Aufgabe des Gerätes ist, wie der Name sagt, Extension in Längsachse des Messgerätes zu messen (s. MÜLLER, 1963, S. 594). Messmittel ist ein Draht oder eine Stange, für deren Abmessungen und Ausführung Empfehlungen der ISRM und der DGEG vorliegen, oder eine Sonde, die im Bohrloch fixierte Messmarken abtastet. Je nach Messmittel (Abb. 1) unterscheiden wir zwischen

- Drahtextensometer,
- Stangenextensometer und
- Sondenextensometer.

Außer dem Messmittel bestehen die Draht- und Stangenextensometer aus einem Messkopf und einem Anker.

Der Messkopf bzw. Messanschlag muss so konstruiert sein, dass er weitestgehend gegen Beschädigungen geschützt ist. Eine mechanische Ablesung ist wünschenswert (insbesondere für Langzeitbeobachtungen), um eine kontinuierliche Beobachtung der Verschiebungen zu ermöglichen werden jedoch auch elektrische Wegaufnehmer oder Drehpotentiometer eingesetzt.

Für die Verankerungen liegt eine Vielzahl von Varianten vor. Die häufigsten Ausführungsformen sind gerippte Ankerstäbe oder Stahlhülsen, die durch Zementinjektion mit dem Gebirge verbunden werden. In stark geklüftetem Fels ist eine Ummantelung des Ankers mit einem Vliespacker vorteilhaft, der das Versickern des Injektionsgutes verhindert. Daneben sind mechanisch wirkende Klemmanker in Gebrauch, bei denen aber sichergestellt sein muss, dass ein bleibender Verbund mit dem Gebirge gewährleistet ist.

Konzipiert ist das Extensometer für Festgesteine und Mauerwerk, wo im Regelfall nur Extension auftritt. Die einfachen und zuverlässigen Extensometermessungen sind wesentlicher Bestandteil der meisten Messprogramme zur Überwachung des Baugrund- und Bauwerkverhaltens. Im allgemeinen kommen hierbei Stangenextensometer zum Einsatz, mit denen eine Messgenauigkeit von $\pm 1 \times 10^{-6}$ (d. h. $\pm$ 0,01 mm/10 m) erzielt werden kann.

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Häufig werden Extensometer auch für die Beobachtung von Setzungen an Dämmen oder unter Bauwerken eingesetzt. Solche Geräte müssten sinngemäß Kompressiometer genannt werden. Sie dienen der Beobachtung der Zusammendrückung (Stauchung, Kompression) von Böden und wurden bereits 1930 von TERZAGHI als Grundpegel beschrieben. Heute spricht man von Setzungspegeln.

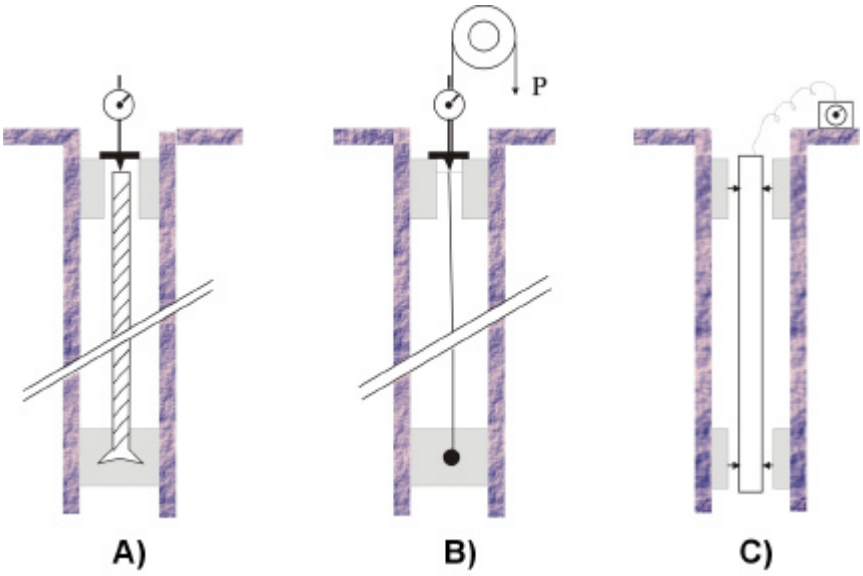


Abb. 1 Extensometer-Messprinzipien (nach PAUL u. GARTUNG, 1991)
A) Stangenextensometer, B) Drahtextensometer, C) Sondenextensometer

Nach dem Einsatzbereich kann man erwarten, dass in Dämmen und Gründungen in Lockergesteinen Kompression auftritt (gelegentlich aber auch Extension, z. B. in quellfähigen Tonen oder am Fuß von Dämmen), und dass in Tunneln, Schächten, Stollen und Rutschungen mit Extension gerechnet werden kann.

Ist in einem Bohrloch nur eine Messstrecke installiert, so handelt es sich um ein Einfachextensometer. Sind längs des Bohrloches mehrere Messpunkte angeordnet, so bezeichnet man die Messeinrichtung als Mehrfachextensometer (Abb. 2). Die Längen der Verbindungselemente (Stange, Draht) sind dabei unterschiedlich. Beim Sondenextensometer werden die Abstandsänderungen der benachbarten und in nahezu gleichem Abstand angeordneten Messpunkte gemessen.

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

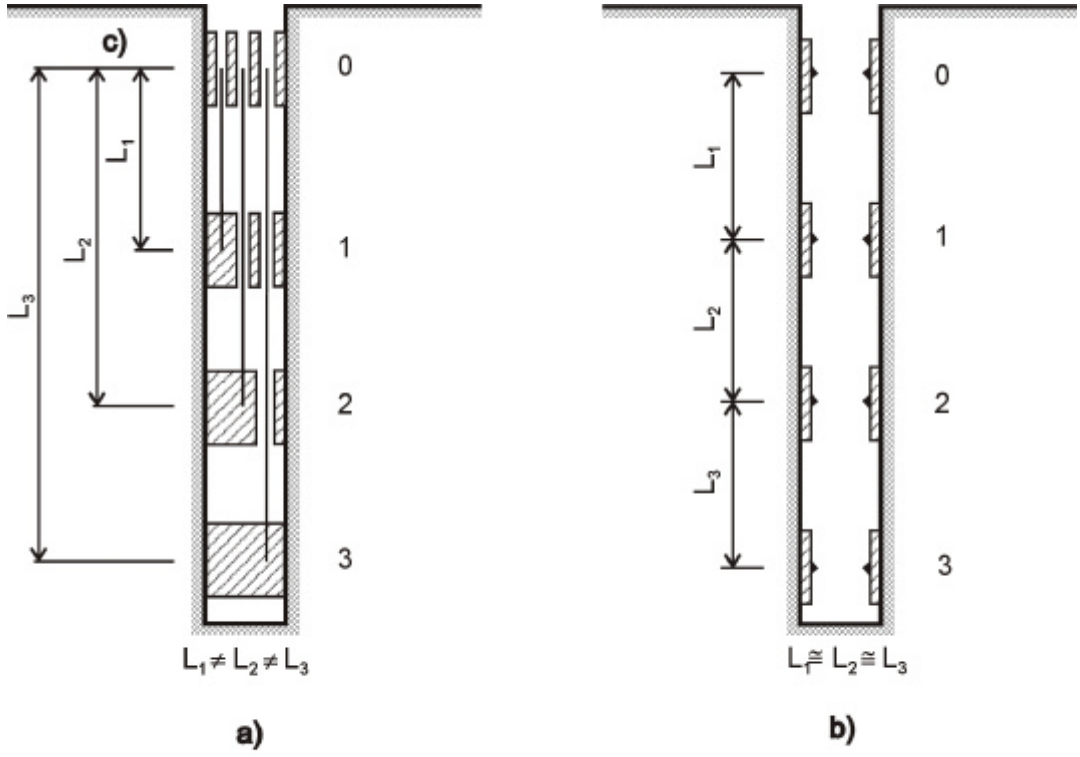


Abb. 2 Prinzip-Beispiele von Mehrfach-Extensometern
(nach PAUL u. GARTUNG, 1991)
a), b) 3fach Stangenextensometer, c) Extensometerkopf
0, 1, 2, 3 = Messpunkte

Der Einsatzbereich der Extensometer bedingt spezielle Anforderungen der Geräteausführung. Im Tunnelvortrieb sollten Extensometer eingesetzt werden, die in eine Bohrung von max. 46 mm eingebaut werden können (Mini-Extensometer). Außerdem müssen diese Geräte weitestgehend einbaufertig auf die Baustelle angeliefert werden und sollten mechanisch verankert sein, weil nur so den Ansprüchen des Tunnelvortriebes entsprochen wird (Bohrung mit den Mitteln des Vortriebes, keine Injektion über Kopf, Messmöglichkeit bereits beim nächsten Abschlag).

Die Gesamtlänge dieses Mehrfachextensometers kann auf einen Tunneldurchmesser beschränkt sein (also 10 – 12 m; diese Tiefe kann mit den Mitteln des Vortriebes gerade noch gebohrt werden).

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Beim Einsatz im Bergbau, insbesondere im Kohlebergbau ist mit Schlagwettern zu rechnen, weshalb dieser Umstand bei der Wahl der Materialien, aus denen das Extensometer gebaut wird, in Betracht zu ziehen ist (kein Kunststoff, kein Aluminium).

Beim Einsatz von Extensometern in anderen Gebieten ist im Gegensatz zu oben eine komplette Vorfertigung nicht unbedingt erforderlich. Sie verleitet dazu, dass die Einbauarbeiten von Fachfremden ausgeführt werden, was die Gefahr in sich birgt, dass Messgeräte unsachgemäß eingebaut werden.

Richtlinien für die Messgenauigkeit und den Messbereich liegen seitens der ISRM vor. Sie können in einem Versuch, wie ihn PEKKART und STILLBORG (1982) vorgeschlagen haben, getestet werden.

Frostsichere Gründung des Extensometerkopfes

Unterliegt ein Extensometerkopf Frosteinwirkungen, ist es häufig wünschenswert, die Hebungen und Senkungen des Kopfes infolge des Frost-Tau-Wechsels von den bauwerksbedingten Verschiebungen trennen zu können. Für diesen Zweck gibt es zwei Ausführungsvarianten:

1. Die einfachere und billigere Lösung ist das zusätzliche Setzen einer Extensometerstange, die 1,25 m in den Baugrund reicht und deren Bewegungen von den tiefergehenden Verschiebungen abgezogen werden. Ist dies nicht wünschenswert, weil bereits in geringer Tiefe auch bauwerksbedingte Verschiebungen auftreten, so wird folgendermaßen verfahren:

2. Vor dem Abteufen der Extensometerbohrung wird am Messort gemäß Abb. 3a) ein Schacht ausgehoben, ein Kunststoffrohr eingestellt und der Ringraum mit Beton ausgefüllt. Anschließend wird die Bohrung abgeteuft und das Extensometer eingebaut.

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Die Ausbildung der Abdeckung des Extensometerkopfes kann gemäß Abb. 3b) erfolgen. Zunächst werden zwei Dränageschläuche verlegt. Dann wird eine ovale Straßenkappe aus Gusseisen aufgesetzt, eine Kiesschüttung angelegt, in der die Dränageschläuche enden, und der verbleibende Aushub mit Beton wiederverfüllt. Die Straßenkappe hat den Prüfgrundsätzen nach DIN 3580 zu entsprechen und muss mit einem angenieteten Deckel versehen sein. Statt der Straßenkappe kann auch ein Betonschachtring nach DIN 4052 - 5 b eingebaut werden (Innendurchmesser 450 mm) und eine Schachtabdeckung aus Gusseisen aufgesetzt werden, diese sollte den Richtlinien der DIN 1229 gerecht werden.

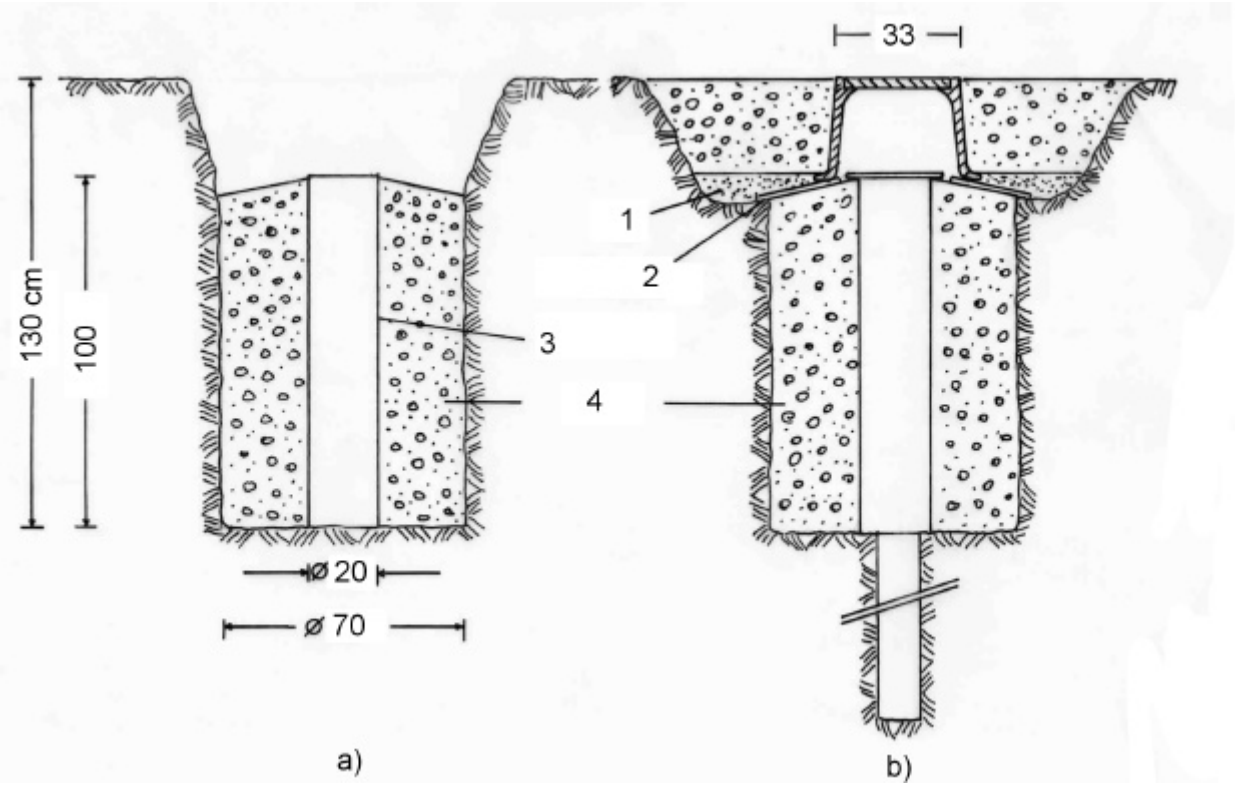


Abb. 3 Ausbildung eines Extensometerkopfes mit frostsicherer Gründung
a) Richten der Bohrstelle
b) Ausbildung von Kopfabdeckung und Dränage
1 Kies, 2 Dränagerohr, 3 Leerrohr, 4 Beton

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Das am Institut für Straßen-, Eisenbahn- und Felsbau der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich entwickelte Gleitmikrometer ist ein hochpräzises Sondenextensometer. Das Gerät dient der lückenlosen Bestimmung der axialen Verschiebungskomponenten entlang von Bohrungen im Fels, Beton oder Boden. Grundlage für die hohe Genauigkeit des Gleitmikrometers ist das auf dem Kugel-Kegel-Prinzip beruhende Verspannen der tragbaren Sonde in entsprechenden Messmarken.

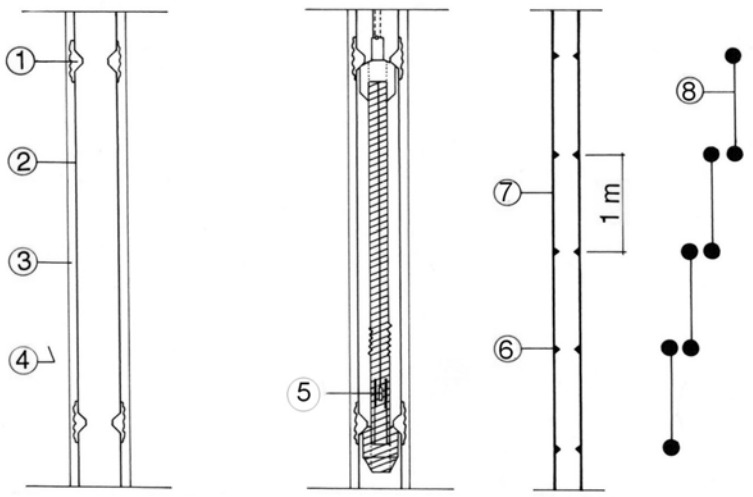
In einem Bohrloch von mind. 100 mm Durchmesser oder in einer röhrenförmigen Aussparung im Beton werden metallische Messmarken, die durch ein Kunststoff-Schutzrohr miteinander verbunden sind, durch Injektion fest verankert. Vor Ausführung der Injektion ist eine Überprüfung des sachgerechten Einbaues der Schutzrohre durch eine Gleitmikrometermessung ratsam.

Die ca. 3 kg schwere Sonde wird an einem Bedienungsgestänge im Schutzrohr schrittweise zu den jeweils ein Meter voneinander entfernten Messmarken geführt. Nach jedem Meter durchfahren die beiden an den Enden der Sonde platzierten, mit Aussparungen versehenen kugelförmigen Messköpfe die ebenfalls mit Aussparungen versehenen Messmarken (Gleit-Position). Durch Drehung um 45 ° und Ziehen am Bedienungsgestänge wird die Sonde mit den beiden Messköpfen in jeweils zwei benachbarten Marken verspannt (Mess-Position).

Ein induktiver Wegaufnehmer in der Sonde ermittelt die Messwerte und überträgt diese über ein Kabel an ein Digital-Ablesegerät mit internem Datenspeicher.

Bei vertikalen oder stark geneigten Messrohren bis zu einer Tiefe von max. 50 m kann die Sonde allein mit Hilfe des Bedienungsgestänges in die Messposition gebracht und verspannt werden. Bei einer Tiefe von mehr als 40 bis 50 m wird die Sonde mittels einer Haspel über das reißfeste Elektrokabel abgesenkt und verspannt. Die Sonde wird hier ebenfalls mit dem Bedienungsgestänge orientiert. Bei horizontalen oder schwach geneigten Rohren können Strecken bis zu 100 m Länge ohne Haspel vermessen werden.

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97



a b c

Abb. 1 Gleitmikrometer ISETH (nach THUT, 1985)

a) Im Bohrloch einzementiertes Messrohr
1 kegelförmige Messmarken, 2 HPVC-Verrohrung, 3 Injektionsgut, 4 Fels, Beton oder Lockergestein

b) Gleitmikrometer in Messposition
5 elektr. Wegaufnehmer

c) Messverfahren für Gleitmikrometer und Trivec
6 Messmarken, 7 Messverrohrung, 8 schrittweises Setzen der Sonde

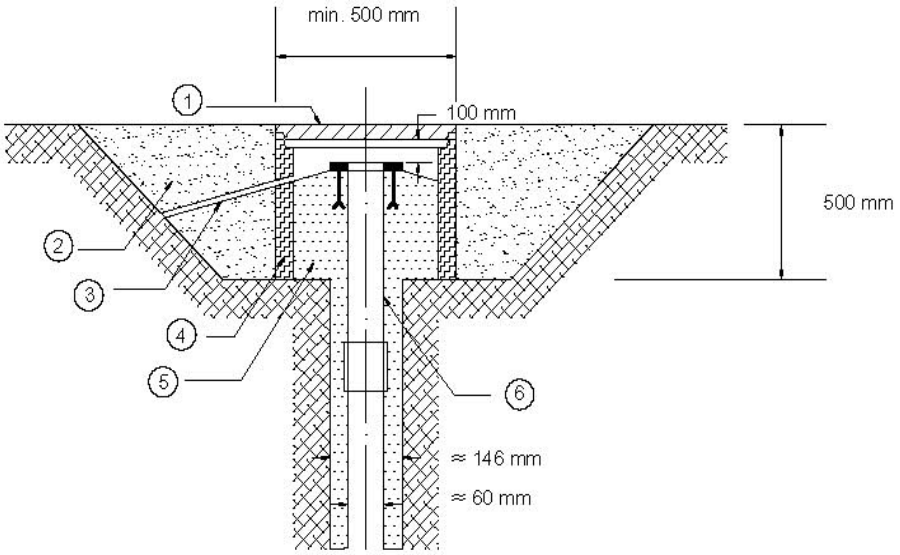


Abb. 2 Abschluss-Schacht für Gleitmikrometer und Trivec

1	Abschlussdeckel	2	Hinterfüllung
3	Entwässerung	4	Zementschacht
5	Mörtel	6	Gleitmikrometer oder Trivec Messrohr

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Die äußerst hohe Setzgenauigkeit von $\pm 1\ \mu m$ in der Kalibriervorrichtung und von $\pm 2\ \mu m$ im Messrohr in situ wird durch das präzise Kugel-Kegel-Prinzip zur Lagedefinition der beiden Messköpfe erreicht. In Dehnung ausgedrückt weist das Gerät eine Messempfindlichkeit von $1 \cdot 10^{-6}$ auf, der Messbereich beträgt 10 mm. Sonde und Eichvorrichtung sind mit einem Temperaturmesselement versehen, so dass temperaturbedingte Längenänderungen der Messstrecke kompensiert werden können.

Gleitmikrometermessungen und den Einbau der Schutzverrohrung führen wir im Kundenauftrag aus, werten die Messergebnisse auf Wunsch auch in graphischer Form aus und berichten darüber in geotechnischen Stellungnahmen.

Bestellhinweise

2.4.1.1 Gleitmikrometer-Messrohre
Basislänge 1,0 m aus HPVC
Durchmesser außen 60 mm,
Durchmesser innen 50 mm
mit Teleskopkupplung und kegelförmigem Präzisionsanschlag

2.4.1.2 Messrohrabschluss aus HPVC unten
mit Teleskopkupplung und 0,5 m Messrohr

2.4.1.3 Messrohrabschluss aus HPVC oben mit
Flansch d = 150 mm für Befestigung der
Kabelhaspel und 0,5 m Messrohr

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Das Gleitdeformeter ist ein Sondenextensometer mit mechanischen Messanschlägen, die im Messrohr in Abständen von 1 m angebracht sind. Bei der Messung wird gemäß Abb. 1 jeweils der Abstand M_0 zwischen dem oberen Messkopf und der oberen Messmarke gemessen. Der Wert M_0 wird mit einem elektrischen Wegaufnehmer in der Sonde gemessen und per Kabel auf ein Anzeigegerät übertragen. Eine analoge Messung zu einem späteren Zeitpunkt ergibt, wenn eine Verformung stattgefunden hat, den geänderten Messwert M_1. Aus der Differenz der Messwerte M_1 - M_0 lässt sich die Änderung der Strecke ΔL berechnen. Die einzelnen Werte geben Aufschluss über die Verformungsverteilung Meter für Meter, und die Summation, die totale Verschiebung entlang der Messachse.

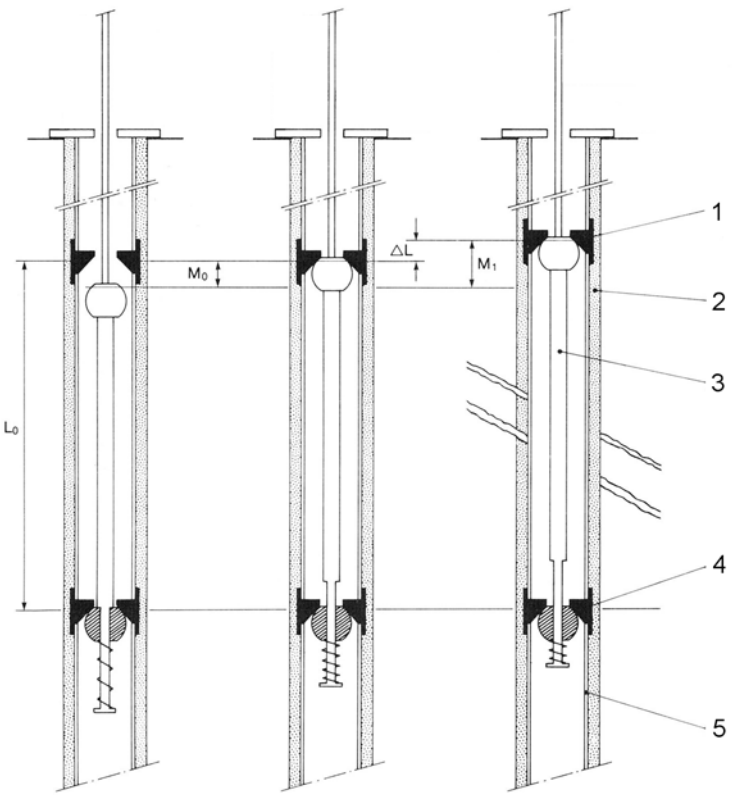


Abb. 1 Prinzipskizze des Messvorgangs mit dem Gleitdeformeter
1 Messmarke (Kugel-Kegel-Setzprinzip), 2 Ton-Zement, 3 Sonde,
4 Messmarke, 5 Kunststoffrohr

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Der Messbereich der Sonde beträgt bei einer Basislänge von 1000 mm ± 22,5 mm. Die Auflösung des Wegmesssystems liegt bei 0,01 mm, und die Messgenauigkeit des Gesamtsystems ist besser als ± 0,03 mm pro Meter.

In den für das Sondenextensometer vorgesehenen Bohrungen können verschiedene Arten von Messrohren eingebaut und durch Zementation mit dem Gebirge verbunden werden:

2.4.2.1 Gleitdeformeter-Messrohr Basislänge 1,0 m aus HPVC, Durchmesser außen 60 mm, Durchmesser innen 50 mm mit Teleskopkupplung aus ABS (Acrylen-Butadien-Styrol), Durchmesser außen 67 mm und Montagematerial (Imbusschrauben Typ M4 x 8 mit Spitze und Klebeband), Gewicht fertig montiert 1,02 kg/Stck.

2.4.2.2 Messrohr für kombinierte Messung mit dem Gleitdeformeter und dem Inklinometer, Basislänge 1,0 m aus HPVC, Durchmesser außen 63 mm, Durchmesser innen 51 mm mit vier Nuten im Innenmantel zur Aufnahme der Inklinometersonde und Teleskopkupplung aus ABS (Acrylen-Butadien-Styrol), Durchmesser außen 67 mm und Montagematerial (Imbusschrauben M4 x 8 mit zylindrischem Sitz und Klebeband), Gewicht fertig montiert 1,34 kg/Stck.

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Im Bohrlochtiefsten sind die Messrohre mit einem 0,5 m langen HPVC-Messrohr abzuschließen:

2.4.2.3 passend zu Messrohr aus HPVC, Durchmesser 60/50 mm,
mit teleskopförmiger Kupplung (2.4.2.1)

2.4.2.4 passend zu Messrohr aus HPVC, Durchmesser 63/51 mm,
mit vier Nuten in Längsrichtung für die Kombination der
Messungen mit Bohrlochinklinometer (2.4.2.2)

Am Bohrlochansatz werden die Messrohre mit einem Deckel aus HPVC (Durchmesser 150 mm) verschlossen. Der Deckel dient gleichzeitig als Befestigung zum Aufschrauben der Kabelhaspel:

2.4.2.5 passend zu Messrohr aus HPVC, Durchmesser 60/50 mm (2.4.2.1)

2.4.2.6 passend zu Messrohr aus HPVC, Durchmesser 63/51 mm
mit vier Nuten in Längsrichtung für die Kombination der Messungen
mit Bohrlochinklinometer (2.4.2.2)

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Das Kunststoff-Stangenextensometer Typ Glötzl GKSE 16 ist eine Weiterentwicklung herkömmlicher Stangenextensometer.

Aufbau: Das Kunststoff-Stangenextensometer besteht im wesentlichen aus:

- Messkopf mit verstellbarem Messanschlag
- Messgestänge aus einem Glasfaserstab mit Kunststoffumhüllung, PVC-Hüllrohr,
- Ankerpunkt aus Rippentorstahl.

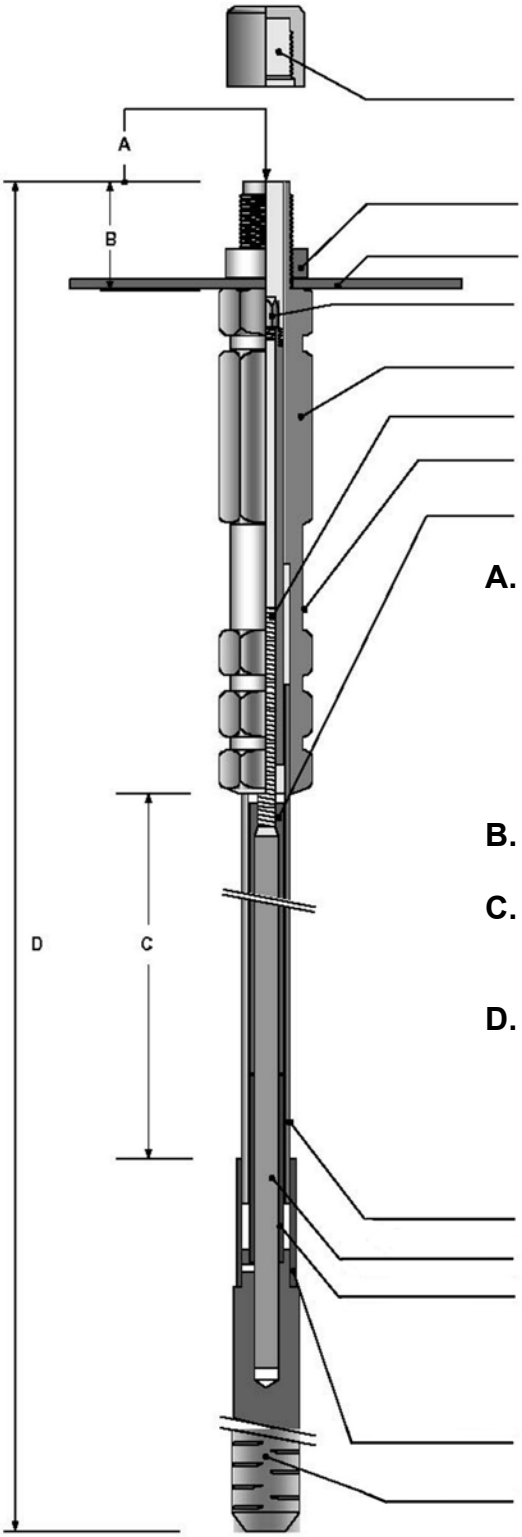
Abb. 1 Einfachextensometer GKSE 16

Vorteile:

- Auslieferung in fertig montiertem Zustand (s. Abb. 2),
- keine Montagearbeit am Extensometer selbst auf der Baustelle,
- geringe Einbaukosten,
- keine Transportprobleme,
- hohe Messgenauigkeit,
- Messkopf im Bohrloch versenkbar,
- Verlängerungen und Verkürzungen sind möglich,
- geringes Gewicht.

Abb. 2 Extensometer in verpacktem Zustand, einbaufertig montiert, aufgerollt in einer Rolle mit ca. 1,2 m Durchmesser

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97



Schutzkappe ∅ 26 mm

Messkopf

1. Kontermutter
2. Montageplatte für Ein-/Mehrfachköpfe
3. Messanschlag verstellbar +/- 60 mm mit Verstellhülse
4. Extensometerkopf, Sechskant SW 27 mm
5. Gewindestange
6. Eindrehung für Betonverbund
7. Verbindungshülse

A. Messpunkt Messung manuell

1. Tiefenmaß mit Nonius +/- 1/10 mm
2. Mechanische Messuhr +/- 1/100 mm
3. Elektrische Wegaufnehmer mit Digitalanzeige

Fernmessung

4. Elektrische Fernmessung mit Wegaufnehmer

B. Messweg Verstellbar mit Gewindestange +/- 60 mm

C. Messgestänge Glasfaserstab mit PVC-Hüllrohr
Wickeldurchmesser 1 m

D. Abmessungen Gesamtlänge = Messlänge
Mindestlänge 1 m,
Maximallänge 100 m

Messgestänge

1. PVC-Hüllrohr ∅ 16 mm
2. Glasfaserstab ∅ 9 mm
3. Schutzüberzug ∅ 11 mm

Ankerpunkt

1. Elastische Verbindung Hüllrohr zum Anker
2. Ankerstab ∅ 22 mm, Länge 500 mm aus Rippentorstahl

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Zur Ausbildung von Mehrfachextensometern werden mehrere Einfachextensometer an einer Montageplatte mit einer Kontermutter befestigt. Die Messköpfe sind größtenteils im Bohrloch versenkt, so dass eine Beschädigung durch den Baubetrieb weitgehend ausgeschlossen ist.

Abb. 3 6fach Extensometer mit Montageplatte und Kunststoffhalterung. Für eine Fernmessung werden Wegaufnehmer direkt am Messkopf angeschraubt.

Für die Montage der Extensometer in Bohrlöchern stehen für eine im Bohrloch versenkbare Ausführung entsprechende Montageplatten zur Verfügung. Ein- und Mehrfachköpfe können somit vollständig im Bohrloch versenkt werden. Es wird dadurch eine Beschädigung beim Baubetrieb, z. B. bei Sprengungen vermieden.

Abb. 4 6fach Extensometerkopf Typ GKSE 6/16 B, bestehend aus Einfachextensometern mit Montageplatte zum versenkten Einbau in Bohrlöchern

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Technische Daten

Extensometergestänge: Glasfaserseele ø 11 mm mit Kunststoffumhüllung
Hüllrohr: PVC 16 x 2 mm

Messstrecke Standard: min. 1 m
max. 100 m

Nachstellbereich des Messanschlages: ± 60 mm

Übertragungsgenauigkeit: 1 - 20 m ± 0,02 mm
bis 50 m ± 0,10 mm
bis 100 m ± 0,30 mm
Extensometerkopf: 6-kant SW 27 mm
Montageplatten: 1 - 13fach in versenkbarer oder aufsetzbarer Ausführung

Erforderlicher Bohrdurchmesser (lichter Einbaudurchmesser) ohne Berücksichtigung von Injektions- und Belüftungsleitungen:

1	2-3	4	5-7	8-13fach
35	60	76	86	d = 131 mm

Gewicht: Extensometergestänge, PVC Hüllrohr und Fiberglasseele 1 m = 0,3 kg

Mechanische Messuhr: Messbereich 30 mm
Auflösung ± 0,01 mm
Zubehör: Eichnormal, Schlüssel für Kontermutter, Verstellwerkzeug für Messanschlag, Transportkoffer

Digitales Anzeigegerät: Messbereich 50 mm
Auflösung ± 0,01 mm
Zubehör: Eichnormal, Schlüssel für Kontermutter, Verstellwerkzeug für Messanschlag, Transportkoffer

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97

Bestellhinweise

2.4.3.1	Extensometergestänge d = 16 mm, bestehend aus Hüllrohr und Glasfaserseele
2.4.3.2	Extensometerkopf zu 2.4.3.1 mit Messanschlag (140 mm) und Verankerungspunkt 0,5 m lang
2.4.3.3	Extensometergestänge d = 12 mm, bestehend aus Hüllrohr und Glasfaserseele
2.4.3.4	Extensometerkopf zu 2.4.3.3 mit Messanschlag (140 mm) und Verankerungspunkt 0,5 m lang
	Kopfplatte für
2.4.3.5.1	1-3fach Extensometer
2.4.3.5.2	dito für 4-6fach Extensometer
2.4.3.5.3	dito für 7-9fach Extensometer
2.4.3.6	Messset bestehend aus mechanischer Messuhr, Auflösung 1/100 mm, Messbereich +/- 15 mm, Kalibriervorrichtung, Verstellwerkzeug und Gerätetasche

Geotechnisches Ingenieurbüro
Prof. Fecker & Partner GmbH
Am Reutgraben 9 Tel.: (07243)5983-7
D-76275 Ettlingen Fax: (07243)5983-97