



GEOTECHNISCHER BERICHT

Auftrag Nr. 3200678-1
Projekt Nr. 2020-0370

KUNDE: AU Consult GmbH
Provinstraße 52
(Gebäude 15A)
86153 Augsburg

BAUMAßNAHME: Deponie Weinstetten, 79427 Eschbach

GEGENSTAND: Standsicherheitsnachweis Oberflächenabdichtung

ORT, DATUM: Deggendorf, den 15.01.2021

Dieser Bericht umfasst 16 Seiten, 4 Tabellen und 2 Anlagen.
Die Veröffentlichung, auch auszugsweise, ist ohne unsere Zustimmung nicht zulässig.
Die Proben werden ohne besondere Absprache nicht aufbewahrt.



Inhaltsverzeichnis:

1 AUFTRAG	4
2 UNTERLAGEN.....	4
3 GEOMETRIE DES ABDICHTUNGSSYSTEMS	5
4 BERECHNUNGSANSÄTZE	6
4.1 Allgemeines	6
4.2 Materialkennwerte.....	7
4.3 Lastansätze	8
5 NACHWEIS DER GLEITSICHERHEIT DES ABDICHTUNGSSYSTEMS.....	8
5.1 Ansatz der Kräfte	8
5.1.1 Einwirkungen.....	9
5.1.2 Widerstände	10
5.2 Ermittlung des Auslastungsgrades für Bemessungssituation BS-P	11
5.3 Ermittlung des Auslastungsgrades für die Bemessungssituation BS-T.....	12
5.4 Kurzzeichen	14
6 SCHLUSSBEMERKUNGEN	15



Anlagen:

Anlage 1: Ermittlung des Auslastungsgrades, Bemessungssituation BS-P

Anlage 2: Ermittlung des Auslastungsgrades, Bemessungssituation BS-T

Tabellen:

Tabelle 1:	Bodenkennwerte	7
Tabelle 2:	Verbundparameter in den Grenzflächen	7
Tabelle 3:	Ausnutzungsgrade μ für Bemessungssituation BS-P bei maximaler Böschungsneigung	12
Tabelle 4:	Ausnutzungsgrade μ für Bemessungssituation BS-T bei maximaler Böschungsneigung	14



1 AUFTRAG

Die AU Consult GmbH, Augsburg beauftragte die IFB Eigenschenk GmbH, Deggendorf, mit der Ausarbeitung eines Stand- und Gleitsicherheitsnachweises für die geplante Oberflächenabdichtung der Deponie Weinstetten.

Für den geplanten Aufbau der Abdichtungssysteme ist die Standsicherheit nachzuweisen.

2 UNTERLAGEN

Für die Ausarbeitung dieses Gutachtens standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [1] AU Consult GmbH (14.01.2020): Lageskizze OK Deponieoberfläche, M 1 : 1.250
- [2] AU Consult GmbH (21.01.2020): Deponie Weinstetten, Neuerrichtung DK 1-/DK -0,5 – Deponie, Regelschnitt Oberflächenabdichtung DK 1 und Oberflächenabdeckung DK-0,5, M 1 : 25
- [3] AU Consult GmbH (27.03.2020): Deponie Weinstetten, Neuerrichtung DK 1-/DK -0,5 – Deponie, Regelschnitt Deponierand Nord, M 1 : 25
- [4] AU Consult GmbH (27.03.2020): Deponie Weinstetten, Neuerrichtung DK 1-/DK -0,5 – Deponie, Regelschnitt Deponierand Süd, M 1 : 25
- [5] AU Consult GmbH (03.02.2020): Längsschnitt Sauger 5 mit Schnittlinien Geländemodelle, M 1 : 500
- [6] AU Consult GmbH (03.02.2020): Querschnitt B-B mit Schnittlinien Geländemodelle, M 1 : 500
- [7] ICP Geologen und Ingenieure (14.11.2019): Setzungsanalyse für die Deponie Weinstetten



3 GEOMETRIE DES ABDICHTUNGSSYSTEMS

Es ist beabsichtigt, in der ehemaligen Kiesgrube „Weinstetter Hof“ eine Deponie für Abfälle der Deponieklassen DK 1 zu errichten. Im Altbestand erfolgt eine Geländeprofilierung.

Es ist folgender Aufbau oberhalb des Deponats geplant (von unten nach oben):

DK 1-Deponie:

- 0,2 m Trag- und Ausgleichsschicht (TAS), belastet
- 0,1 m Trag- und Ausgleichsschicht (TAS), fein
- Kunststoffdichtungsbahn KDB, PEHD nach BAM-Zulassung
- Geotextile Schutzschicht
- 0,3 m Entwässerungsschicht aus Material: Kies/Schotter
- Filterstabile geotextile Trennlage
- 1,5 m Rekultivierungsschicht aus Material: Boden der Körnung 0/64 mm

Maximale Böschungsneigung: 1 : 3 entspricht 18,43° gegen die Horizontale

Geländeprofilierung:

- 0,3 m Rekultivierungsschicht aus Material: Böden der Körnung 0/64, $k \geq 1 \cdot 10^{-4}$ m/s
- 1,5 m Rekultivierungsschicht aus Material: Böden der Körnung 0/64, ohne Anforderung an die Durchlässigkeit

Maximale Böschungsneigung: 1 : 3 entspricht 18,43° gegen die Horizontale



Im Randbereich Deponierand Nord:

- Stützkeil: Kies/Schotter 0/32 mm
- 0,3 m Grabensicherung Auslauf Flächendrainage
- 1,5 m Rekultivierungsschicht aus Material: Boden der Körnung 0/64 mm

Maximale Böschungsneigung: 1 : 2 entspricht 26,57° gegen die Horizontale.

4 BERECHNUNGSANSÄTZE

4.1 Allgemeines

In jeder Grenzfläche zwischen den einzelnen Schichten ist die Standsicherheit für folgende Bemessungssituation (früher Lastfälle) nachzuweisen:

BS-P ständig: Planmäßige Nutzung, regelmäßig auftretende Einwirkungen (Eigengewicht der Abdichtung und der Überlagerung, Einstau der Dränage, Schneelast)

BS-T vorübergehend: Temporäre Nutzung, zeitweise auftretende Einwirkungen (Eigengewicht der Abdichtung und der Überlagerung, Einstau der Dränage, Verkehrslasten aus Baustellenverkehr)

Darüber hinaus ist die innere Standsicherheit der mineralischen Schichten nachzuweisen.

Die Nachweisführung erfolgt nach den „Empfehlungen Geotechnik der Deponien und Altlasten“ (GDA) der Fachsektion 6 der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. DGGT. Hierbei wird der aktuell vorliegende Entwurf der Empfehlung E 2-7 (Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen) berücksichtigt.



4.2 Materialkennwerte

Für die zu verwendenden Materialien liegen die allgemeinen Anforderungen gemäß BQS 4-1 vor. Gemäß diesen Anforderungen sind Böden mit nichtbindigen Eigenschaften zu verwenden. Da es sich um nichtbindige Böden handelt können Erfahrungswerte für den Ansatz der Scherparameter angesetzt werden. Es ergeben sich damit folgende Bodenkennwerte:

Tabelle 1: Bodenkennwerte

Material	γ' [kN/m ³]	γ [kN/m ³]	γ_r [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kN/m ²]
Rekultivierungsschicht	9,0	19,0	21,0	30,0	0
Entwässerungsschicht	9,5	17,0	19,5	32,5	0
TAS	10,0	18,0	20,0	32,5	0

Es liegen noch keine Angaben vor, welche konkreten Materialien der geosynthetischen Produkte in den Grenzflächen verwendet werden.

Für die vorliegende Berechnung werden deshalb allgemeine Erfahrungswerte für die Verbundparameter in den Grenzflächen angesetzt:

Tabelle 2: Verbundparameter in den Grenzflächen

Grenzfläche	Rechenwerte	
	δ'_k [°]	a'_k [kN/m ²]
Rekultivierungsschicht/Geotextile Trennlage	30,0	0 ¹⁾
Geotextile Trennlage/Entwässerungsschicht	32,5	0
Entwässerungsschicht/Geotextile Schutzschicht	32,5	0
Geotextile Schutzschicht/KDB	28,0	8
KDB/TAS	30,0	0

1) Adhäsion darf nach GDA in dieser Kontaktfläche nicht angesetzt werden



4.3 Lastansätze

Die Belastung aus Eigengewicht wird entsprechend den Wichten der jeweiligen mineralischen Schichten angesetzt. Das Eigengewicht der KDB sowie der Geotextilien wird aufgrund der geringen Schichtdicke nicht berücksichtigt.

Die Schneelast wird nach DIN 1055, Teil 5 in Ansatz gebracht. Der Standort befindet sich in der Schneelastzone 1 auf einer Höhe bis zu etwa 250,0 m ü. NN. Damit ergibt sich eine Regelschneelast $s_k = 0,43 \text{ kN/m}^2$.

Im Bauzustand erfolgt der Einbau der mineralischen Schichten und insbesondere der Rekultivierungsschicht mit schweren Baugeräten.

Da keine Angaben über die einzusetzenden Geräte vorliegen, wird nach Erfahrungswerten ein typisches Baugerät als Kettenraupe angesetzt. Beispielhaft ist dies die Kettenraupe Komatsu D61 PX mit folgenden Kennwerten:

Eigengewicht $G_R = 19,5 \text{ t}$

Kettenbreite $b_R = 0,86 \text{ m}$

Kettenlänge $l_R = 3,165 \text{ m}$

Fahrgeschwindigkeit $v = 0,87 \text{ m/s}$

Bremsverzögerung $t = 2,0 \text{ s}$

5 NACHWEIS DER GLEITSICHERHEIT DES ABDICHTUNGSSYSTEMS

5.1 Ansatz der Kräfte

Für den hier behandelten Nachweis ist es ausreichend, 1,0 m breite, böschungsp parallele Scherebenen (potenzielle Gleitflächen) zu untersuchen.



5.1.1 Einwirkungen

Schubkraft $t_{B,d}$

Die aus dem Eigengewicht der Deckschichten resultierende Schubkraft $t_{B,d}$ pro laufenden Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung lässt sich berechnen zu:

$$t_{B,d} = (\gamma \cdot d) \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta$$

Für Schichten oberhalb der Dichtungselemente und unterhalb der Sickerlinie wird dabei die Wichte γ_r für wassergesättigte Böden angesetzt.

Schneelast $t_{s,d}$

Für den Endzustand ist eine Schneelast s_0 (kN/m²) auf der Deckschicht als treibende Kraft zu berücksichtigen. Pro laufenden Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung ergibt sich:

$$t_{s,d} = s_k \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta$$

Strömungskraft $s_{w,d}$

Nach einem starken Niederschlagsereignis kann es zu einem Aufstau in der Dränschicht der Oberflächenabdichtung kommen. Die infolge dessen auftretenden zusätzlich treibenden Kräfte werden als Strömungskraft bezeichnet. Im vorliegenden Fall wird nach EBGE0 eine mittlere Aufstauhöhe von $h_w = 0,15$ m entsprechend der halben Schichtmächtigkeit der Entwässerungsschicht angesetzt. Die Strömungskraft pro laufenden Meter Böschungslänge berechnet sich zu:

$$s_{w,d} = \gamma_w \cdot h_w \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta$$

Schubkraft $R_{d,s}$ aus statischer Belastung

Die Schubkraft aus dem Eigengewicht des Fahrzeuges in Böschungsfallrichtung ergibt sich:

$$t_{Rd,s} = (G_R/A) \cdot \gamma_Q \cdot \sin \beta$$



In Anlehnung an DIN EN 1997-2 darf bei Überschüttung ein Lastausbreitungswinkel von 30° gewählt werden. Es ergibt sich daraus für die effektive Aufstandsfläche A:

$$A = (2 \cdot l_R \cdot b_R) + (4 \cdot (l_R + b_R) \cdot d_i \cdot \tan 30^\circ)$$

Schubkraft $t_{R,d}$ aus dynamischer Belastung

Die auftretenden Schubkräfte aus einer Vollbremsung der Fahrzeuge ergeben sich nach:

$$t_{R,d} = ((G_R/g) \cdot a_v) \cdot \gamma_Q/A$$

Die Bremsverzögerung ergibt sich aus:

$$a_v = v/t$$

5.1.2 Widerstände

Reibungskraft $t_{f,d}$

Die in der kritischen Scherfuge wirksam werdende Reibungskraft $t_{f,d}$ aus der Bodenauflast ergibt sich auf Grundlage der Gleichung 1 im Lastfall 1 pro laufenden Meter Böschungslänge zu:

$$t_f = [(1-m) \cdot d_i \cdot \gamma + m \cdot d_i \cdot \gamma'] \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a$$

Mit m = durchströmter Anteil der Mächtigkeit der Schicht

Schneelast $t_{S,h,d}$

Aus der im Endzustand zu berücksichtigenden Schneelast s_0 (kN/m²) auf dem Oberboden ergibt sich eine Erhöhung der haltenden Kräfte in der Schichtgrenze pro laufenden Meter Böschungslänge in Böschungsfallrichtung zu:

$$t_{S,h,d} = s_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a$$

Zusätzliche Reibungskraft $t_{R,h,d}$ aus Eigengewicht des Fahrzeuges



Die haltende Kraft aus dem Eigengewicht des Fahrzeuges ergibt sich zu:

$$t_{R,h,d} = (G_R/A) \cdot \cos\beta \cdot (\tan\delta_k)/\gamma\delta$$

5.2 Ermittlung des Auslastungsgrades für Bemessungssituation BS-P

Die haltenden Kräfte einer eventuell wirkenden Zugbewehrung $T_{G,d}$ werden zunächst zu Null gesetzt. Für den Einbauzustand ergibt sich aus der Integration der treibenden und haltenden Kräfte über die Böschungslänge der Nachweis:

$$\mu = \frac{E_d}{R_d} = \frac{t_{B,d} \cdot l + t_{s,d} \cdot l + s_{W,d} \cdot l}{t_{f,d} \cdot l + t_{s,h,d} \cdot l + T_{G,d} \cdot S_{T,d} + R_{B,d}} \leq 1,0$$

Für die Rekuschicht und die darunter liegenden Scherebenen wurden die Nachweise für den maximal möglichen Neigungswinkel geführt (siehe hierzu auch die Ergebnisse in Kapitel 5.3).

Die Nachweisführung für die maßgebenden Scherebenen ist in der Anlage 1 für den maximalen Böschungswinkel enthalten.

Es ergeben sich folgende Ausnutzungsgrade:



Tabelle 3: Ausnutzungsgrade μ für Bemessungssituation BS-P bei maximaler Böschungsneigung

Scherebene		Schicht-dicke gesamt [m]	Neig- ung	Summe Einwirkungen Ed		Summe Widerstände Rd		Aus- nutz- ungs- grad μ
				[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m ²]	[kN/m]	
DK I-Deponie	Rekusicht/ Geotextile Trennlage	1,5	1 : 3	9,19	-	12,68	-	0,72
	Entwässerungs- schicht/Geo- textile Schutzschicht	1,5	1 : 3	11,54	-	15,91	-	0,73
	Geotextile Schutzschicht/ KDB	1,8	1 : 3	10,92	-	19,68	-	0,55

Es werden alle Nachweise erfüllt.

5.3 Ermittlung des Auslastungsgrades für die Bemessungssituation BS-T

Für den Einbauzustand ergibt sich aus der Integration der treibenden und haltenden Kräfte über die Böschungslänge der Nachweis:

$$\mu = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,0$$

Der Reibungswiderstand des Dichtungssystems muss höher sein als die im Einbauzustand durch die Befahrung der Böschung zusätzlich auf das Dichtungssystem wirkende Belastung. Die Fahrzeuge fahren dabei auf Schüttlagen mit der Dicke d . Die Berechnung ist hierbei für alle im Einbauzustand zu erwartenden Schüttstärken d_1 durchzuführen, im Wesentlichen der ersten Schüttstärke d_1 und einer Gesamtmächtigkeit von d_{ges} .



Für die Berechnung ist weiterhin von entscheidender Bedeutung, ob für das Dichtungssystem im Bauzustand (d. h. unter Berücksichtigung der Schütthöhen) das Verhältnis κ der aus dem Eigengewicht der Bodenauflast wirkenden haltenden Kräfte des Stützfußes $T_{st,d}$ und einer eventuell erforderlich werdenden Zugbewegung $T_{G,d}$ zu Null gesetzt, um die Auslastung κ (treibende Kräfte / haltende Kräfte) zu ermitteln.

Das Verhältnis κ ergibt sich infolge der aus der Bodenauflast wirkenden Einzelkomponenten zu:

$$\kappa = ((t_{B,d} + S_{w,d}) \cdot l) / (t_{f,d} \cdot l + T_{G,d} + T_{St,d})$$

Für den Fall einer Böschung, bei der der Reibungswiderstand geringer als die Beanspruchung ist, d. h. $\kappa > 1,0$, ergibt sich der Maximalbetrag einer von einer Zugbewehrung aufzunehmenden Kraft an der Böschungsoberkante. Die Kräfte $t_{B,d}$, $S_{w,d}$ und $t_{f,d}$ sind daher über die gesamte Böschungslänge zu integrieren.

Ist der Reibungswiderstand höher als die Beanspruchungen aus den treibenden Kräften, d. h. $\kappa < 1,0$ ergibt sich der ungünstigste Standpunkt des Fahrzeuges am Böschungsfuß, bzw. die Betrachtung des Böschungsabschnittes im Bereich des Fahrzeuges wird kritisch. Die maßgebende Böschungslänge zur Ermittlung der maximal durch eine Zugbewehrung aufzunehmende Kraft wird die Länge der Raupenkette l_R des Fahrzeuges.

Je nach Fallunterscheidung wird der Auslastungsgrad μ im BS-T durch Addition der zusätzlichen Belastung aus dem Fahrzeug wie folgt ermittelt:

$$\kappa > 1,0: \quad \mu = \frac{(t_{B,d} + S_{w,d}) \cdot l + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \cdot l_R}{t_{f,d} \cdot l + t_{Rd,h} \cdot l_R + T_{G,d} + S_{t,d}}$$

$$\kappa < 1,0: \quad \mu = \frac{(t_{B,d} + S_{w,d}) \cdot l_R + (t_{Rd,s} + t_{Rd,d}) \cdot l_R}{t_{f,d} \cdot l_R + t_{Rd,h} \cdot l_R + T_{G,d} + S_{t,d}}$$

Die Nachweisführung für die maßgebenden Scherebenen ist in der Anlage 2 enthalten.



Es ergeben sich folgende Ausnutzungsgrade:

Tabelle 4: Ausnutzungsgrade μ für Bemessungssituation BS-T bei maximaler Böschungsneigung

Scherebene		Schichtdicke gesamt [m]	Neigung	Summe Einwirkungen Ed		Summe Widerstände Rd		Ausnutzungsgrad μ
				[kN/m ²]	[kN/m]	[kN/m ²]	[kN/m]	
DK-1	Rekusschicht/ Geotextile Trennlage	0,5	1 : 3	10,32	-	13,72	-	0,75
	Entwässerungsschicht/ Geotextile Schutzschicht	0,8	1 : 3	11,84	-	15,03	-	0,79

Es werden alle Nachweise erfüllt.

5.4 Kurzzeichen

a_k	charakteristische Adhäsion (kN/m ²), wird sicherheitshalber zu Null gesetzt
d	Dicke der Bodenschichten (m)
d_i	Dicke d_1 (bzw. d_{ges}) der Bodenschicht, auf der die Befahrung erfolgt (m)
h_w	mittlere Aufstauhöhe (m)
h_s	Höhe des Stützfußes (m)
$K_{ph,d}$	Erddruckbeiwert (-)
l	Böschungslänge (m)
$s_{w,s}$	Strömungskraft (kN/m ²)
$t_{B,d}$	Schubkraft in Böschungsfallrichtung (kN/m ²)
$t_{f,d}$	mobilisierte Reibungskraft in der kritischen Scherfuge (kN/m ²)
$T_{G,d}$	Zugkraft im Bewehrungselement (kN/m)
$S_{T,d}$	Stützkraft am Böschungsfuß (kN/m)
β	Böschungsneigung(°)
γ	Wichte des Bodens (kN/m ³)
γ_w	Wichte des Wassers (10 kN/m ³)
δ_k	charakteristischer Reibungswinkel der maßgebenden Kontaktfläche (°)
μ	Auslastungsgrad (-)



γ_G	Teilsicherheitsbeiwert (ständige Einwirkungen)
γ_Q	Teilsicherheitsbeiwert (veränderliche Einwirkungen)
γ_δ	Teilsicherheitsbeiwert Kontaktreibungswinkel (Widerstand)
γ_a	Teilsicherheitsbeiwert Adhäsion (Widerstand)
φ_k	charakteristischer Reibungswinkel (Boden)
A	effektive Aufstandsfläche des Fahrzeuges unter Lastausbreitung
a_v	Bremsverzögerung (m/s^2)
b_R	Breite der Raupenkette (m)
g	Erdbeschleunigung ($10 m/s^2$)
G_R	Eigengewicht des Fahrzeuges (kN)
l_R	Länge der Raupenkette (m)
s_0	Schneelast nach [U5] (kN/m^2)
$t_{S,d}$	Schubkraft aus Schneelast in Böschungsfallrichtung (kN/m^2)
$t_{S,h,d}$	Mobilisierte Reibungskraft aus Schneelast (kN/m^2)
$t_{Rd,d}$	Schubkräfte infolge einer Vollbremsung des Fahrzeuges (kN)
$t_{Rd,s}$	Schubkräfte aus Eigengewicht des Fahrzeuges (kN/m^2)
$t_{Rd,h}$	Reibungskraft in der kritischen Scherfuge aus Eigengewicht des Fahrzeuges (kN/m^2)
t	Zeit, die das Fahrzeug bis zum Stillstand benötigt (s)
v	maximale Geschwindigkeit des Fahrzeuges (m/s)

6 SCHLUSSBEMERKUNGEN

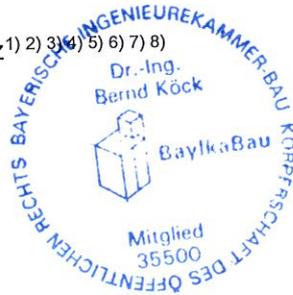
Für die geplante Oberflächenabdichtung der Deponie „Weinstetten“ wurden die Standsicherheiten im Abdichtungssystem der Böschung auf Grundlage von Erfahrungswerten der voraussichtlich eingesetzten Materialien untersucht. Es wurden dabei ausreichende Sicherheiten in den jeweiligen Scherflächen ermittelt.



IFB Eigenschenk ist zu verständigen, fall sich Abweichungen vom vorliegenden Gutachten oder planungsbedingte Änderungen ergeben.

IFB Eigenschenk GmbH

Dipl.-Geol. Dr. Roland Kunz^{1) 2) 3) 4) 5) 6) 7) 8)}
Geschäftsführer



Dipl.-Ing. (FH) Markus Pendl⁹⁾
Abteilungsleiter Geotechnik

- 1) Von der Industrie- und Handelskammer für Niederbayern in Passau öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Hydrogeologie
- 2) Leiter des Prüflaboratoriums nach DIN EN ISO 17025:2005
- 3) Fachkundiger für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit in kontaminierten Bereichen und Sachkundiger nach DGUV – Regel 101-004, Anhang 6 A (BGR 128)
- 4) Privater Sachverständiger in der Wasserwirtschaft für thermische Nutzung, Bauabnahme Grundwasserbenutzungsanlagen, Beschneidungsanlagen, Eigenüberwachung von Wasserversorgungsanlagen gemäß § 1 VPSW 2010
- 5) zugelassener Probenehmer gemäß §15 Abs. 4 TrinkwV
- 6) Lehrbeauftragter der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg für Gebäuderückbau: Probenahme, Bewertung, Planung (MB-BB-23.1), Masterstudiengang Bauen im Bestand
- 7) Leiter der Untersuchungsstelle gemäß § 18 Bundes-Bodenschutzgesetz
- 8) geprüfter Probenehmer nach LAGA PN 98
- 9) Von der Industrie- und Handelskammer für Niederbayern in Passau öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Baugrunderkundung und Gründung von Hochbauten