

	Baugrund Felduntersuchungen Teil 5: Bohrlochaufweitungsversuche	DIN 4094-5
ICS 93.020 Geotechnical field investigations — Part 5: Borehole deformation tests Essais géotechniques in-situ — Partie 5: Tests de déformilité dans les forages Vorwort Diese Norm wurde vom Normenausschuss Bauwesen, im Unterausschuss 05.09.01 „Bohrlochaufweitungsversuche“ des Arbeitsausschusses 05.09.00 „Baugrund; Sonden“ erarbeitet. DIN 4094 „Baugrund — Felduntersuchungen“ besteht aus: – Teil 1: Drucksondierungen (z. Z. Entwurf) – Teil 2: Bohrlochrammsondierung (Norm in Vorbereitung) – Teil 3: Rammsondierungen (z. Z. Entwurf) – Teil 4: Flügelscherversuche (z. Z. Entwurf) – Teil 5: Bohrlochaufweitungsversuche Die Anhänge A und B sind normativ; die Anhänge C bis F dieser Norm dienen der Information. 1 Anwendungsbereich Die Norm gilt für Bohrlochaufweitungsversuche in Bohrungen, welche im Rahmen von geotechnischen Untersuchungen nach DIN 4020 abgeteuft werden. Bohrlochaufweitungsversuche werden durchgeführt, um Verformungskennwerte von Boden und Fels in-situ zu bestimmen. Die Norm dient der Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse, die nach verschiedenen Verfahren und mit verschiedenen Gerätetypen ermittelt werden. 2 Normative Verweisungen Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen). DIN 4020, <i>Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke</i>. DIN 4021, <i>Baugrund-Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen sowie Entnahme von Proben</i>. Fortsetzung Seite 2 bis 28 Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.		

DIN 4022-2, *Baugrund und Grundwasser — Benennen und Beschreiben von Boden und Fels — Schichtenverzeichnis für Bohrungen im Fels (Festgestein)*.

DIN 4022-3, *Baugrund und Grundwasser — Benennen und Beschreiben von Boden und Fels — Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden (Lockergestein)*.

DIN V ENV 1997-3:1999, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 3: Felduntersuchungen für die geotechnische Bemessung; Deutsche Fassung ENV 1997-3:1999*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die in DIN V ENV 1997-3 angegebenen und die folgenden Begriffe:

3.1

Dilatometer

ein zylindrisches Gerät, bei dem zum Aufbringen eines gleichmäßigen Druckes auf die Bohrlochwandung ein dehnbarer Gummipacker verwendet wird. Die Bohrlochaufweitung in Abhängigkeit vom aufgetragenen Druck wird in ausgewählten Richtungen mit elektrischen Wegaufnehmern gemessen

3.2

Pressiometer

ein zylindrisches Gerät, bei dem zum Aufbringen eines gleichmäßigen Druckes auf die Bohrlochwandung eine dehnbare Gummimembran verwendet wird. Die Aufweitung der Messzelle in Abhängigkeit vom Druck wird über das eingepresste Flüssigkeitsvolumen berechnet

ANMERKUNG Geräte, welche die Innenwand der Messzelle mit elektrischen Wegaufnehmern abtasten, sind als Dilatometer zu behandeln.

3.3

Seitendruckgerät

eine Vorrichtung, bei der zwei zylindrische halbschalige Druckplatten aus Stahl diametral gegen die Bohrlochwandung gedrückt werden, um das Bohrloch gerichtet aufzuweiten. Die Spreizung der Druckplatten in Abhängigkeit von der aufgetragenen Bodenpressung wird mit elektrischen Wegaufnehmern gemessen

3.4

Anfangsdruck

der auf die Bohrlochwandung wirkende effektive Druck, mit dem der Bohrlochaufweitungsversuch begonnen wird. Dieses Versuchsstadium ist dadurch gekennzeichnet, dass das Bohrlochaufweitungsgerät gerade an der Bohrlochwandung anliegt

3.5

Anfangsdurchmesser

Durchmesser des Bohrloches beim Anfangsdruck

3.6

abgeleiteter Wert

Wert einer geotechnischen Kenngröße, der durch Theorie, Korrelation oder Erfahrung aus Versuchsergebnissen bestimmt wird

ANMERKUNG Die abgeleiteten Werte werden als Ausgangsbasis für die Festlegung charakteristischer Werte verwendet.

4 Bezeichnung

Für die Bezeichnung werden die Kurzzeichen nach Tabelle 1 verwendet. Bezeichnung eines Versuchs mit dem Seitendruckgerät (BJT):

Versuch DIN 4094 - BJT

5 Geräte

5.1 Allgemeines

Das Versuchsgerät ist nach Art und Beschaffenheit des Baugrundes nach Tabelle 1 zu wählen.

5.2 Dilatometer

Die Ausrüstung zur Durchführung von Dilatometerversuchen besteht aus folgenden Komponenten (siehe Bild 1):

a) notwendige Komponenten:

- Dilatometer,
- Druckleitung,
- Aufnehmerkabel,
- Drucksteuerung,
- Messwertanzeige,
- Druckquelle (Druckflasche oder Hydraulikpumpe);

b) empfohlene Komponenten:

- Sedimentrohr zum Schutz gegen Nachfall,
- Richtgestänge.

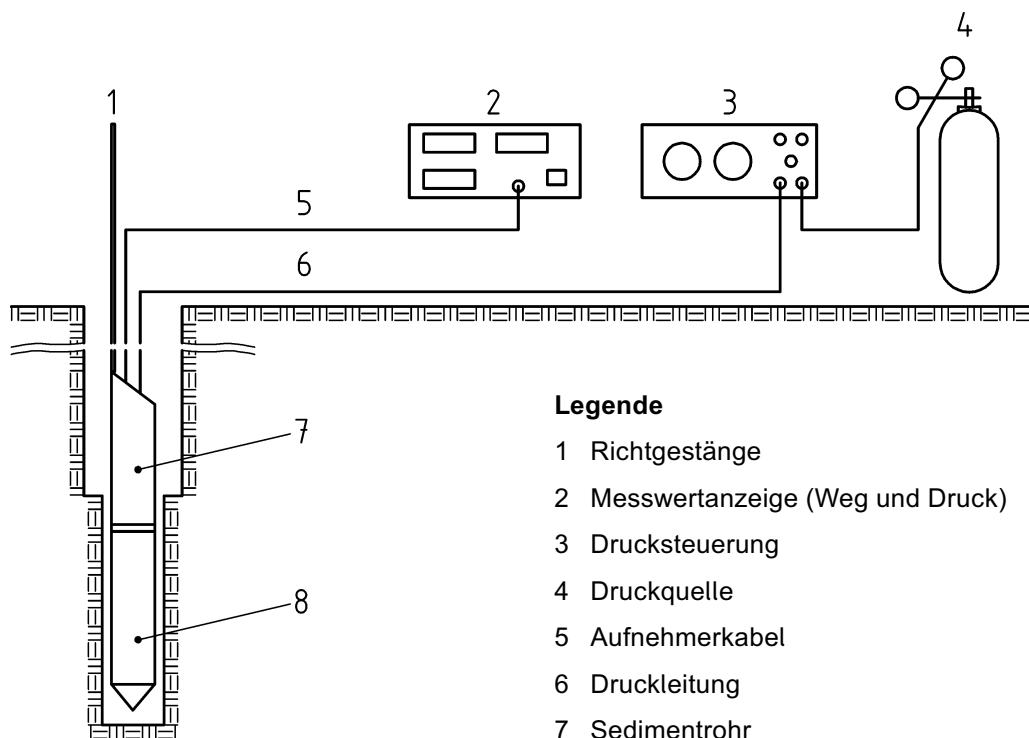


Bild 1 — Schematische Darstellung einer Dilatometerausrüstung

Dilatometer werden in zwei Versionen konstruiert, die sich in der Art des Messanschlages der im Gerät eingebauten elektrischen Wegaufnehmer unterscheiden. In der ersten Version werden die Messtaster der elektrischen Wegaufnehmer durch den Gummipacker hindurch unmittelbar auf die Bohrlochwandung geführt. Diese Version eignet sich besonders für Fels (RDT). In der zweiten Version wirken die Messtaster auf die Innenwand des Gummipackers. Diese Version eignet sich besonders für Böden (SDT).

ANMERKUNG Dilatometer mit einem Messanschlag auf der Innenwand des Gummipackers werden in Deutschland kaum eingesetzt. Auf sie wird daher nachfolgend nicht näher eingegangen.

Das Dilatometer besitzt im Ruhezustand einen äußeren Durchmesser, der um einige Millimeter kleiner als der Nenndurchmesser der Versuchsbohrung ist. Im Fall eines Durchmessers der Versuchsbohrung von 101 mm hat sich z. B. ein Dilatometer mit einem äußeren Durchmesser von 95 mm bewährt.

Die Länge des einkammrigen Gummipackers muss so bemessen sein, dass an den elektrischen Wegaufnehmern ein annähernd ebener Verformungszustand erzeugt wird. Dazu ist es erforderlich, die elektrischen Wegaufnehmer im mittleren Bereich des Gummipackers anzuordnen und die Länge des Gummipackers auf mindestens das 6fache des Nenndurchmessers des Bohrloches festzulegen.

Der Gummipacker wird durch eingepresstes Gas oder eingepresste Flüssigkeit radial gegen die Bohrlochwandung gedrückt, um das Bohrloch aufzuweiten. Der Druck wird dabei mittels eines im Dilatometer eingebauten elektrischen Druckaufnehmers gemessen. Bei geringen Versuchsteufen ($z < 100$ m) kann der Druck auch an einem geeigneten Anzeigegerät an der Geländeoberfläche gemessen werden. Zur Messung der Bohrlochaufweitung dienen mindestens drei elektrische Wegaufnehmer, die mit ihrem Messkopf direkt an der Bohrlochwand aufliegen müssen. Die elektrischen Wegaufnehmer sind dabei in gleichmäßig versetzten Richtungen angeordnet (z. B. 45° oder 60°).

Die Druckleitung und das Aufnehmerkabel verbinden das Dilatometer mit den an der Oberfläche positionierten Mess- und Steuergeräten. Dabei ist die Druckleitung mit einem Drucksteuerungsgerät und einer Druckquelle (z. B. einer Druckgasflasche oder einer hydraulischen Pumpe) verbunden. Das Aufnehmerkabel verbindet die im Dilatometer eingebauten elektrischen Druck- und Wegaufnehmer mit einer Messwertanzeige.

5.3 Pressiometer nach Ménard

Das Gesamtsystem besteht aus folgenden Komponenten (siehe Bild 2):

- zwei Schutzzellen und eine Messzelle,
- Koaxialschlauch,
- Mess- und Steuergerät, geeignet für Drücke bis 5 MPa,
- Druckgasflasche (bevorzugt mit Stickstoff gefüllt).

Das Pressiometer besitzt im Ruhezustand einen äußeren Durchmesser von (58 ± 2) mm. Die Länge der Messzelle beträgt 210 mm und die Länge der Schutzzellen jeweils etwa 120 mm. Die Messzelle, bestehend aus einer Gummimembrane, wird durch eine eingepresste Flüssigkeit (Wasser, eventuell mit Gefrierschutzmittel) radial gegen die Bohrlochwandung gedrückt, um das Bohrloch aufzuweiten. Die Schutzzellen haben die Funktion, die Messzelle so zu stützen, dass eine Verformung der Messzelle in Richtung der Bohrlochachse verhindert wird (ebener Verformungszustand). Die Schutzzellen werden mit Druckluft oder bevorzugt mit Stickstoff beaufschlagt.

Der Koaxialschlauch verbindet das Pressiometer mit dem an der Oberfläche positionierten Mess- und Steuergerät. Der innere Schlauch ist mit der Messzelle und der äußere mit den Schutzzellen verbunden.

Das Mess- und Steuergerät muss eine kontrollierte Druckbeaufschlagung von Mess- und Schutzzellen sicherstellen. Es muss zudem die Messung des Flüssigkeitsdruckes in der Messzelle, des Gasdruckes in den Schutzzellen sowie des Volumens der in die Messzelle eingepressten Flüssigkeit sicherstellen.

Tabelle 1 — Arten und Einsatzmöglichkeiten der Bohrlochaufweitungsgeräte

Nr.	Benennung Gerät	Benennung Versuch (international)	Kurzzeichen	Vorrichtung für Bohrloch- aufweitung	Art der Bela- stung	Messung der Bohrloch- aufweitung	Versuchs- ergebnis	Empfohlener Bohrloch- durchmesser mm	Einsatz emp- fohlen bei einem Steife- modul MPa	Einsatz ein- geschränkt in
1	Dilatometer	Dilatometer- versuch in Fels (en: Rock dilato- meter test)	RDT	einkamm- riger Gummi- packer	radial-sym- metrisch	mit elektri- schen Weg- aufnehmern an der Bohr- lochwand	Dilatometer- modul $\bar{E}_D$ Dilatometer- kriechmaß k_D	86 101	bis 50 000	stark zer- klüftetem Fels und weichen Böden
2	Dilatometer	Dilatometer- versuch in Böden (en: Soil dilato- meter test)	SDT	einkamm- riger Gummi- packer	radial-sym- metrisch	mit elektri- schen Weg- aufnehmern an der Gummi- packer- innenseite	Dilatometer- modul $\bar{E}_D$ Dilatometer- kriechmaß k_D	73 101	bis 5 000	festem, ungeklüfte- tem Fels
3	Pressiometer	Pressiome- terversuch (en: Ménard pressure- meter test)	MPM	dreikamm- rige Gummi- membrane	radial-sym- metrisch	volumetrisch	Ménard- Modul $\bar{E}_M$ Grenzlast p_{LM}	66	1 bis 500	festem, ungeklüfte- tem Fels
4	Seitendruck- gerät	Seitendruck- versuch (en: Borehole jacking test)	BJT	zylindrische halbschalige Druckplatten aus Stahl	diametral	mit elektri- schen Weg- aufnehmern	Seitendruck- modul $\bar{E}_B$ Seitendruck- kriechmaß k_B	101 146	5 bis 1 000	festem, ungeklüfte- tem Fels

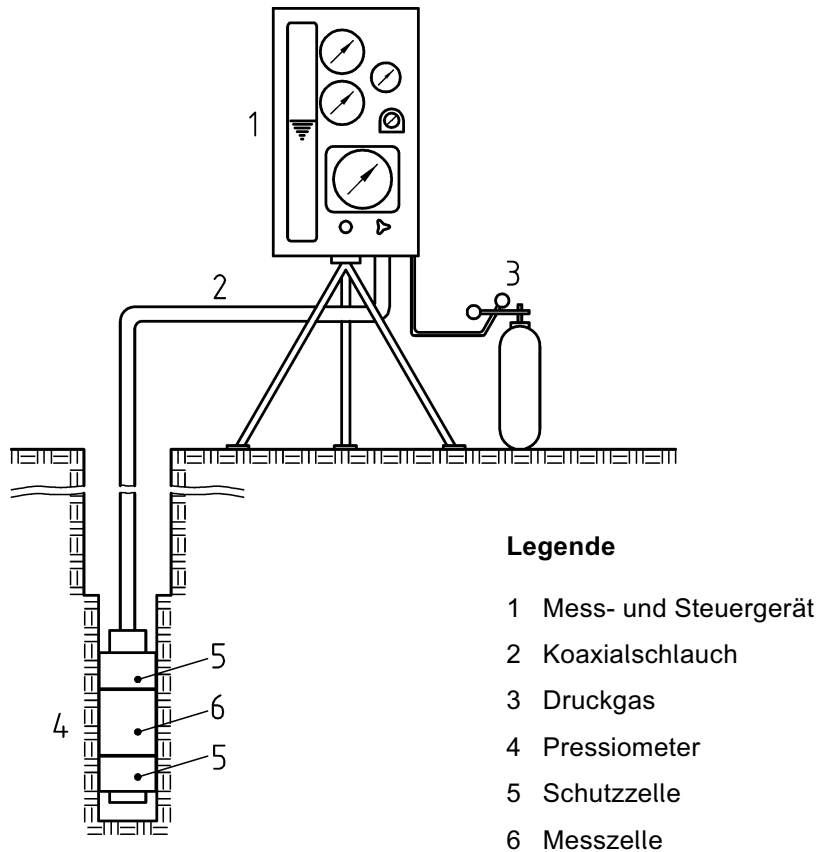


Bild 2 — Schematische Darstellung einer Pressiometerausrüstung

5.4 Seitendruckgerät

Die Ausrüstung zur Durchführung von Seitendruckversuchen besteht aus folgenden Komponenten (siehe Bild 3):

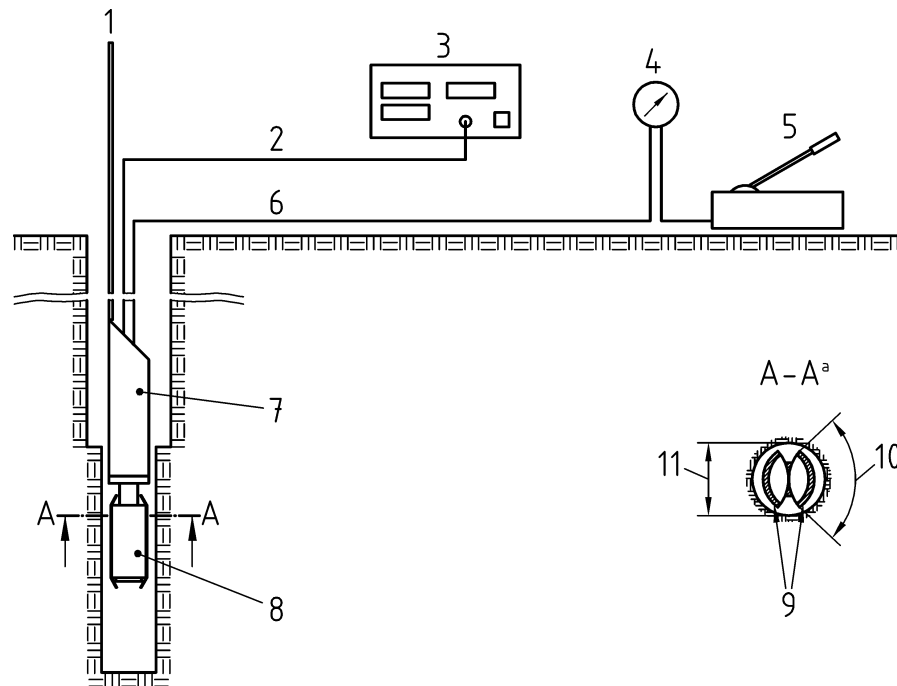
a) notwendige Komponenten:

- Seitendruckgerät,
- Druckleitung,
- Aufnehmerkabel,
- Messwertanzeige,
- Hydraulikpumpe,
- Kontrollmanometer;

b) empfohlene Komponenten:

- Sedimentrohr zum Schutz gegen Nachfall,
- Richtgestänge.

Das Seitendruckgerät besitzt im eingefahrenen Zustand einen äußeren Durchmesser, der um einige Millimeter kleiner als der Nenndurchmesser der Bohrung ist. Im Fall eines Durchmessers der Bohrung von 101 mm hat sich z. B. ein Seitendruckgerät mit einem äußeren Durchmesser von 95 mm als geeignet erwiesen.



Legende

- | | |
|--------------------------|-------------------------------------|
| 1 Richtgestänge | 7 Sedimentrohr |
| 2 Aufnehmerkabel, | 8 Seitendruckgerät |
| 3 Messwertanzeige | 9 Druckplatte |
| 4 Kontrolldruckmessgerät | 10 Öffnungswinkel β |
| 5 Hydraulikpumpe | 11 Nenndurchmesser |
| 6 Druckleitung | ^a vergrößert dargestellt |

Bild 3 — Schematische Darstellung einer Seitendruckausrüstung

Hinsichtlich der Länge der Druckplatten haben sich in der Praxis Druckplattenlängen vom 3fachen des Nenndurchmessers der Bohrung bewährt. Der Öffnungswinkel β der beiden halbschaligen Druckplatten beträgt mindestens 90° . Der Radius der Halbschalen entspricht dem der Bohrung. Für verschiedene Druckplattenlängen, Nenndurchmesser und unterschiedliche Öffnungswinkel sind in Anhang A gerätespezifische Faktoren wiedergegeben.

Die halbschaligen Druckplatten des Seitendruckgerätes werden diametral gegen die Bohrlochwandung gedrückt, um das Bohrloch gerichtet aufzuweiten. Die Aufweitungskraft wird dabei mittels eines im Seitendruckgerät eingebauten elektrischen Aufnehmers erfasst. Bei vergleichsweise geringen Versuchstiefen ($z < 100 \text{ m}$) kann sie alternativ auch mittels geeigneter Anzeigegeräte an der Geländeoberfläche erfasst werden.

Zur Messung der Spreizung der halbschaligen Druckplatten werden elektrische Wegaufnehmer verwendet. Werden die Druckplatten durch parallel geschaltete hydraulische Zylinder gespreizt, sollten mindestens zwei Wegaufnehmer vorhanden sein, die neben einer mittleren Spreizung auch die gegenseitige Kippung der Druckplatten messen. Werden die Druckplatten mittels Zwangsführung parallel zueinander aufgeweitet, so genügt ein elektrischer Wegaufnehmer.

Die Druckleitung und das Aufnehmerkabel verbinden das Seitendruckgerät mit den an der Geländeoberfläche positionierten Mess- und Steuergeräten. Dabei ist die Druckleitung mit einer hydraulischen Pumpe und mit einem Kontrolldruckmessgerät verbunden. Das Aufnehmerkabel verbindet die im Seitendruckgerät eingebauten Aufnehmer mit einer entsprechenden Messwertanzeige.

6 Versuchsdurchführung

6.1 Allgemeines

Abweichungen von der Versuchsdurchführung müssen im Einzelfall begründet und ihre Einflüsse auf das Ergebnis erläutert werden. In Bohrungen, in denen die Standsicherheit der Bohrlochwandung nicht gegeben ist, sollte kein Bohrlochaufweitungsversuch durchgeführt werden.

6.2 Dilatometerversuch

6.2.1 Geräteüberprüfung

Vor dem Dilatometerversuch ist die Versuchseinrichtung zu kalibrieren (siehe B.1). Kopien der Kalibrierunterlagen müssen am Ort der Versuchsdurchführung vorgehalten werden. Folgende Kalibrierungen sind vorzunehmen:

- Genauigkeit des Wegmesssystems,
- Genauigkeit des Druckmesssystems,
- Korrekturwert infolge der Gummipackersteifigkeit.

Die Kalibrierung hat mit den im Dilatometerversuch jeweils verwendeten Systemkomponenten zu erfolgen. Werden vor dem Ablauf des vorgeschriebenen Wiederholungszeitraums der Kalibrierung einzelne Gerätekomponenten repariert oder ausgetauscht, so sind sie vor ihrem Einsatz erneut zu kalibrieren.

6.2.2 Herstellen der Bohrung und Setzen des Gerätes

Grundsätzlich ist die Bohrung im Untersuchungsbereich unter anderem zur Auswahl der optimalen Versuchsstelle mit durchgehender Gewinnung gekernter Proben nach DIN 4021 abzuteufen. Es ist sicherzustellen, dass die dazu verwendeten Vorrichtungen, Arbeitsweisen und Spülflüssigkeiten eine möglichst geringe Störung der Bohrlochwandung hervorrufen. Werden Stützmaßnahmen für die Stabilität der Bohrlochwandung eingesetzt, so ist deren Einfluss bei der Versuchsbewertung zu berücksichtigen.

Ist durchgehend standfestes Gebirge sichergestellt, darf das Bohrloch durchgehend im Nenndurchmesser abgeteuft und der Versuch im unverrohrten Bohrloch durchgeführt werden.

Im nicht durchgehend standfesten Gebirge wird zunächst eine verrohrte Bohrung mit einem Durchmesser von mindestens 146 mm bis etwa 1 m über der Versuchsstelle hergestellt und sodann eine zentrische Vorbohrung von etwa 3 m Länge mit dem vorgesehenen Prüfdurchmesser abgeteuft.

Das Dilatometer wird unmittelbar nach Fertigstellung der Vorbohrung, keinesfalls jedoch später als 2 h danach, gesetzt. Es wird, soweit erforderlich, mit dem Richtgestänge orientiert. Als Versuchstiefe gilt die Mitte des Gummipackers. Der Gummipacker muss vollständig in die Vorbohrung eingeführt sein und einen Mindestabstand von 0,5 m von der Oberkante der Vorbohrung zur Oberkante des Gummipackers aufweisen.

6.2.3 Versuchsablauf

Nach dem Setzen wird der Gummipacker so weit mit Druck beaufschlagt, dass er sich an die Bohrlochwandung mit einem geringen effektiven Anfangsdruck p'_s anlegt. Der dazu erforderliche Innendruck p_d im Dilatometer ist abhängig vom Wasserstand im Bohrloch und von der Gummipackersteifigkeit.

Es gilt Gleichung (1):

$$p'_s = p_{d0} - p_h - p_n \quad (1)$$

Dabei ist

- p'_s der effektive Anfangsdruck an der Bohrlochwandung;
- p_{d0} der Anfangsdruck im Gummipacker;
- p_h der hydrostatische Druck an der Versuchsstelle;
- p_n der Korrekturwert infolge der Gummipackersteifigkeit.

Der effektive Anfangsdruck p'_s beträgt 2 % bis 5 % des vorgesehenen effektiven Maximaldruckes $p'_{\max}$.

Ausgehend von dem effektiven Anfangsdruck an der Bohrlochwandung p'_s wird das Gebirge durch stufenweise Steigerung des Innendruckes p_d im Dilatometer bei gleichzeitiger Messung der Bohrlochaufweitung belastet. Der effektive Maximaldruck $p'_{\max}$ wird üblicherweise auf das 2fache der erwarteten Bemessungsgröße für das geplante Bauwerk festgelegt. Nach Erreichen des Maximaldruckes wird der Druck wieder stufenweise verringert. Der Versuch ist aus Sicherheitsgründen vorzeitig zu beenden, wenn die maximal zulässige Gummipackeraufweitung erreicht ist und/oder der Gummipacker zu platzen droht.

Vorteilhaft zur Bestimmung der Verformungskennwerte ist eine zyklische Druckbeaufschlagung der Bohrlochwandung. Üblicherweise wird die Beaufschlagung in drei, im Bedarfsfall auch in fünf Be- und Entlastungszyklen durchgeführt. Dabei wird der Betrag der oberen Druckumkehrpunkte von Zyklus zu Zyklus gesteigert, während der Betrag der unteren Druckumkehrpunkte dem effektiven Anfangsdruck an der Bohrlochwandung p'_s entspricht (siehe Anhang D).

Die Laststeigerungsrate ist so zu wählen, dass die Versuchszeit für das Durchfahren eines Belastungsastes mindestens 10 min beträgt. Der Entlastungsast wird mit mindestens der halben Zeit durchfahren. Zur Abschätzung der Kriecheigenschaften des Prüfmediums werden Lasthaltezeiten von mindestens 5 min in den oberen Druckumkehrpunkten eingeschaltet. Die Versuchsdauer für das Durchfahren eines vollen Zyklus beträgt demzufolge mindestens 20 min.

Zur Bestimmung der zeitabhängigen Verformung des Gebirges sollten Dauerbelastungsversuche mit konstantem Innendruck im Dilatometer durchgeführt werden.

6.3 Pressiometerversuch

6.3.1 Geräteüberprüfung

Vor dem Pressiometerversuch ist die Versuchseinrichtung zu kalibrieren (siehe B.2). Kopien der Kalibrierunterlagen müssen am Ort der Versuchsdurchführung vorgehalten werden. Folgende Kalibrierungen sind vorzunehmen:

- Genauigkeit des Druckmesssystems,
- Genauigkeit des Volumenmesssystems,
- Systemausdehnung,
- Korrekturwert infolge der Gummimembransteifigkeit.

Nach Abwicklung einer Versuchsserie ist die Kalibrierung zu wiederholen.

Werden während der Versuchsserie einzelne Gerätekomponenten repariert oder ausgetauscht, so sind sie vor ihrem Einsatz erneut zu kalibrieren.

6.3.2 Herstellen der Bohrung und Setzen des Gerätes

Das Pressiometer muss so an die Versuchsstelle gebracht werden, dass der umgebende Boden so wenig wie möglich gestört wird. Dazu wird zunächst eine verrohrte Kernbohrung mit durchgehender Gewinnung gekernter Proben größeren Durchmessers nach DIN 4021 bis 1 m über die Versuchsstelle hergestellt und dann eine zentrische Vorbohrung mit durchgehender Gewinnung gekernter Proben von 2 m bis 3 m Länge mit einem Durchmesser von maximal dem 1,15fachen des Gerätedurchmessers abgeteuft. Es ist sicherzustellen, dass die dazu verwendeten Vorrichtungen, Arbeitsweisen und Spülflüssigkeiten eine möglichst geringe Störung der Bohrlochwandung hervorrufen.

In Ausnahmefällen darf das Gerät auch eingepresst werden. Die Membran ist dabei mit einem Schlitzrohr mit mindestens sechs Lamellen (Längsschlitzen) gegen Zerstörung zu schützen.

Das Pressiometer wird unmittelbar nach Fertigstellung der Vorbohrung, keinesfalls jedoch später als 60 min danach, gesetzt. Als Versuchstiefe wird die Mitte der Längsachse der Messzelle angenommen. Sie muss mindestens eine Gerätelänge unterhalb der Oberkante der Vorbohrung liegen.

6.3.3 Versuchsablauf

Nach dem Setzen des Pressiometers wird der Versuch folgendermaßen durchgeführt: In der pseudoelastischen Phase des Versuchs (siehe Bild 6, Bereich II) müssen die Drucksteigerungen gleich groß sein.