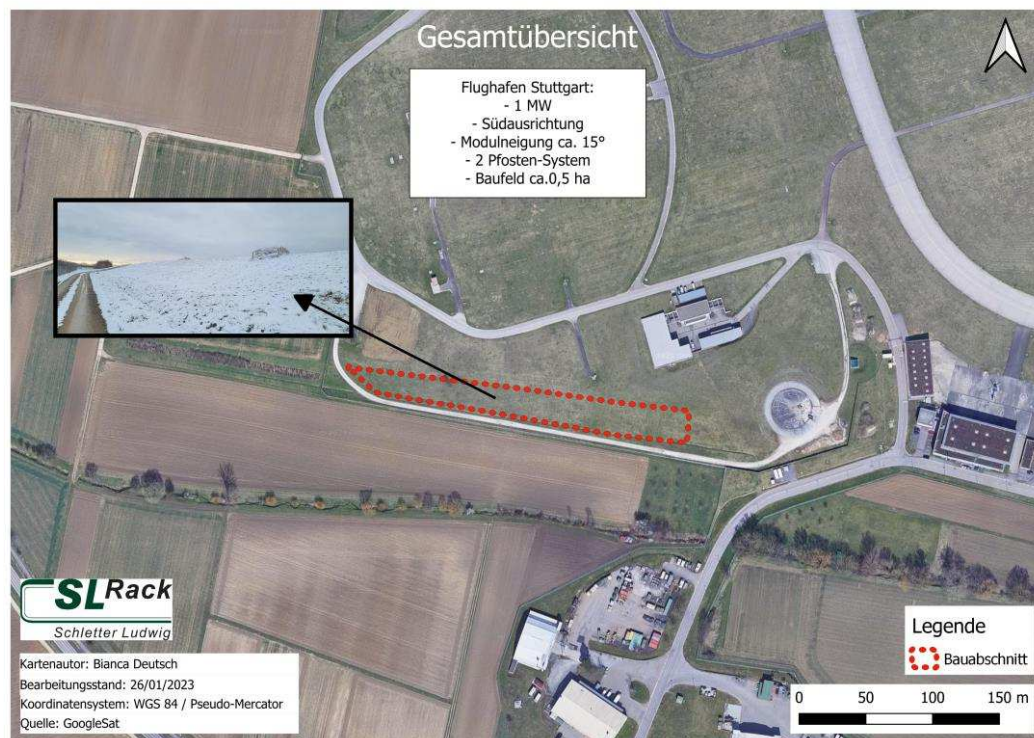


Geotechnische Stellungnahme zur Fundierung bez. der Errichtung einer PV-Freiflächenanlage mit einem SL Rack System

Projekt Flughafen Stuttgart (~1 MWp)



Auftraggeber

RAACH SOLAR GmbH
Sandgrubenweg 1
88453 Erolzheim
Deutschland

Projektinformationen

Probebelastung: 18.01.2023
Feldarbeit: Deutsch, Poralla
Fertigstellung Bericht: 28.02.2023
Bericht: Deutsch, Poralla
Projektnummer intern: SL_086
Anzahl Sondierungen: 5
Anzahl Probebelastungen: 5
Nr. Auftragsbestätigung: 272225895 (RTE)

In bautechnischer Hinsicht geprüft
Esslingen, den

01.07.24

Prüf-Nr.

P231201

Prüfverz.

2024

Prüfingenieur für Bautechnik gem. Anerkennungsurkunde des Umweltministeriums Baden-Württemberg vom 30.03.21 für die Fachrichtung Metall- und Massivbau.

Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. (FH) R.Balci
Untere Beutau 31 · 73728 Esslingen
Tel. +49 711 217283-0 · Fax +49 711 217283-99



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 der Luftbildanalyse) kampfmitteltechnisch begutachtet werden
- ☐ konnte problemlos befahren werden

0 0,1 0,2 km

Übersicht Baufeld 086_Flughafen Stuttgart

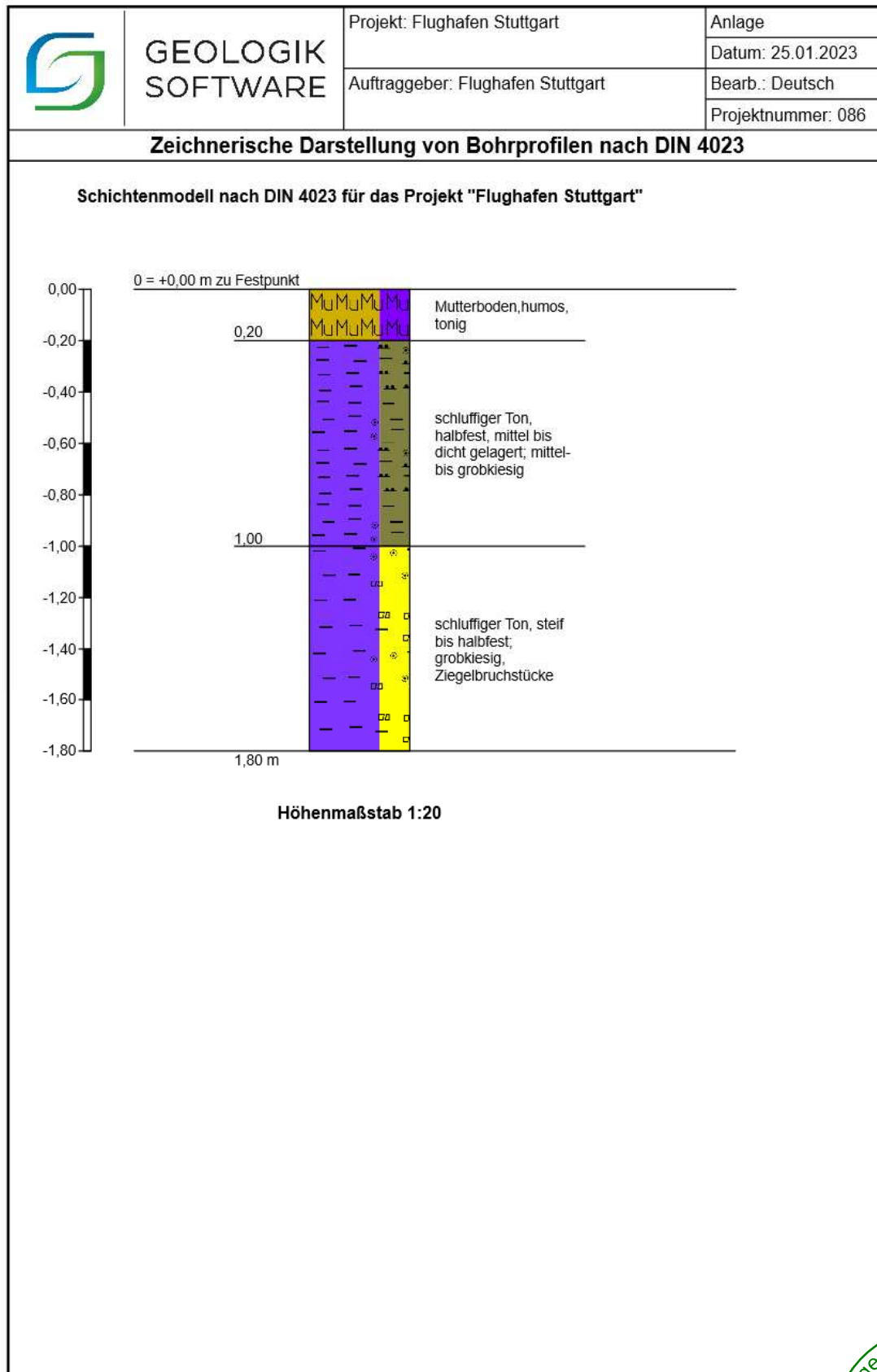


2. Baugrundverhältnisse

- ☐ Die Bodenstruktur im Projektgebiet ist sehr homogen.
- ☒ Die Bodenstruktur im Projektgebiet ist inhomogen (z.B. bei Auffüllungen, Vernässungszonen, oberflächennahen Felsgestein). Es müssen gegebenenfalls mehrere Druckbereiche (geotechnische Bereiche) unterschieden werden.
- ☒ Es wurden weder Grundwasser noch Schichtwasser angetroffen.
- ☒ Es wurden Rammhindernisse auf der Projektfläche angetroffen (1 von 5 Sondierungen). In der Karte im Abschnitt 5 ist dieser Bereiche hervorgehoben.
- ☒ **Sonstiges:** Bei diesem Boden handelt es sich um keinen natürlich entstandenen. Durch den gesichteten Bauschutt (wie z.B. Ziegelbruchstücke) ist u.a. erkennbar, dass hier eine **Auffüllung** stattgefunden hat. Diese wurde zwar laut der Flughafen Stuttgart GmbH lageweise verdichtet, enthält jedoch noch größere Hohlräume, die zu einer Minderung der Mantelreibung führen.










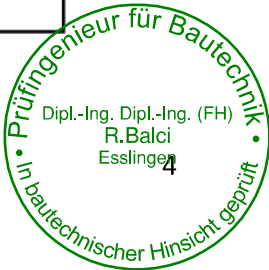
2.1 Schichtenmodell (DIN 4023)





2.2 Legende zum Schichtmodell

	GEOLOGIK SOFTWARE	Projekt: Flughafen Stuttgart	Anlage
		Auftraggeber: Flughafen Stuttgart	Datum: 25.01.2023
			Bearb.: B. Deutsch
			Projektnummer: 086
Legende und Zeichenerklärung nach DIN 4023			
<u>Boden- und Felsarten</u>			
	Mutterboden, Mu		Ton, T, tonig, t
	Schluff, U, schluffig, u		Mittelkies, mG, mittelkiesig, mg
	Grobkies, gG, grobkiesig, gg		
<u>Signaturen der Umweltgeologie (nicht DIN-gemäß)</u>			
	Ziegelbruch, Zb, mit Ziegelbruchstücken, zb		
<u>Korngrößenbereich</u>			
	f - fein	<u>Nebenanteile</u>	
	m - mittel	' - schwach (<15%)	
	g - grob	- - stark (30-40%)	





3. Tragwerksstatik als Bemessungsgrundlage (ULS)

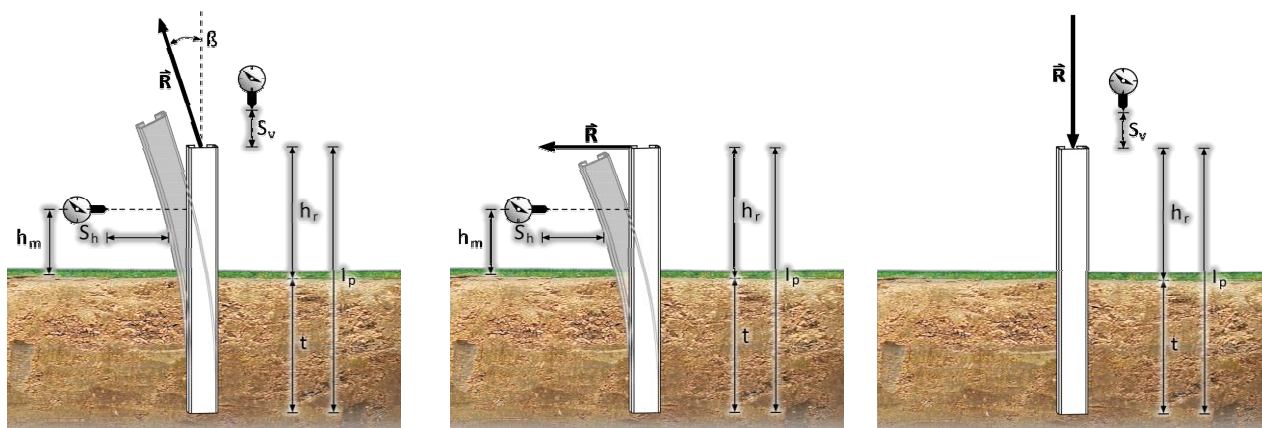
Es lag vor Erstellung des Geologischen Berichts eine Statik der SL Rack GmbH vor (siehe unten). Auf Basis dieser Statik wurden die notwendigen Belastungen für die Zugversuche ausgelegt und für die verwendete Sonde (60mm) umgerechnet. Sollte sich die grundlegende Statik bis zur Errichtung der Tragwerkskonstruktion 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 eine größere Momentbelastung ausgelegt sind, als bei der tatsächlichen Gründung.

Systemausrichtung		Zug, axial (kN)	Zug, horizontal (kN)	Druck, axial (kN)	Biegemoment (kNm)
Süden	vorne	6,23	3,09	24,57	3,4
	hinten	10,14	1,87	23,23	2,5
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-Probekbelastungen

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 Probekbelastungen 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 in verschiedenen Tiefen Probekbelastungen 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.

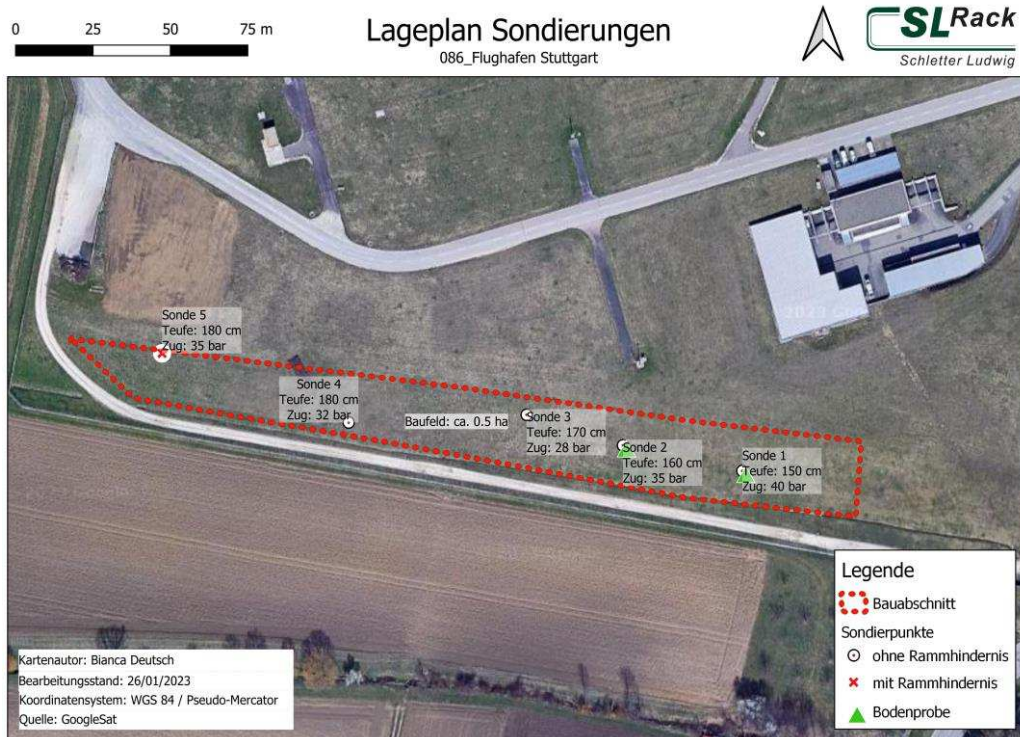


Schematische Darstellung durchgeführter Probekbelastungen (von links nach rechts): Schrägzugversuch, Horizontalversuch (ebenfalls Zug) und Druckversuch. Zeichenerklärung: R [kN] - Zugkraft, β [°] - Kraftansatzwinkel, h_m [m] - Kraftansatzhöhe, l_p [m] - gesamte (wirksame) Länge, t [m] - Einbindetiefe 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 durch wird mittels Rammsondierung oder Handpenetrometer abgeschätzt.

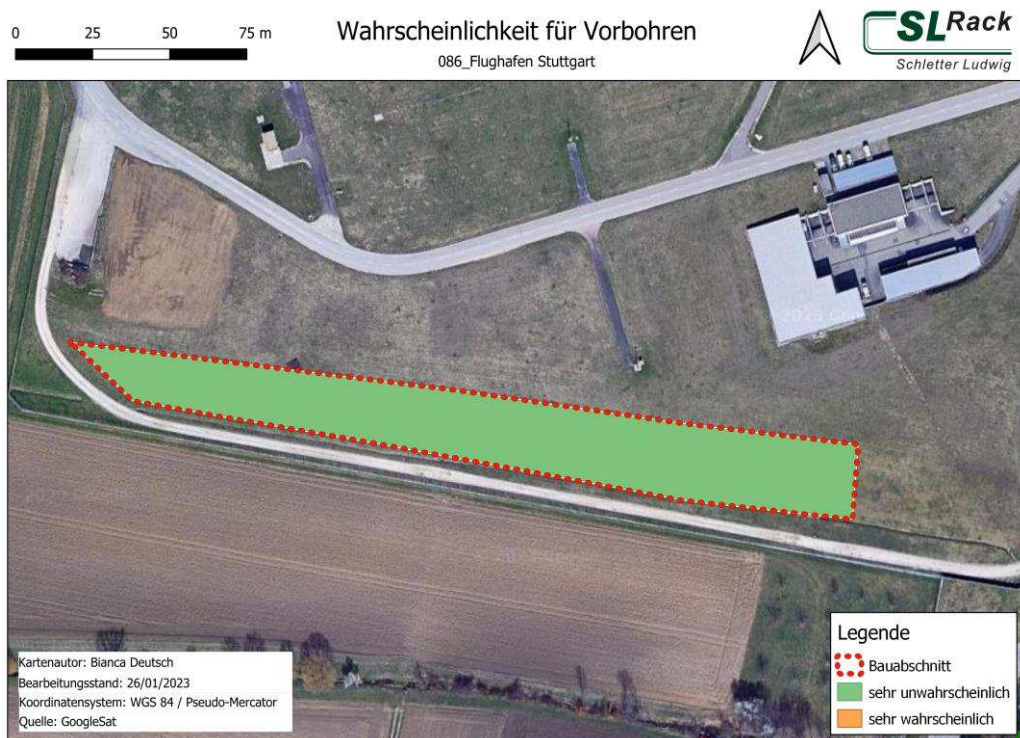


5. Sondierpunkte

Für die Projektfläche Flughafen Stuttgart wurden insgesamt 5 Sondierungen und 5 Probelastungen am 18.01.2023 durchgeführt. Ein Lageplan der durchgeführten Sondierungen sowie die Wahrscheinlichkeit für Vorbohren ist in 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 Anzahl der durchgeführten Sondierungen (z.B. bei vielen Rammhindernissen) oder auch bei Probelastungen stark variieren.





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

$$(1) R_{t,c} = \min \left\{ \frac{(R_{t,m})_{\text{Mittelwert}}}{\xi_1}, \frac{(R_{t,m})_{\text{Minimum}}}{\xi_2} \right\} \quad \begin{array}{c|ccccc} n & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline \xi_1 & 1,35 & 1,25 & 1,15 & 1,05 & 1 \\ \xi_2 & 1,35 & 1,15 & 1 & 1 & 1 \end{array} \quad (2) R_{t,d} = \frac{R_{t,c}}{\gamma_{s,t}}$$

- | | | | |
|-----------|---------------------------------|----------------|--|
| $R_{t,m}$ | - gemessener Widerstand | $V_{t,d}$ | - Designlast des Tragwerks |
| $R_{t,c}$ | - charakteristischer Widerstand | ξ | - Streuungsfaktoren für Zugpfähle |
| $R_{t,d}$ | - Bemessungswert | $\gamma_{s,t}$ | - Teilsicherheitsbeiwert (1,15 vert.; 1,10 hor.) |
| n | - Anzahl der Probelastungen | τ | - 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	x	y
Anzahl	0	0	0	1	1	1	2	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	6,34433	5,55129	4,44103	5,07546	0	0	0	0
Mittelwert				6,34433	5,55129	4,44103	5,31337				
Epsilon 1				1,35	1,35	1,35	1,25				
Epsilon 2				1,35	1,35	1,35	1,15				
$R_{t,c}$				4,6995	4,11206	3,28965	4,2507				
$R_{t,d}$				4,08652	3,57571	2,86057	3,69626				
Süd,v W146				12,21619	10,68917	8,551333	11,04954				
Süd,h W146				12,21619	10,68917	8,551333	11,04954				
Süd,v - τ				0,509979	0,582833	0,728541	0,563824				
Süd,h - τ				0,830046	0,948624	1,18578	0,917685				
EW,v C110											
EW,h C110											
EW,v - τ											
EW,h - τ											

Rambbereich B

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											
$R_{t,c}$											
$R_{t,d}$											
Süd,v C090											
Süd,h C090											
Süd,v - τ											
Süd,h - τ											
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
2b	150	40	6,6

Der Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit in der Horizontalen wird analog bei 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	1	0	0	0	0	0	0	0
Minimum	0	0	0	6,6	0	0	0	0	0	0	0
Mittelwert				6,6							
Epsilon 1				1,35							
Epsilon 2				1,35							
Rt,c				4,88889							
Rt,d				4,44444							
Süd,v W146				10,37037							
Süd,h W146				10,37037							
Süd,v - τ				0,327857							
Süd,h - τ				0,327857							
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 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 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/cm²): 300,00
Minimaldruck (kN/m²): 3000,00
Tiefe (cm): 170

Profil,v W146 Druckkraft 25,46 kN
Zug, min/axial 11,54 kN
Summe,ohne γ 37,01 kN

Der Nachweis auf Druck ist hiermit erbracht.

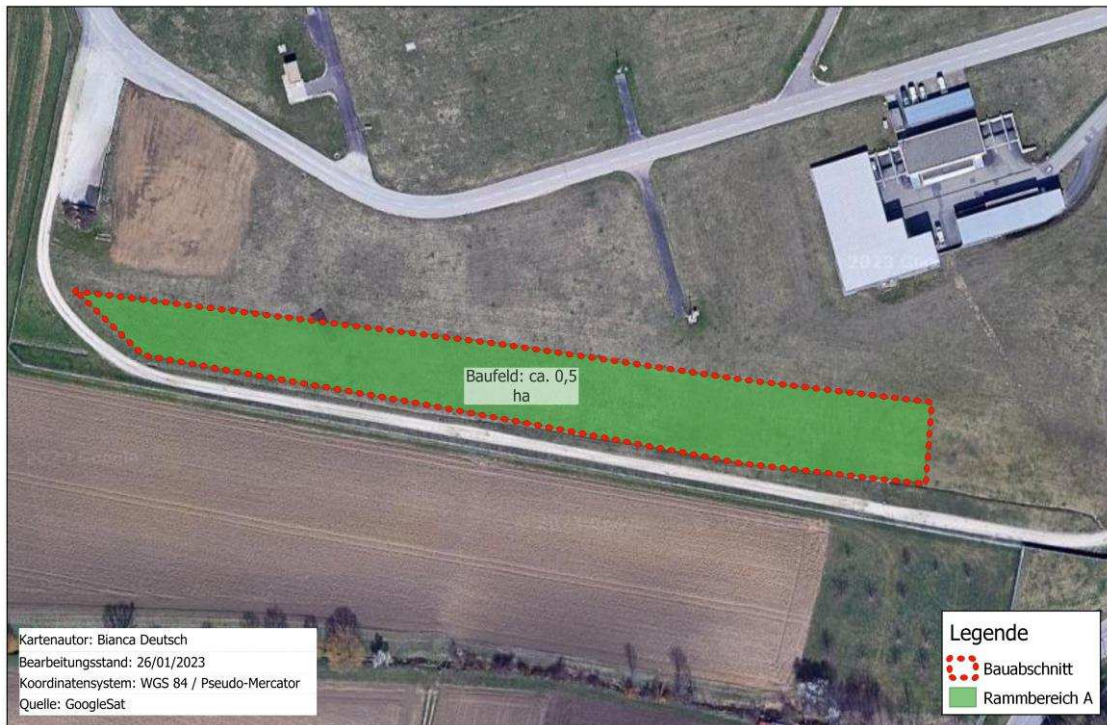


7. Stellungnahme zur Fundierung

- ☒ 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 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 25 50 75 m

Rambbereiche
086_Flughafen Stuttgart



Fazit: Für den geplanten Baugrund empfehlen wir nach Umrechnung der Probelastungen auf das in der Statik geplante Rammfundament eine Mindesteinbindetiefe von **1,8 m** (vorne und hinten) mit dem **Profil W146**, um ausreichend Sicherheit für die berechneten Zugkräfte und Momente zu erhalten.



8. Schlussbemerkungen

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 eines Freifächensystem der SL Rack GmbH und insbesondere bei Änderung der Planung, muss der Geologe der SL Rack GmbH für eine Neubeurteilung kontaktiert werden. Dies gilt insbesondere, wenn Abweichungen gegenüber den erwähnten Tischkonfiguration bestehen bzw. Änderungen am Baugrunds durchgeführt werden. Dieser Bericht bezieht sich nur auf die Rammtiefenempfehlung, und beurteilt nicht den Baugrund 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 lokalen bzw. punktuellen Aufschlüssen basieren. Generell wird empfohlen, die PV Anlagen nach größeren Stürmen sowie in regelmäßigen Abstand auf Verformungen zu überprüfen, um gegebenenfalls auf Setzungserscheinungen frühzeitig reagieren zu können.

9. 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

10. 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.						



Anhang 1: Fotodokumentation



Foto 1: Blick auf das Baufeld in Richtung Nordwesten



Foto 2: Die Erkundungsarbeiten wurden mit einer ferngesteuerten Sondierdraupe Typ "ARGOS" durchgeführt. Der hydraulische Hammer bringt 111 Joule auf die Sonden.

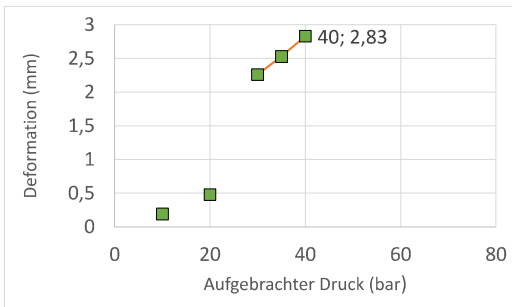


Foto 3: Typisches Bodenprofil für das Projektgebiet: Ein direkter Punktaufschluss wird hier mit einer Rammkernsondierung (Durchmesser 60 mm) realisiert. Durch den Rammvorgang wird das Bodenmaterial oft kompaktiert, daher kann die Zuordnung der Tiefe abweichen.

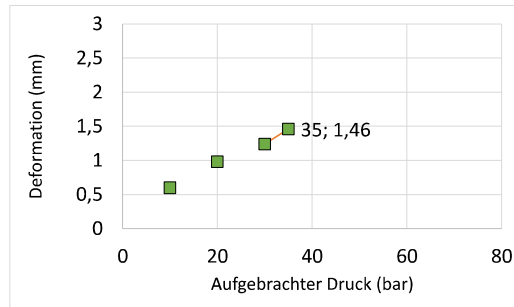


Anhang 2: Graphische Darstellung der Messwerte

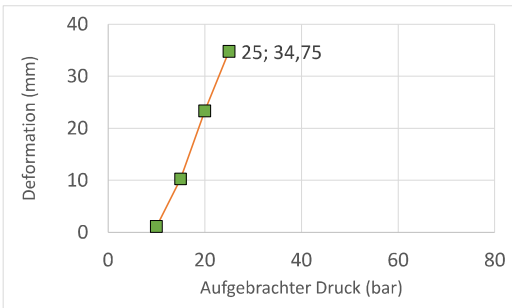
Sonde 1s (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



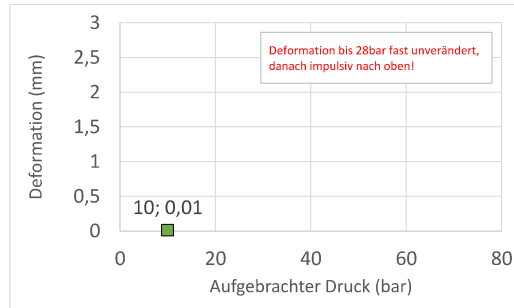
Sonde 2s (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



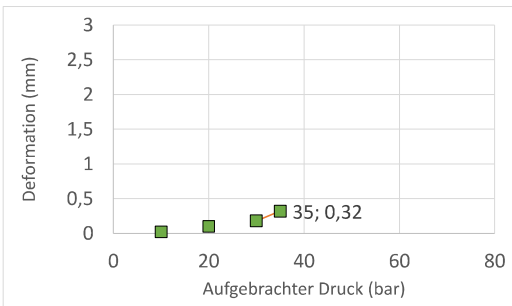
Sonde 2h (Horizontalversuch), horizontale Deformation



Sonde 3s (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



Sonde 4s (Schrägzugversuch), vertikale Deformation



Sonde 5s (Schrägzugversuch), vertikale Deformation

