



Bundesamt für Energiewirtschaft
Office fédéral de l'énergie
Ufficio federale dell'energia
Uffizi federal da l'energia

**Richtlinien zum Schutze des Bodens
beim Bau unterirdisch verlegter Rohrleitungen**

(Bodenschutzrichtlinien)

1. Januar 1997

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	1
2. Zweck	1
3. Geltungsbereich	2
4. Grundlagen	2
5. Kartierung der Böden	2
5.1 Ziel	2
5.2 Umfang	2
5.3 Vorgehen für das Konzessionsprojekt (UVP, Stufe 1)	3
5.4 Vorgehen für das Plangenehmigungsprojekt (UVP, Stufe 2)	3
5.4.1 Bestandesaufnahme	3
5.4.2 Bodenkarte und Auswertung	3
6. Bauvorbereitung, Bau und Rekultivierung	4
6.1 Allgemeines	4
6.2 Bauprojekt	4
6.3 Bauvorbereitung	5
6.4 Bau	5
6.4.1 Allgemeines	5
6.4.2 Kriterien für den zulässigen Einsatz der einzelnen Baumaschinen pro Abschnitt	6
6.4.3 Entscheid über den zulässigen Einsatz der einzelnen Baumaschinen pro Abschnitt	6
6.5 Wiederinstandstellung, Rekultivierung und Abnahme	6
7. Folgebewirtschaftung	7
8. Übergangsbestimmungen	8
9. Inkrafttreten	8

VERZEICHNIS DER ANHÄNGE

- ANHANG 1** **Beispiel Bodenkarte**
- ANHANG 2** **Beispiel Tabelle Beschreibung der Abschnitte mit Massnahmen**
- ANHANG 3** **Diagramm "Entscheidungsablauf zur Bestimmung der Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens"**
- ANHANG 4** **Erläuterungen zum Diagramm "Entscheidungsablauf zur Bestimmung der Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens"**
- ANHANG 5** **Bestimmung der Vorbelastung**
- ANHANG 6** **Nomogramm Einsatzgrenzen von Baumaschinen**
- ANHANG 7** **Erläuterungen zum Tensiometer**
- ANHANG 8** **Beispiel Pflichtenheft für Bodenfachleute**
- ANHANG 9** **Leitungsbau**

1. EINLEITUNG

Rohrleitungen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brenn- oder Treibstoffe (im folgenden Rohrleitungen genannt) dienen der Energieversorgung; ihre Realisierung liegt im öffentlichen Interesse.

Ebenfalls im öffentlichen Interesse ist es, den Boden zu schützen und keinen vermeidbaren Beeinträchtigungen, insbesondere Verdichtungen, auszusetzen. Der Boden (d.h. die oberste, unversiegelte Erdschicht, in der Pflanzen wachsen können) als belebtes Hohlraumssystem reagiert unterschiedlich empfindlich auf das Befahren. Wasser- und Tongehalt sind dabei als primäre Grössen für die Beurteilung der Befahrbarkeit zu betrachten.

Beeinträchtigungen des Bodens (vor allem Verdichtungen durch physikalische Belastungen) können nicht völlig vermieden werden. Es muss jedoch alles Zumutbare getan werden, damit im Unterboden keine Schadverdichtung erfolgt und sich der Oberboden innert ca. 2 Jahren nach Bauabschluss regenerieren kann.

Nach rund dreijähriger Anwendung wurden die Bodenschutzrichtlinien vom 14. Mai 1993 durch eine Arbeitsgruppe bestehend aus Vertretern des Bundesamtes für Energiewirtschaft, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, des Eidgenössischen Rohrleitungsinspektorates, der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, kantonaler Bodenschutzfachstellen, der Erdgaswirtschaft und einem selbständigen Bodenschutzexperten überprüft und an den aktuellen Stand von Theorie und Praxis angepasst. Die vorliegenden Bodenschutzrichtlinien (BSR) ersetzen die Richtlinien vom 14. Mai 1993.

Sie sollen entsprechend den praktischen Erfahrungen und wissenschaftlichen Erkenntnissen periodisch überprüft und bei Bedarf angepasst werden.

Im gegenseitigen Einverständnis zwischen dem Bundesamt für Energiewirtschaft, dem betroffenen Konzessionär und der zuständigen kantonalen Bodenschutzfachstelle kann im Einzelfall von den vorliegenden Richtlinien abgewichen werden.

2. ZWECK

Die Richtlinien haben zum Zweck, den Bau von Rohrleitungen auf bodenschonende Weise zu ermöglichen. Sie sollen die Anforderungen an die Gesuchsunterlagen, das Bewilligungsverfahren, die Projektbeurteilung und die Formulierung von Bedingungen und Auflagen vereinheitlichen und dadurch möglichen Konflikten zwischen den am Leitungsbau Beteiligten und vom Leitungsbau Betroffenen vorbeugen.

3. GELTUNGSBEREICH

Die Richtlinien gelten für den Bau und Unterhalt der im Boden verlegten Rohrleitungen, welche der Beförderung von Erdöl, Erdgas oder anderen vom Bundesrat bezeichneten flüssigen oder gasförmigen Brenn- oder Treibstoffen nach Artikel 5 der Rohrleitungsverordnung vom 11. September 1968 (SR 746.11) dienen.

4. GRUNDLAGEN

- Rohrleitungsgesetz vom 4. Oktober 1963 (SR 746.1)
- Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983 (SR 814.01), Revision 21. Dezember 1995
- Waldgesetz vom 4. Oktober 1991 (SR 921.01)
- Handbuch Umweltverträglichkeitsprüfung, September 1990
- Mitteilungen zur UVP "Boden und UVP" März 1991

5. KARTIERUNG DER BÖDEN

5.1 ZIEL

Die Böden müssen vor allem im Hinblick auf ihre Verdichtungsempfindlichkeit bodenkundlich kartiert werden.

Die Bodenkartierung soll

- den Zustand des Bodens vor dem Eingriff festhalten,
- die kritischen Bereiche des Trasses frühzeitig aufzeigen,
- einen der Empfindlichkeit des Bodens und der Mächtigkeit des Oberbodens angepassten Bauvorgang gestatten und
- eine Bau- und Terminplanung ermöglichen, welche die bodenbedingten Schwierigkeiten optimal berücksichtigt.

5.2 UMFANG

Der Kartierungsperimeter umfasst das Gebiet, für das beim Bau und Betrieb der Rohrleitung Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten sind (z.B. Baustreifen).

5.3 VORGEHEN FÜR DAS KONZESSIONSPROJEKT (UVP, STUFE 1)

Die Bodenverhältnisse werden soweit erhoben, als dies für die Festlegung der Linienführung im Rahmen des Konzessionsprojektes und für die Ausarbeitung des Pflichtenheftes UVP zweite Stufe notwendig ist.

5.4 VORGEHEN FÜR DAS PLANGENEHMIGUNGSPROJEKT (UVP, STUFE 2)

5.4.1 Bestandesaufnahme

Die Bestandesaufnahme bezweckt die Einteilung der Böden nach ihrer Verdichtungsempfindlichkeit und Rekultivierbarkeit. Erhoben werden folgende Merkmale:

- Bodenaufbau nach Horizonten inkl. deren Mächtigkeit
- Luft- und Wasserhaushalt
- Bodenart einschliesslich Skelettgehalt
- Bodenstruktur und Lagerungsdichte
- Längs- und Querneigung
- Spezielle Verhältnisse
- Nutzungsarten

Die Bestandesaufnahme stützt sich ab auf vorhandene Unterlagen, auf eine Geländeanalyse nach Formelementen, auf Feldaufnahmen (ein Profil pro Formelement und Bohrstockaufnahmen) und bei Bedarf auf Laboruntersuchungen. Die entsprechenden Feld- und Laborprotokolle sind den zuständigen Fachstellen von Bund und Kantonen zur Verfügung zu halten.

Falls der Gesuchsteller auch die Vorverdichtung für die Beurteilung der Verdichtungsempfindlichkeit berücksichtigen möchte, ist die Vorbelastung des Bodens anhand von Drucksetzungskurven zu bestimmen (Anhang 5). Die entsprechenden Messprotokolle sind den für den Bodenschutz zuständigen Fachstellen von Bund und Kantonen mit dem Planauftrag zur Verfügung zu stellen.

5.4.2 Bodenkarte und Auswertung

Die Resultate der Bestandesaufnahme, insbesondere die Verdichtungsempfindlichkeit und allfällige Bauerschwernisse, werden in einer Bodenkarte im Massstab 1 : 10'000 oder 1 : 5'000 dargestellt. Sie enthält für jeden Abschnitt Angaben über Länge, Einteilung der Böden nach deren Verdichtungsempfindlichkeit, starke Längs- und Querneigungen, Sonderbaustellen und allfällig notwendige besondere Schutzmassnahmen, einschliesslich Angaben über das Abhumusieren (Beispiel Anhang 1).

Die Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens wird nach dem im Anhang 3 dargestellten Diagramm "Entscheidungsablauf zur Bestimmung der Verdichtungsemp-

findlichkeit des Unterbodens" beurteilt. Mit dieser Einteilung wird insbesondere festgelegt, wie das Nomogramm (Anhang 6) zur Bestimmung der Einsatzgrenzen von Baumaschinen anzuwenden ist.

Der Bodenkarte werden Tabellen beigelegt, welche die wesentlichen Merkmale pro Abschnitt (Skelett- und Tongehalt, Bodentyp, Mächtigkeit des Oberbodens, Wasserhaushalt, Kategorie der Verdichtungsempfindlichkeit, Massnahmen beim Bau, starke Längs- oder Querneigung und Abschnittslänge) enthalten (Beispiel für Bodenkarte und Tabelle in Anhang 1 und 2).

6. BAUVORBEREITUNG, BAU UND REKULTIVIERUNG

6.1 ALLGEMEINES

Die mit dem Bauprojekt zu erstellenden Massnahmenpläne werden der kantonalen Bodenschutzfachstelle zur Verfügung gestellt. Der Konzessionär hat die Übereinstimmung mit den Submissionsunterlagen sicherzustellen.

Die Bauprojekterstellung sowie die Bau- und Rekultivierungsarbeiten sind von Bodenfachleuten, die nach Rücksprache mit den betroffenen kantonalen Bodenschutzfachstellen ausgewählt werden, zu begleiten. Diese sorgen mit der Bauleitung für die Einhaltung der BSR und begleiten die Bauarbeiten bis zur definitiven Rückgabe der beanspruchten Parzellen an die Grundeigentümer bzw. Bewirtschafter.

Das Pflichtenheft der Bodenfachleute ist vom Konzessionär im Einvernehmen mit den kantonalen Bodenschutzfachstellen zu erstellen (Beispiel Anhang 8).

Die Grundeigentümer und Bewirtschafter sind rechtzeitig, spätestens beim Abschluss der Dienstbarkeitsverträge, über die voraussehbaren Konsequenzen des Bauvorhabens detailliert zu informieren, insbesondere über Trassebreite, Bauvorgang, voraussichtliche Dauer der Beeinträchtigung, Begrünung des Baustreifens, Entschädigungsleistungen, Rekultivierung, Auswirkungen auf die Folgebewirtschaftung und Schutzmassnahmen bei schlechten Bedingungen (inkl. Einstellung der Bauarbeiten). Anregungen von Grundeigentümern und Bewirtschaftern sind vom Konzessionär bei der Bauausführung möglichst zu berücksichtigen.

6.2 BAUPROJEKT

Die Anforderungen an eine bodenschonende Bauausführung sind in Massnahmenplänen zu konkretisieren, die gegliedert sind nach:

- Bauvorbereitung
- Bau
- Wiederinstandstellung und Rekultivierung.

Die Massnahmenpläne geben z.B. Auskunft, wo abhumusiert werden muss oder wo ein spezielles Vorgehen nötig ist. Die Bauvorgänge sind soweit möglich in die Baupläne einzutragen. Es ist zu unterscheiden zwischen Schutzmassnahmen für den normalen Bauvorgang und besonderen Massnahmen in Gebieten mit hoher Verdichtungsempfindlichkeit.

Der Boden wird auf Wiesland und auf bewachsenem Ackerland zum Schutze des Unterbodens nur auf Grabenbreite abhumusiert. Der Fahrstreifen wird in der Regel nicht abhumusiert. Der Zeitpunkt des Abhumusierens innerhalb des Arbeitsablaufes richtet sich nach der Topographie, dem Bodenaufbau, den Bodeneigenschaften und der Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens (Anhang 9).

Im Wald kann dieses Vorgehen in der Regel wegen der Stockrodung und der damit verbundenen Durchmischung von Ober- und Unterboden nicht eingehalten werden. Es ist aber sicherzustellen, dass humushaltiges Bodenmaterial nach Abschluss der Bauarbeiten für die Rekultivierung zur Verfügung steht.

6.3 BAUVORBEREITUNG

Vor Beginn der Bauarbeiten werden die Angaben über die zum Einsatz gelangenden Baumaschinen inkl. Gesamtgewicht und spezifische Bodenpressung sowie ein aktueller Baeterminplan den zuständigen kantonalen Bodenschutzfachstellen eingereicht.

Der Baustreifen im offenen Ackerland ist rechtzeitig zu begrünen und möglichst lange begrünt zu lassen (während der Vegetationszeit mindestens 3 Monate vor Baubeginn und Aussaat wenn möglich vor dem 15. August des Vorjahres), damit der Boden durch die Evapotranspiration schneller abtrocknet. Anstelle der Begrünung kann auch ein Getreidestoppelfeld als Fahrstreifen benützt werden.

6.4 BAU

6.4.1 Allgemeines

Die Schutzmassnahmen während des Baues basieren auf dem Massnahmenplan und richten sich nach den aktuellen Boden- und Witterungsverhältnissen.

Bei günstigen Witterungs- und Bodenverhältnissen sollen die am Bau Beteiligten über die Normalarbeitszeit hinaus arbeiten.

Die Bodenkartierung ist während der Bauarbeiten durch die Bodenfachleute laufend zu überprüfen, damit die Bodenschutzmassnahmen allfälligen veränderten Bedingungen angepasst werden können. Bei wesentlichen Änderungen ist die zuständige kantonale Bodenschutzfachstelle beizuziehen.

6.4.2 Kriterien für den zulässigen Einsatz der einzelnen Baumaschinen pro Abschnitt

Grundsätzliche Kriterien für die Beurteilung des Einsatzes der einzelnen Baumaschinen sind einerseits die Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens im jeweiligen Bauabschnitt, welche aufgrund der Bodenkartierung (Ziffer 5.4.2) ermittelt wurde, und andererseits das Gesamtgewicht der Baumaschinen und deren spezifische Bodenpressung (Nomogramm Anhang 6). Bei gegebenen Bodenverhältnissen wird die Verdichtungsempfindlichkeit anhand der Messung der Porensaugspannung mit Tensiometern beurteilt (Erläuterungen Anhang 7). Als weitere Kriterien sind die Witterungsverhältnisse, die Evapotranspiration, die lokale Bodenbeschaffenheit, das Bauverfahren usw. zu berücksichtigen.

6.4.3 Entscheid über den zulässigen Einsatz der einzelnen Baumaschinen pro Abschnitt

Ist der Einsatz einzelner Baumaschinen gemäss Ziffer 6.4.2 nicht möglich, beantragt die Bodenfachperson die Einstellung der entsprechenden Bautätigkeit oder die ungenügende Tragfähigkeit des Bodens ist mit zusätzlichen Massnahmen zu kompensieren.

In kritischen Fällen wird der Entscheid über den Einsatz der einzelnen Baumaschinen durch die Beteiligten an Ort und Stelle gefällt, wobei neben der Bauleitung und der Bodenfachperson auch der Vertreter für Land und Rechte und der Eigentümer bzw. der Bewirtschafter für die Meinungsbildung zugezogen werden können.

Falls die Bauleitung mit diesem Entscheid nicht einverstanden ist, entscheiden der Konzessionär und die zuständige kantonale Bodenschutzfachstelle gemeinsam.

Die kantonale Bodenschutzfachstelle kann nach den Kriterien der Bodenschutzrichtlinien beim Konzessionär die Einstellung einzelner Bautätigkeiten ebenfalls verlangen.

Kommt keine Einigung zustande, entscheidet das Bundesamt für Energiewirtschaft nach Anhören der Parteien (Konzessionär, Bodenschutzfachstelle, usw.) abschliessend.

Bis zum Eintreffen eines Entscheides (innerhalb max. eines Arbeitstages) gilt der Antrag der Bodenfachperson an die Bauleitung bzw. der Bodenschutzfachstelle an den Konzessionär als Weisung.

6.5 WIEDERINSTANDSTELLUNG, REKULTIVIERUNG UND ABNAHME

Die Grabenauffüllung wird normalerweise mit Baggern durchgeführt. Beim Einbringen des Unterbodens ist darauf zu achten, dass nachträgliche Setzungen durch geeignetes Verdichten gering gehalten und/oder durch Überhöhungen beim Einfüllen des Unterbodens zum voraus kompensiert werden.

Eine Tieflockerung ist auf diejenigen Bereiche zu beschränken, die mit grosser Wahrscheinlichkeit eine zu hohe Verdichtung erfahren haben.

Vor dem Humusieren sind grössere Steine zu entfernen, soweit dies für die Wiederherstellung des Zustandes vor Beginn der Bauarbeiten erforderlich ist. Das Befahren der neu humusierten Bodenflächen ist zu vermeiden.

Für die Begrünung ist in Absprache mit dem Bewirtschafter eine geeignete Grasmischung anzusäen. Besonders mit Klee-Gras oder geimpfter Luzerne-Gras-Kulturen wird dank der Durchwurzelung eine Stabilisierung der Bodenstruktur erreicht. Die Ansaat soll in einem Arbeitsgang erfolgen.

Ist aufgrund der fortgeschrittenen Jahreszeit eine Wiesenansaat nicht mehr sinnvoll, so wird die Ansaat einer Gründüngung empfohlen, die im nachfolgenden Frühjahr durch eine geeignete Wiesenansaat abgelöst werden soll. Der Anbau von Hackfrüchten und Mais ist in jedem Fall zu unterlassen.

Etwa 4 - 6 Wochen nach der Ansaat ist bei Bedarf und in jedem Fall in Absprache mit dem Bewirtschafter eine Unkrautbekämpfung (Blacken, Disteln etc.) vorzunehmen.

Anlässlich der Rückgabe des beanspruchten Landes an den Grundeigentümer bzw. an den Bewirtschafter nach Abschluss der Rekultivierungsphase wird ein Abnahmeprotokoll erstellt und auf die zu treffenden Massnahmen während der Folgebewirtschaftungsphase hingewiesen.

7. FOLGEBEWIRTSCHAFTUNG

Falls die Bedingungen während der Bauarbeiten günstig waren, ist die Grünnutzung in der Regel während mindestens 12 Monaten nach der Ansaat beizubehalten. In Bereichen, wo der Unterboden tiefer als 50 cm gelockert worden ist, ist die Begrünung mindestens zwei Jahre zu belassen und vorzugsweise zur Dürrfutterproduktion zu nutzen. Bei geschütteten oder gelockerten zusammenhängenden Flächen von mehr als 50 Aren (z.B. Areal eines Röhrenspeichers) wird eine Grünbrache empfohlen.

Der Einsatz von schweren Fahrzeugen bei feuchtem Boden ist zu unterlassen. Das Mähen und Ernten soll ausschliesslich bei gut abgetrocknetem Boden und mit leichten Maschinen, ausgerüstet mit Doppelbereifung, erfolgen. Bei ungünstigen Bodenverhältnissen ist gemähtes Gras liegenzulassen. Das Ausbringen von Gülle ist bei tiefgelockerten, neuhumusierten Flächen während 12 Monaten zu unterlassen.

Der Weidegang ist auf flachgründigen Böden mit kiesigem Untergrund während mindestens 12 Monaten, auf sandigen, normal durchlässigen Böden während 18 Monaten und auf schweren, tonreichen, nassen Böden während 24 Monaten zu unterlassen. Wurde der Unterboden zusätzlich tiefgelockert, so sind die genannten Fristen gegebenenfalls angemessen zu verlängern. Muss das Vieh über rekultivierte Flächen getrieben werden, so sind geeignete Übergänge zu erstellen, z.B. aus Holz oder Holzschnitzeln. Die zu schonenden Flächen sind abzuzäunen.

Innerhalb der obengenannten, von der Art des Unterbodens und einer allfälligen Tieflockerung abhängigen Fristen, ist der Anbau von Mais oder Hackfrüchten zu unterlassen.

Zur Bewirtschaftung sonst nicht zugänglicher Nachbarparzellen sind befestigte Überfahrten zu erstellen und zu markieren.

Nach Abschluss der Folgebewirtschaftungsphase wird, wenn möglich und im Rahmen der Bewirtschaftungsplanung sinnvoll, eine getreidebetonte Fruchtfolge empfohlen.

Der Bewirtschafter wird im Rahmen des Dienstbarkeitsvertrages vom Konzessionär für Erschwernisse und Ertragsausfall während der Rekultivierungs- und Folgebewirtschaftungsphase entschädigt. Im Falle eines schwerwiegenden Verstosses gegen die Vorgaben für Rekultivierung und Folgebewirtschaftung bleibt die Reduktion der Entschädigungen für Erschwernisse und Ertragsausfall vorbehalten.

Die kantonalen Bodenschutzfachstellen beraten und unterstützen die Bewirtschafter und den Konzessionär bei ihrer Arbeit im Interesse einer optimalen Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit.

8. ÜBERGANGSBESTIMMUNGEN

Für Rohrleitungsbauprojekte, die vor dem Inkrafttreten dieser Richtlinien öffentlich aufgelegt worden sind, gelten für den Bau die Richtlinien vom 14. Mai 1993.

Die vorliegenden Richtlinien können für den Bau von Rohrleitungsanlagen, die vor dem Inkrafttreten dieser Richtlinien öffentlich aufgelegt worden sind, angewendet werden, wenn die Anforderungen nach den Ziffern 5 und 6.1 bis 6.3 nachträglich erfüllt werden.

9. INKRAFTTRETEN

Diese Richtlinien treten am 1. Januar 1997 in Kraft.

* * *

Beschreibung der Abschnitte mit Massnahmen										Längen der Abschnitte			
Abschnitt Nr.	Textur Ton- u. Skelett	Bodentyp	Mächtigkeit Oberboden	Wasserhaushalt	Empfindlichkeit Kategorie	Topographie	Massnahmen	Kategorie U	Kategorie W	Kategorie N	Kategorie E		
12	L/ska	tiefgründige Braunerde	30	durchlässig	N	Steilhang (75m)				290			
13	lS/skr	Braunerde regosolisch	15-20	sehr durchlässig	Ws				210				
14	S/eskr	Lithosol	<15	sehr durchlässig	U		abhumusieren	230					
15	L/skh	tiefgründige Braunerde	25	durchlässig	N					620			
16	tU/skf	Moorboden	20	stark staunass	E		Piste einbauen				130		
17	uL/skh	Parabraunerde	25	durchlässig	N					270			
18	sL/skr	Anthroposol*)	<20	undurchlässig	Wv		Sanierung		280				
19	tU/skf	Braunerde	25	staufeucht	E						190		
20	uT/skh	Hangley	20	hangwassergeprägt	E	starke Querneigung	entwässern				300		
21	tL/skh	Braunerde-Pseudogley	20	stauwasserbeeinflusst	E		Piste vorsehen				180		
Total je Kategorie:								230	490	1180	800		

Massnahmen: (Kurzbeschreibung je betroffener Abschnitt)

- 12 Steilhang im Gebiet Lenzenauer. Bestehende Stützmauer oberhalb Zufahrtsstrasse durch Steinkörbe ersetzen, Buschlagen zur Hangsicherung vorsehen.
- 14 Im oberen Teil (Kuppe) Humus auf der ganzen Breite sorgfältig entfernen und seitlich deponieren (ca 130 m ab Feldweg gegen Norden)
- 16 Bei tiefem Wasserstand (Sommer) prov. Piste mit leichtem Bagger auf der gesamten Länge von 130 m vor Kopf auslegen (5m breit)
- 18 *) teilweise Auffüllung, ehem. Panzerschiessplatz. (Aushub im Zielbereich, ca. 2500 m³ gemäss Spezialplan unter Aufsicht der Abt. Umweltschutz entsorgen bzw. ersetzen)
- 20 vor Erstellung des Gefällsausgleichs bergseitiger Fangdrain mit Ableitung (PE Ø 12 cm, 1.5 - 2 m tief) einlegen, Kies bis 30 cm uT. während dem Bau offen lassen.
- 21 schlecht abtrocknender empfindlicher Boden, genügend prov. Piste (Baggermatrizen) für die ganze Abschnittlänge bereitstellen.

Erläuterungen zum Diagramm "Entscheidungsablauf zur Bestimmung der Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens"

Das Diagramm ist Bestandteil der revidierten "Richtlinien zum Schutze des Bodens beim Bau unterirdisch verlegter Rohrleitungen (Bodenschutzrichtlinien)" des Bundesamtes für Energiewirtschaft.

Das Diagramm bildet die Grundlage für die Einteilung der kartierten Böden des Trasses in bezug auf die Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens. Diese Einteilung bestimmt, in welcher Weise das Nomogramm zur Ermittlung des zulässigen Baumaschineneinsatzes in Abhängigkeit von der aktuellen Porensaugspannung ist, d.h. welches die minimal erforderliche Porensaugspannung ist, wie der Saugspannungs-Eingangswert des Nomogramms aus der gemessenen Porensaugspannung zu bestimmen ist und in welchen Fällen auf die Anwendung des Nomogramms gänzlich verzichtet werden kann. Des weiteren gibt die Einteilung Hinweise auf allfällige weitere Massnahmen und Einschränkungen.

Es werden folgende Haupt-Kategorien unterschieden:

- N normal empfindlich
- W wenig empfindlich
- E extrem empfindlich
- U unempfindlich

Die Kategorie W wird weiter unterteilt in:

- Wv wenig empfindlich infolge hoher Vorbelastung
- Ws wenig empfindlich infolge hohen Gehaltes an Skelett (Steinen)
- Wss (sehr) wenig empfindlich infolge sehr hohen Gehaltes an Skelett (Steinen)

Diese Einteilung geht davon aus, dass geringe Verdichtungsempfindlichkeit sowohl durch die Art der Korngrössenzusammensetzung als auch durch eine bereits bestehende Verdichtung (Vorverdichtung, gemessen als "Vorbelastung") des Bodens bedingt sein kann.

Der erstere Fall liegt vor, wenn Böden einen so hohen Anteil an Steinen und grobkörniger Feinerde aufweisen, dass sie gar nicht oder nur durch extrem hohe Belastungen durch Befahren so stark zusammengedrückt werden können, dass der Grobporenraum keine genügende Entwässerungsfähigkeit mehr gewährleistet und damit die Bodendurchlüftung beeinträchtigt wird. Im Extremfall bildet das Skelett ein Gerüst, das die auftretenden Belastungen allein auffangen und tragen kann. Dies hängt nicht allein vom Skelettgehalt (in der Regel ca. 2/3 bis 3/4 Volumenanteil und mehr), sondern auch von der Qualität des Skeletts (Stabilität, Form der Steine) und seiner Struktur (Verzahnung, gegenseitige Abstützung der Steine) ab.

ANHANG 4

S. 2

Der zweite Fall liegt häufig dann vor, wenn der Boden geogen, d.h. insbesondere durch die Auflast eines Gletschers während der letzten Eiszeiten so stark verdichtet und nicht mehr gelockert wurde, dass der Unterboden auch heute noch so dicht ist, dass er durch das Befahren mit Baumaschinen - ausser im sehr feuchten bis nassen Zustand - nicht weiter verdichtet werden kann.

Die Einteilung erfolgt aufgrund der Bestandaufnahme der entsprechenden Parameter im Rahmen der Bodenkartierung für das Projekt. Es handelt sich bei Parametern, die sich auf die Körnung beziehen (Skelettgehalt, Ton- und Siltgehalt), wie auch beim Humusgehalt primär um Schätzwerte aus der Profilsprache (nach Kartieranleitung der AG Bodenkunde). Die gutachtliche Ansprache dieser Parameter ist durch bodenkundlich geschulte Fachpersonen mit entsprechender Felderfahrung vorzunehmen. Vorbelastung und Lagerungsdichte sind mit Laboruntersuchungen an Bodenproben zu bestimmen. Die Vorbelastung ist dabei aus der Drucksetzungskurve zu ermitteln.

Als Grundsatz gilt, dass ein Kriterium explizit erfüllt sein muss, damit bei einer Entscheidung die Antwort "ja" gegeben werden kann. Ist das Kriterium nicht erfüllt, d.h. lautet die Antwort explizit "nein" oder liegen ungenügende Informationen vor, so gilt die andere Alternative. Beim Fehlen entsprechender Datengrundlagen führt der Entscheidungsweg nach diesem Grundsatz auf dem stark gezeichneten Pfad zur Kategorie N (Grundannahme).

Bestimmung der Vorbelastung mittels Drucksetzungskurve (Ödometerversuch)

Die Vorbelastung ist ein Mass für die Verdichtungsempfindlichkeit eines Bodens. Vereinfacht ausgedrückt gibt sie an, wie stark der Boden an der betreffenden Stelle bereits zuvor belastet wurde und bis zu welcher erneuten Belastung folglich keine wesentliche weitere Verdichtung zu erwarten ist.

Bis zur Vorbelastung führt eine erneute Belastung nur zu einer elastischen, d.h. reversiblen Verdichtung. Nach der Entlastung kehrt der Boden in diesem Fall also wieder in den Ausgangszustand zurück. (Abb. 1a: Belastung im Wiederverdichtungsbereich der Drucksetzungskurve).

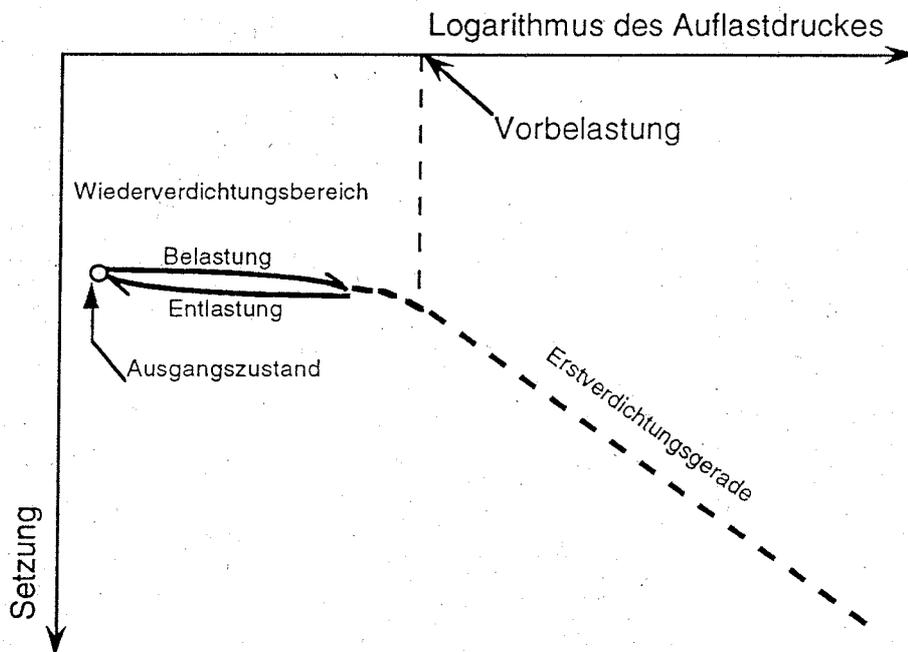


Abb.1a Reversible (elastische) Verdichtung: Die Vorbelastung wird nicht überschritten. Der Boden wird nur vorübergehend verdichtet, d.h. solange die Belastung anhält.

Überschreitet die Belastung die Vorbelastung, kommt es zusätzlich zur elastischen auch zu einer plastischen Verdichtung, d.h. einer Verdichtung, die auch nach der Entlastung erhalten bleibt (Abb. 1b: Belastung im Erstverdichtungsbereich der Drucksetzungskurve). Der Maximalwert der neuen Belastung wird zur neuen Vorbelastung.

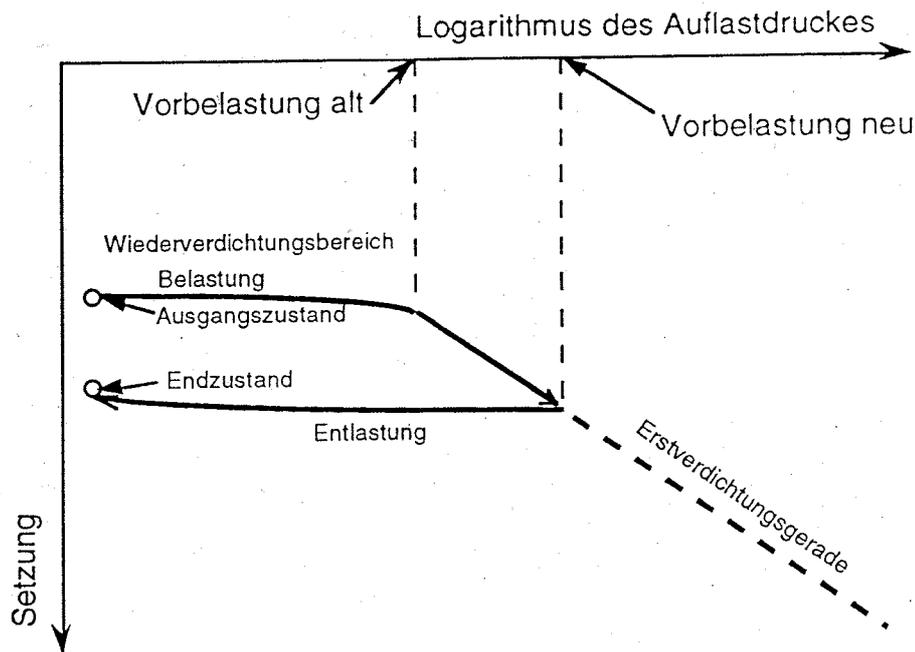


Abb. 1b Nicht reversible (plastische) Verdichtung: Die bestehende Vorbelastung wird überschritten. Der Boden wird dauerhaft verdichtet. Je nach Ausmass kann dies eine mehr oder weniger starke Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit zur Folge haben.

Genau genommen ist die Vorbelastung nicht ein einziger Wert, sondern eine Funktion des Bodenzustands. Wesentlich als Einflussfaktor ist dabei vor allem die Bodenfeuchtigkeit. Bei nassem Boden ist die Vorbelastung grundsätzlich sehr viel niedriger als bei trockenem Boden. Das heisst, dass sich die Vorbelastung auch bei gleichbleibender Auflast ändert, wenn der Boden feuchter oder trockener wird.

Wie wird die Vorbelastung bestimmt?

Die Drucksetzungskurve wird mit einem Ödometersversuch bestimmt (s. Abb. 2). Dabei wird auf eine Bodenprobe, die in einen starren Ring eingespannt ist, stirnseitig ein schrittweise erhöhter Auflastdruck aufgebracht und die jeweilige Setzung der Probe gemessen.

Da die Vorbelastung stark von der Bodenfeuchtigkeit abhängt, ist es wichtig, dass bei der Bestimmung der Vorbelastung die Feuchtigkeit kontrolliert wird. Für die Anwendung im Entscheidungsablauf nach dem Diagramm von Anhang 3 ist es notwendig, dass eine Saugspannung von 6 cbar (sog. "Feldkapazität" des Bodens) eingehalten wird.

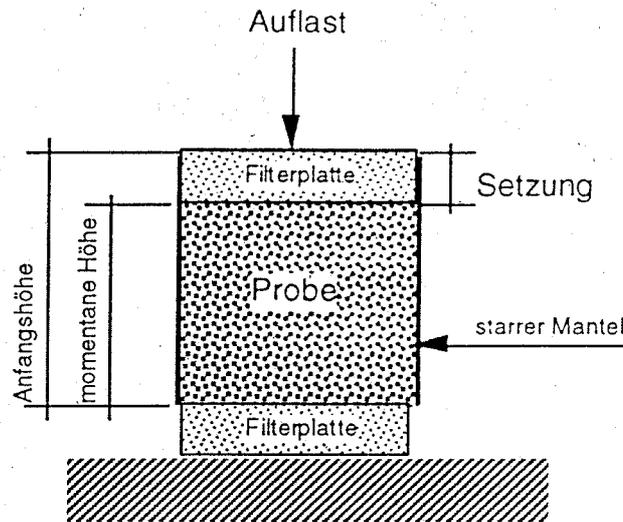


Abb. 2 Schema eines Ödometers

Trägt man die Setzung als Funktion des Logarithmus des Auflastdruckes auf, so erhält man die Drucksetzungskurve in einer Form, in welcher der Erstbelastungsbereich erfahrungsgemäss eine Gerade bildet und der Wiederbelastungsbereich als von dieser Geraden abbiegende Kurve erkennbar ist. Da der Übergang nicht scharf, sondern gleitend ist, ist es nicht einfach, die effektive Vorbelastung aus der Kurve herauszulesen. Im Sinne einer Näherung wird die "Vorbelastung" in der Praxis mit dem Verfahren von Casagrande bestimmt, welches im folgenden kurz beschrieben ist (nach LANG & HUDER, 1990, S. 53 ¹⁾):

1. Werte des aufgebrauchten Auflastdruckes (logarithmische Skala) in Funktion der Werte für die relative Setzung der Proben auftragen
2. Kurve im Wiederverdichtungsbereich und Gerade im Erstverdichtungsbereich an die Messwerte anpassen. Lässt sich keine Gerade anpassen, so wurde mit der Auflast die Vorbelastung vermutlich nicht erreicht oder nicht wesentlich überschritten
3. Kurvenpunkt K bezeichnen, in dem die Kurve die grösste Krümmung aufweist (von Auge)
4. Tangente der Kurve durch den Kurvenpunkt K legen
5. Horizontale durch den Kurvenpunkt K (Parallele zur Auflast-Achse) einzeichnen
6. Winkelhalbierende zwischen der Tangente und der Horizontalen durch den Kurvenpunkt K konstruieren und mit der in Schritt 2 eingepassten "Erstverdichtungsgeraden" zum Schnitt bringen. Die "Vorbelastung" entspricht dem Wert des Achsenabschnittes dieses Schnittpunktes auf der Auflastachse.

1) LANG, H.-J. & J. HUDER. 1990. Bodenmechanik und Grundbau. 4. Auflage. Springer-Verlag Berlin und Heidelberg. 259 S.

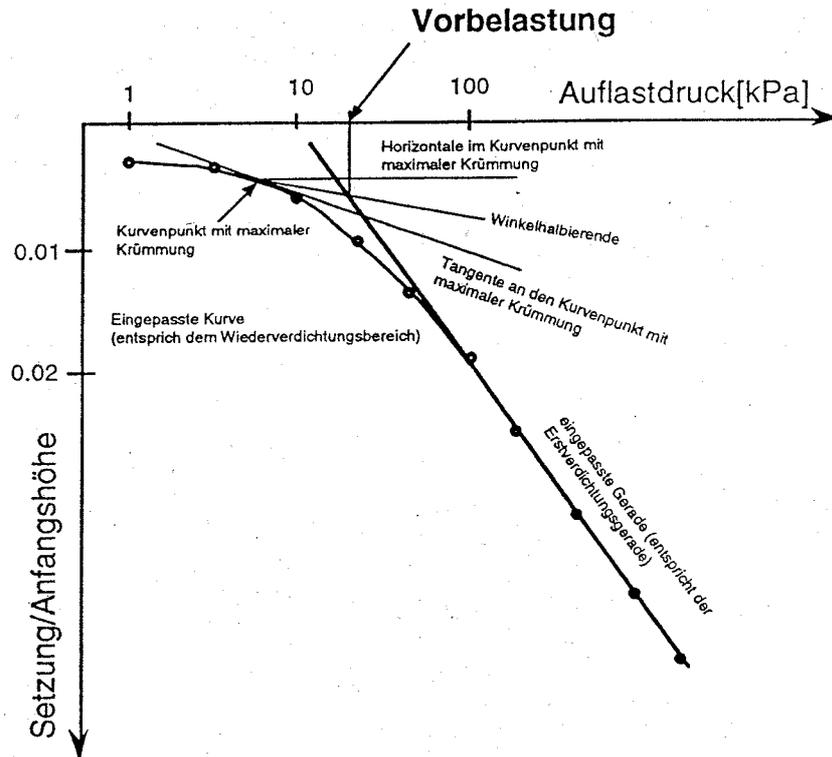
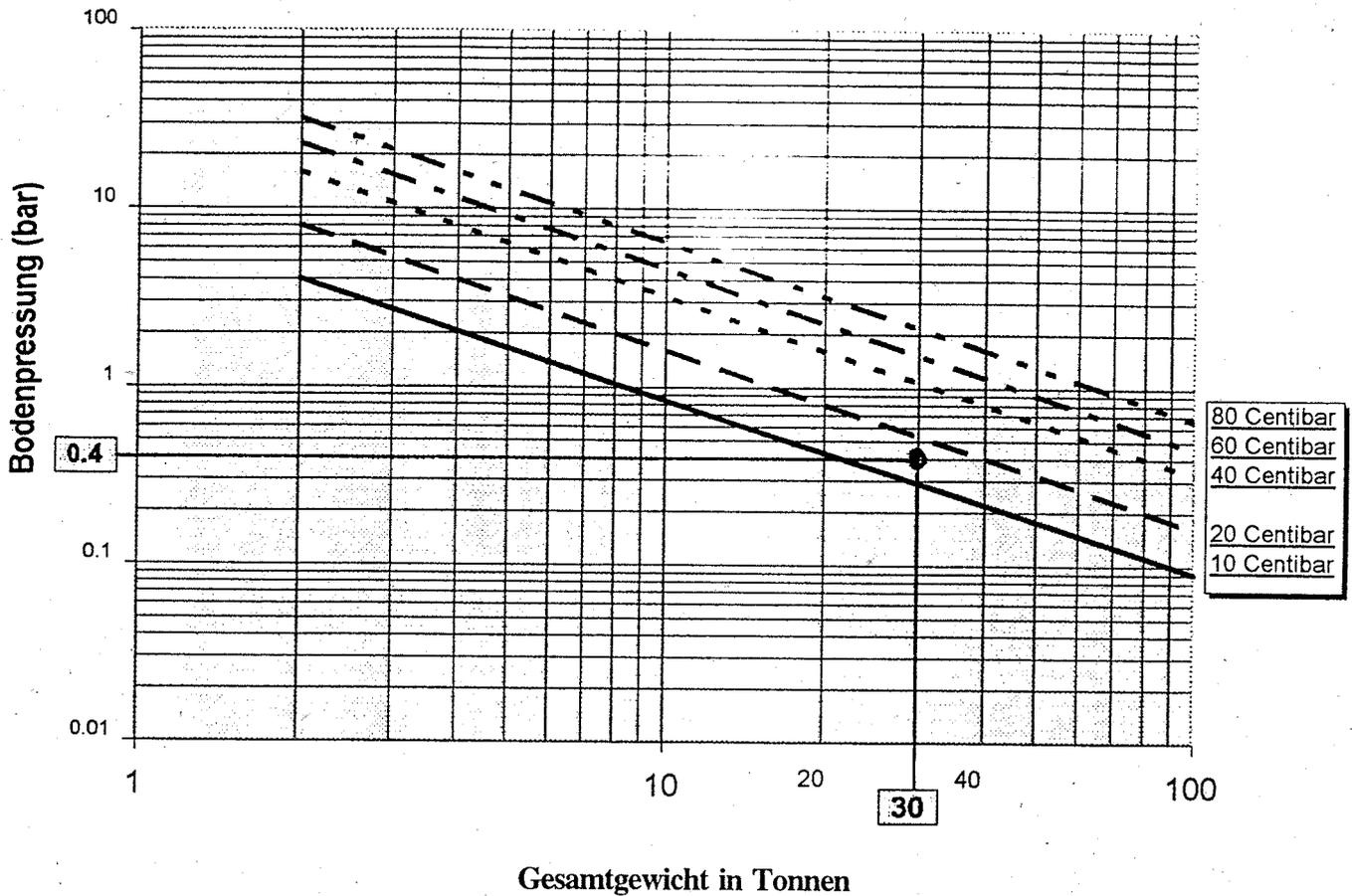


Abb. 3 Bestimmung der Vorbelastung nach Casagrande

Wichtige Hinweise zur Durchführung des Ödometersversuchs

- Die Bodenprobe muss in ihrer Lagerung ungestört sein. Es sollten möglichst grosse Proben verwendet werden. Geeignet sind insbesondere Proben, die mit sogenannten "Burgerzylindern" (1 Liter-Zylinder aus Metall) ausgestochen werden. Da Burgerzylinder genügend starr sind, können die Proben dann auch direkt für die Messung der Drucksetzungskurve verwendet werden, so dass Störungen der Probe durch Ausstossen in einen speziellen Probenring vermieden werden.
- Damit die gemessene Vorbelastung als Kriterium zur Bestimmung der Verdichtungsempfindlichkeit im Entscheidungsablauf nach dem Diagramm in Anhang 3 verwendet werden kann, sind die Proben aus einer Tiefe von 32,5 cm (Mitte der Probenhöhe) zu nehmen.
- Es wird empfohlen, für die Messung der Drucksetzungskurve mit den folgenden Druckstufen zu arbeiten: 4 kPa, 12,5 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 400 kPa und 800 kPa. Für eine verlässliche Auswertung müssen mindestens zwei Druckstufen unter und zwei Druckstufen über der Vorbelastung der Probe liegen. Kann im angegebenen Druckbereich kein Übergang von einer Kurve in eine Gerade gefunden werden, so kann dies bedeuten, dass die Vorbelastung bereits bei der untersten Druckstufe überschritten wurde (bei einem lockeren Boden) oder dass die Vorbelastung noch gar nicht oder erst bei der letzten Druckstufe erreicht wurde (bei einem dichten Boden).
- Die Vorbelastung kann selbst in einem relativ homogen erscheinenden Boden kleinräumig stark variieren. Es wird empfohlen, jeweils den Medianwert von mindestens drei Proben zu bestimmen.

Nomogramm Einsatzgrenzen von Baumaschinen



Beispiel: Gesamtgewicht	30 Tonnen
Bodenpressung	0.4 bar
Einsatzgrenze	15 Centibar

Rechnerische Bestimmung der Einsatzgrenze:

$$\text{Einsatzgrenze (Centibar)} = \text{Maschinengewicht (Tonnen)} \times \text{Bodenpressung (bar)} \times 1.25$$

Bemerkungen:

1. Die Beurteilung des zulässigen Einsatzes einzelner Baumaschinen erfolgt gemäss Ziff. 6.4.2 unter Berücksichtigung der abschnittsspezifischen Bemerkungen auf der Bodenkarte und des "Entscheidungsablaufes zur Bestimmung der Verdichtungsempfindlichkeit des Unterbodens" (Anhang 3)
2. Die zu berücksichtigende Toleranz der Medianwerte der Porensaugspannungsmesswerte beträgt +/- 10 %.
3. Pneubereifte Fahrzeuge bis 3.5 to Gesamtgewicht und mit Terrareifen ausgerüstete Fahrzeuge bis 5.0 to Gesamtgewicht sind auf dem Fahrstreifen zugelassen.
4. Maschinen, die eine Porensaugspannung > 90 Centibar erfordern würden, dürfen ohne Zusatzmassnahmen nicht eingesetzt werden.

Bestimmung der Saugspannung im Boden mittels Tensiometern

Boden - Porenraum - Bodenwasser

Natürlich gewachsener Boden besteht aus Festanteilen und den dazwischen liegenden Hohlräumen. Im Durchschnitt kann grob von 50 Volumen-% Festanteilen und ebenso vielen Volumen-% Hohlräumen ausgegangen werden.

Die Hohlräume sind als **stabiles Porensystem** strukturiert und stellen so ein kommunizierendes System für den Gas- und Wasserhaushalt des Bodens zur Verfügung. **Niederschlagswasser** dringt über das Porensystem in den Boden ein. Bei Wasser-Sättigung unterliegt das Bodenwasser fast ausschliesslich der Gravitationskraft und der Boden entwässert sich unter dem Einfluss dieser Kraft.

Im wasser-ungesättigten Porenraum baut sich, bedingt durch die an den Wassermenisken wirkenden Randkräfte (Kapillareffekt) ein **Kapillar-Potential** (Energie) auf (Dimension $M \cdot L^2 \cdot T^{-2}$, z.B. Joule). Auf das Volumen (L^3) bezogen, erhält die neue Grösse die Dimension eines Drucks ($M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2}$, z.B. Pa oder $N \cdot m^{-2}$).

Saugspannung

Dieser, aus dem Energieinhalt des Bodenwassers abgeleitete Druck wird als Kapillardruck (mit negativem Vorzeichen: "Sog") oder geläufiger als **Saugspannung S** bezeichnet.

Die Saugspannung führt zwischen den festen Bodenteilchen zu einer das Gefüge stabilisierenden Wirkung und hat damit einen direkten Einfluss auf die mechanische Belastbarkeit des Bodens.

Messinstrument Tensiometer

Das zur Messung der Saugspannung verwendete Instrument heisst Tensiometer. Dabei wird durch eine poröse Keramikzelle im Boden ("Kerze") der hydraulische Kontakt vom Bodenwasser zu einem Manometer-Teil hergestellt. Gebräuchliche Masseinheiten sind $bar = 10^5 N \cdot m^{-2} = 10^5 Pa = 10^3 hPa (= 1.032 atm = 1032 cmWS)$.

Tensiometer-Einbau

Die gebräuchlichen **Feld-Tensiometer** bestehen aus einem Kunststoff-Rohr (meist Durchmesser 7/8") mit einer porösen Keramikzelle (Kontakt zum Bodenwasser) und einem am oberen Ende angebrachten Manometer. Für die Messung der Saugspannung als Mass zur Beurteilung der aktuellen Verdichtungsempfindlichkeit werden die Tensiometer in einer Tiefe von 35 cm eingebaut.

Beim **Einbau** wird normalerweise mit einem Bohrer (Durchmesser nur ganz knapp über dem Rohrdurchmesser der Tensiometer) ein Loch bis in die gewünschte Tiefe vorgebohrt, das Tensiometer eingeführt, und im Bereich der Keramikzelle mit einer Schluff-Suspension der Kontakt zur Boden-Matrix sichergestellt.

ANHANG 7

S. 2

Von grosser Wichtigkeit ist die **Abdichtung des Rohres** an der Bodenoberfläche, entweder durch Andrücken des plastischen Bodenmaterials oder durch Überstülpen einer Gummi-Manschette. Damit wird in der Benetzungsphase ein "Kurzschluss" der Wasser-Infiltration entlang des Tensiometer-Rohres verhindert.

Tensiometer-Wartung

Die Druck-Übertragung im Tensiometer vom Bodenwasser auf das Manometer erfolgt über die Wasserphase. Bei grossem Unterdruck, resp. hoher Saugspannung wird das Wasser zunehmend entlüftet; dies führt zu **Luftblasenbildung** im System. Wird dieser Luft-Anteil zu gross, reisst die hydraulische Verbindung ab, und das System funktioniert nicht mehr. Sind Hinweise auf einen eventuellen **Manometer-Fehler** oder **-Defekt** vorhanden, so soll, falls vorhanden, ein Ersatz-Manometer montiert werden. Das möglicherweise defekte Manometer kann mindestens bezüglich Null-Punkt **geprüft** werden, indem es unter einer zuvor künstlich angelegten Saugspannung betriebsfertig in ein Wassergefäss gestellt wird (Wasserspiegel auf "Kerzen"-Höhe): Innert relativ kurzer Zeit sollte das Manometer auf "0" abfallen. In gleicher Weise kann das Manometer auf "0" geeicht werden.

Saugspannungs-Interpretation

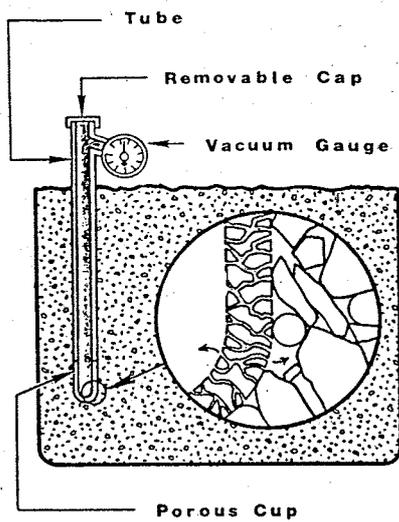
Natürlich gewachsener Boden ist grundsätzlich als inhomogenes Medium zu betrachten, wobei innerhalb gewisser Grenzen und unter Einräumung einer zulässigen Unschärfe gleichwohl von einem **mehr oder weniger homogenen Medium** innerhalb des gleichen Bodentyps in einem definierten Landschaftsraum gesprochen werden kann. Gleichwohl gilt, dass **eine einzige Messung** an einem bestimmten Ort Y mit zu grosser Unsicherheit belegt ist.

Es empfiehlt sich, am als repräsentativ ausgewählten Messort **mindestens 3, besser 5 Tensiometer** in einem Messblock von rund 2 m² Fläche einzusetzen.

Die **einfache statistische Auswertung** erfolgt vorteilhafterweise nicht über den Mittelwert (setzt Normalverteilung voraus, was hier nicht gesichert ist!), sondern über den **Medianwert** (auch **Zentralwert** genannt). Das heisst, dass von den, dem Betrag der Ablesung nach, in auf- oder absteigender Reihenfolge geordneten Messwerten, der mittlere (z.B. bei 5 Tensiometern der 3. Wert) als **repräsentativer Wert X des Messtandortes Y** betrachtet wird. Für die **praktische Anwendung** und Weiterverwendung dieses Wertes innerhalb der baubegleitenden Bodenschutzmassnahmen wird diesem **Medianwert** ein gutachtlicher **Wertebereich von X +/- 10%** zugeordnet.

Grenzen der Anwendbarkeit

Tensiometer sind aufgrund der Wasserfüllung nicht frostsicher und sind im Winterhalbjahr nur einsetzbar, wenn der oberirdische Teil durch eine Schutzhülle vor Temperaturen unter 0° C geschützt wird.



Funktionsprinzip



Tensiometer (Beispiel)

Die Bodenfachperson ist verantwortlich für:

- die Einhaltung der Bodenschutzrichtlinien
- die Durchführung und die Interpretation der Saugspannungsmessungen
- die Information der Kant. Bodenschutzfachstelle über den Ablauf der Bauarbeiten.

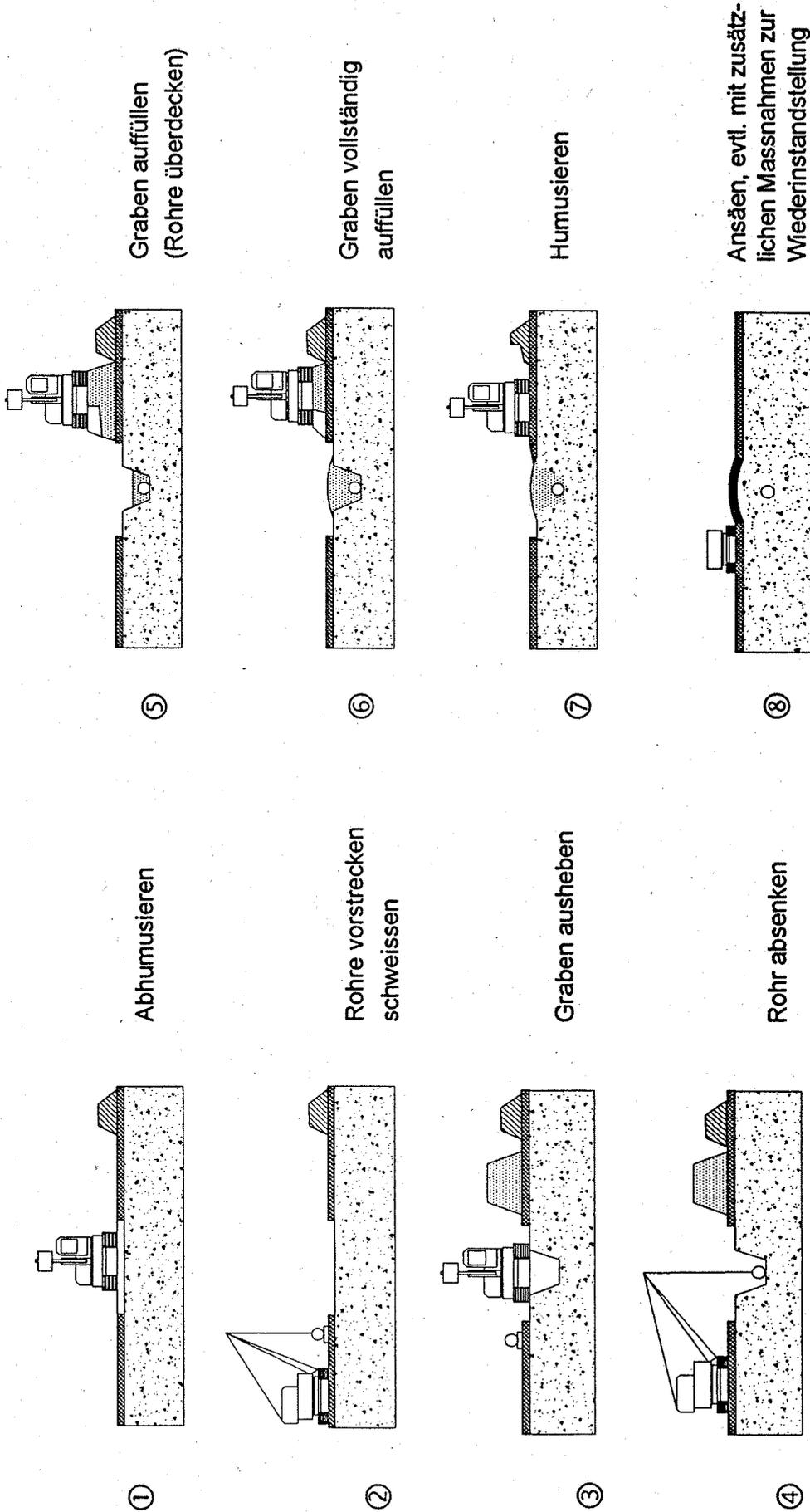
Die Bodenfachperson ist der fachliche Berater

- der Bauleitung während des Bauvorganges
- der Grundeigentümer, Bewirtschafter, Land + Recht-Beauftragten und der Bauleitung bei der Rekultivierung und bei der Sanierung problematischer Stellen.

Die Bodenfachperson nimmt teil:

- an den Bausitzungen
- an den Abnahmen der beanspruchten Grundstücke nach der Bauvollendung.

Bau von Rohrleitungen auf Kulturland
Bauablauf mit Abhumusieren auf Grabenbreite
 Beispiel für tief/mittelgründige Böden



	Humus		Humusdepot		Unterboden		Grabenaushub Unterboden
--	-------	--	------------	--	------------	--	-------------------------

**Bau von Rohrleitungen auf Kulturland
Baublauf mit Abhumusieren auf Trassebreite**

Beispiel für Böden mit geringer Humusmächtigkeit und hohem Skeletgehalt im Unterboden (allein tragend)

