



Gutachten

# **Tragfähigkeit und Verschiebungen von Schraubfundamenten der Firma Krinner**

Projektleiter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Schulz

Projektbearbeiter:

Dr.-Ing. Peter Schick

Dipl.-Ing. Jürgen Schmid

Institut für Bodenmechanik und Grundbau,  
Universität der Bundeswehr München  
Neubiberg, 05.03.2004

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 VERANLASSUNG UND ZIEL DES VORLIEGENDEN GUTACHTENS .....</b>	<b>4</b>
<b>2 BESCHREIBUNG DER SCHRAUBFUNDAMENTE.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Konstruktive Angaben .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Installation der Schraubfundamente im Boden .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Im Gebrauchszustand zu erwartende Einwirkungen.....</b>	<b>5</b>
<b>3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Versucharten.....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Versuchseinrichtung und -vorbereitung .....</b>	<b>7</b>
<b>3.3 Übersicht über die Prüfstandorte und Versuchstage.....</b>	<b>8</b>
<b>3.4 Versuchsdurchführung .....</b>	<b>9</b>
<b>4 BESCHREIBUNG DER VERSUCHSSTANDORTE.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1 Standort der Fa. Krinner, Strasskirchen (Auelehm) .....</b>	<b>10</b>
<b>4.2 Universität der Bundeswehr München, Freigelände (Sand, locker / dicht) ...</b>	<b>12</b>
<b>4.3 Universität der Bundeswehr München, Schießplatz (Kies, dicht) und Halde (Kies, locker) .....</b>	<b>14</b>
<b>5 VERSUCHSERGEBNISSE .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1 Horizontale Tragfähigkeit.....</b>	<b>17</b>
<b>5.2 Axiale Tragfähigkeit auf Zug.....</b>	<b>18</b>
<b>5.3 Axiale Tragfähigkeit auf Druck .....</b>	<b>19</b>
<b>6 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>20</b>
<b>ANLAGEN 1 BIS 10.....</b>	<b>21</b>
<b>Anlage 1 Konstruktionsskizzen und Ansicht typischer untersuchter Schraubfundamente.....</b>	<b>22</b>
<b>Anlage 2: Baugrund- und Bodenkennwerte Standort Krinner.....</b>	<b>24</b>
<b>Anlage 3 Baugrund- und Bodenkennwerte Standort UniBw München Freigelände .....</b>	<b>27</b>
<b>Anlage 4 Baugrund- und Bodenkennwerte Standort UniBw München Schießplatz .....</b>	<b>31</b>

<b>Anlage 5</b>	<b>Arbeitslinien Standort Krinner .....</b>	<b>39</b>
<b>Anlage 6</b>	<b>Arbeitslinien Standort UniBw München Freigelände .....</b>	<b>41</b>
<b>Anlage 7</b>	<b>Arbeitslinien Standort UniBw München Schießplatz .....</b>	<b>42</b>
<b>Anlage 8</b>	<b>Tabellen ausgewählter charakteristischer Werte der Tragfähigkeit bei vorgegebenen Verschiebungen .....</b>	<b>44</b>
<b>Anlage 9</b>	<b>Fotodokumentation .....</b>	<b>46</b>
<b>Anlage 10</b>	<b>Verzeichnis verwendeter Quellen und Literatur .....</b>	<b>50</b>

## 1 Veranlassung und Ziel des vorliegenden Gutachtens

Das vorliegende Gutachten enthält die Ergebnisse des Prüfauftrages der Firma Krinner an die Universität der Bundeswehr München (Vertrag vom 01.10.2003):

AG: Fa. Krinner, D-94340 Straßkirchen

AN: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hartmut Schulz, Universität der Bundeswehr München (UniBwM), D-85577 Neubiberg

Durchführungszeitraum der Versuche: 06. bis 25. November 2004

Die Arbeitslinien von Schraubfundamenten der Fa. Krinner wurden bei quasistatischer Horizontal- und Vertikalbelastung an Böden dreier Standorte und in verschiedenen Konsistenzen bzw. Dichten ermittelt. Im vorliegenden Gutachten werden die hieraus gewonnenen charakteristischen Werte der Tragfähigkeit bei bestimmten Werten der Verschiebungen mitgeteilt; außerdem sind die Aussagen zur Beschaffenheit des Baugrundes an den jeweiligen Prüfstellen sowie alle relevanten gemessenen Versuchsdaten enthalten. Eine Fotodokumentation zeigt die praktische Versuchsdurchführung. Dieses Gutachten soll gemeinsam mit weiteren vorangegangenen und künftigen Untersuchungen die Zulassung der Schraubfundamente beim Deutschen Institut für Bautechnik inhaltlich vorbereiten.

## 2 Beschreibung der Schraubfundamente

### 2.1 Konstruktive Angaben

Die Schraubfundamente (Abk.: „SF“; vormalige Bezeichnung: „Bodendübel“) der Fa. Krinner werden als Gründungselemente für leichte Bauwerke eingesetzt (z.B. fliegende Bauten, Container, Pavillons, Garagen, Fahnenmasten und Schilder). Nach Auftragserteilung haben sich Gründungen von Solaranlagen als weiteres Anwendungsgebiet erwiesen. Der prinzipielle Aufbau der Schraubfundamente und eine Ansicht der in die Prüfungen einbezogenen SF-Typen und -Längen geht aus **Anl. 1** hervor. Die untersuchten Längen variieren von  $L = 75$  cm bis 150 cm. Der Schaft läuft konisch zu, d.h. mit der Tiefe nimmt der Durchmesser ab. Auf dem aus Stahl gezogenen Schaft sind die Gewindegänge aus Bandstahl aufgeschweißt. Über dem Gewinde verbleibt je nach SF-Typ eine unterschiedlich lange gewindefreie Restdistanz bis zum SF-Kopf. Die SF sind außen und innen verzinkt.

## 2.2 Installation der Schraubfundamente im Boden

Die Schraubfundamente werden drehend in den Boden eingebracht; die kleineren SF werden mithilfe einer großen Handbohrmaschine mit Seitenabstützung eingedreht, die größeren SF mithilfe eines Hydraulikbaggers mit Bohraufsatz oder einer Bohrlafette. Falls es der Baugrund z.B. aufgrund von Steinen erfordert, kann vor dem Eindrehen von Schraubfundamenten mit separaten Werkzeugen an Ort und Stelle vorgebohrt oder vorgemeißelt werden; dies war an den hier untersuchten Standorten jedoch nicht der Fall (**Anl. 2, 3 und 4**). In kiesig-steinigen, dicht gelagerten Böden (hier: Standort UniBwM Schießplatz) kann es kurzfristig zu einem Durchdrehen ohne weiteres Eindringen kommen, wenn die SF-Spitze auf einen größeren Stein stößt. In diesem Fall wird durch das Gewinde Boden nach oben gefördert, was die axiale Tragfähigkeit in den ersten Belastungszyklen etwas vermindern kann.

## 2.3 Im Gebrauchszustand zu erwartende Einwirkungen

Die Art der Einwirkungen auf eingebaute SF variiert je nach Einsatzzweck. Sie müssen i.d.R. Einwirkungen aus Eigengewicht des Bauwerks und die auf das Bauwerk wirkenden Windkräfte abtragen können. Die Windlasten erzeugen oszillierende Kräfte in vertikaler und horizontaler Richtung; im Falle geringen Eigengewichts des zu gründenden Bauwerkes ist bei den vertikalen Lasten auch mit Umkehr des Vorzeichens in den Zugbereich zu rechnen. Die im Boden installierten SF werden also sowohl axial (vertikal) zyklisch auf Druck bzw. Druck und Zug (Schwell- bzw. Wechsellast) wie auch quer (horizontal) zyklisch beansprucht und müssen für diese Einwirkungen geprüft und bemessen werden. Kombinationen dieser Belastungsarten sind im vorliegenden Versuchsprogramm nicht untersucht worden.

# 3 Versuchsdurchführung

## 3.1 Versuchsarten

Um die in Abschnitt 2.3 genannten Einwirkungsarten versuchstechnisch abzudecken, wurden Horizontalbelastungen (mit / ohne Belastungsumkehr) sowie Vertikalbelastungen auf Zug und Druck (mit / ohne Belastungsumkehr) durchgeführt (**Tab. 3-1**). Alle Versuche wurden als 1:1 in-situ-Versuche durchgeführt. Die Zugversuche wurden bis zur Maximallast (Zugversagen) gefahren, das Ende der Druckversuche und der horizontalen Belastungsversuche wurde anhand der aufgetretenen Verschiebun-

gen an den Köpfen der SF festgelegt. Die Wertepaare aus Belastung und Verschiebung wurden in ihrem zeitlichen Verlauf aufgezeichnet und je Versuch als Arbeitslinie dargestellt (**Anl. 5, 6 und 7**), aus denen die charakteristischen Werte von Kraft und zugehörigem Weg abgelesen werden können (**Anl. 8**).

**Tabelle 3-1:** Angewendete Versuchsarten zur Prüfung der zulässigen Belastungen von Schraubfundamenten

Belastung	Belastungsrichtung	Ergebnis/ Aussagegehalt
Axialer (vertikaler) Zug	Erste Zugbelastung nach Einbringung	Arbeitslinie bei überwiegend ruhender Beanspruchung; Maximale Tragfähigkeit auf Zug
	Zugbelastung nach Druckbelastung	Arbeitslinie zum Vergleich mit der monotonen Belastung und zu deren Kontrolle sowie zum besseren Verständnis des Bruchvorgangs. Abminderung der Zugtragfähigkeit durch vorherige Druckbelastungen (Einfluss der ersten Lastumkehr bei zyklischer Belastung)
Axialer (vertikaler) Druck	Erste Druckbelastung nach Einbringung	Arbeitslinie bei überwiegend ruhender Beanspruchung z.B. infolge dominierender Eigenlast; Maximale Tragfähigkeit auf Druck
	Druckbelastung nach Zugbelastung	Arbeitslinie zum Vergleich mit der monotonen Belastung und zu deren Kontrolle sowie zum besseren Verständnis des Bruchvorgangs; Abminderung der Druck-Tragfähigkeit durch vorherige Zugbelastung (Einfluss der ersten Lastumkehr bei zyklischer Belastung)
Quer (horizontal)	Erste Horizontalbelastung nach Einbringung	Arbeitslinie bei überwiegend ruhender Beanspruchung; Maximale horizontale Tragfähigkeit
	Mehrmalige Belastungs-umkehr (zyklisch)	Arbeitslinie zum Vergleich mit der monotonen Belastung und zu deren Kontrolle sowie zum besseren Verständnis des Bruchvorgangs; Abminderung durch vorherige Horizontalbelastungen (Einfluss zyklischer Belastung)

Da aus dieser Studie ein Überblick über das Tragverhalten in verschiedenen Böden hervorgehen sollte, wurde auf detailliertere Erfassung des zyklischen axialen Tragverhaltens verzichtet und dieser Fall mit einer einmaligen Lastumkehr abgedeckt (Zug nach Druck bzw. Druck nach Zug). Die genauere Untersuchung des zyklischen Tragverhaltens, bei dem Größen wie Zyklenzahl, Schwell- und Wechsellastr-Amplitude eine Rolle spielen, bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten und geht nicht aus dem vorliegenden Gutachten hervor. Ebensowenig kann aus den durchgeföhrten Untersuchungen eine Aussage über das Verhalten von SF'en abgeleitet werden.

den, bei denen die Einwirkung aus einer Kombination der oben dargestellten Grundbelastungen besteht.

### **3.2 Versuchseinrichtung und -vorbereitung**

Die Versuchseinrichtung wurde an der UniBwM in Zusammenarbeit mit der Fa. Krinner konzipiert und von der Entwicklungsabteilung der Fa. Krinner angefertigt. Sie besteht aus einem ausgesteiften im Grundriss rechteckigen Belastungsrahmen (**Anl. 9, Abb. A9-1**). Die vier Ecken werden mit je einem in den Boden vorher eingedrehten SF kraftschlüssig verbunden. Die vier Befestigungs-SF besitzen mindestens jeweils die Tragfähigkeit der zu prüfenden SF, so dass eine ausreichende Steifigkeit und Festigkeit des Widerlagers sichergestellt ist.

Zentrisch in der Mitte des Grundrisses wurde das axial zu prüfende SF in den Boden eingebracht. An einer steifen, aus Rohren bestehenden Messbrücke wurden an zwei Punkten Wegaufnehmer angebracht, die die vertikalen Verformungen des SF-Kopfes während der Versuchsdauer maßen. Die Messbrücke stand weit außerhalb des an der GOK deutlich auftretenden Hebungs- bzw. Senkungsbereiches des jeweils untersuchten SF's auf (**Anl. 9, Abb. A9-2**). Horizontal zu prüfende SF wurden außerhalb des Belastungsrahmens eingebracht. Dort erlaubten die beiden Wegaufnehmer die Messung der Kopfverschiebung und zusätzlich daraus die Berechnung der Kopfverdrehung.

An einigen Ansatzpunkten im dicht gelagerten Kies (siehe Standort UniSd) konnten die SF nicht eingebracht werden, was durch die hohe Lagerungsdichte des anstehenden Bodens bedingt war. An noch steinigeren Standorten können SF voraussichtlich nur mit vorheriger Meiβelarbeit eingebaut werden. An benachbarten Stellen dieses Standortes konnten die SF jedoch dann erfolgreich eingebracht werden, obgleich die Sondierergebnisse mit der leichten Rammsonde nach DIN 4094 dort nicht wesentlich anders waren. Bei den Versuchen UniSd-150-Zug und –Druck konnten die SF nur durch Ausräumen oberflächennaher Steine eingedreht werden, wobei teilweise beim Antreffen tieferer Steine durch das Gewinde Boden nach oben gefördert wurde. Die letzten Zentimeter wurden aber überwiegend ohne Bodenförderung eingeschraubt.

### 3.3 Übersicht über die Prüfstandorte und Versuchstage

Insgesamt wurden an 3 Standorten 5 verschiedene Baugrundsituationen (3 Bodenarten, wobei 2 Bodenarten in 2 Lagerungsdichten vorlagen) geprüft (**Tab. 3-2**).

**Tabelle 3-2:** Prüftermine mit zugehörigen Standorten, Böden und SF-Typen

Wochentag, Datum		Ort der Versuche und Umfang der Baugrundaufschlüsse	Versuchsbezeichnung: Standort ( <u>locker/dicht</u> )- Länge [cm]
Do	06.11.03	Firmengelände Krinner; Auelehm	Kri-100, Kri-120 (nur 1 Vorversuch)
Mo	10.11.03	1 Schurf	Kri-150
Do	13.11.03	4 Sondierungen DPL	Kri-80, Kri-75
Fr	14.11.03		Kri-75
Mo	17.11.03	UniBwM, Freigelände; Sand, <u>dicht</u> 4 Sondierungen DPL	UniFd-100
Do	20.11.03	UniBwM, Schießstand; Kies, <u>dicht</u>	UniSd-150
Fr	21.11.03	9 Sondierungen DPH	UniSd-100
Mo	24.11.03	UniBwM, Halde; Kies <u>locker</u> 6 Sondierungen DPL 1 Schurf Freigelände; Sand, locker	UniHl-80, UniHl-100, UniHl-150
Di	25.11.03	UniBwM, Freigelände; Sand, <u>locker</u> 5 Sondierungen DPL 1 Schurf Schießstand; Kies, dicht	UniFl-100 u. UniFl-150

Legende der Versuchsbezeichnungen:

- Kri Krinner, Auelehm
- UniFd UniBwM Freigelände (Sandgrube), dichte Lagerung
- UniFl UniBwM Freigelände (Sandgrube), lockere Lagerung
- UniSd UniBwM Schießplatz (Kies), dichte Lagerung
- UniHl UniBwM Halde (Kies), lockere Lagerung

Auf dem Gelände der Fa. Krinner wurden alle 4 untersuchten SF-Längen (75, 80, 100 und 150 cm) unter allen Belastungsarten untersucht. An allen Standorten wurden durchgängig die SF der Länge 100 cm auf Druck- und Horizontalkraft und diejenigen der Länge 150 cm auf Druck geprüft (**Tab. 3-3**)

Die Versuche an den beiden Standorten der UniBwMünchen umfassten i.d.R. eine oder zwei Längen und nicht alle Belastungsarten, jedoch zwei Bodenarten mit jeweils zwei Lagerungsdichten, so dass mit dem gesamten Versuchsprogramm sowohl der

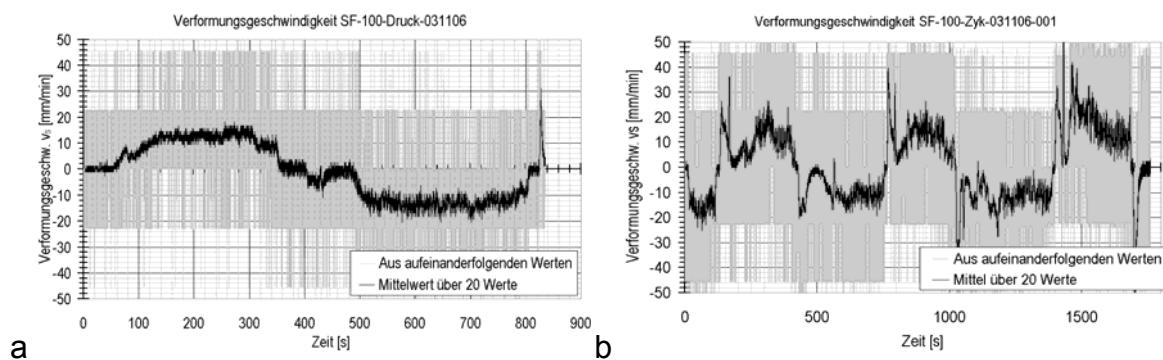
Einfluss der SF-Länge im gleichen Baugrund, als auch der Einfluss verschiedener Bodenarten und -festigkeiten bei gleicher SF-Länge ermittelt wurde.

**Tabelle 3-3:** Übersicht über die geprüften SF-Typen und -Längen

Geprüfter SF-Typ	Länge [cm]	Geprüfte Böden (mit Standorten)
SF75	75	Auelehm Versuchsgelände Fa. Krinner
SF80	80	Auelehm Versuchsgelände Fa. Krinner, Kies, locker (UniBw München, Halde)
SF100	100	Auelehm Versuchsgelände Fa. Krinner, Sand, locker und dicht (UniBw München, Freigelände) Kies, locker und dicht (UniBw München, Schießplatz und Halde)
SF120	120	Auelehm Versuchsgelände Fa. Krinner (Vorversuch)
SF150	150	Auelehm Versuchsgelände Fa. Krinner, Sand, locker und dicht (UniBw München, Freigelände) Kies, locker und dicht (UniBw München, Schießplatz und Halde)

### 3.4 Versuchsdurchführung

Alle Messwerte (Kraft + 2 Wege) wurden durch das Messsystem mit einer Rate von 60 Hertz erfasst. Die Belastung erfolgte manuell über eine Hydraulik-Handpumpe, so dass die Belastungsgeschwindigkeit durch die Geschwindigkeit der Pumpbewegungen gesteuert werden konnte. Ziel war eine annähernd konstante Verschiebungsgeschwindigkeit, was näherungsweise sowohl axial als auch quer realisiert wurde (Beispiele in Abb. 3-1).

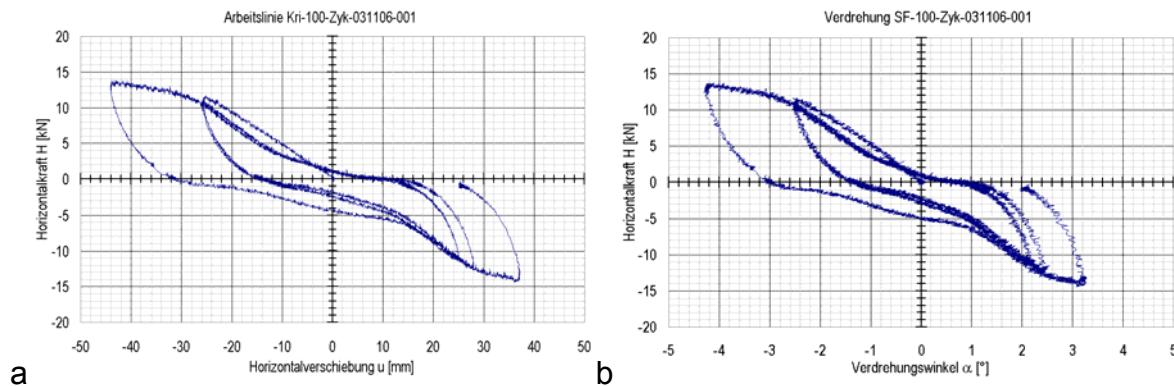


**Abb. 3-1:** Manuell erzielte Verschiebungsgeschwindigkeit, axial (a), quer (b)

Zentrisch in der Mitte des Grundrisses wird das axial zu prüfende SF in den Boden eingebbracht und mit einer hydraulischen Presse belastet. Mittels einer steifen, aus Rohren bestehenden Messbrücke und daran angebrachten Wegaufnehmern wurden

an zwei Punkten die vertikalen Verformungen des SF-Kopfes während der Versuchsdauer gemessen. Die Messbrücke stand weit außerhalb des an der GOK deutlich auftretenden Hebungs- bzw. Senkungsbereiches des jeweils untersuchten SF's auf (**Anl. 9, Abb. A9-2**).

Über eine in Richtung der Längsachse angebrachte horizontale hydraulische Presse konnten außerhalb des Belastungsrahmens eingebrachte SF horizontal beansprucht werden (**Anl. 9, Abb. A9-1 und -2**). Hier erfolgte die Verschiebungsmessung auf zwei verschiedenen Höhenlagen, so dass neben der Kopfverschiebung auch die Kopfverdrehung angegeben werden kann (Beispiele in **Abb. 3-2**). Die maximale Horizontallast wurde stets ziehend ermittelt, um ein Ausknicken der Befestigungs-Gewindestange zu vermeiden.



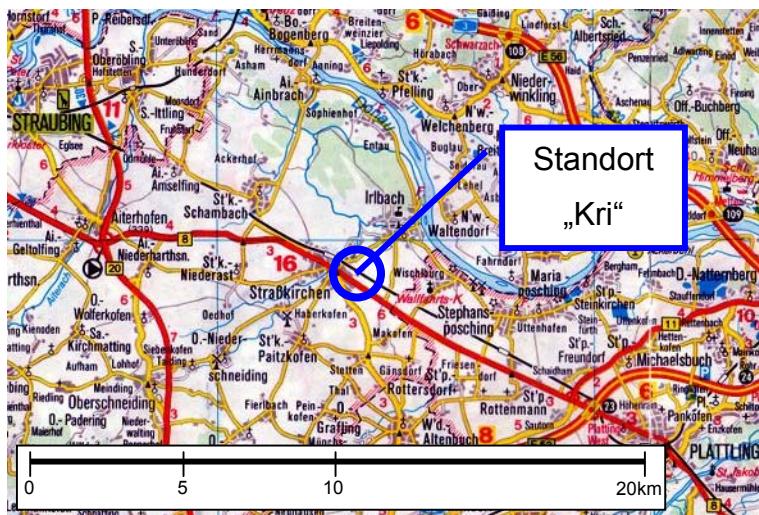
**Abb. 3-2:** Gemessene Horizontalverschiebung (a), berechnete Kopfverdrehung (b)

## 4 Beschreibung der Versuchsstandorte

### 4.1 Standort der Fa. Krinner, Strasskirchen (Auelehm)

#### 4.1.1 Geografische Lage, Vegetation und Witterungsbedingungen

Das Firmengelände liegt in Strasskirchen südwestlich von Straubing (**Abb. 4-1**). Die Vegetation im Versuchsbereich besteht aus Grasbewuchs mit horizontaler Geländeoberkante (**Anl. 9, Abb. A9-3**). Im Versuchszeitraum herrschten Temperaturen von etwa 0 bis 5 °C bei teilweise leichten Niederschlägen und Nebel.



**Abb. 4-1:** Standort Krinner (Versuchsbezeichnung: Kri)

## 4.1.2 Baugrund

### 4.1.2.1 Vorhandene Baugrundinformationen

Gemäß der Geologischen Übersichtskarte von Bayern (**Anl. 10**) liegen am donaunahen Firmenstandort die für Flusslandschaften typischen Aueböden vor. Es handelt sich bei diesen Böden um holozäne feinkörnige Ablagerungen, sog. Auelehme. Aufgrund der Nähe zur Lagerhalle und der im Gelände aufgestellten Kunstbauten sind am Versuchsstandort unterhalb des Mutterbodens auch lokal unterschiedlich mächtige Auffüllungen zu erwarten. Informationen zum Grundwasserstand lagen zur Gutachtenbearbeitung nicht vor.

### 4.1.2.2 Eigene Baugrunderkundung

Durch den Auftragnehmer wurde ein Schurf angelegt, aus welchem Bodenproben zur weiteren Untersuchung im Labor entnommen wurden (**Anl. 2, Abb. A2-2**). Es wurden vier Schichten angetroffen:

- 1) Mutterboden mit Grasbewuchs
- 2) Hellbrauner Lehm unter Mutterboden
- 3) Grauer Lehm
- 4) Brauner Lehm

Im Labor wurden Wassergehalte, Dichten und Körnungslinien ermittelt (**Anl. 2**). Außerdem wurden 4 leichte Rammsondierungen DPL-5 nach DIN 4094 ausgeführt. Die Sondierpunkte wurden rd. 1 m neben den geprüften SF gewählt. Grundwasser wurde bis zur Sohle des Schurfs erwartungsgemäß nicht angetroffen.

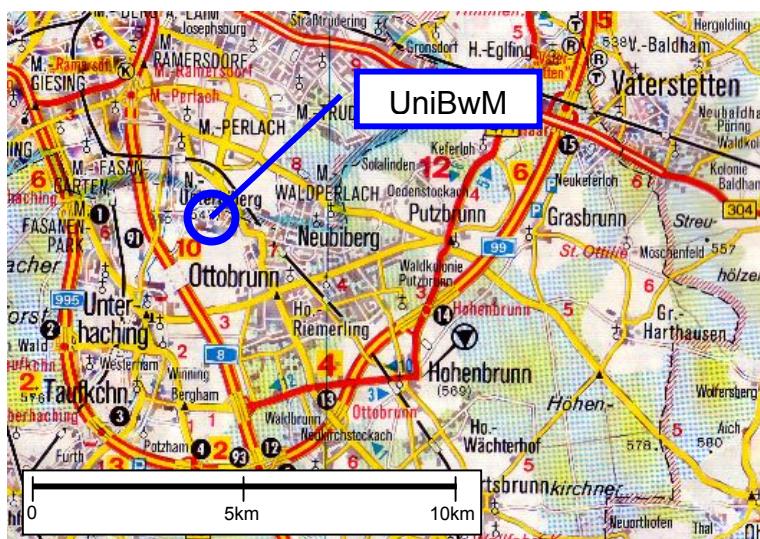
#### 4.1.2.3 Zusammenfassung der Baugrundsituation

Am Standort Kri folgen unterhalb einer etwa 10 cm mächtigen Mutterbodenschicht bis in eine Tiefe von 0,9 m drei weitere bindige Schichten, die nach DIN 18196 als leicht- bzw. mittelplastische Tone (TL bzw. TM) zu klassifizieren sind. Die Böden liegen im „weichen bis halbfesten“ Zustand vor (Konsistenzzahl  $I_c = 0,72$  bis 1,13). Grundwasser war bis zum Fuß der SF nicht vorhanden.

### 4.2 Universität der Bundeswehr München, Freigelände (Sand, locker / dicht)

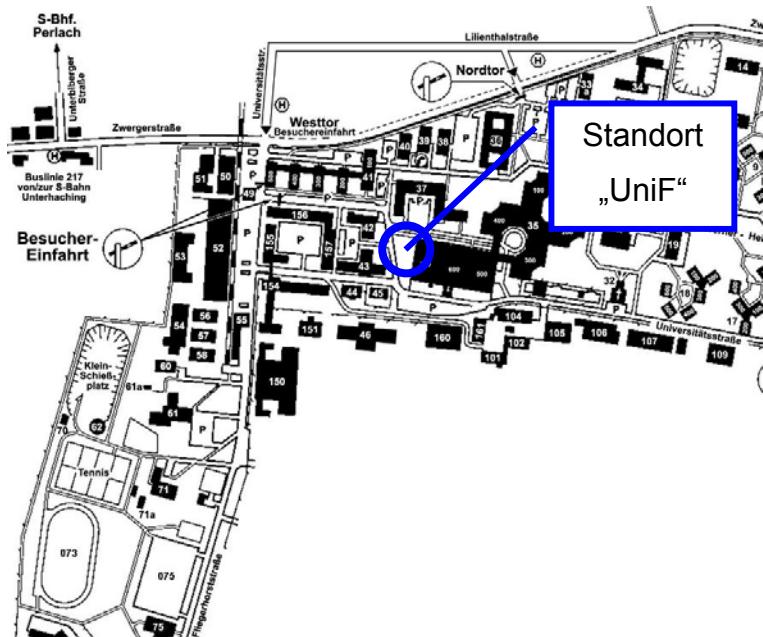
#### 4.2.1 Geografische Lage, Vegetation und Witterung

Der Standort UniBwM liegt süd-südöstlich der Landeshauptstadt München (**Abb. 4-2**). Auf dem Gelände der UniBwM wurden zwei Versuchsstandorte gewählt: Das Freigelände des Instituts (**Abb. 4-3**) sowie ein ehemaliges Schießplatzgelände, das weiter unten erläutert wird.



**Abb. 4-2:** Lage der Universität der Bundeswehr München (UniBwM)

Auf dem Freigelände lag eine unbewachsene horizontale Sandoberfläche vor. An den beiden Versuchstagen, dem 17. und 25. November 2003, herrschten Temperaturen von 5 bis 10 °C, es gab keine Niederschläge (**Anl. 9, Abb. A9-4**).



**Abb. 4-3:** Standort UniBwM Freigelände (Versuchsbezeichnung: UniFl und UniFd)

## 4.2.2 Baugrund

### 4.2.2.1 Vorhandene Baugrundinformationen

Aus dem Betrieb des Freigeländes zu studentischen Übungszwecken ist bekannt, dass hier ca. 1,5 bis 2 m Sand über dem natürlich anstehenden Kies liegen. Von der Herstellung der Sandgrube lagen keine Informationen über die Abmessungen vor. Das Grundwasser im anstehenden Kies liegt mehrere Meter unter GOK und ist hier immer ohne Einfluss.

### 4.2.2.2 Eigene Baugrunderkundung

#### a) Natürliche Lagerung

Im natürlichen Zustand wurden 4 Sondierungen mit der leichten Rammsonde DPL-5 durchgeführt (**Anl. 3, Abb. A3-2**). Weiterhin wurden in verschiedenen Tiefen der Wassergehalt sowie die Dichte mit dem Ballongerät ermittelt. Im Labor wurden die Körnungslinie und die Grenzen der Lagerungsdichte bestimmt (**Anl. 3**). Durch das Ausbaggern und lockere Wiederbefüllen konnte der gesamte Versuchsboden durch zwei Schürfe direkt erkundet werden (**Anl. 3, Abb. A3-2**).

### **b) Lockere Lagerung**

Um einen möglichst lockeren Zustand zu erzielen, wurde der Sand mit einem Bagger bis zur Oberkante Kies ausgehoben und locker wieder eingebaut. Während des Ausbauvorganges wurde die Dichte des natürlichen Zustandes gemessen und es wurden gestörte Proben zur Untersuchung im Labor entnommen.

Im so hergestellten lockeren Zustand wurden ebenfalls 4 Sondierungen mit der leichten Rammsonde durchgeführt (**Anl. 3, Abb. A3-4**). Nach Abschluss aller Versuche erfolgten nochmals die Messung des Wassergehaltes sowie der Dichte mit dem Balongerät.

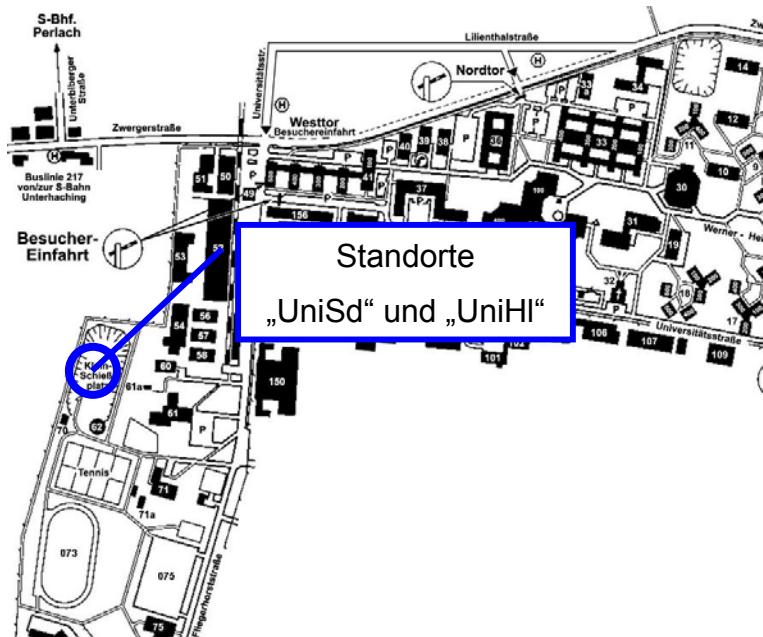
#### **4.2.2.3 Zusammenfassung der Baugrundsituation**

Am Standort UniFl und UniFd ist der Sand in beiden Lagerungsdichten bis in eine Tiefe von rd. 1,1 m (Ostseite) bzw. rd. 1,6 m (Westseite) nach Augenschein homogen und als engestufter Sand SE nach DIN 18196 zu klassifizieren. Im möglichst lockeren Zustand war der Sand "sehr locker" bis "mitteldicht" ( $D=<0...0,39$ ) gelagert, im natürlichen Zustand "locker" bis "mitteldicht" ( $D=<0...0,49$ ). Grundwasser war bis zum Fuß der SF nicht vorhanden.

### **4.3 Universität der Bundeswehr München, Schießplatz (Kies, dicht) und Halde (Kies, locker)**

#### **4.3.1 Geografische Lage, Vegetation und Witterung**

Die Standorte liegen auf dem Gelände der UniBw München, neben dem vom Institut betriebenen Deponie-Messfeld „ehemaliger Schießplatz“ [Schulz, Schmid, Schmitz, 2002] (**Anl. 10**). Dort wurden an zwei Stellen Versuche durchgeführt, und zwar direkt in der Zufahrt zum Schießplatz (Kies, dicht) sowie auf dem Plateau einer benachbarten Halde desselben Bodens, welche vom Aushub des o.g. Messfeldes stammt (Kies, locker) (**Anl. 4; Anl. 9, Abb. A9-5**). Die Vegetation auf dem Schießplatz bestand aus Grasbewuchs, auf der Halde war erster, noch nicht flächendeckender Bewuchs durch Anflug festzustellen, teilweise noch unbewachsener Kies. Die Temperaturen betrugen an den Versuchstagen 5 bis 10 °C, es gab keine Niederschläge



**Abb. 4-4:** Standort UniBwM Schießplatz (Kies, dicht) und Halde (Kies, locker) (Versuchsbezeichnungen: UniSd und UniHi)

### 4.3.2 Baugrund

#### 4.3.2.1 Vorhandene Baugrundinformationen

Es lagen die Baugrundinformationen von der Herstellung des institutseigenen Messfeldes vor [Schulz, Schmid, Schmitz, 2002]. Demnach besteht der Baugrund aus dicht bis sehr dicht gelagertem weitgestuften Kies-Sand- bzw. Kies-Schluff-Gemisch. Das Grundwasser steht weit unterhalb der GOK und ist ohne Einfluss. Wegen der auf dem Gelände bereits früher erfolgten Baumaßnahmen zur Errichtung des Schießstandes und der Zufahrt ist flächig mit Auffüllungen unterschiedlicher Art und Mächtigkeit zu rechnen.

#### 4.3.2.2 Eigene Baugrunderkundung

An beiden Versuchsstandorten „Schießplatz“ und „Halde“ wurden Rammsondierungen, Wassergehalts- und Dichtebestimmungen im Feld durchgeführt und es wurden Proben für die weitere Untersuchung im Labor entnommen. Bei den zuerst ausgewählten Ansatzpunkten konnten die SF nicht eingebracht werden, was die große Lagerungsdichte im natürlichen Zustand bestätigte. Hier erfolgten die Sondierungen mit der schweren Rammsonde DPH. Die vergleichsweise locker gelagerte Kieshalde

konnte mit der leichten Rammsonde DPL-5 erkundet werden. Die Dichtebestimmung erfolgte in beiden Fällen mit dem Ballongerät.

**a) „Schießplatz“ mit dichtem Kies**

Es wurden Sondierungen mit der schweren Rammsonde DPH durchgeführt. Zur Entnahme von Bodenproben und zur in-situ Dichte- und Wassergehaltsmessung wurden nach Durchführung der SF-Belastungsversuche zwei Schurfgruben angelegt (**Anl. 4**). Dieser zeigte, dass mindestens der oberste Meter aus Auffüllung (umgelagerter anstehender Kies) besteht. Grundwasser wurde nicht angetroffen.

**b) „Halde“ mit lockerem Kies**

Es wurde Sondierungen mit der leichten Rammsonde DPL-5 durchgeführt. Auch hier wurde nach Durchführung der SF-Belastungsversuche ein Schurf angelegt (**Anl. 4**) und es wurden Bodenproben für die Untersuchung im Labor entnommen sowie Wassergehalts- und Dichtebestimmungen vorgenommen.

#### **4.3.2.3 Zusammenfassung der Baugrundsituation**

An beiden Untersuchungsstellen auf dem Gelände des ehemaligen Schießplatzes, UniSd und UniHi, lag Grundwasser sehr tief unter GOK und war ohne Einfluss. Der Kies, aus dem die Halde bestand (UniHi), war durch die Transport- und Umlagerungsvorgänge erwartungsgemäß homogener als die Kiesauffüllung über natürlichem Kies am Standort UniSd. Das weitgestufte Kies-Sand-Gemisch ist nach DIN 18196 als GU bzw. GW zu klassifizieren (**Anl. 4**).

**a) „Schießplatz“ mit dichtem Kies**

In der Schürfgrube zeigten sich mehrere Schichten (**Anl. 4**). Wenngleich die mit Densitometer bestimmten Verdichtungsgrade ( $n=3$ ) weit streuen ( $D_{Pr} = 90,3\%$  und  $107,2\%$ ), so ist doch die dichte Lagerung für den Standort charakteristisch; dies zeigten sowohl die Ergebnisse der Rammsondierungen (**Anl. 4**) als auch die erforderliche Kraft zum Einbringen der SF in den Boden und das Kraft-Verformungsverhalten bei der Untersuchung der Prüf-SF.

b) „Halde“ mit lockerem Kies

Eine Schichtung war augenscheinlich nicht einwandfrei zu erkennen. Die Verdichtungsgrade lagen zwischen  $D_{Pr} = 89,0\%$  und  $93,8\%$  (**Anl. 4**).

## 5 Versuchsergebnisse

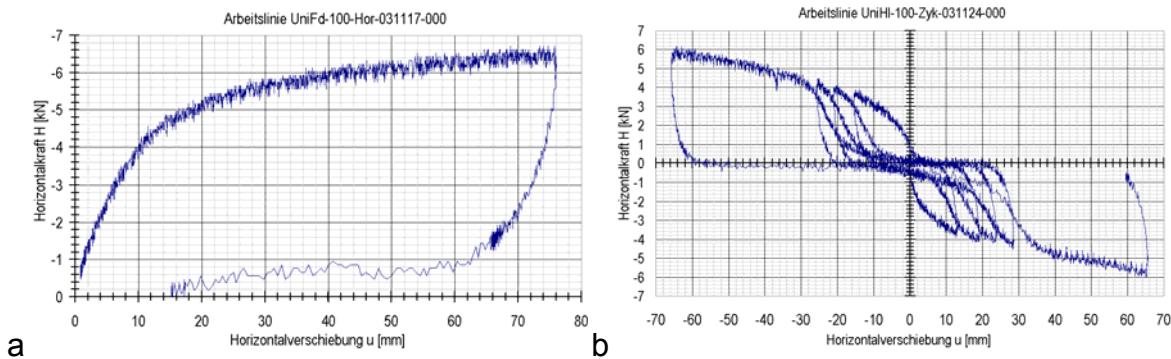
### 5.1 Horizontale Tragfähigkeit

#### 5.1.1 Monoton steigende Horizontalbelastung

Aus den Arbeitslinien (**Anl. 5, 6 und 7**) wurden Werte der Tragfähigkeit als diejenigen Kräfte bestimmt, die eine bestimmte Verschiebung verursachen. Dabei wurden Verschiebungswerte von 2, 5 und 10 mm vorgegeben und die zugehörigen Kräfte aus der Arbeitslinie abgelesen. Typisch war eine anfangs unterlineare Zunahme des horizontalen Widerstandes  $H$  mit der horizontalen Kopfverschiebung  $u$ , die nach i.d.R.  $u > 10$  mm in einen etwa linearen Zusammenhang überging (**Abb. 5-1a**). Bei 2 mm Verschiebung lag die gemessene Spannweite der Widerstände bei  $1,2 \text{ kN} < H < 9 \text{ kN}$ , werden 10 mm Verschiebung zugelassen, ergibt sich  $4 \text{ kN} < H < 23 \text{ kN}$  (**Anl. 8, Tab. A8-1**). Die kleinsten Widerstände traten im Sand (Standort UniF) auf, die größten im steifen Auelehm (Standort Kri).

#### 5.1.2 Zyklische Wechselbelastung

Bei zyklischer Wechselbelastung und etwa gleich großen Verschiebungen in jede Richtung stellten sich Hystereseschleifen ein, die als Umhüllende etwa die Arbeitslinie unter monoton steigender Belastung aufweisen. Nach Richtungsumkehr ergibt sich vor Erreichen des vertikalen Ausgangszustandes ein nahezu kraftloser Übergangsbereich in der Arbeitslinie, gefolgt von einem moderaten Anstieg der Kraft über große Verschiebungen hinweg, bis auf der entgegengesetzten Seite wieder annähernd der horizontale Erstbelastungszustand und damit die o.g. Umhüllende erreicht ist (**Abb. 5-1b**)



**Abb. 5-1: Typische Arbeitslinien bei horizontaler Belastung,**  
**a) Monoton steigende Belastung, b) Zyklische Wechselbelastung**

## 5.2 Axiale Tragfähigkeit auf Zug

### 5.2.1 Monoton ansteigende Zugbelastung

Die Bestimmung der Tragfähigkeiten erfolgte wie in Abschn. 5.1.1 erläutert. Es wurden Verschiebungswerte von 2 und 5 mm vorgegeben und die zugehörigen Kräfte aus der Arbeitslinie abgelesen. Typisch war ein schneller Kraftanstieg bis zum Peak (**Abb. 5-2a**) und ein anschließender deutlicher Abfall des Widerstandes.

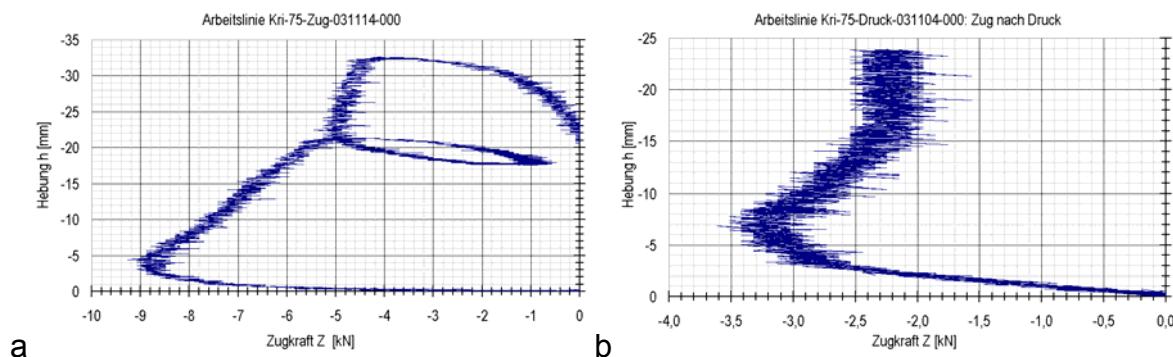
Bei 2 mm Verschiebung lag die gemessene Spannweite der Widerstände bei  $2,9 \text{ kN} < Z < 46 \text{ kN}$ , werden 5 mm Verschiebung zugelassen, ergibt sich  $4,4 \text{ kN} < Z < 53 \text{ kN}$  (**Anl. 8**). Die kleinsten Widerstände traten im Sand (Standort UniFd) auf, die größten im dicht gelagerten Kies und im Auelehm (Standorte UniSd und Kri).

### 5.2.2 Zugverhalten nach erster Druckbelastung

Bei dem ersten Zyklus einer Wechselbelastung (Zugbelastung nach vorausgegangener erster Druckbelastung über den Bruchzustand hinaus) stellte sich typischerweise ein deutlich weicheres Verhalten ein. Der Widerstand bei gegebener Verformung war also geringer bzw. die erforderlichen Verformungen zur Weckung eines bestimmten Widerstandes waren größer.

Die darin zum Ausdruck kommende Abnahme der Tragfähigkeit (**Abb. 5-2b**) dürfte gemäß den Erfahrungen aus dem Tragverhalten von Einzelpfählen im ersten Zyklus betragsmäßig am größten sein und sich danach etwa logarithmisch mit der Zyklenzahl fortsetzen. Werden 5 mm Verschiebung zugelassen, ergeben sich analog zu o.g. Werten hier nur  $1,8 \text{ kN} < Z < 33 \text{ kN}$  (**Anl. 8**). Im dicht gelagerten Kies war die

Abnahme deutlich größer (von 53 auf 5 kN) als im Auelehm (von 53 auf 33 kN). Die weitere Tragfähigkeitsabnahme für größere Zyklenzahlen wurde hier wegen des damit verbundenen bedeutend größeren Versuchsaufwandes nicht untersucht.



**Abb. 5-2: Typische Arbeitslinien bei Zugbelastung,**

a) Monoton steigende Belastung,

b) Zug- nach erster Druckbelastung

## 5.3 Axiale Tragfähigkeit auf Druck

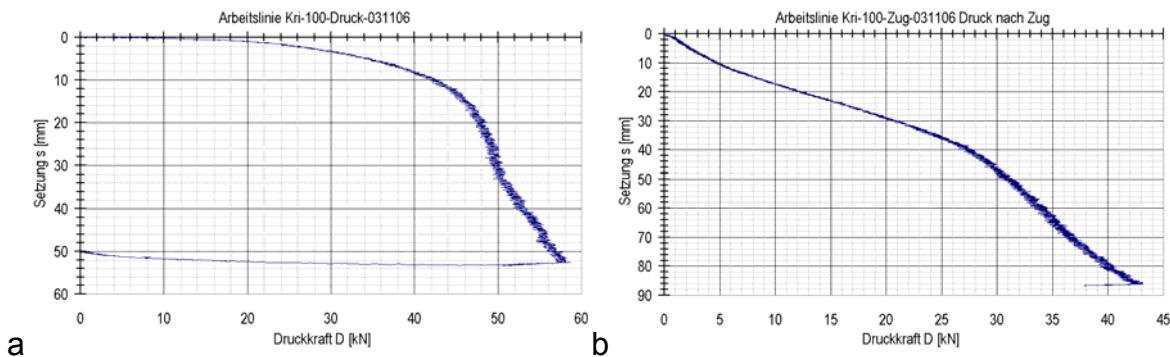
### 5.3.1 Monoton ansteigende Druckbelastung

Die Bestimmung der Tragfähigkeiten erfolgte wie in Abschn. 5.1.1 erläutert. Es wurden Verschiebungswerte von 5 und 10 mm vorgegeben und die zugehörigen Kräfte aus der Arbeitslinie abgelesen. Typisch war ein etwa parabolischer Verlauf der Druck-Setzungs-Linie bis zu einem deutlichen Knick mit daran anschließendem näherungsweise linearem Anstieg der Kraft mit der Verschiebung (**Abb. 5-3a**), der dann auch über große Wege hin erhalten blieb.

Bei 5 mm Verschiebung lag die gemessene Spannweite der Widerstände bei  $3,3 \text{ kN} < Z < 84 \text{ kN}$ , werden 10 mm Verschiebung zugelassen, ergibt sich  $4,1 \text{ kN} < Z < 100 \text{ kN}$  (**Anl. 8**). Die kleinsten Widerstände traten im locker gelagerte Kies (Standort UniHI) auf, die größten im Auelehm (Standorte Kri).

### 5.3.2 Druckverhalten nach erster Zugbelastung

Bei dem ersten Zyklus einer Wechselbelastung (Druckbelastung nach vorausgegangener erster Zugbelastung über den Bruchzustand hinaus) stellte sich typischerweise ein deutlich weicheres Verhalten ein. Analog zu dem in Abschn. 5.2.2 geschilderten Verhalten war der Widerstand bei gegebener Verformung also geringer bzw. die erforderlichen Verformungen zur Weckung eines bestimmten Widerstandes größer (**Abb. 5-3b**).

**Abb. 5-3: Typische Arbeitslinien bei Druckbelastung,****a) Monoton steigende Belastung,****b) Druck- nach erster Zugbelastung**

Die Abnahme der Tragfähigkeit dürfte ebenfalls gemäß den Erfahrungen aus dem Tragverhalten von Einzelpfählen im ersten Zyklus betragsmäßig am größten sein und sich danach etwa logarithmisch mit der Zyklenzahl fortsetzen. Werden 10 mm Verschiebung zugelassen, ergeben sich analog zu o.g. Werten hier nur  $1,7 \text{ kN} < Z < 10 \text{ kN}$  (**Anl. 8**). Die weitere Tragfähigkeitsabnahme für größere Zyklenzahlen wurde auch hier wegen des bedeutend größeren Versuchsaufwandes nicht untersucht.

## 6 Zusammenfassung

Das vorliegende Gutachten beschreibt die 1:1 in-situ-Versuche an Krinner-Schraubfundamenten der Längen 75, 80, 100 und 150 cm. Die Prüfungen erfolgten an drei Standorten, wobei an zweien davon je zwei Lagerungsdichten untersucht wurden.

Die Belastungen erfolgten als axiale und als Quer-Belastung sowohl monoton ansteigend als auch zyklisch mit einem oder mehreren Zyklen.

Aus den Ergebnissen wird deutlich, in welchen Größenordnungen die Eindrück-, Herauszieh- und Horizontalwiderstände für die untersuchten, sehr unterschiedlichen Böden liegen. Der Widerstand eines Schraubfundaments ist von seiner Länge, den Einbaubedingungen sowie der Bodenart und seinem Lagerungszustand abhängig.

Mit den vorliegenden Werten wird eine erste überschlägige Dimensionierung in ähnlichen Böden möglich. Zyklische Belastungen mit großer Zyklenzahl und besonderen Belastungsbedingungen sind hier nicht eingeschlossen. Es wird empfohlen, die Aus-

wirkungen auf die Widerstände unter den letztgenannten Umständen wegen ihrer u.U. maßgeblichen Bedeutung in separaten Studien zu testen.

München, 05.03.2004



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hartmut Schulz  
(Projektleitung)

Dr.-Ing. P. Schick  
(Sachbearbeitung)



Dipl.-Ing. J. Schmid  
(Sachbearbeitung)

Es folgen

**Anlagen 1 bis 10**

## Anlage 1 Konstruktionsskizzen und Ansicht typischer untersuchter Schraubfundamente

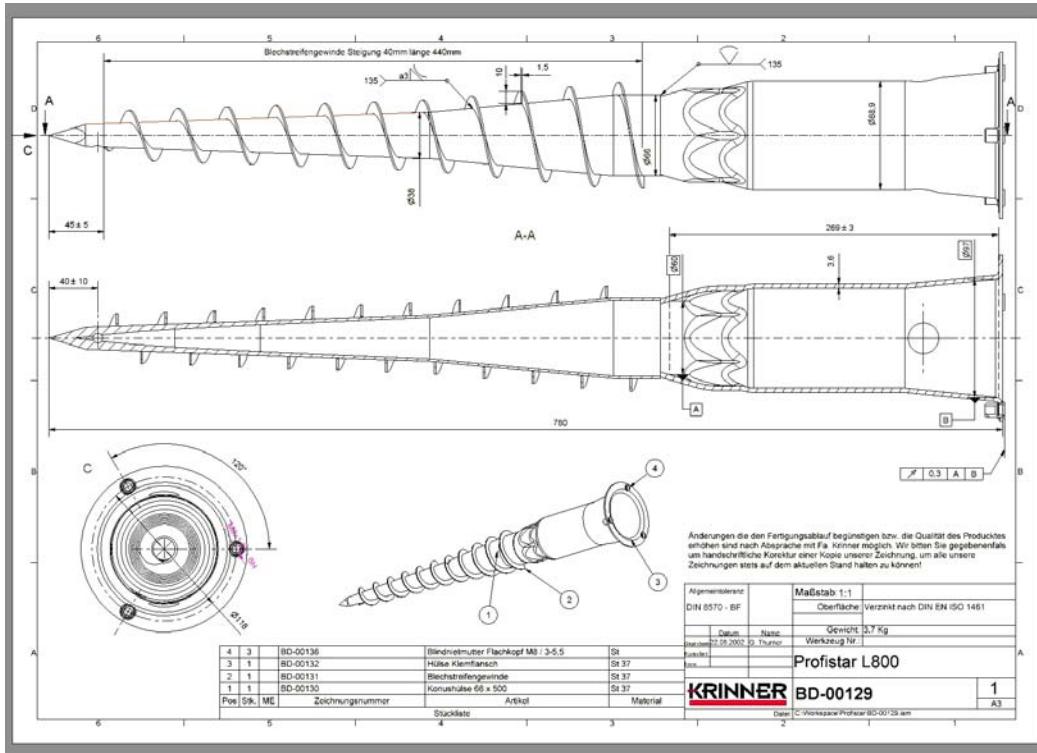


Abb A1-1: SF-Länge 75 cm

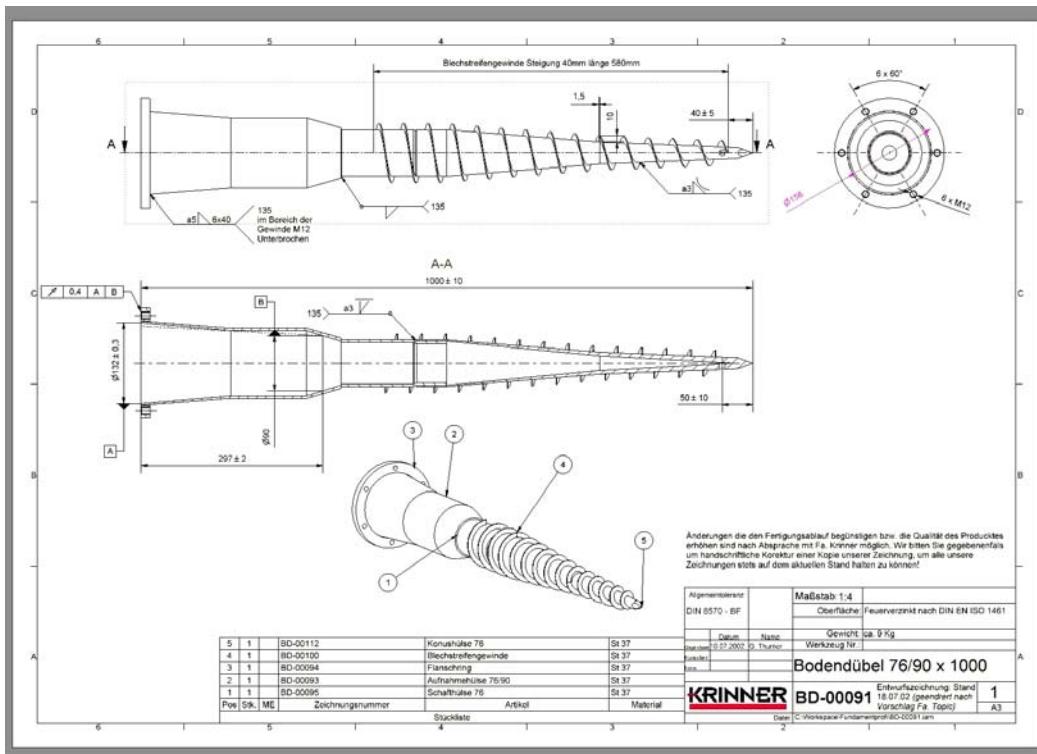
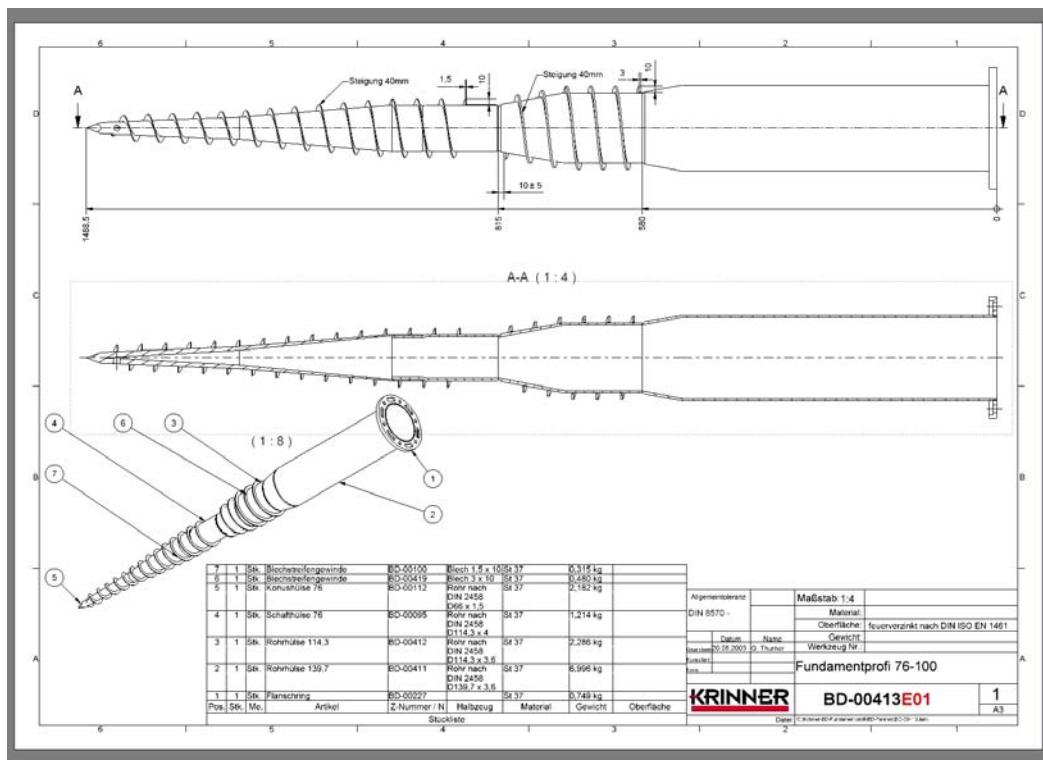


Abb. A1-2: SF-Länge 100 cm

**Anlage 1, Blatt 2**



**Abb. A1-3:** SF-Länge 150 cm



**Abb. A1-4:** Fotografie der untersuchten 4 Schraubfundamente

## Anlage 2: Baugrund- und Bodenkennwerte Standort Krinner

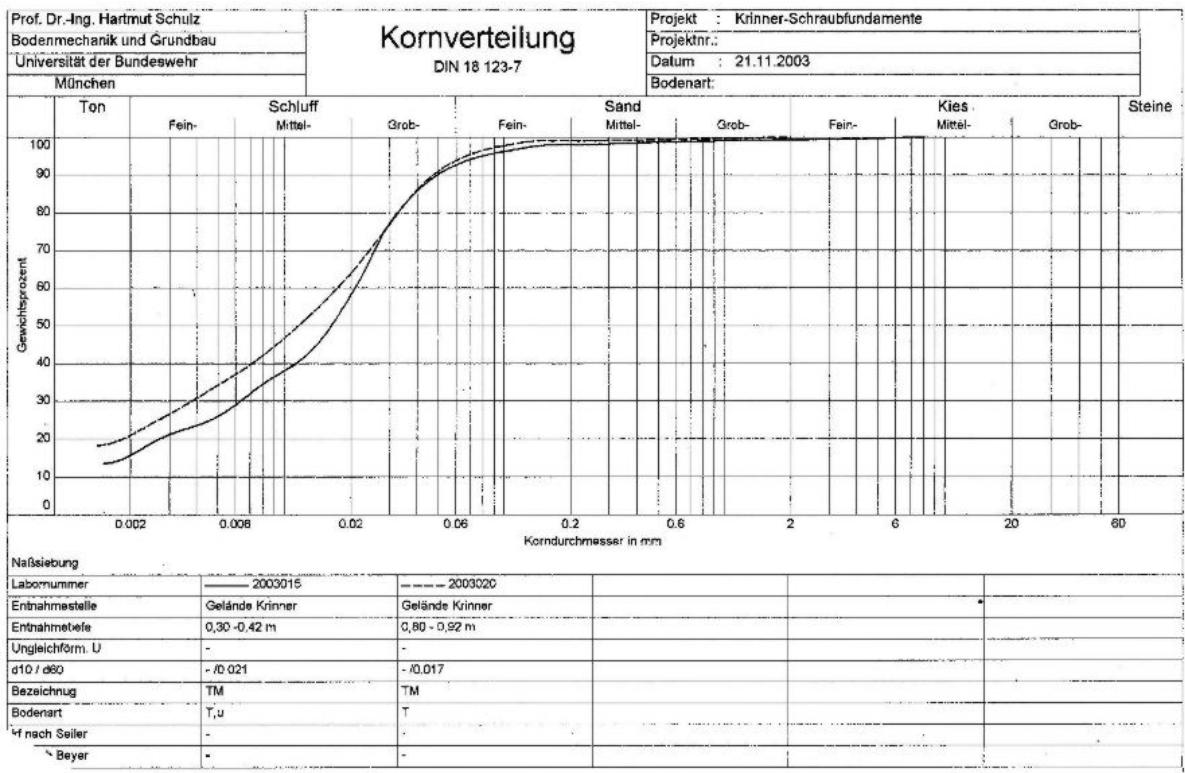
**Tab. A2-1: Übersichtstabelle aller durchgeföhrten Untersuchungen**

Untersuchungen im Feld	
Schurf bis 0,85 m	1 x incl. Entnahme der Proben für u.a. Laborversuche, Ansprache und Fotodokumentation
Leichte Rammsondierungen	4 x DPL-5 nach DIN 4094

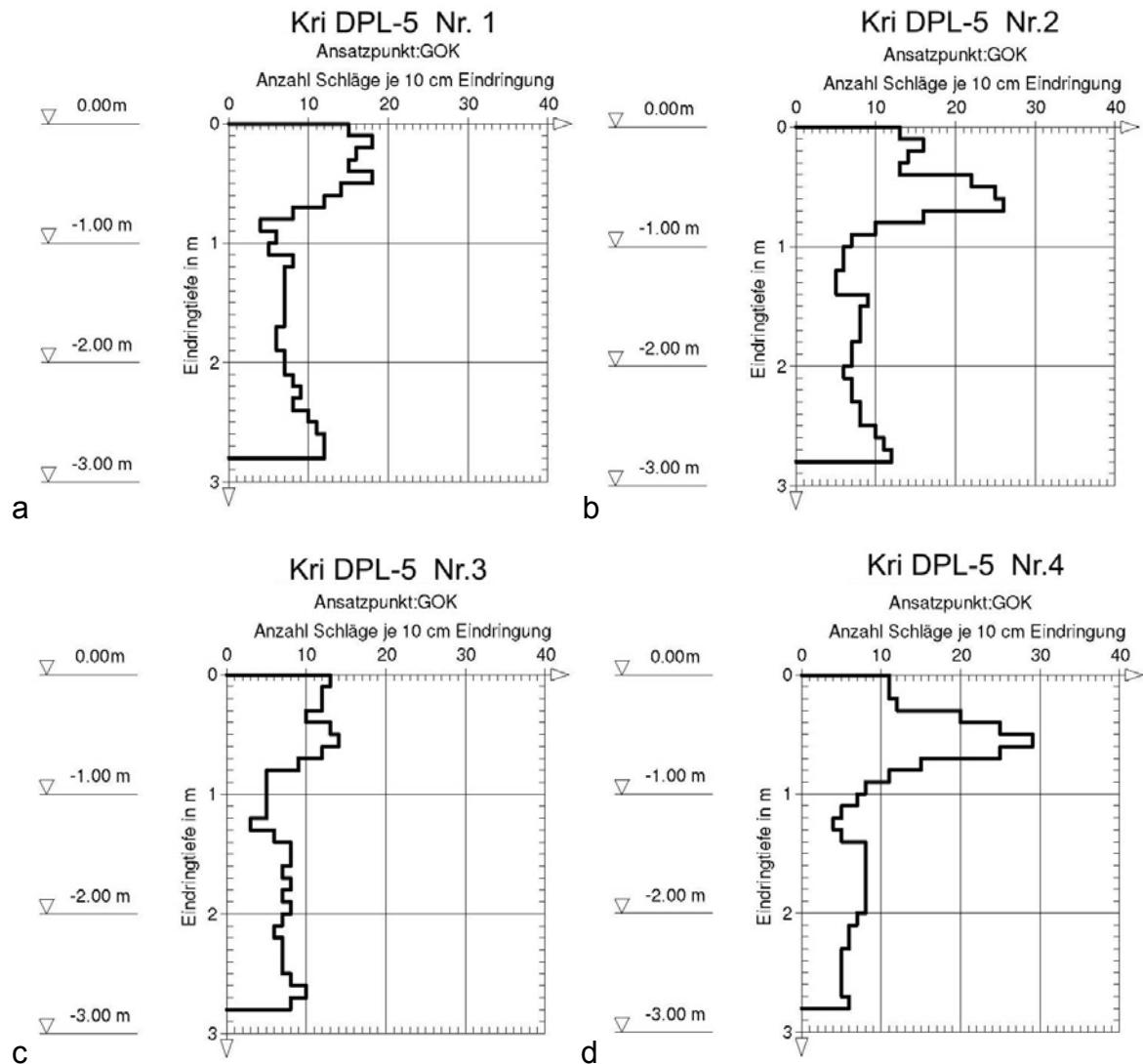
Untersuchungen im Labor	Schicht 2	Schicht 4
Vorhandene Feuchtdichte	1 x (aus Ausstechzylinder)	1 x (aus Ausstechzylinder)
Zugehöriger vorhandener Wassergehalt	2 x (Teilproben aus Ausstechzylinder)	2 x (Teilproben aus Ausstechzylinder)
Körnungslinie (Sieb- und Schlämmanalyse)	1 x	1 x
Fließgrenze	1 x	1 x
Ausrollgrenze	1 x	1 x
Korndichte	Mittel aus 3 Einzelversuchen	Mittel aus 3 Einzelversuchen
Glühverlust	2 x	
Kalkgehalt	2 x	

**Tab. A2-2: Klassifizierung und charakteristische Bodenkennwerte**

Schicht	1	2	3	4
Bezeichnung	Oberboden	Hellbrauner Lehm	Grauer Lehm	Brauner Lehm
Tiefe von – bis [m u. GOK]	<b>0,00-0,30</b>	<b>0,30-0,55</b>	<b>0,55-0,75</b>	<b>&gt; 0,75</b>
Char. Schlagzahlen N <sub>10</sub> [1] der leichten Rammsonde DPL-5	<b>10..15</b>	<b>13..25</b>	<b>13..25</b>	<b>5..&gt;10</b>
Vorhandene Feuchtdichte [t/m <sup>3</sup> ]	k.A.	<b>1,950</b>	k.A.	<b>1,990</b>
Zugeh. vorh. Wassergehalt [%]	k.A.	<b>19,7</b>	k.A.	<b>22,1</b>
Trockendichte [t/m <sup>3</sup> ]	k.A.	<b>1,629</b>	k.A.	<b>1,630</b>
Körnungslinie	k.A.	<b>Abb. A2-1</b>	k.A.	<b>Abb. A2-1</b>
Fließgrenze [%]		<b>35,2</b>		<b>37,2</b>
Ausrollgrenze [%]	k.A.	<b>21,8</b>	k.A.	<b>16,5</b>
Plastizitätszahl [%]		<b>13,4</b>		<b>20,7</b>
Korndichte	k.A.	<b>2,645</b>	k.A.	<b>2,713</b>
Glühverlust [%]	k.A.	<b>3,75</b>	k.A.	k.A.
Kalkgehalt	k.A.	<b>0,0</b>	k.A.	k.A.
<b>Konsistenzzahl I<sub>c</sub> [1]</b>		<b>1,127</b>		<b>0,715</b>
<b>Klassifizierung nach DIN 18196</b>		<b>TL / TM</b>		<b>TM</b>

**Anlage 2, Blatt 2****Abb. A2-1: Beispiele für Körnungslinien der Auelehme am Standort Krinner****Abb. A2-2: Schurf Kri-Sch1**

**Anlage 2, Blatt 3**



**Abb. A3-3a bis d:** Rammsondierungen Kri DPL-5 Nr. 1 bis 4

## Anlage 3 Baugrund- und Bodenkennwerte Standort UniBw München Freigelände

**Tab. A3-1:** Übersichtstabelle aller durchgeführten Untersuchungen

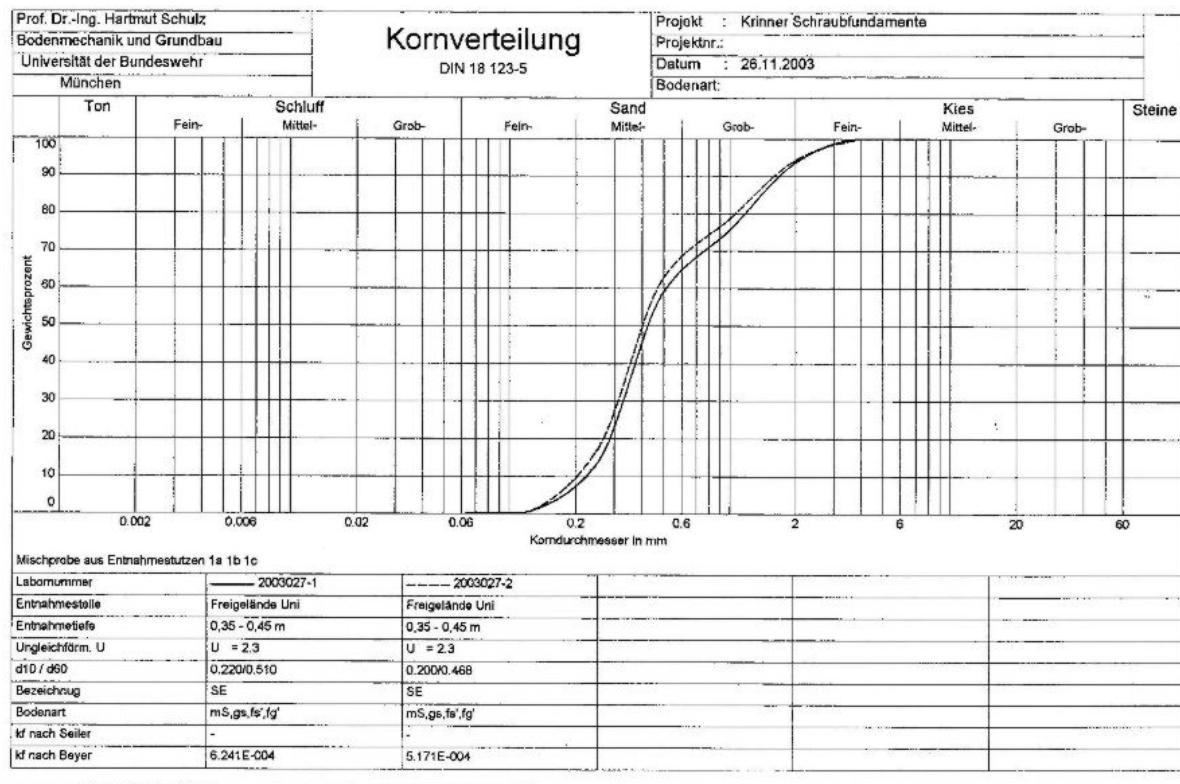
<b>Untersuchungen im Feld</b>	
2 Schürfe, bis 1,2 bzw. 1,6 m	1 x incl. Entnahme der Proben für u.a. Laborversuche, Ansprache und Fotodokumentation
Leichte Rammsondierungen	4 x DPL-5 nach DIN 4094 bei natürlicher Dichte 5 x DPL-5 nach DIN 4094 bei lockerem Einbau

<b>Untersuchungen im Labor</b>	<b>Natürliche Dichte</b>	<b>Lockerer Einbau</b>
Vorhandener Wassergehalt	3 x	3 x
Vorhandene Trockendichte	3 x	3 x
Körnungslinie (Nasssiebung)	2 x	
Mischprobe:		
Kleinster Porenanteil $n_{\min}$	1 x	
Größter Porenanteil $n_{\max}$	1 x	

**Tab. A3-2:** Klassifizierung und charakteristische Bodenkennwerte

Zustand	Natürliche Dichte	Lockerer Einbau
<b>Abb. A3-1</b>		
Körnungslinie		
Char. Schlagzahl $N_{10}$ [1] der leichten Rammsonde DPL-5	Linear zunehmend bis 0,70m: 10 > 0,70m: > 18	0..1,00m: < 1 .. 4 1,00..1,40m: 1 .. 15
Vorhandene Feuchtdichte [ $t/m^3$ ], bestimmung im Feld mit Densitometer	1,551...1,734	1,464...1,685
Zugeh. vorh. Wassergehalt [%]	3,5..3,7	4,1..4,6
Trockendichte [ $t/m^3$ ]	1,489...1,658	1,411...1,625
Grenzen der Lagerungsdichte		
Kleinster Porenanteil $n_{\min}$		0,32
Größter Porenanteil $n_{\max}$		0,44
<b>Lagerungsdichte D [1]</b>	0...0,489	0...0,385
<b>Klassifizierung nach DIN 18196</b>	SE	

**Anlage 3, Blatt 2**

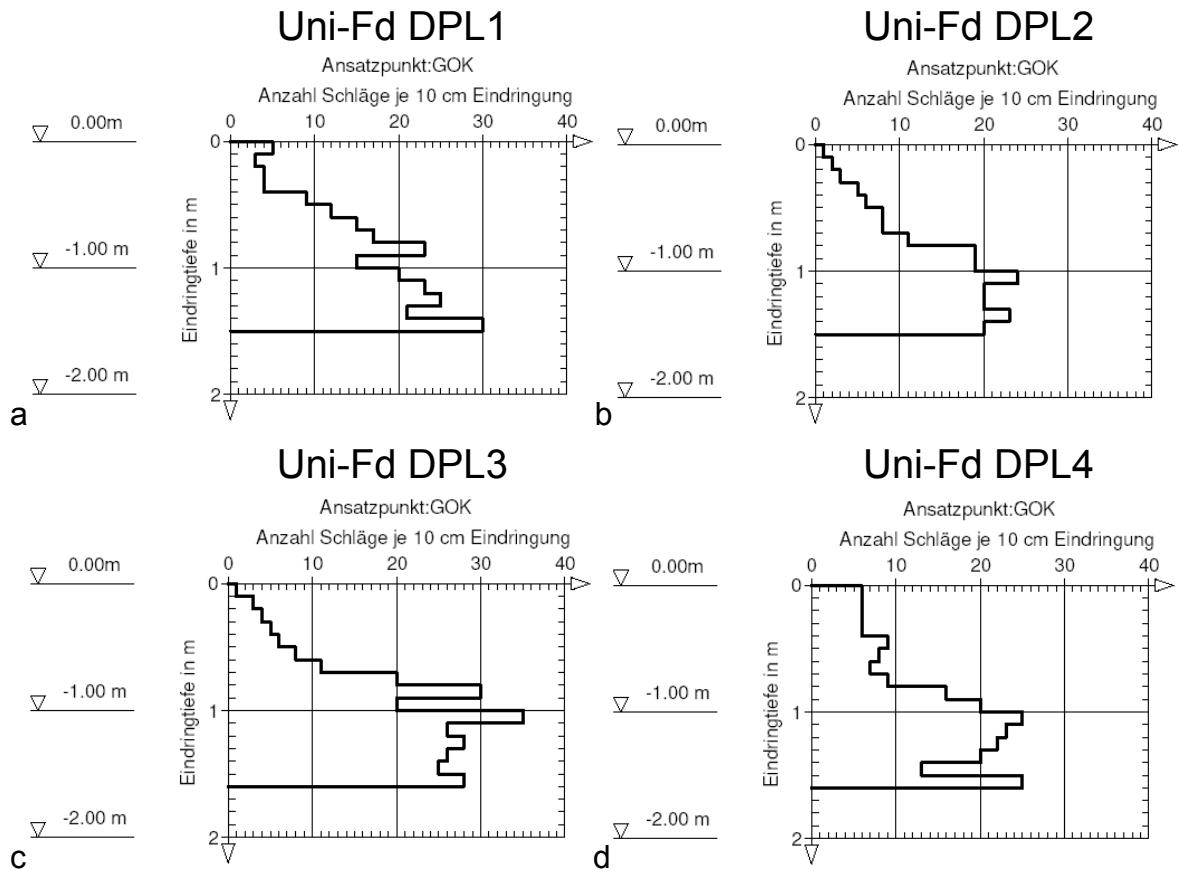


**Abb. A3-1: Beispiele der Körnungslinien des Sandes am Freigelände der UniBwM**



**Abb. A3-2a und b: Schürfe UniF-Sch1 und UniF-Sch2**

**Anlage 3, Blatt 3**

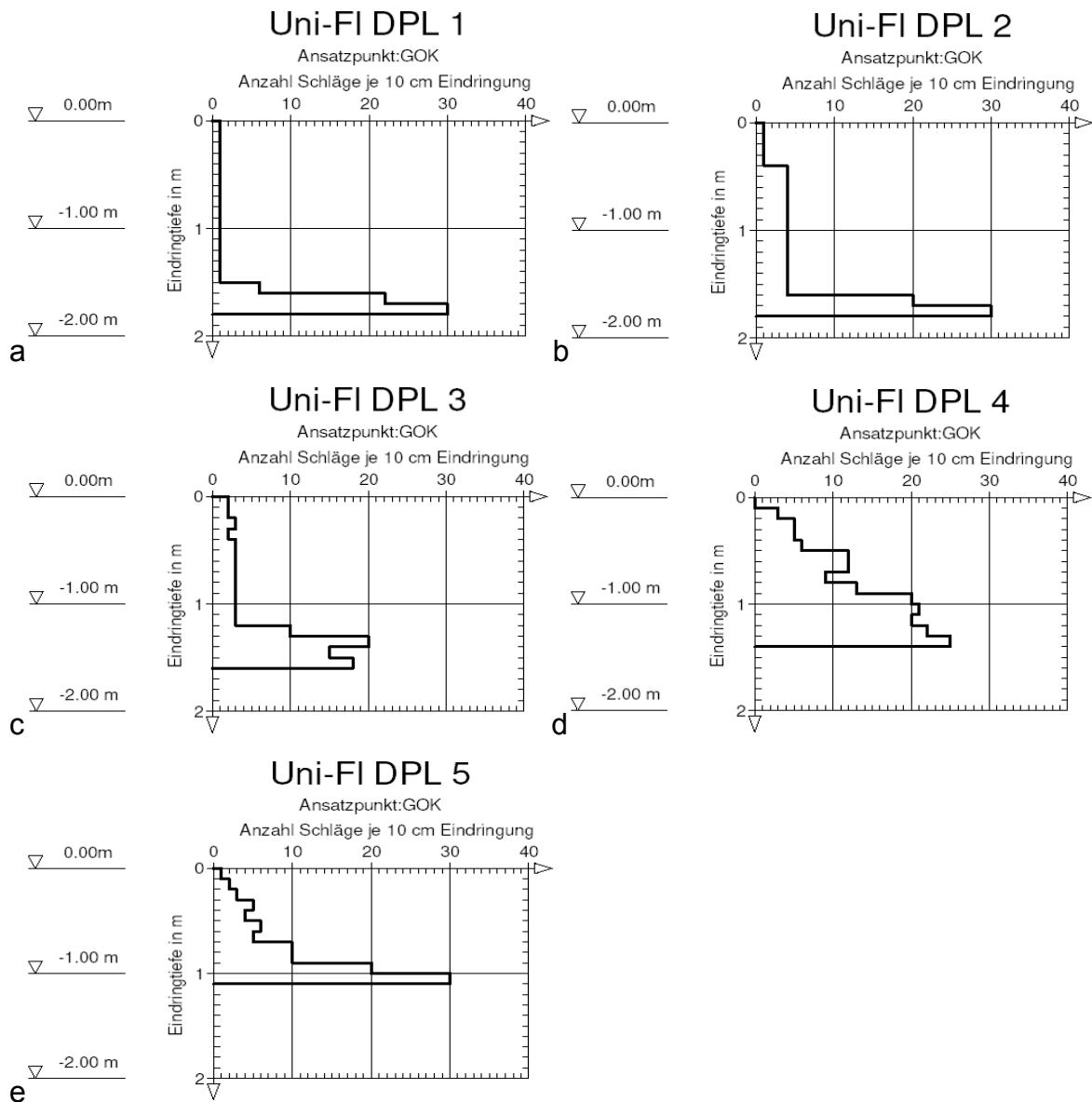


**Abb. A3-3a bis d:** Rammsondierungen DPL-5 im natürlich dicht gelagerten Zustand

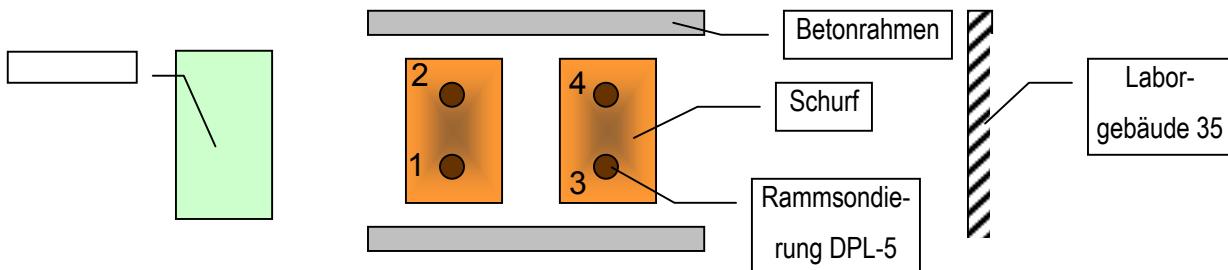


**Abb. A3-3e und f:** Leichte Rammsonde (DPL) und Schurf 1 und 2

**Anlage 3, Blatt 4**



**Abb. A3-4a bis e:** Rammsondierungen DPL-5 im locker gelagerten Zustand (UniFL DPL-5 Nr.5 lag unmittelbar neben Nr.4)



**Abb. A3-5:** Skizze der Lage der Sondierungen und Schürfe (Sondierungen ca. 0,5 m neben den geprüften SF; DPL-Nr. 1: Hor, Nr.2: Zyk, Nr. 3: Druck, Nr. 4: Zug)

## Anlage 4 Baugrund- und Bodenkennwerte Standort UniBw München Schießplatz

### a) Übersicht im Grundriss

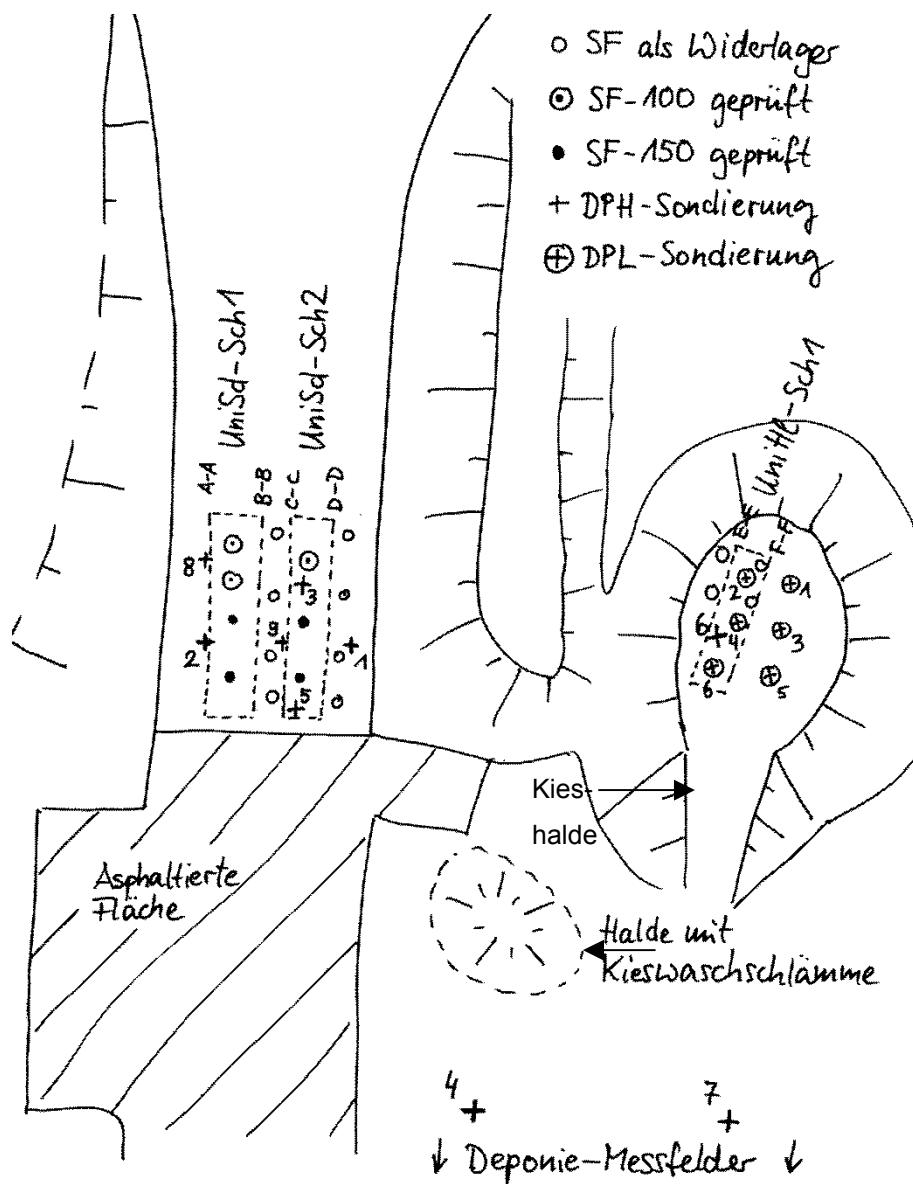


Abb. A4-1: Übersicht über die Standorte „Zufahrt zur ehemaligen Schießstätte“ (links) und „Halde“ (rechts)

**Anlage 4, Blatt 2**

**b) Zufahrt „Schießplatz“ mit dichtem Kies**



**Abb. A4-2a und b:** Schurfgruben am Standort „Zufahrt Schießplatz der UniBwM“ (UniSd-Sch1 und UniSd-Sch2)

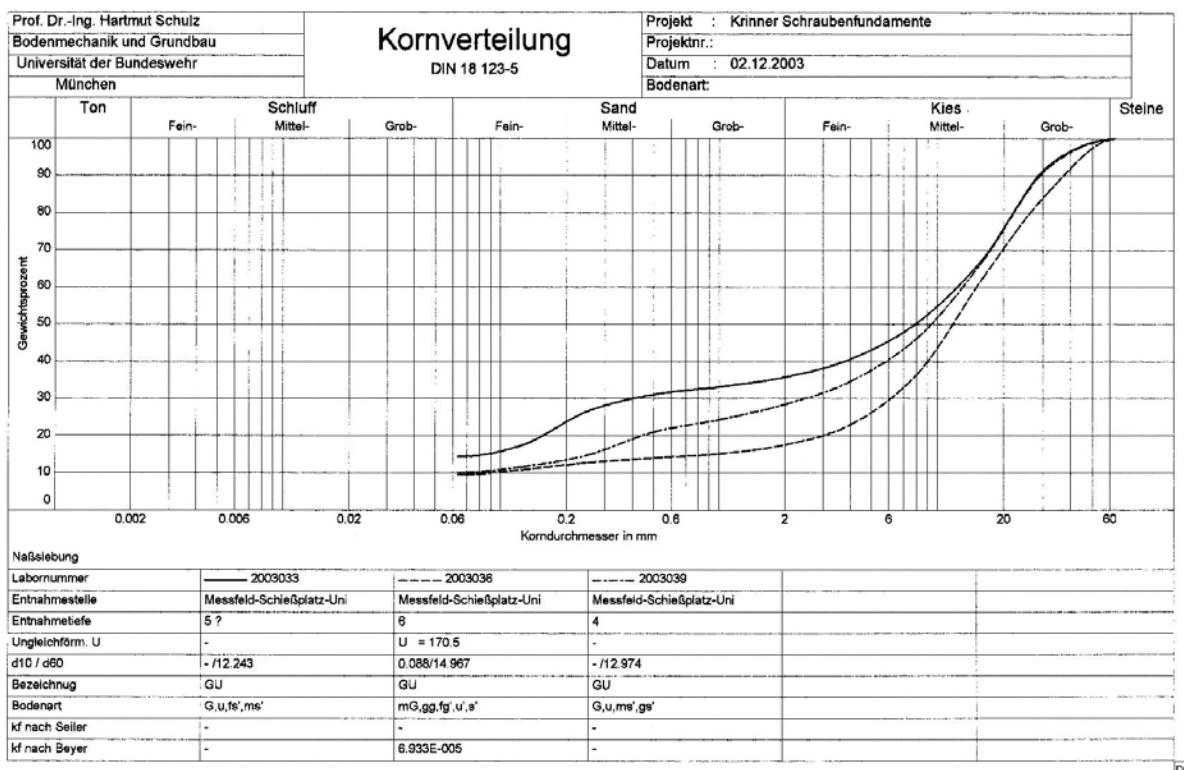
**Tab. A4-1:** Übersichtstabelle aller durchgeföhrten Untersuchungen

<b>Untersuchungen im Feld</b>	
Schurf bis 1,5 m	2 x incl. Entnahme der Proben für u.a. Laborversuche, Ansprache und Fotodokumentation
Schwere Rammsondierungen	9 x DPH nach DIN 4094

<b>Untersuchungen im Labor</b>	
Körnungslinie (Nasssiebung)	1 x
Trockenmasse der Densitometerproben	3 x
Zugehöriger Wassergehalt	3 x
Proctorkurve	1 x

**Tab. A4-2:** Klassifizierung und charakteristische Bodenkennwerte

Trockendichte [ $t/m^3$ ]	<b>2,045...2,427</b>
Wassergehalt [%]	<b>2,2..5,2</b>
Körnungslinie	<b>Abb. A4-2</b>
Proctordichte [ $t/m^3$ ]	<b>2,265</b>
Optimaler Wassergehalt [%]	<b>4,3</b>
<b>Verdichtungsgrad <math>D_{Pr}</math> [1]</b>	<b>0,903...1,072</b>
<b>Klassifizierung nach DIN 18196</b>	<b>GU</b>

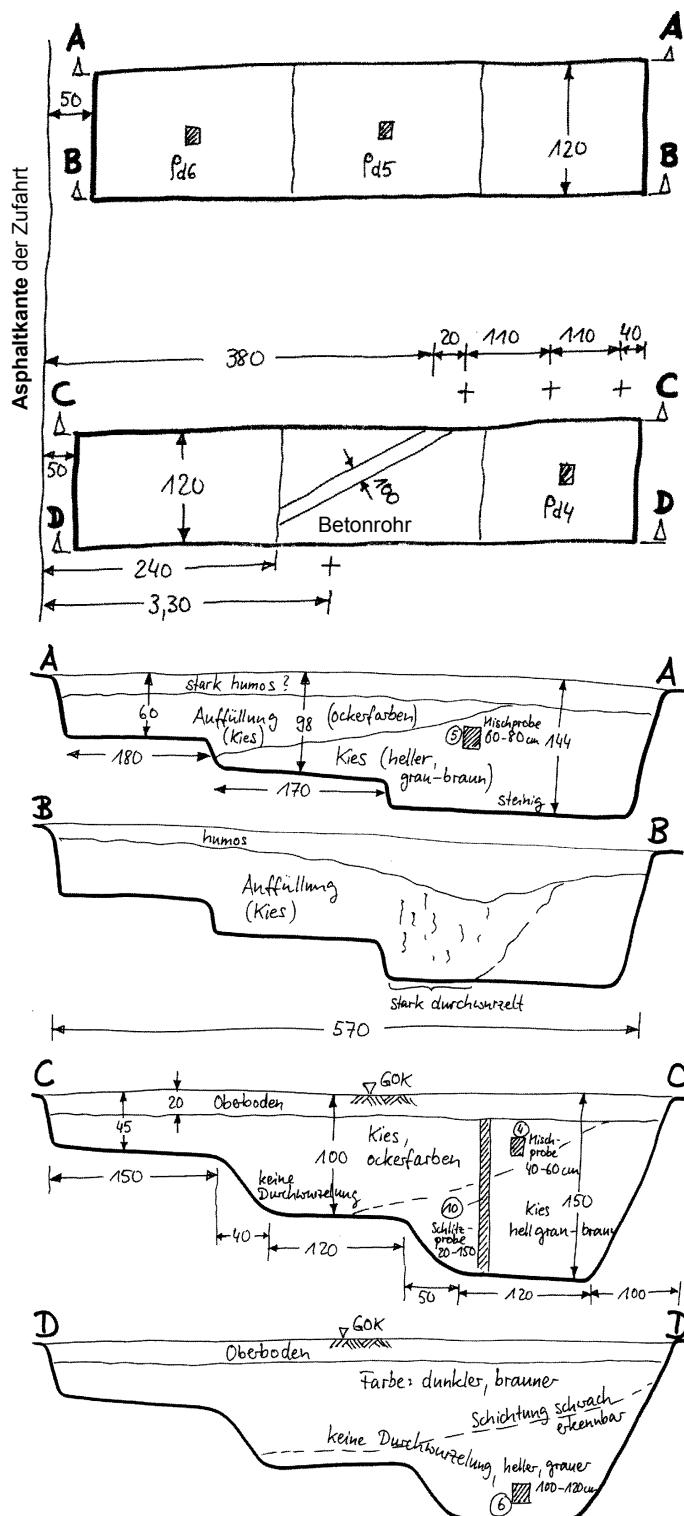
**Anlage 4, Blatt 3**

**Abb. A4-3:** Beispiele der Körnungslinien des Kieses am Standort „Zufahrt Schießplatz der UniBwM“



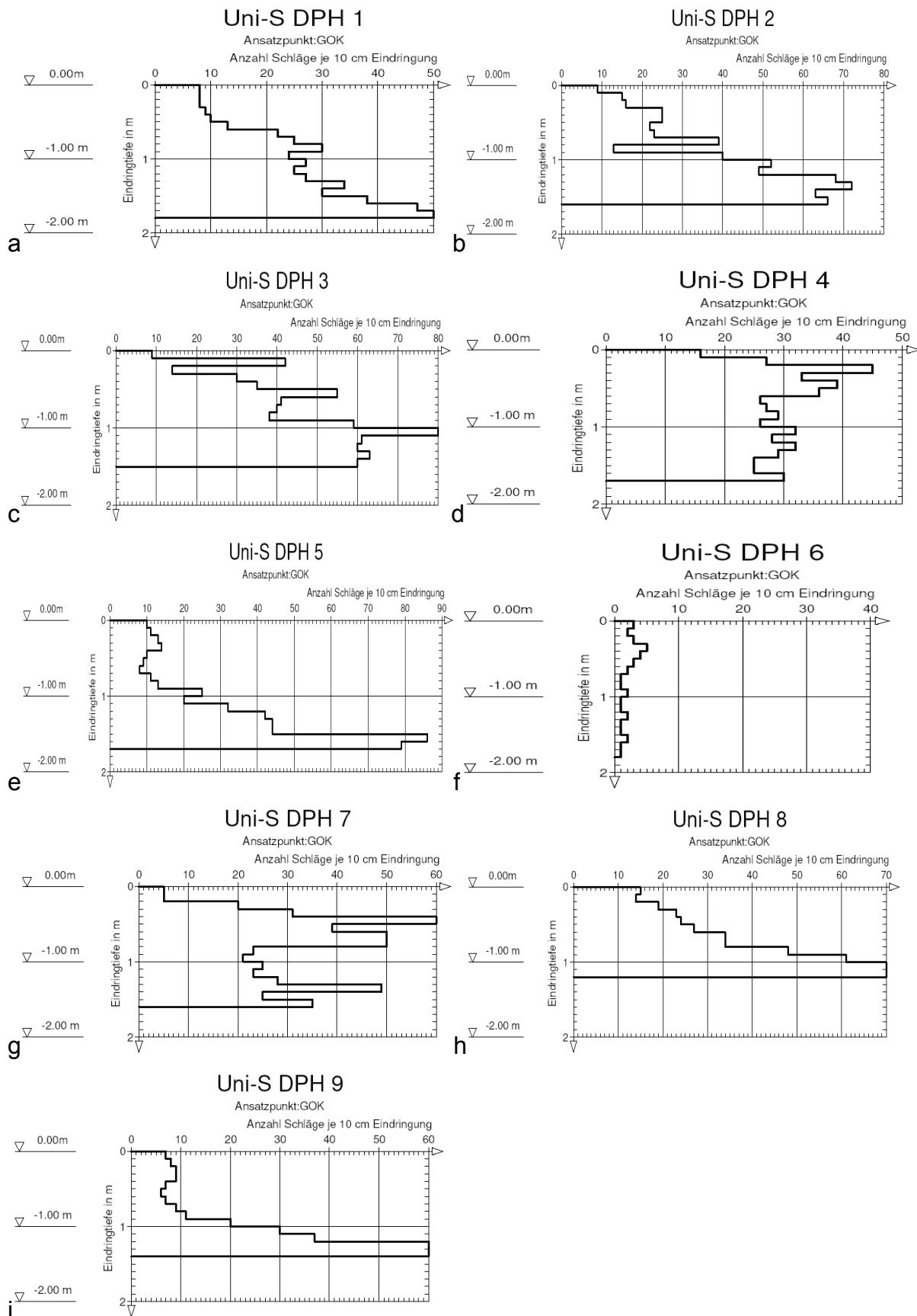
**Abb. A4-4a und b:** Schürfe UniSdSch1 (links) und UniSdSch2 (rechts) am Standort „Zufahrt Schießplatz der UniBwM“

**Anlage 4, Blatt 4**



**Abb. A4-5: Lageplan der Untersuchungen; Grundriss und Querschnitte der Schürfe UniSd-Sch1 und UniSd-Sch2 (die schraffierten Rechtecke bezeichnen Probenahmestellen)**

**Anlage 4, Blatt 5**



**Abb. A4-6a bis i: Rammsondierungen UniSd DPH Nr.1 bis 9**

**Anlage 4, Blatt 6**

**c) „Halde“ mit lockerem Kies**

**Tab. A4-3: Übersichtstabelle aller durchgeführten Untersuchungen**

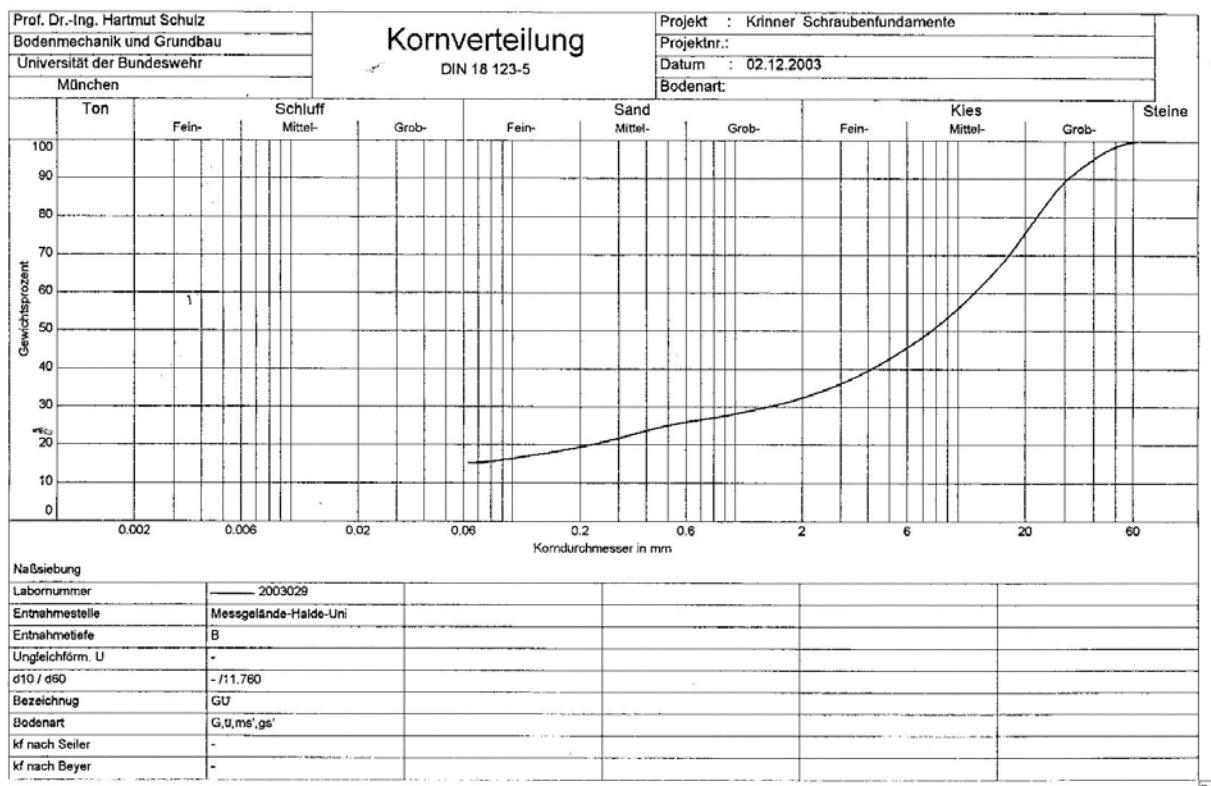
<b>Untersuchungen im Feld</b>	
Schurf bis 1,6 m	1 x incl. Entnahme der Proben für u.a. Laborversuche, Ansprache und Fotodokumentation
Leichte Rammsondierungen	6 x DPL-5 nach DIN 4094

<b>Untersuchungen im Labor</b>	
Körnungslinie (Nasssiebung)	1 x
Trockenmasse der Densitometerproben	3 x
Zugehöriger Wassergehalt	3 x
Proctorkurve	1 x

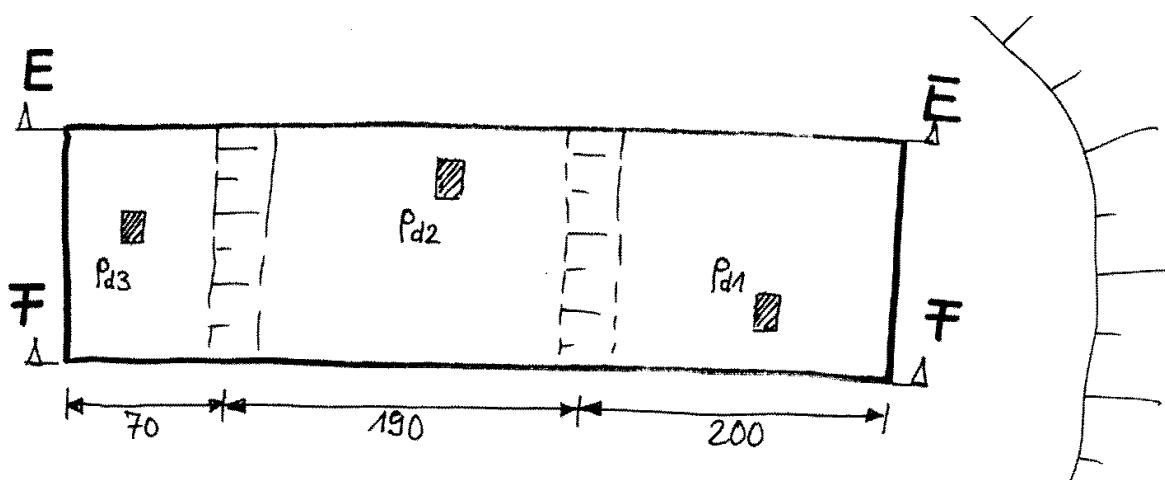
**Tab. A4-4: Klassifizierung und charakteristische Bodenkennwerte**

Trockendichte [t/m <sup>3</sup> ]	<b>1,957...2,065</b>
Wassergehalt [%]	<b>6,4..8,7</b>
Körnungslinie	<b>Abb. A4-4</b>
Proctordichte [t/m <sup>3</sup> ]	<b>2,200</b>
Optimaler Wassergehalt [%]	<b>7,1</b>
<b>Verdichtungsgrad D<sub>Pr</sub> [1]</b>	<b>0,890...0,938</b>
<b>Klassifizierung nach DIN 18196</b>	<b>GU / GW</b>

Anlage 4, Blatt 7

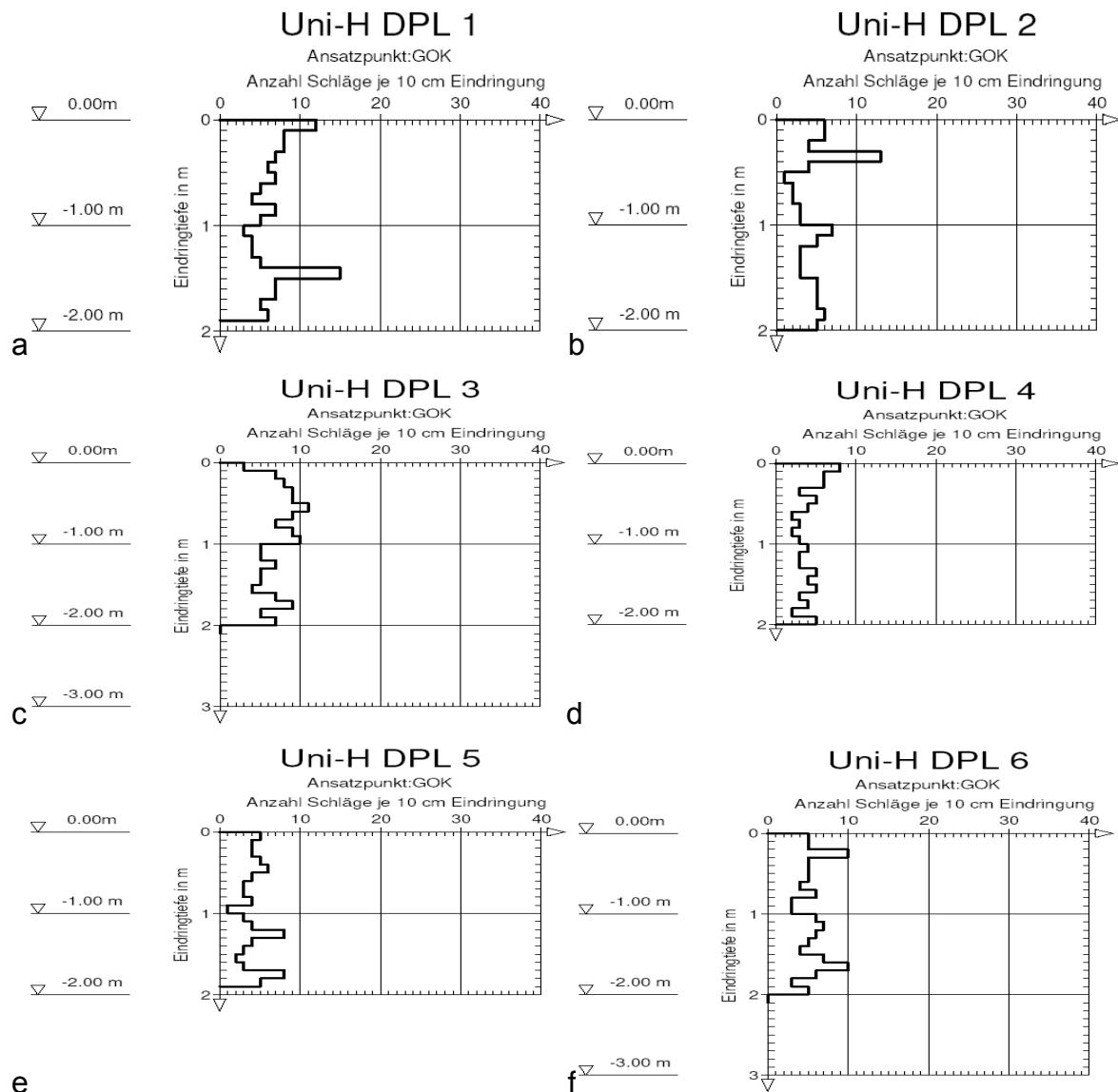


**Abb. A4-7:** Beispiel einer Körnungslinie am Standort Schießplatz Halde der UniBwM (vgl. Abb. A4-2)



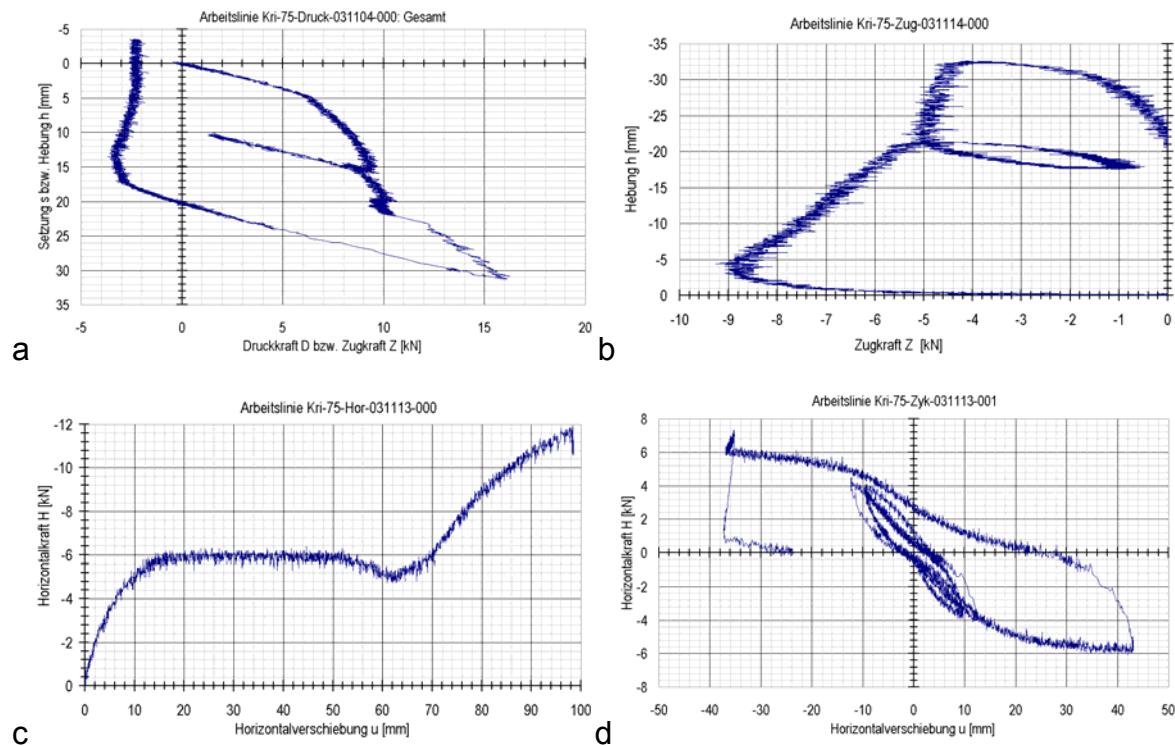
**Abb. A4-8:** Grundriss Schurf UniHI-Sch1

**Anlage 4, Blatt 8**

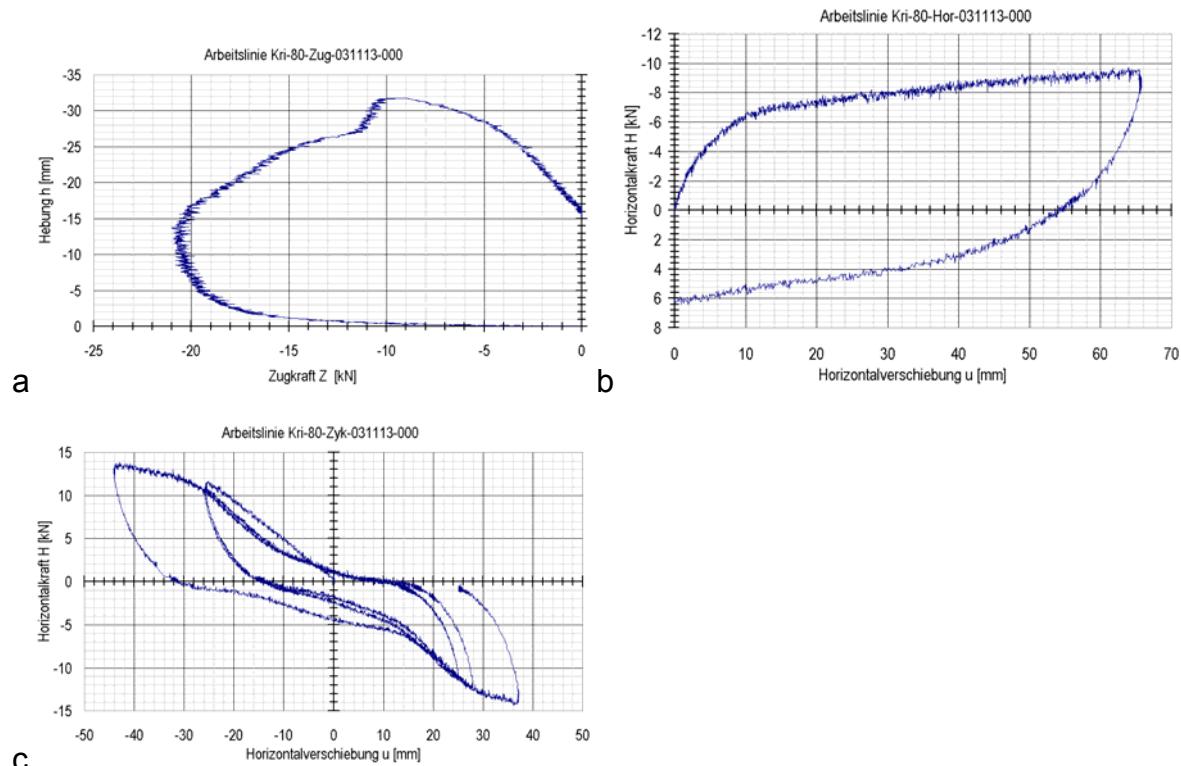


**Abb. A4-9a bis f: Rammsondierungen UniHI DPL-5 Nr. 1 bis 6**

## Anlage 5 Arbeitslinien Standort Krinner

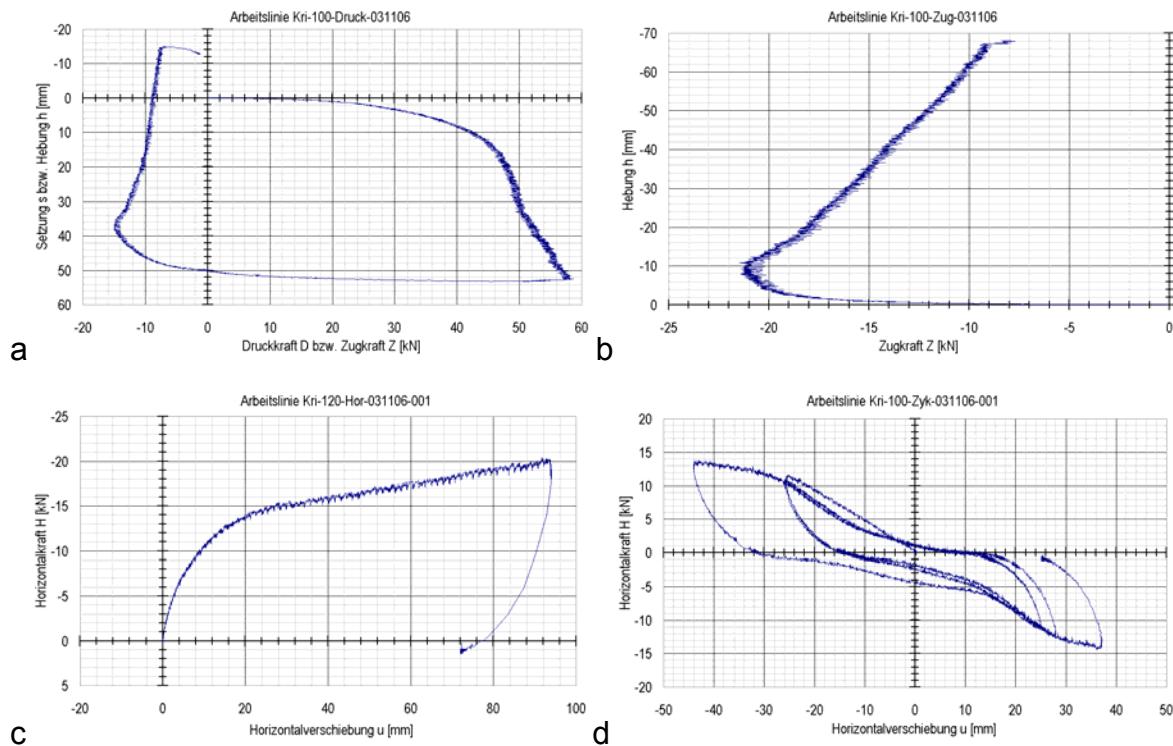


**Abb. A5-1a bis d: Arbeitslinien Kri-75**

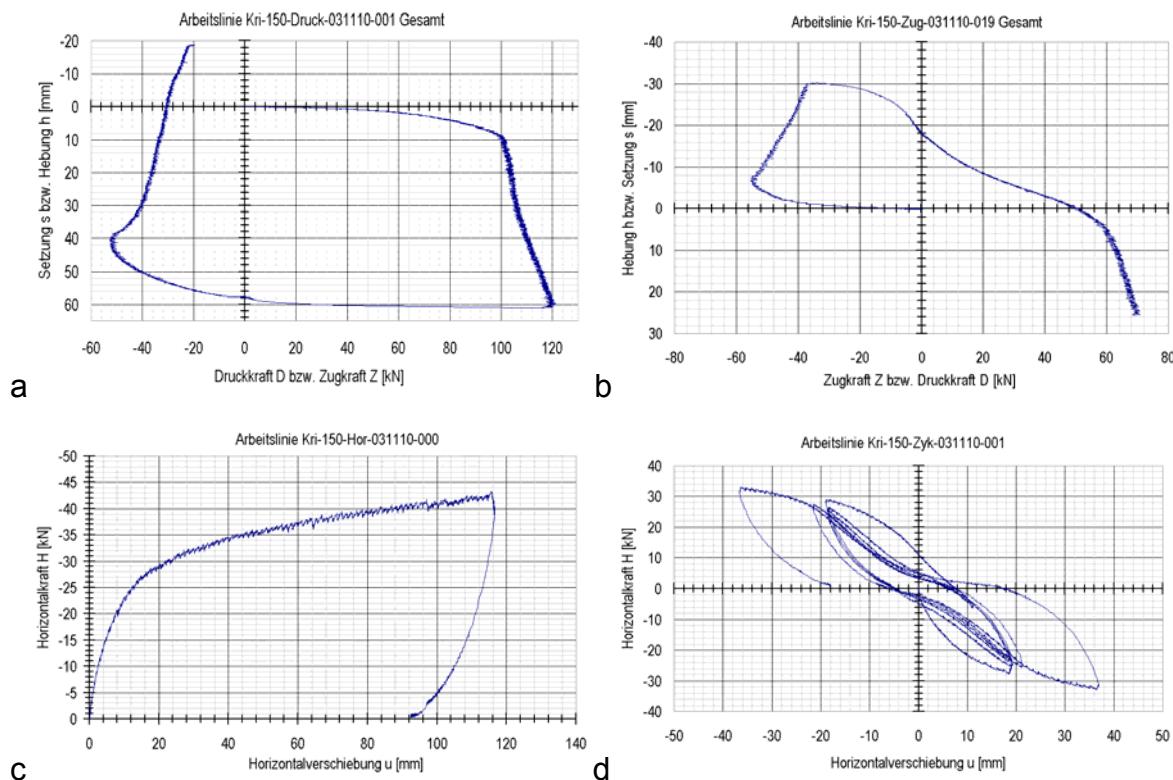


**Abb. A5-2a bis c: Arbeitslinien Kri-80**

**Anlage 5, Blatt 2**

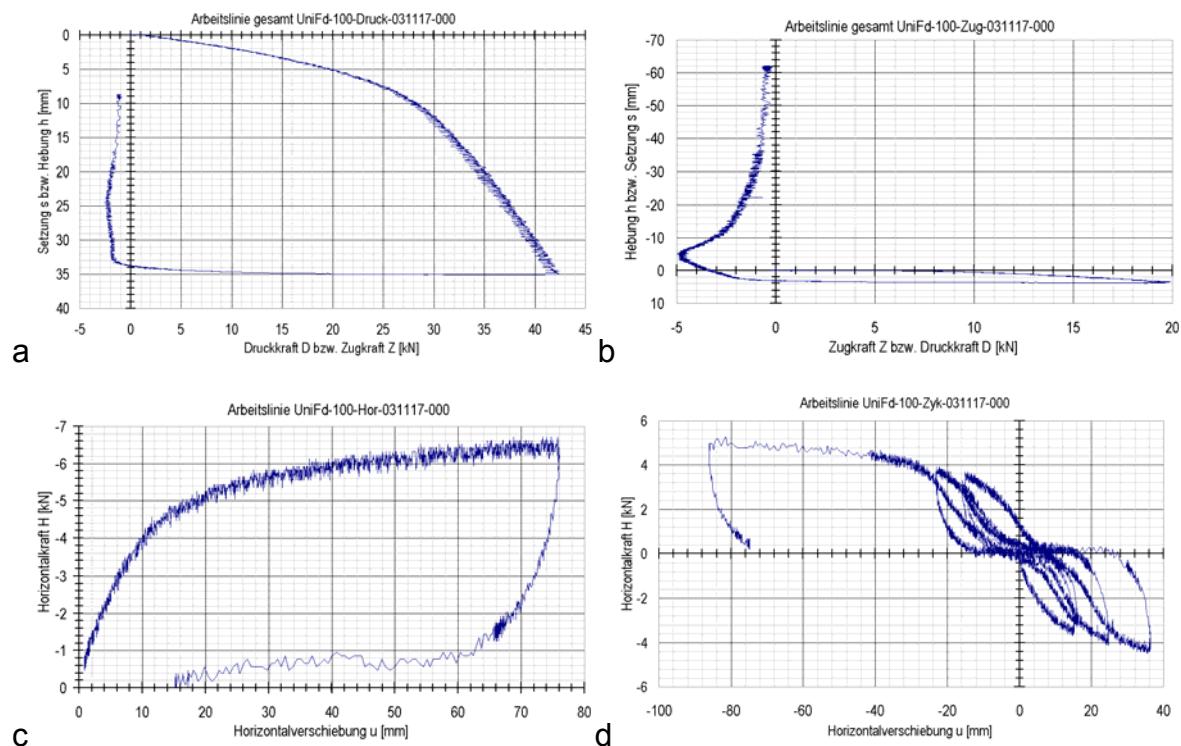


**Abb. A5-3a bis d: Arbeitslinien Kri-100 (Horizontal: Kri-120-Hor, Vorversuch)**

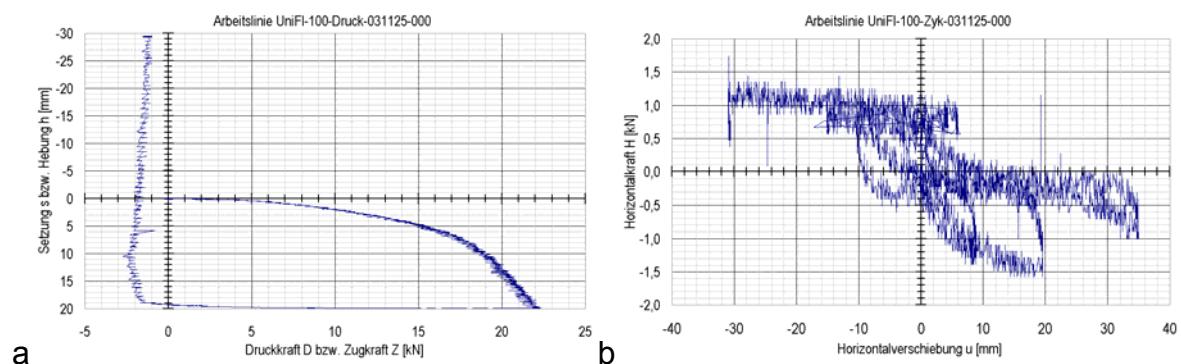


**Abb. A5-4a bis d: Arbeitslinien Kri-150**

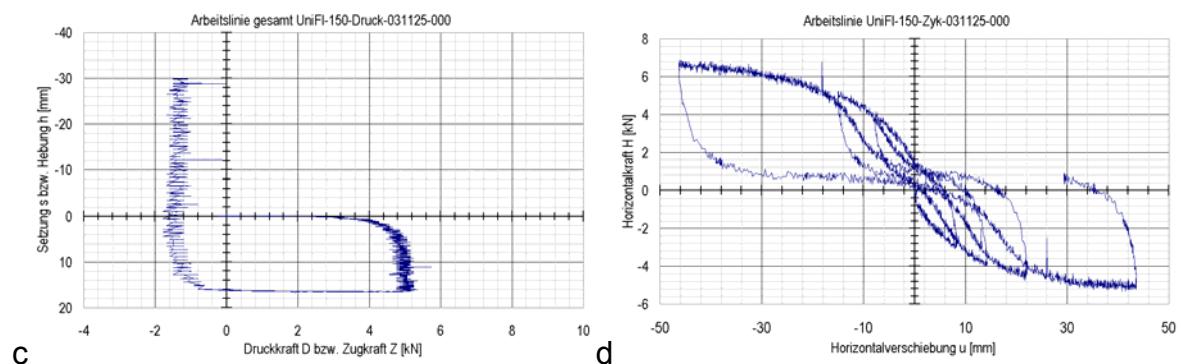
## Anlage 6 Arbeitslinien Standort UniBw München Freigelände



**Abb. A6-1a bis d: Arbeitslinien UniFd-100**

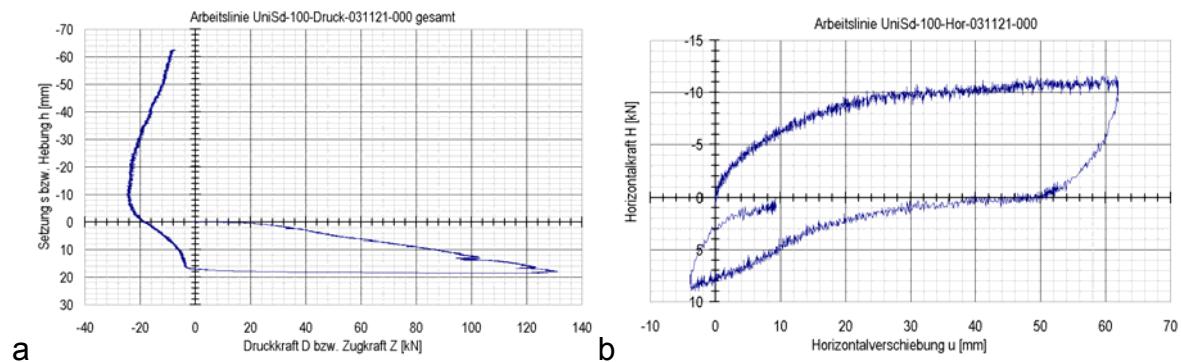


**Abb. A6-2a, b: Arbeitslinien UniFI-100**

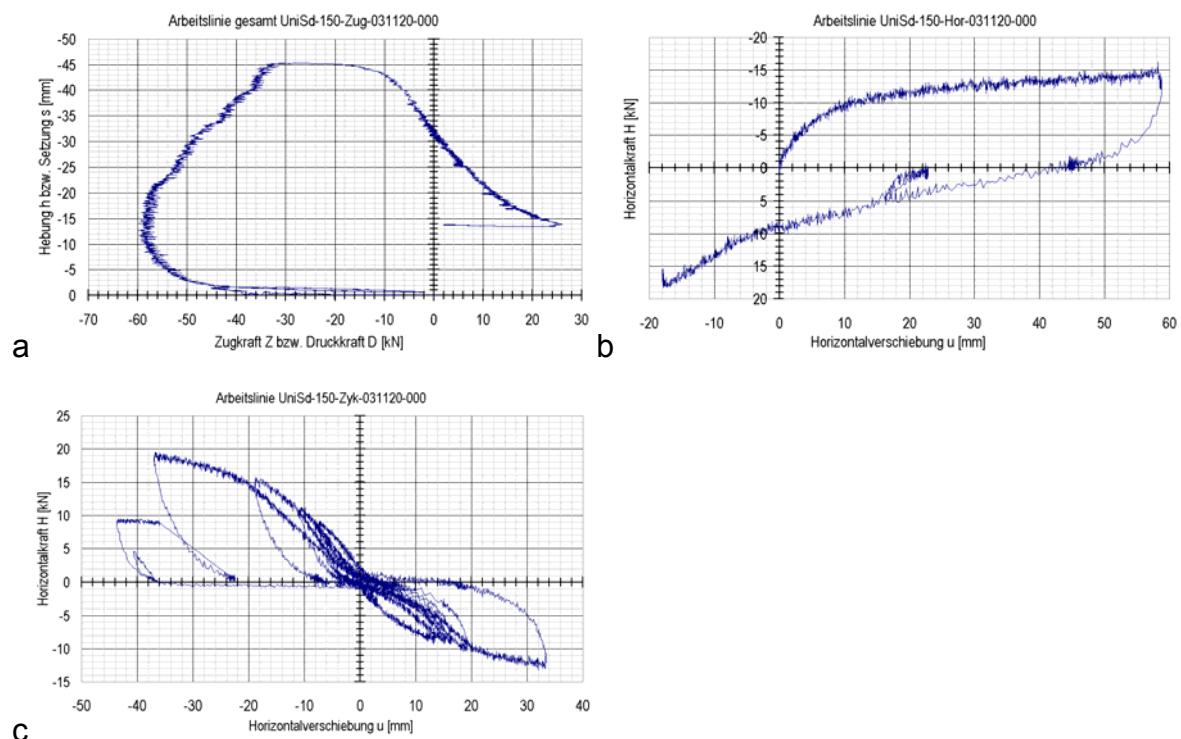


**Abb. A6-3a, b: Arbeitslinien UniFI-150**

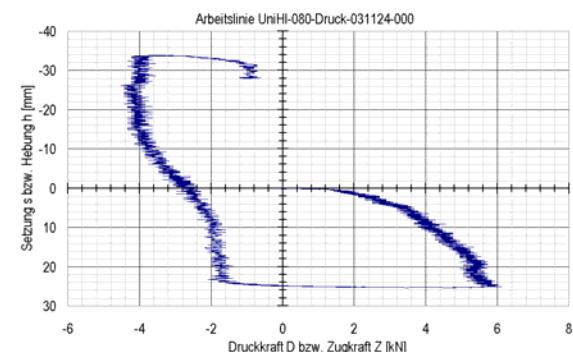
## Anlage 7 Arbeitslinien Standort UniBw München Schießplatz



**Abb. A7-1a, b: Arbeitslinien UniSd-100**

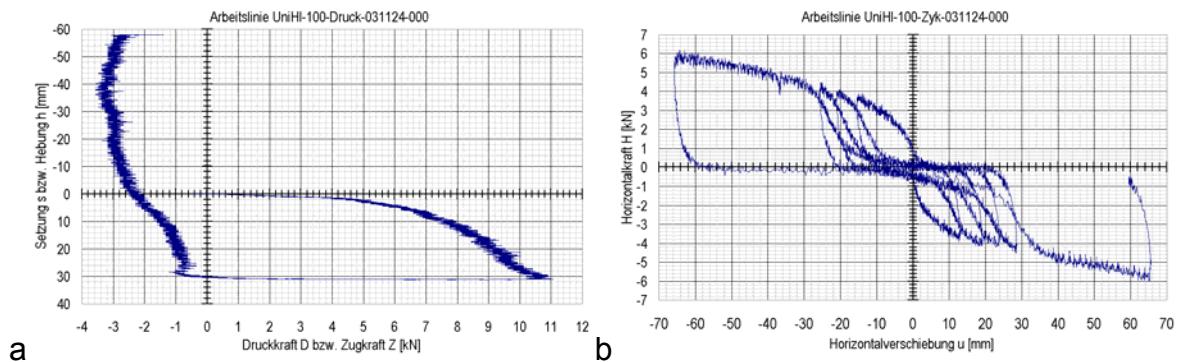


**Abb. A7-2a bis c: Arbeitslinien UniSd-150**

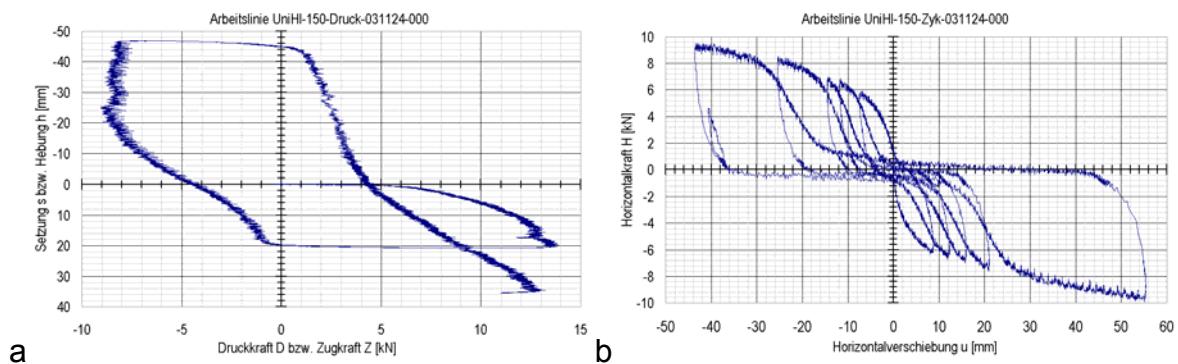


**Abb. A7-3: Arbeitslinie UniHI-80**

**Anlage 7, Blatt 2**



**Abb. A7-4a, b: Arbeitslinien UniHI-100**



**Abb. A7-5a, b: Arbeitslinien UniHI-150**

## Anlage 8 Tabellen ausgewählter charakteristischer Werte der Tragfähigkeit bei vorgegebenen Verschiebungen

**Tab. A8-1: Charakteristische Tragfähigkeit bei Horizontalbelastung**

Horizontalbelastung	Gelände Fa. Krinner					Uni Freigel.	Uni Schießpl	
	Kri 75	Kri 80	Kri 100	Kri 120	Kri 150	UniFd 100	UniSd 100	UniSd 150
Horizontalverschiebung	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last
u	H	H	H	H	H	H	H	H
[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
2,0	<b>2,0</b>	<b>2,7</b>	<b>4,2</b>	<b>4,0</b>	<b>9,0</b>	<b>1,2</b>	<b>2,4</b>	<b>3,7</b>
5,0	<b>3,6</b>	<b>4,6</b>	<b>7,0</b>	<b>7,2</b>	<b>16,0</b>	<b>2,5</b>	<b>4,2</b>	<b>7,0</b>
10,0	<b>5,2</b>	<b>6,5</b>	<b>9,7</b>	<b>11,0</b>	<b>23,0</b>	<b>4,0</b>	<b>6,2</b>	<b>9,0</b>

**Tab. A8-2: Charakteristische Tragfähigkeit bei Zugbelastung**

Zugbelastung	Gelände Fa. Krinner					Uni Freigel.	Uni Schießpl	
	Kri 75	Kri 80	Kri 100	Kri 150	UniFd 100	UniSd 150		
Hebung	Last	Last	Last	Last	Last	Last		
h	Z	Z	Z	Z	Z	Z		
[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]		
2,0	<b>8,5</b>	<b>17,1</b>	<b>18,2</b>	<b>44,0</b>	<b>2,9</b>	<b>46,0</b>		
5,0	<b>8,6</b>	<b>19,5</b>	<b>20,1</b>	<b>53,0</b>	<b>4,4</b>	<b>53,0</b>		

Kursiv geschriebene Werte := Beim Maximum (Plateau der Arbeitslinie erreicht)

**Tab. A8.3: Charakteristische Tragfähigkeit bei Zugbelastung nach Druckbelastung**

Zugbelastung nach Druckbelas- tung	Gelände Fa. Krinner			Uni Freigel.			Uni Halde			Uni Schießpl
	Kri 75	Kri 100	Kri 150	UniFd 100	UniFl 100	UniFl 150	UniHl 80	UniHl 100	UniHl 150	UniSd 100
Hebung	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last
h	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
2,0	<b>2,0</b>	<b>7,6</b>	<b>19,0</b>	<b>2,0</b>	<b>1,8</b>	<b>1,2</b>	<b>1,7</b>	<b>0,5</b>	<b>1,3</b>	<b>4,0</b>
5,0	<b>3,1</b>	<b>10,8</b>	<b>33,0</b>	<b>2,2</b>	<b>2,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>0,7</b>	<b>1,6</b>	<b>5,0</b>

**Anlage 8, Blatt 2**

**Tab. A8-4: Charakteristische Tragfähigkeit bei Druckbelastung**

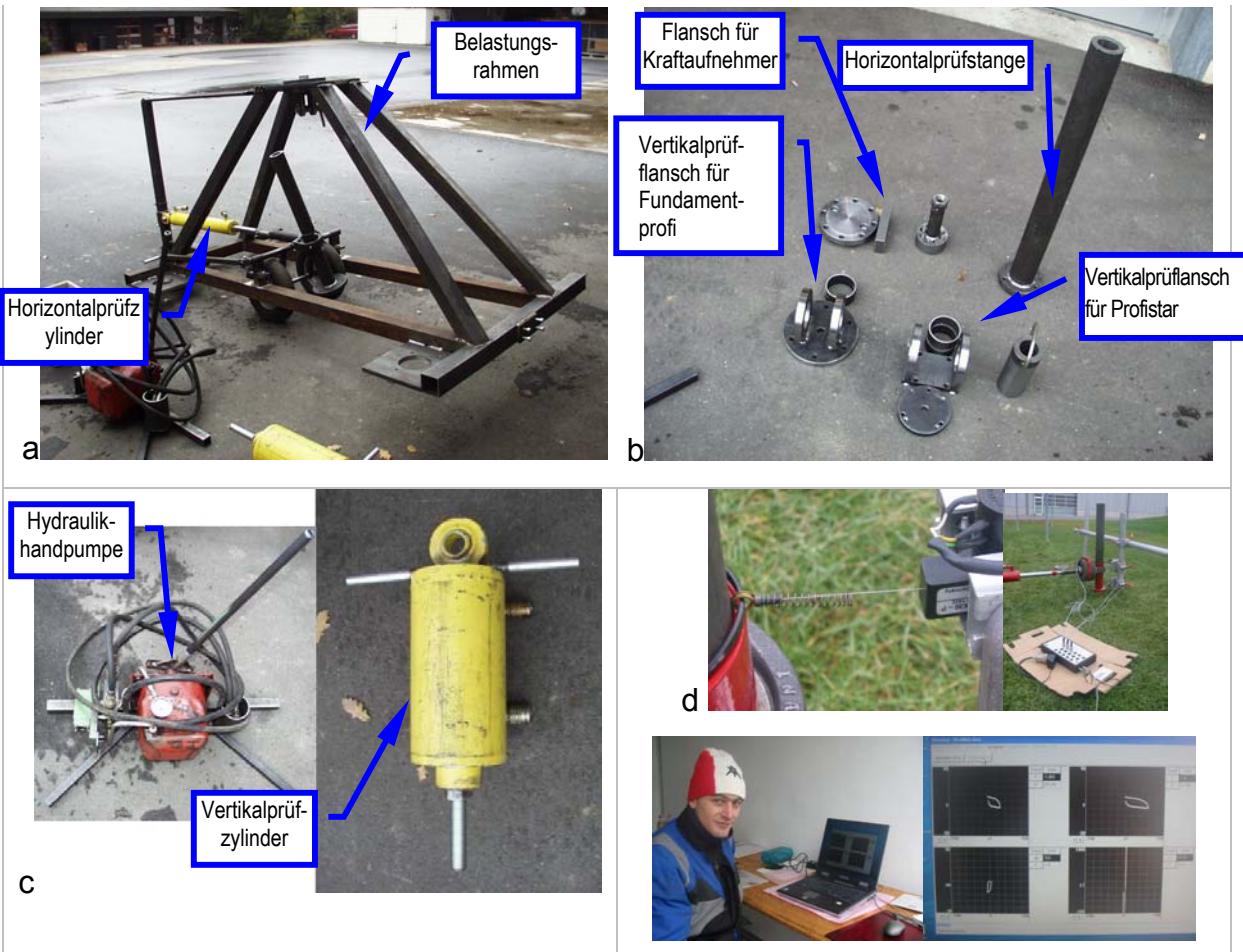
Druckbelastung	Gelände Fa. Krinner			Uni Freigel.			Uni Halde			Uni Schießpl
	Kri 75	Kri 100	Kri 150	UniFd 100	UniFl 100	UniFl 150	UniHi 80	UniHi 100	UniHi 150	UniSd 100
Setzung	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last	Last
s	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
5,0	<b>6,1</b>	<b>34,0</b>	<b>84,0</b>	<b>19,5</b>	<b>15,0</b>	<b>4,4</b>	<b>3,3</b>	<b>6,2</b>	<b>9,6</b>	<b>51,0</b>
10,0	<b>8,1</b>	<b>42,0</b>	<b>100,0</b>	<b>28,0</b>	<b>18,8</b>	<b>5,0</b>	<b>4,1</b>	<b>7,9</b>	<b>11,6</b>	<b>87,0</b>

Kursiv geschriebene Werte := beim Maximum (Plateau der Arbeitslinie erreicht oder überschritten)

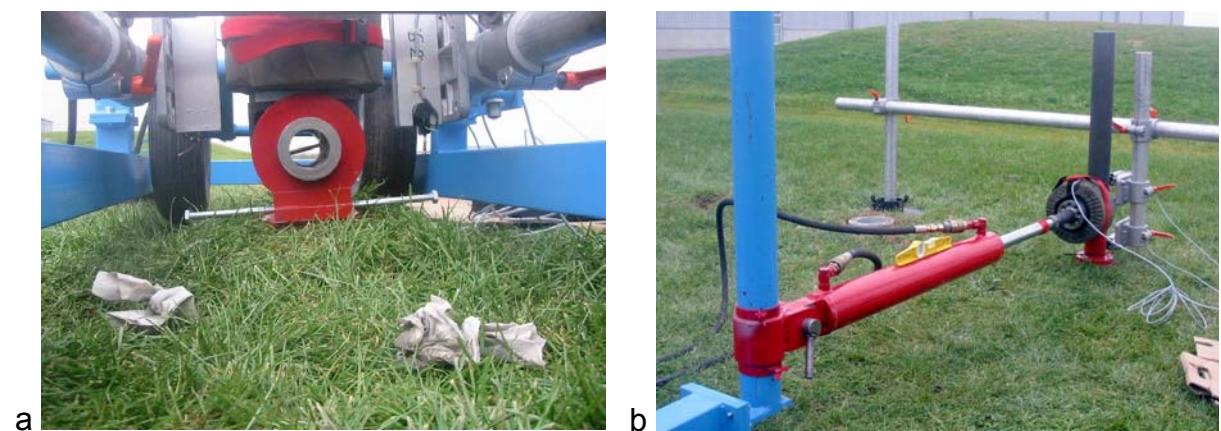
**Tab. A8-5: Charakteristische Tragfähigkeit bei Druckbelastung nach Zugbelastung**

Druckbelastung nach Zugbelastung	Gelände Fa. Krinner	Uni Halde	Uni Schießpl
	Kri 100	UniHi 150	UniSd 150
Setzung	Last	Last	Last
s	D	D	D
[mm]	[kN]	[kN]	[kN]
5,0	<b>2,2</b>	<b>1,4</b>	<b>4,0</b>
10,0	<b>4,5</b>	<b>1,7</b>	<b>10,0</b>

## Anlage 9 Fotodokumentation



**Abb. A9-1:** a) Belastungsrahmen; b) Zubehör, c) Handpumpe und Hydraulikpresse, d) Wegaufnehmer, Messbox, Notebook und Software zur Messwerterfassung



**Abb. A9-2:** a) Hebung des umgebenden Bodens beim Zugversuch; b) Wegmessung und Verdrehung beim Horizontalversuch



a



b

**Abb. A9-3:** a) Versuche auf dem Firmengelände Krinner in Strasskirchen (Standort „Kri“), b) Blick in den standfesten Hohlraum nach SF-Ausbau



a



b



c



d

**Abb. A9-4a bis d:** Versuche auf dem Freigelände der UniBwM in Neubiberg zwischen den dort bestehenden Beton-Widerlagerbalken (Standort „UniF“): Ansicht von Süden (a), von Westen (b), während der Prüfung eines SF in zentrischer Richtung (c), Bestimmung der Trockendichte mit Stechzylinder und Densitometer (d)



**Abb. A9-5:** Versuche auf dem Gelände „ehemaliger Schießplatz“ der UniBwM in Neubiberg, Schießplatz-Zufahrt (Standort „UniSd“): Ansicht von NO (a) und von S (b, mit schwerer Rammsonde), Eindrehen der SF (c, d), bei Druckversuch ausgeknickter Gewindestab der Prüfeinrichtung (e, f) und Blick in das Loch eines herausgedrehten SF'es (g)



a



b



c

**Abb. A9-6a bis c:** Versuche auf dem Gelände „ehemaliger Schießplatz“ der UniBwM in Neubiberg, Halde aus lokalem Kies einer vorangegangenen Baumaßnahme (Standort „UniHI“) mit Eindrehgerät, Prüfeinrichtung (a), Densitometer, leichter Rammsonde, SF (b) und frisch in den Boden eingedrehtem SF

## Anlage 10 Verzeichnis verwendeter Quellen und Literatur

Quelle	Bezeichnung
Firma Krinner	Technische Zeichnungen der untersuchten Schraubfundamente
Geologisches Landesamt	Geologische Karte von Bayern, M = 1:500.000
Schulz, H., Schmid, J., Schmitz, S., 31.10.2002	Wirtschaftlichkeitsvergleich von Oberflächenabdichtungen; Vierter Zwischenbericht zum Bay-FORREST Forschungsvorhaben F 166; (Beschreibung der Standorte „UniBw München Schießplatz“ und „UniBw München Halde“)