

## Geotechnische Stellungnahme zur Fundierung

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

### Projekt Großweil (~6.5 MWp)



#### Auftraggeber

Vispiron  
Joseph-Dollinger-Bogen 28  
80807 München  
Deutschland

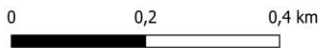
#### Projektinformationen

Probelastung: 08.06 - 09.06.2024  
Feldarbeit: Rosenbaum  
Fertigstellung Bericht: 03.09.2024  
Bericht: Rosenbaum  
Projektnummer intern: SL\_278  
Anzahl Sondierungen: 10  
Anzahl Probelastungen: 10  
Nr. Auftragsbestätigung: 222423609 (RTE)

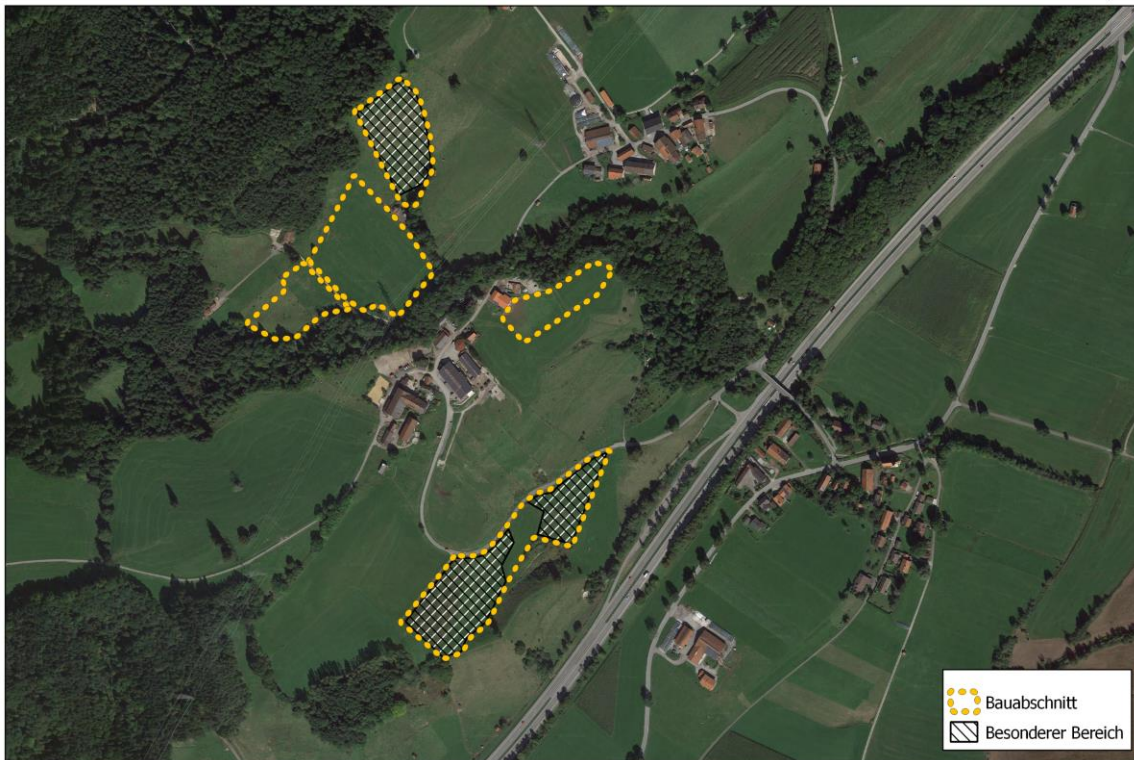


### 1. Die Baufäche

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



Übersicht Baufeld

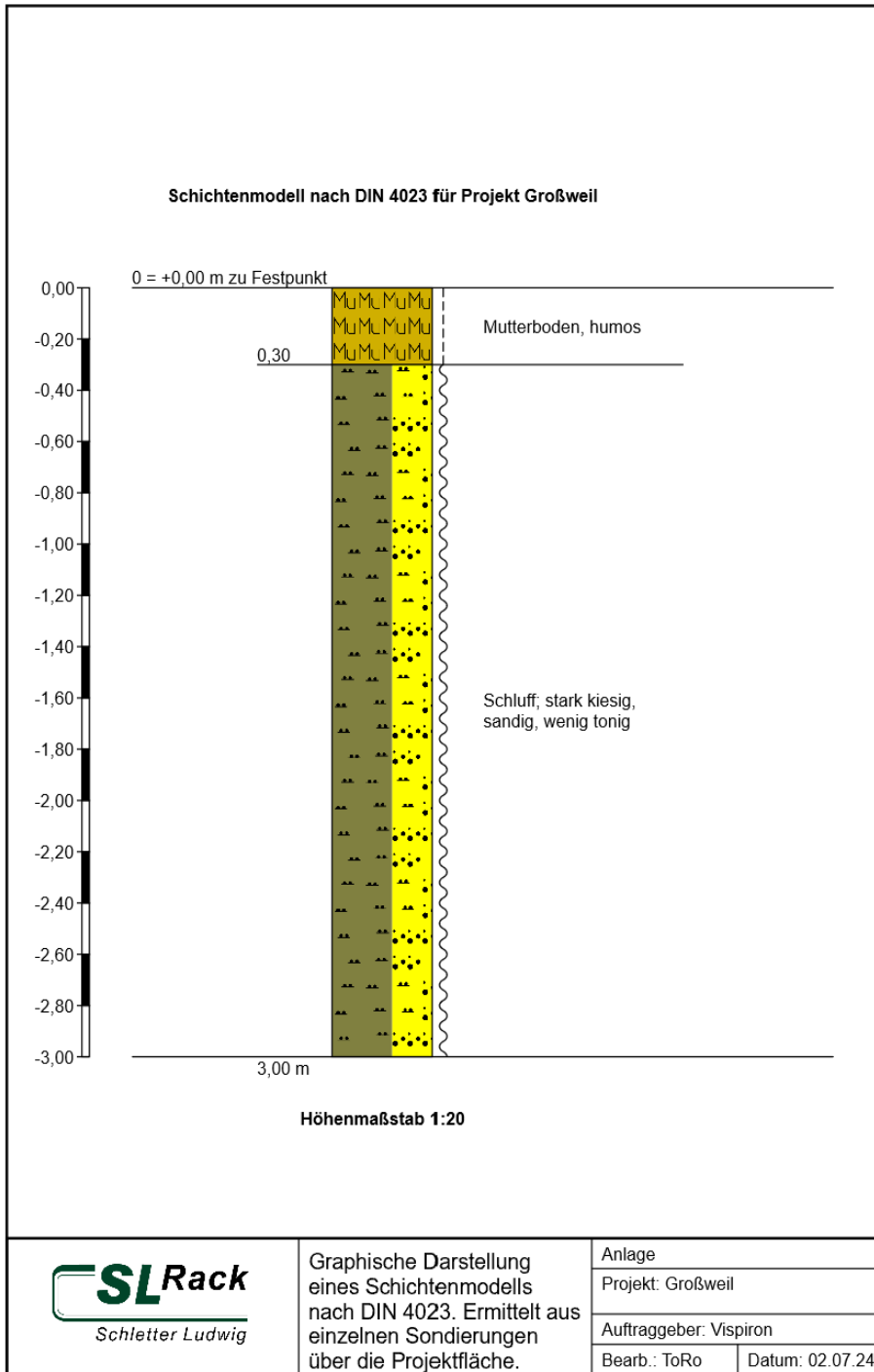


### 2. Baugrundverhältnisse

- Die Bodenstruktur im Projektgebiet ist sehr homogen.
- Die Bodenstruktur im Projektgebiet ist inhomogen (z.B. bei Auffüllungen, Vernässungszonen, oberflächennahen Festgestein). Es müssen gegebenenfalls mehrere Druckbereiche (geotechnische Bereiche) unterschieden werden.
- Es wurden weder Grundwasser noch Schichtwasser angetroffen.
- Es wurden keine Rammhindernisse auf der Projektfläche angetroffen. Damit ist die Wahrscheinlichkeit für Vorbohren sehr gering.



**2.1 Schichtenmodell (DIN 4023)**





## 2.2 Legende zum Schichtenmodell

Legende und Zeichenerklärung nach DIN 4023	
<u>Boden- und Felsarten</u>	
	Festgestein
	Mutterboden, Mu
	Feinkies, fG, feinkiesig, fg
	Schluff, U, schluffig, u
	Auffüllung, A
	Geschiebelehm, Lg
	Sand, S, sandig, s
	Ton, T, tonig, t
<u>Signaturen der Umweltgeologie (nicht DIN-gemäß)</u>	
	Ziegelbruch, Zb, mit Ziegelbruchstücken, zb
	Schlacke, Sl, mit Schlacken, sl
<u>Korngrößenbereich</u>	f - fein m - mittel g - grob
<u>Nebenteile</u>	' - schwach (<15%) - - stark (30-40%)
<u>Verwitterungsstufen nach DIN EN ISO 14689-1</u>	
	frisch
	schwach verwittert
	mäßig bis stark verwittert
	vollständig verwittert
<u>Sonstige Zeichen</u>	
	klüftig
<u>Lagerungsdichte</u>	
	locker
	mitteldicht
	dicht
	sehr dicht
<u>Konsistenz</u>	
	breiig
	weich
	steif
	halbfest
	fest
<u>Proben</u>	
A1	Probe Nr 1, entnommen mit einem Verfahren der Entnahmekategorie A aus 1,00 m Tiefe
B1	Probe Nr 1, entnommen mit einem Verfahren der Entnahmekategorie B aus 1,00 m Tiefe
C1	Probe Nr 1, entnommen mit einem Verfahren der Entnahmekategorie C aus 1,00 m Tiefe
W1	Wasserprobe Nr 1 aus 1,00 m Tiefe



### 3. Tragwerksstatik als Bemessungsgrundlage (ULS)

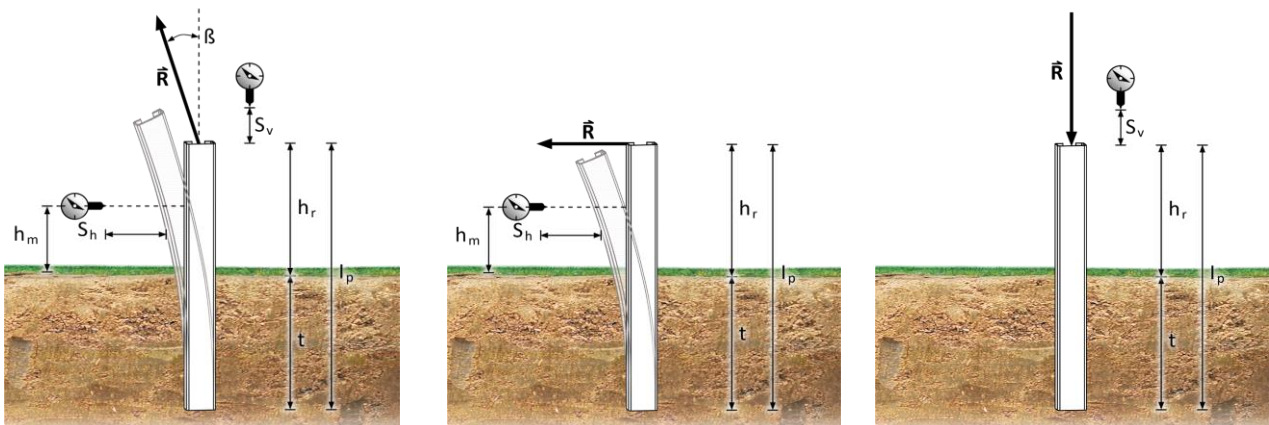
Es lag vor Erstellung des Geologischen Berichts eine Statik der SL Rack GmbH vor (siehe unten). Auf Basis dieser Statik wurden die notwendigen Belastungen für die Zugversuche ausgelegt und für die verwendete Sonde (60mm) umgerechnet. Sollte sich die grundlegende Statik bis zur Errichtung der Tragwerkskonstruktion 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	0	0	0	0
	hinten	0	0	0	0
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-Probepbelastungen

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 Rammprofile gegen Herausziehen (Windlast, Zug) und Einsinken (Schneelast, Druck) zu schützen. Der Widerstand des Bodens kann im Allgemeinen durch Probepbelastungen 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 Probepbelastungen durchgeführt. Nach einem vordefinierten Lasthaltungsschema (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 Probepbelastungen** (von links nach rechts): Schrägzugversuch, Horizontalversuch (ebenfalls Zug) und Druckversuch. Zeichenerklärung: R [kN] - Zugkraft,  $\beta$  [°] - Kraftansatzwinkel,  $h_m$  [m] - Kraftansatzhöhe,  $l_p$  [m] - gesamte (wirksame) Länge,  $t$  [m] - Einbindetiefe des Rammprofils,  $s_h$  [mm] - Verformung horizontal,  $s_v$  [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 Großweil wurden insgesamt 10 Sondierungen und 10 Probelastungen im Zeitraum vom 08.06 - 09.06.2024 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. Probelastungen) 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 Probelastungen -z.B. bei vielen Rammhindernissen- stark variieren.





## 6. Probelastungen

### 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	160	A	0	42	6.2	
2	140	A	1	37	5.5	
3	180	A	0	68	10.0	
5	140	A	1	36	5.3	
6	160	A	0	21	3.1	
7a	180	A	0	36	5.3	
8	160	A	0	52	7.7	
9	160	A	0	66	9.8	
10	150	A	1	47	6.9	
11a	160	A	0	36	5.3	



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

$$(1) R_{t,c} = \text{MIN} \left\{ \frac{(R_{t,m})_{\text{Mittelwert}}}{\xi_1}, \frac{(R_{t,m})_{\text{Minimum}}}{\xi_2} \right\} \quad \begin{array}{c|ccccc} n & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline \xi_1 & 1.35 & 1.25 & 1.15 & 1.05 & 1 \\ \xi_2 & 1.35 & 1.15 & 1 & 1 & 1 \end{array} \quad (2) R_{t,d} = \frac{R_{t,c}}{\gamma_{s,t}}$$

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

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

**Rambbereich A**

Tiefe in cm	120	130	140	150	160	170	180	190	200	240	y
Anzahl	0	0	2	1	5	0	2	0	0	0	0
Minimum	0	0	5.32032	6.94597	3.10352	0	5.32032	0	0	0	0
Mittelwert			5.39421	6.94597	6.41394		7.68491				
Epsilon 1			1.25	1.35	1		1.25				
Epsilon 2			1.15	1.35	1		1.15				
$R_{t,c}$			4.31537	5.14516	3.10352		4.62636				
$R_{t,d}$			3.7525	4.47406	2.69871		4.02293				
Süd,v W146			8.768152	10.45416	6.305863		9.400044				
Süd,h W146			8.768152	10.45416	6.305863		9.400044				





### 6.2 Horizontalversuch

Sonde Nr.	Tiefe (cm)	Max. Zug (bar) bis Versagen/Stop	Max. Zug (kN) horizontal
7b	160	30	5.6
11b	160	20	3.7

Der Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit in der Horizontalen wird analog 6.1 berechnet ( $\gamma=1,10$ ). 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	2	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	0	3.74	0	0	0	0	0	0
Mittelwert					4.675						
Epsilon 1					1.25						
Epsilon 2					1.15						
Rt,c					3.25217						
Rt,d					2.95652						
Süd,v	W146				6.898551						
Süd,h	W146				6.898551						

### 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 Konsistenz 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 Druckfestigkeit (Spitzendruck) kann die Belastbarkeit abgeschätzt werden. Die einaxiale Druckfestigkeit wurde mit einem Handpenetrometer gemessen.

Minimaldruck (N/cm <sup>2</sup> ):	180.00	Profil,v	W146	Druckkraft	15.28 kN
Minimaldruck (kN/m <sup>2</sup> ):	1800.00			Zug, min/axial	16.23 kN
Tiefe (cm):	150			Summe,ohne y	31.51 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 2,00 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 axialem Zugwiderstand von (mind.) 10.3 kN

## 7. Stellungnahme zur Fundierung

- Die Projektfläche ist grundsätzlich zur Fundierung mit Fertigrampfpfählen 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 Fertigrampfpfählen umsetzbar. Es sollte hier auf eine andere Gründungsvariante z.B. in Form von Tellerfundamenten (mit Adaption auf das SL Rack Gestell) ausgewichen werden.

0 0.18 0.36 km

### Rambbereiche





### 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 gewonnenen Daten. Bei Anwendung abseits der Verwendung für ein Freifächensystem 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 Erosionsbildung - 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

<b>Typ</b>	Hydraulik Karosserie Richtsatz				<b>Datum</b>	26/05/2023
<b>Prüfgerät</b>	GALDABINI Quasar 50				<b>Prüfer:</b>	Sami Ul Haq, Amar
<b>bar</b> (Manometer)	<b>Messgang 1 (1 cm)</b>		<b>Messgang 2 (5 cm)</b>		<b>Messgang 3 (10 cm)</b>	
	kN	Faktor	kN	Faktor	kN	Faktor
10	1.475	0.148	1.351	0.135	1.096	0.110
20	3.145	0.157	3.018	0.151	2.790	0.140
30	4.835	0.161	4.698	0.157	4.474	0.149
40	6.404	0.160	6.350	0.159	6.116	0.153
50	8.057	0.161	7.977	0.160	7.774	0.155
60	9.685	0.161	9.609	0.160	9.417	0.157
	Ø Faktor, MG 1	<b>0.158</b>	Ø Faktor, MG 2	<b>0.154</b>	Ø Faktor, MG 3	<b>0.144</b>

**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 vom Typ PR 530S der Firma "Geodunkel" durchgeführt.



**Foto 2:** Durchführung des Schrägzugversuchs: Durch den Kolbenhub des orangen Hydraulikzylinders wird eine Belastung unter Windsog in dem entsprechenden 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.