagen/Stop	Max. Zug (kN) vertikal	Auffälligkeiten
1	140	A	0	56	8,3	
2	160	A	0	70	10,3	
3	160	A	0	40	5,9	
4	160	A	0	70	10,3	
5	160	A	0	42	6,2	
6	180	B	0	38	5,6	
7	200	B	0	38	5,6	
8	220	B	0	29	4,3	
9	240	B	0	50	7,4	
10	180	A	0	70	10,3	
11	260	B	0	56	8,3	
12	280	B	0	52	7,7	
13	300	B	0	24	3,5	
14	180	A	0	24	3,5	
15	160	A	0	70	10,3	
16	160	A	0	29	4,3	
17	180	A	0	12	1,8	
18	200	A	0	70	10,3	
19	180	A	0	70	10,3	
20	200	A	0	61	9,0	
21	240	B	0	43	6,4	
22	180	B	0	26	3,8	
23	220	B	0	34	5,0	
24	240	B	0	70	10,3	
25	230	B	0	46	6,8	
26	250	B	0	44	6,5	
27	220	B	0	41	6,1	

Der Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit auf Zug wird nach EC7 folgendermaßen berechnet:

(1) $\boldsymbol{R_{t,c}} = MIN\left\{\frac{(R_{t,m})_{Mittelwert}}{\xi_1};\frac{(R_{t,m})_{Minimum}}{\xi_2}\right\}$

n	1	2	3	4	5
ξ1	1,35	1,25	1,15	1,05	1
ξ2	1,35	1,15	1	1	1

(2) $\boldsymbol{R_{t,d}} = \frac{R_{t,c}}{\gamma_{s,t}}$

$R_{t,m}$	-	gemessener Widerstand	$V_{t,d}$	-	Designlast des Tragwerks
$R_{t,c}$	-	charakteristischer Widerstand	ξ	-	Streuungsfaktoren für Zugpfähle
$R_{t,d}$	-	Bemessungswert	$\gamma_{s,t}$	-	Teilsicherheitsbeiwert (1,15 vert.; 1,10 hor.)
n	-	Anzahl der Probebelastungen	τ	-	Auslastung nach Profilkonversion (Vt,d/Rt,d)

Nachweis im Grenzzustand (GEO 2): $\boldsymbol{V_{t,d}} \leq \boldsymbol{R_{t,d}}$

Rammbereich A

Tiefe in cm		120	140	160	180	200	220	230	240	250	280	300
Anzahl		0	1	6	4	2	0	0	0	0	0	0
Minimum		0	8,27605	4,28581	1,77344	9,01499	0	0	0	0	0	0
Mittelwert			8,27605	7,90659	6,50261	9,68003						
Epsilon 1			1,35	1	1,05	1,25						
Epsilon 2			1,35	1	1	1,15						
Rt,c			6,13041	4,28581	1,77344	7,74402						
Rt,d			5,33079	3,72679	1,54212	6,73393						
Süd,v	W182		14,04757	9,820757	4,063761	17,74509						
Süd,h	W182		14,04757	9,820757	4,063761	17,74509						
Süd,v - τ			0,505425	0,722959	1,74715	0,400111						
Süd,h - τ			1,051427	1,503957	3,634564	0,832343						
EW,v	C110											
EW,h	C110											
EW,v - τ												
EW,h - τ												

Rammbereich B

Tiefe in cm		160	180	200	220	230	240	250	260	280	x	y
Anzahl		0	2	1	3	1	3	1	1	1	0	0
Minimum		0	3,84245	5,61589	4,28581	6,79819	6,35483	6,50261	8,27605	7,68491	0	0
Mittelwert			4,72917	5,61589	5,12327	6,79819	8,02974	6,50261	8,27605	7,68491		
Epsilon 1			1,25	1,35	1,15	1,35	1,15	1,35	1,35	1,35		
Epsilon 2			1,15	1,35	1	1,35	1	1,35	1,35	1,35		
Rt,c			3,34126	4,15992	4,28581	5,03569	6,35483	4,81675	6,13041	5,69252		
Rt,d			2,90545	3,61732	3,72679	4,37886	5,52594	4,18848	5,33079	4,95002		
Süd,v	W182		7,656362	9,53228	9,820757	11,53908	14,56181	11,03738	14,04757	13,04417		
Süd,h	W182		7,656362	9,53228	9,820757	11,53908	14,56181	11,03738	14,04757	13,04417		
Süd,v - τ			0,927333	0,744838	0,722959	0,615301	0,487577	0,643269	0,505425	0,544304		
Süd,h - τ			1,929115	1,549472	1,503957	1,279999	1,014297	1,33818	1,051427	1,132306		
EW,v	C110											
EW,h	C110											
EW,v - τ												
EW,h - τ												

6.2 Horizontalversuch

Sonde Nr.	Tiefe (cm)	Max. Zug (bar) bis Versagen/Stop	Max. Zug (kN) horizontal

Der Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit in der Horizontalen wird analog 6.1 berechnet (y=1,10). Allgemein werden die Horizontalverformungen der Stützen innerhalb der konstruktiv verbundenen Doppelreihe nicht so groß sein, wie im Zugversuch an einer einzelnen Sonde, welche frei beweglich um einen Rotationspunkt ist.

Tiefe in cm		120	130	140	150	160	170	180	190	200	x	y
Anzahl		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minimum		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mittelwert												
Epsilon 1												
Epsilon 2												
Rt,c												
Rt,d												
Süd,v	C090											
Süd,h	C090											
Süd,v - τ												
Süd,h - τ												
EW,v	C130											
EW,h	C130											
EW,v - τ												
EW,h - τ												

6.3 Abschätzung der Belastbarkeit bei vertikalem Druck

☐ Aufgrund des sehr stabilen Bodens im Gründungsniveau wurden keine Versuche zur Abschätzung der Belastbarkeit bei vertikalem Druck (Schneelast) durchgeführt. Als Kriterium gelten großflächige Rammhindernisse bzw. Böden mit mindestens halbfester Konsitenz oder dichter Lagerung. Außerdem können auch gut durchmischte Böden wie z.B. Kiese in ton-schluffiger Matrix die Drücke gut abfangen.

☒ Der Boden auf Gründungsniveau besteht hauptsächlich aus feinkörnigem Material (Ton, Schluff) mit keinen oder geringen Beimengungen von Kies. Durch Addition der axialen Zugkraft (Mantelreibung) und der einaxialen Druckfestigkestigkeit (Spitzendruck) kann die Belastbarkeit abgeschätzt werden. Die einaxiale Druckfestigkeit wurde mit einem Handpenetrometer gemessen.

Minimaldruck (N/cm2):	150,00	Profil,v	W182	Druckkraft	16,51	kN
Minimaldruck (kN/m2):	1500,00			Zug, min/axial	16,75	kN
Tiefe (cm):	240			Summe,ohne y	33,26	kN

Der Nachweis auf Druck ist hiermit erbracht.

☐ Der Boden auf Gründungsniveau besteht hauptsächlich aus nichtbindigem Material wie Sand und/oder Kies mit nur geringen Beimengungen von Feinkorn. Mit Hilfe einer DPH (Rammsondierung) wurde der Spitzendruck über die Schlagzahl N10 abgeschätzt.

Die minimale Schlagzahl N10 im Bereich von 1,40 m bis 3,00 m beträgt 1. Damit ergibt sich nach EC7, Band 2, Anhang G1 eine bezogene Lagerungsdichte von 0,1. Nach DIN EN ISO 14688-2, Tab. 5 ist diese als sehr locker einzustufen. Nach EuroCode 7, Band 2, Anhang D.1 ergibt sich damit ein Sondierwiderstand von 0 kN.

Inklusive einem axialen Zugwiderstand von (mind. 6,0 kN **konnte der Nachweis nicht erbracht werden.**

7. Stellungnahme zur Fundierung

- [x] Die Projektfläche ist grundsätzlich zur Fundierung mit Fertigrammpfählen geeignet.
- [ ] Für (einzelne) Bereiche der Projektfläche müssen die Pfosten mittels Beton (ober- oder unterirdisch) verstärkt werden. Damit wird die Aufnahme von Druck- und Zugkräften erhöht. Eine grobe Abschätzung der Dimension des Betonkörpers ist im Anhang zu finden.
- [ ] Für (einzelne) Bereiche der Projektfläche müssen die niedrigen Druckkräfte ausgeglichen werden. Aufgrund eines stabilen Oberbodens können hier Druckplatten verwendet werden, welche nach Baubeginn an die Pfosten angebracht werden. Alternativ können Schneewaagen eine Lösung darstellen.
- [ ] Die Fundierung auf der Projektfläche ist nicht bzw. nur mit sehr hohen Kosten mit Fertigrammpfählen umsetzbar. Es sollte hier auf eine andere Gründungsvariante z.B. in Form von Tellerfundamenten (mit Adaption auf das SL Rack Gestell) ausgewichen werden.

Fazit: Für den geplanten Baugrund empfehlen wir nach Umrechnung der Probebelastungen (Rammversuche) auf das in der Statik geplante Rammfundament im Rammbereich A eine Mindesteinbindetiefe von 2,0 m (vorne, W182) und 2,0 m (hinten, W182), sowie für den Rammbereich B eine Mindesteinbindetiefe von 2,4 m (vorne, W182) und 2,4 m (hinten, W182) um ausreichende Sicherheit für die berechneten Zugkräfte und Momente zu erhalten.

8. Rammfundament

Mindesteinbindetiefe:

Rammbereich A	**Vorne und hinten 2,0 m mit W182**
Rammbereich B	**Vorne und hinten 2,4 m mit W182**

9. Schlussbemerkung

Der vorliegende Bericht beschreibt die durch die Begehung und Untersuchung der Bodenaufschlüsse erlangten Kenntnisse in geologischer, bodenmechanischer und hydrologischer Hinsicht bzgl. der ermittelten Rammtiefen. Die Rammtiefenempfehlung bezieht sich auf die bei der Untersuchung vorherrschenden Baugrundverhältnisse und den bei den Sondierungen gewonnen Daten. Bei Anwendung abseits der Verwendung für ein Freiflächensystem der SL Rack GmbH und insbesondere Änderung der Planung, muss der Geologe der SL Rack GmbH für eine Neubeurteilung kontaktiert werden. Dies gilt insbesondere, wenn Abweichungen gegenüber den erwähnten Tischkonfiguraton bestehen bzw. Änderungen am Baugrund durchgeführt werden. Dieser Bericht bezieht sich nur auf die Rammtiefenempfehlung und beurteilt den Baugrund nicht hinsichtlich Hangabtriebskraft, Rutschungsgefahr, Setzungspotential und Errosionsbildung - für derartige Schäden am Baugrund haftet der Bauherr. Generell gilt es zu beachten, dass sämtliche Feststellungen dieses Gutachtens auf lokale bzw. punktuelle Aufschlüssen basieren. Generell wird empfohlen, die PV Anlagen nach größeren Stürmen sowie in regelmäßigen Abständen auf Verformungen zu überprüfen, um gegebenenfalls auf Setzungserscheinungen frühzeitig reagieren zu können.

10. Literatur

[1] Handbuch Eurocode 7 - Geotechnische Bemessung - Band 1: Allgemeine Regeln
[2] Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ - EA-Pfähle
[3] DIN 50 929-3 - Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung

11. Eichung Hydraulikzylinder

Typ	Hydraulik Karosserie Richtsatz				Datum	20.01.2023
Prüfgerät	GALDABINI Quasar 50				Prüfer:	Ziad Altoumh
bar (Manometer)	**Messgang 1 (1cm Hub)**		**Messgang 2 (5cm Hub)**		**Messgang 3 (10cm Hub)**	
	kN	Faktor	kN	Faktor	kN	Faktor
10	1,612	0,161	1,465	0,147	1,308	0,131
20	3,531	0,177	3,256	0,163	2,974	0,149
30	5,533	0,184	5,180	0,173	4,642	0,155
40	7,370	0,184	6,778	0,169	6,362	0,159
50	9,103	0,182	8,562	0,171	8,110	0,162
60	10,791	0,180	10,167	0,169	9,735	0,162
	Ø Faktor, MG 1	**0,178**	Ø Faktor, MG 2	**0,165**	Ø Faktor, MG 3	**0,153**
Daraus ergibt sich ein Umrechnungsfaktor für den Messzylinder von 0,165 im arithmetischen Mittel.						

Typ	Hydraulik Karosserie Richtsatz				Datum	12.05.2023
Prüfgerät	GALDABINI Quasar 50				Prüfer:	Bianca Deutsch
bar	**Messgang 1 (1 cm)**		**Messgang 2 (5 cm)**		**Messgang 3 (10 cm)**	
(Manometer)	kN	Faktor	kN	Faktor	kN	Faktor
10	1,517	0,152	1,348	0,135	1,147	0,115
20	3,251	0,163	2,973	0,149	2,856	0,143
30	4,903	0,163	4,671	0,156	4,448	0,148
40	6,472	0,162	6,311	0,158	6,128	0,153
50	8,066	0,161	7,912	0,158	7,753	0,155
60	9,668	0,161	9,524	0,159	9,469	0,158
	Ø Faktor, MG 1	**0,160**	Ø Faktor, MG 2	**0,152**	Ø Faktor, MG 3	**0,145**
Daraus ergibt sich ein Umrechnungsfaktor für den Messzylinder von 0,153 im arithmetischen Mittel.						

Anhang 1: Fotodokumentation

Foto 1: Blick auf das Baufeld: Die Erkundungsarbeiten wurden mit einer Sondierraupe durchgeführt.

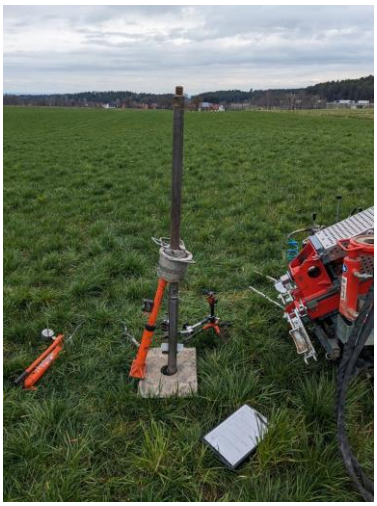
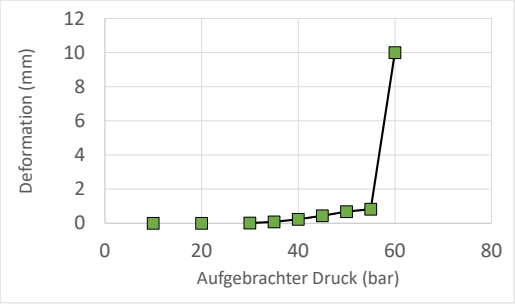


Foto 2: Durchführung des Schrägzugversuchs: Durch den Kolbenhub des orangen Hydraulikzylinders wird eine Belastung unter Windsog in dem ensprechenden Kraftansatzwinkel simuliert. Der Hydraulikzylinder steht dabei auf einer Platte mit rauer Oberfläche und großer Auflagefläche, welche sowohl das Wegrutschen als auch die Setzung des Zylinders verhindern soll. Die Verschiebung des Pfahlkopfes wird mit einem elektrischen Wegaufnehmer (1/100 mm Messgenauigkeit) gemessen, welcher an einem unabhängigen Referenzsystem befestigt ist.

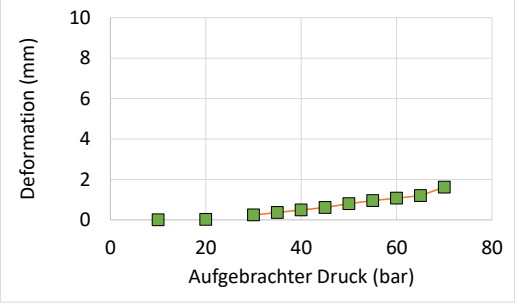
Foto 3: Typisches Bodenprofil für das Projektgebiet**:** Ein direkter Punktaufschluss wird hier mit einer Rammkernsondierung (Durchmesser 60 mm) realisiert. Durch den Rammvorgang wird das Bodenmaterial oft kompaktiert, daher stimmt die Zuordnung der Tiefe nicht exakt überein.

Anhang 2: Graphische Darstellung der Messwerte

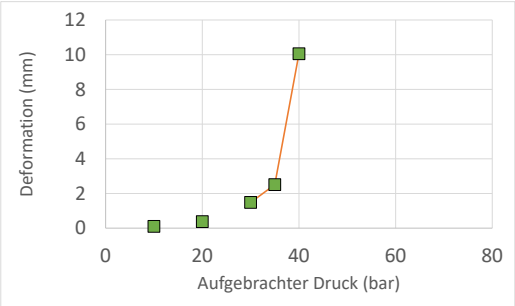
Sonde 1 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



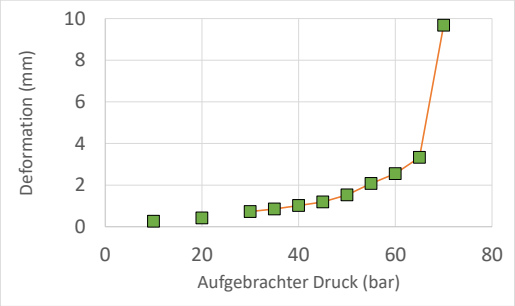
Sonde 2 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



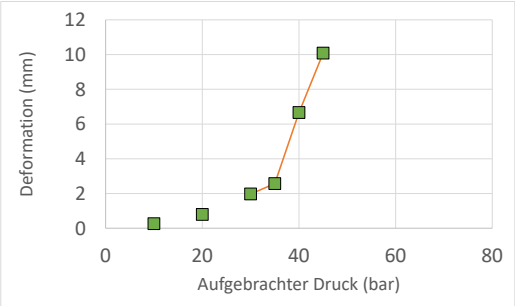
Sonde 3 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



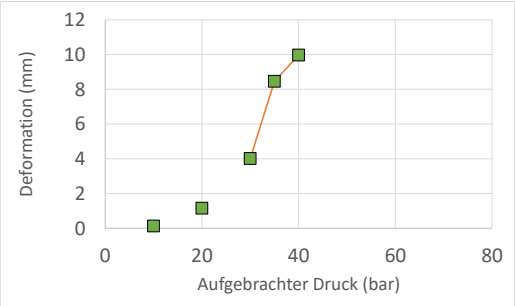
Sonde 4 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



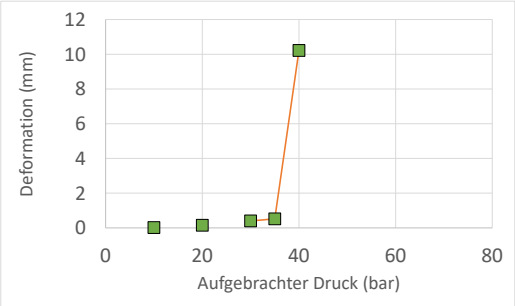
Sonde 5 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



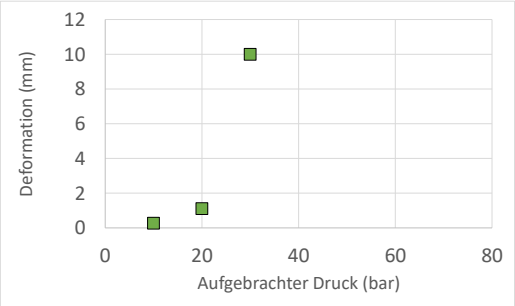
Sonde 6 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



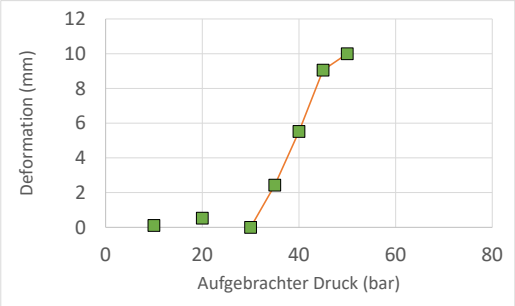
Sonde 7 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



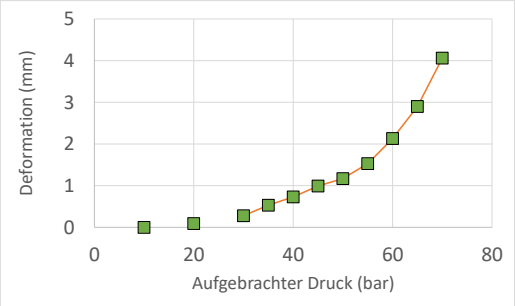
Sonde 8 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



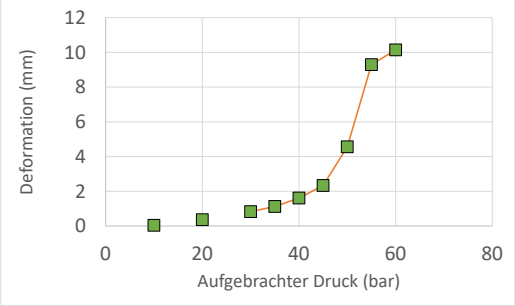
Sonde 9 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



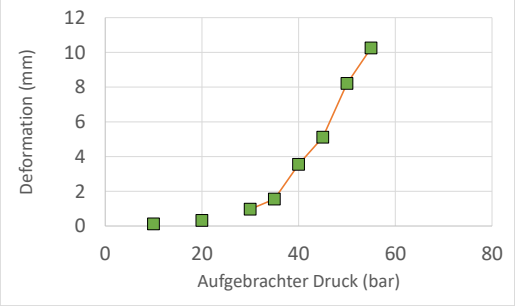
Sonde 10 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



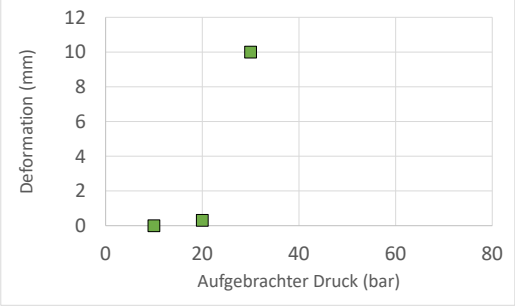
Sonde 11 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



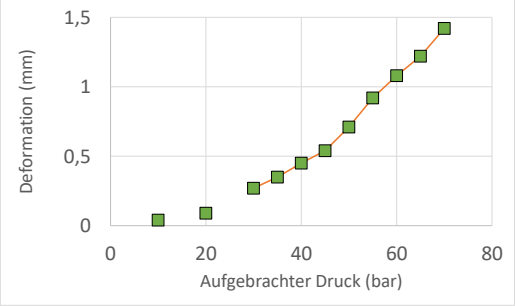
Sonde 12 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



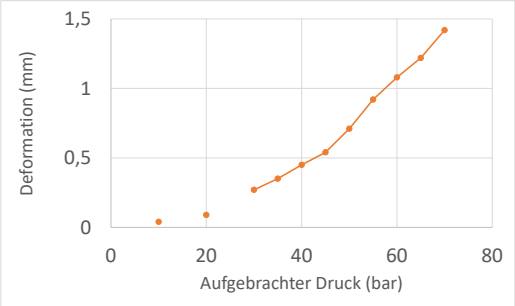
Sonde 13 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



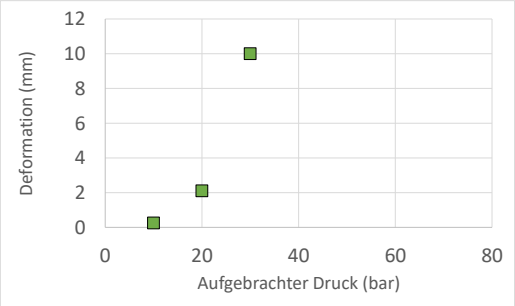
Sonde 14 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



Sonde 15 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



Sonde 16 (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



Nachtrag: Korrosionswahrscheinlichekeit des unterirdischen Tragwerks

Zur Bewertung des Bodens hinsichtlich der Aggressivität der stahlangreifenden Komponenten nach DIN 50929-3 wurden Bodenproben aus Rammkernsondierungen entnommen und diese schließlich durch ein Labor analysiert. Die Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit erfolgt mittels der Bewertungszahlen Z aufgrund der Bodenanalysen sowie aus Informationen über die örtlichen Begebenheiten. Nach DIN 50929-3 ergeben sich unterschiedliche Wertigkeiten für die Bewertungszahlen und damit eine Einschätzung der Wahrscheinlichkeit verschiedener Korrosionsarten. Die Stellen, an denen die Probenahme erfolgte sind in der Karte im Abschnitt 5 durch ein graues Dreieck verdeutlicht. Die Probebezeichnung setzt sich aus der Projektnummer und der Probennummer zusammen.

Bodenprobe 1 (SL_231_BP01)			
Bodenchem. Analyse (Labor)		DIN 50929-3	
Abschlämmbare Masse [%]	91	Z1	-4
Spezifischer Bodenwiderstand [Ωm]	90	Z2	0
Wassergehalt [%]	19,5	Z3	0
pH-Wert	8,6	Z4	0
Säurekapazität [mmol/kg]	5,6	Z5.1	0
Basekapazität [mmol/kg]	n.a.	Z5.2	0
Sulfidgehalt [mg/kg]	3,3	Z6	0
Neutralsalze (Chlorid/Sulfat*2) [mmol/kg]	0,3	Z7	0
Sulfatgehalt, salzsaurer Auszug [mmol/kg]	1,23	Z8	0
Lage zum Grundwasser	0	Z9	0
Bodenaggressivität ∑(Z1:Z9)	**-4**	**schwach aggressiv (Ib)**	

Bodenprobe 2 (SL_231_BP02)			
Bodenchem. Analyse (Labor)		DIN 50929-3	
Abschlämmbare Masse [%]	72	Z1	-2
Spezifischer Bodenwiderstand [Ωm]	92	Z2	0
Wassergehalt [%]	17,1	Z3	0
pH-Wert	8,8	Z4	0
Säurekapazität [mmol/kg]	5,3	Z5.1	0
Basekapazität [mmol/kg]	n.a.	Z5.2	0
Sulfidgehalt [mg/kg]	3	Z6	0
Neutralsalze (Chlorid/Sulfat*2) [mmol/kg]	0,2	Z7	0
Sulfatgehalt, salzsaurer Auszug [mmol/kg]	1,71	Z8	0
Lage zum Grundwasser	0	Z9	
Bodenaggressivität ∑(Z1:Z9)	**-2**	**schwach aggressiv (Ib)**	

Bodenprobe 3 (SL_231_BP03)			
Bodenchem. Analyse (Labor)		DIN 50929-3	
Abschlämmbare Masse [%]	17	Z1	2
Spezifischer Bodenwiderstand [Ωm]	582	Z2	4
Wassergehalt [%]	11,2	Z3	0
pH-Wert	7,5	Z4	0
Säurekapazität [mmol/kg]	<0,9	Z5.1	0
Basekapazität [mmol/kg]	n.a.	Z5.2	0
Sulfidgehalt [mg/kg]	<1	Z6	
Neutralsalze (Chlorid/Sulfat*2) [mmol/kg]	0,1	Z7	0
Sulfatgehalt, salzsaurer Auszug [mmol/kg]	0,45	Z8	0
Lage zum Grundwasser	0	Z9	
Bodenaggressivität ∑(Z1:Z9)	**6**	**nicht aggressiv (Ia)**	

Bodenprobe 4 (SL_231_BP04)			
Bodenchem. Analyse (Labor)		DIN 50929-3	
Abschlämmbare Masse [%]	64	Z1	-2
Spezifischer Bodenwiderstand [Ωm]	112	Z2	0
Wassergehalt [%]	17,3	Z3	0
pH-Wert	8,8	Z4	0
Säurekapazität [mmol/kg]	4,3	Z5.1	0
Basekapazität [mmol/kg]	n.a.	Z5.2	0
Sulfidgehalt [mg/kg]	2,1	Z6	0
Neutralsalze (Chlorid/Sulfat*2) [mmol/kg]	0,2	Z7	0
Sulfatgehalt, salzsaurer Auszug [mmol/kg]	1,05	Z8	0
Lage zum Grundwasser	0	Z9	
Bodenaggressivität ∑(Z1:Z9)	**-2**	**schwach aggressiv (Ib)**	

Bodenprobe 5 (SL_231_BP05)			
Bodenchem. Analyse (Labor)		DIN 50929-3	
Abschlämmbare Masse [%]	47	Z1	0
Spezifischer Bodenwiderstand [Ωm]	99	Z2	0
Wassergehalt [%]	19,4	Z3	0
pH-Wert	7,5	Z4	0
Säurekapazität [mmol/kg]	5,1	Z5.1	0
Basekapazität [mmol/kg]	n.a.	Z5.2	0
Sulfidgehalt [mg/kg]	1,4	Z6	0
Neutralsalze (Chlorid/Sulfat*2) [mmol/kg]	0,3	Z7	0
Sulfatgehalt, salzsaurer Auszug [mmol/kg]	0,76	Z8	0
Lage zum Grundwasser	0	Z9	
Bodenaggressivität ∑(Z1:Z9)	**0**	**nicht aggressiv (Ia)**	

Bodenprobe 6 (SL_231_BP06)			
Bodenchem. Analyse (Labor)		DIN 50929-3	
Abschlämmbare Masse [%]	90	Z1	-4
Spezifischer Bodenwiderstand [Ωm]	83	Z2	0
Wassergehalt [%]	17,4	Z3	0
pH-Wert	8,8	Z4	0
Säurekapazität [mmol/kg]	4,1	Z5.1	0
Basekapazität [mmol/kg]	n.a.	Z5.2	0
Sulfidgehalt [mg/kg]	2,2	Z6	0
Neutralsalze (Chlorid/Sulfat*2) [mmol/kg]	1,2	Z7	0
Sulfatgehalt, salzsaurer Auszug [mmol/kg]	0,54	Z8	0
Lage zum Grundwasser	0	Z9	
Bodenaggressivität ∑(Z1:Z9)	**-4**	**schwach aggressiv (Ib)**	

Der spezifische Bodenwiderstand (Z2) stellt dabei das Reziproke der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit dar. Die Lage zum Grundwasser (Z9) kann nicht im Labor bestimmt werden sondern ergibt sich durch örtliche Gegebenheiten (kein Grundwaser 0, Grundwasser -1, Grundwasser wechselt zeitlich -2). Eine detaillierte Berechnung der Bewertungszahlen ist DIN 50929-3 zu entnehmen. Aufgrund der durchgeführten Bodenanalysen und der Bewertung nach DIN 50929-3 empfehlen wir für die Bauteile mit Bodenkontakt eine Zink-Magnesium Bandbeschichtung (Feuerverzinkung), welche eine deutlich höhere Härte aufweist sowie eine positive Wirkung gegenüber leichten Verformungen im Boden zeigt. Außerdem zeigt das ZM-Material für den Teil des Rammprofils ohne Bodenkontakt nur die Hälfte der Abtragungsrate wie rein verzinktes Material.

Nach der Feuerverzinkung empfehlen wir aufgrund des nicht bzw. schwach aggressiven Bodens keine weitere Behandlung.